



**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI SIFAT LISTRIK  
KACA *CULT* YANG *DIDOPING* COPPER (II) OXIDE**

skripsi

disajikan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Fisika

oleh

**Pragata Okti Andarini**

**4250407007**

**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2011**

## **PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke Sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, September 2011

Pembimbing Utama

Dr. Sulhadi, M.Si.  
NIP.197108161998021001

Pembimbing Pendamping

Dr. Agus Yulianto, M.Si  
NIP.196607051990031002



## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul:

Fabrikasi dan Karakterisasi Sifat Listrik Kaca *Cult* yang *didoping* Copper  
(II) Oxide

disusun oleh

Nama : Pragata Okti Andarini

NIM : 4250407007

telah dipertahankan di hadapan Sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES  
pada tanggal September 2011.

Panitia:

Ketua

Sekretaris

Dr. Kasmadi Imam S, M.S.  
NIP. 19511115 197903 1 001

Dr. Putut Marwoto, M.S.  
NIP. 19630821 198803 1 004

Ketua Penguji

Drs. Sukiswo Supeni Edi, M.Si.  
NIP. 195610291986011001

Anggota Penguji /  
Pembimbing Utama

Anggota Penguji /  
Pembimbing Pendamping

Dr. Sulhadi, M.Si  
NIP.197108161998021001

Dr. Agus Yulianto, M.Si  
NIP. 196607051990031002

## **PERNYATAAN**

Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas plagiat, dan apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya akan bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan perundang-undangan.

Semarang, September 2011

Penulis,

Pragata Okti Andarini

NIM. 4250407007



## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### MOTTO

*Bismillahirrahmanirrahim. . .*

*“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai( dari suatu urusan), maka kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain. Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap”*  
(Al Insiroh: 6-8)

*“Jika kamu bersungguh-sungguh dalam menuntut ilmu, ilmu hanya akan membukakan sedikit pintunya untuk kau pelajari. Apalagi jika kamu main-main, ilmu tidak akan membukakan sedikitpun pintunya untuk kau pelajari. Berusahalah!!”*  
(Agus Yulianto)

*“Belajar dari setiap pengalaman dan kegagalan untuk dapat berkarya lebih baik dan indah dalam kehidupan”*

*“Kesabaran dan Keikhlasan dalam menjalankan sesuatu akan membuahkan hal yang sulit menjadi indah pada waktunya”*

PERPUSTAKAAN  
**PERSEMBAHAN**

*Teruntuk yang tercinta*

1. Kedua orang tuaku yang telah mencurahkan segalanya demi masa depanku dan menemaniku dengan doa.
2. Kedua adikku yang selalu aku rindukan dan aku sayangi (sinta dan Ijang).
3. Simbahku yang senantiasa mendo'akan dan menyayangiku.

## PRAKATA

Puji Syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul ” Fabrikasi Dan Karakterisasi Sifat Listrik Kaca *Cult* yang *didoping* Copper (II) Oxide”.

Suatu hal yang tidak patut jika dalam kesempatan ini penulis tidak menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan kontribusi dan kesempatan dalam usaha menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu dengan penuh ketulusan hati penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Sudjiono Sastroatmodjo, M.Si., selaku Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Kasmadi Imam S, M. S. Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Putut Marwoto, M.S selaku ketua Jurusan Fisika .
4. Dr. Sulhadi, M.Si selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing serta meluangkan waktu memberikan masukan, saran dan motivasi selama penyusunan skripsi.
5. Dr. Agus Yulianto, M.Si selaku Dosen Pembimbing II sekaligus dosen wali yang dengan penuh kesabaran dan kebersahajaan telah memberikan motivasi kepada penulis.
6. Bapak, Ibu, kedua adikku, yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis serta memberikan kesempatan kepada penulis untuk menempuh jenjang pendidikan ke Universitas.
7. Pak Wasi dan Pak Muttaqin, terimakasih atas bantuannya.

8. Sahabatku Nila Prasetya Aryani, Fitria Dwi Riyanti, Solechan, Dhafid E.P terimakasih atas ilmu dan bantuannya selama penulisan.
9. Keluarga fisika 2007 (Bayu, Rumini, Nila, Yudi, Rizki, Susi, Santi, Priyaningsih, Fitria, Nunah, Solechan, Dhafid, Amin, Hizbul, Izzudin, Nur Aini, Heri, dan semua yang belum disebutkan satu persatu).
10. Teman-teman Lab. Magnetik (Dhafid, Solechan, Dek Tito, Heri, Dek Nita, Dek Novi, dll yang tidak dapat disebutkan satu persatu).
11. Simbahku, dek Tya, si Putri, Paklik2ku, tanteQ, mas Akrom, Pakde Endi, Pakde Nano, bu Dwi Setyowati, terimakasih do'a serta suportnya slalu.
12. Yessita, Nunah, Lely, Mba Meg, Mba T, Vivi, Shoma, Erlina, Sulis, Difla, Ida Harahap, Rina, Novi dan semua temen-temen Tri Sanja Kos yang tidak disebutkan, terimakasih suportnya.
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih untuk selalu memberikan bantuan moral dan spiritual.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan pengetahuan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran membangun sangat penulis harapkan.

Semoga laporan skripsi ini dapat menambah pengetahuan dan bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Semarang, September 2011

Penulis

## ABSTRAK

Andarini, Pragata O. 2011. *Fabrikasi Dan Karakterisasi Sifat Listrik Kaca Cult yang didoping Copper (II) Oxide*. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Dr. Sulhadi, M.Si. dan Pembimbing Pendamping Dr. Agus Yulianto, M.Si.

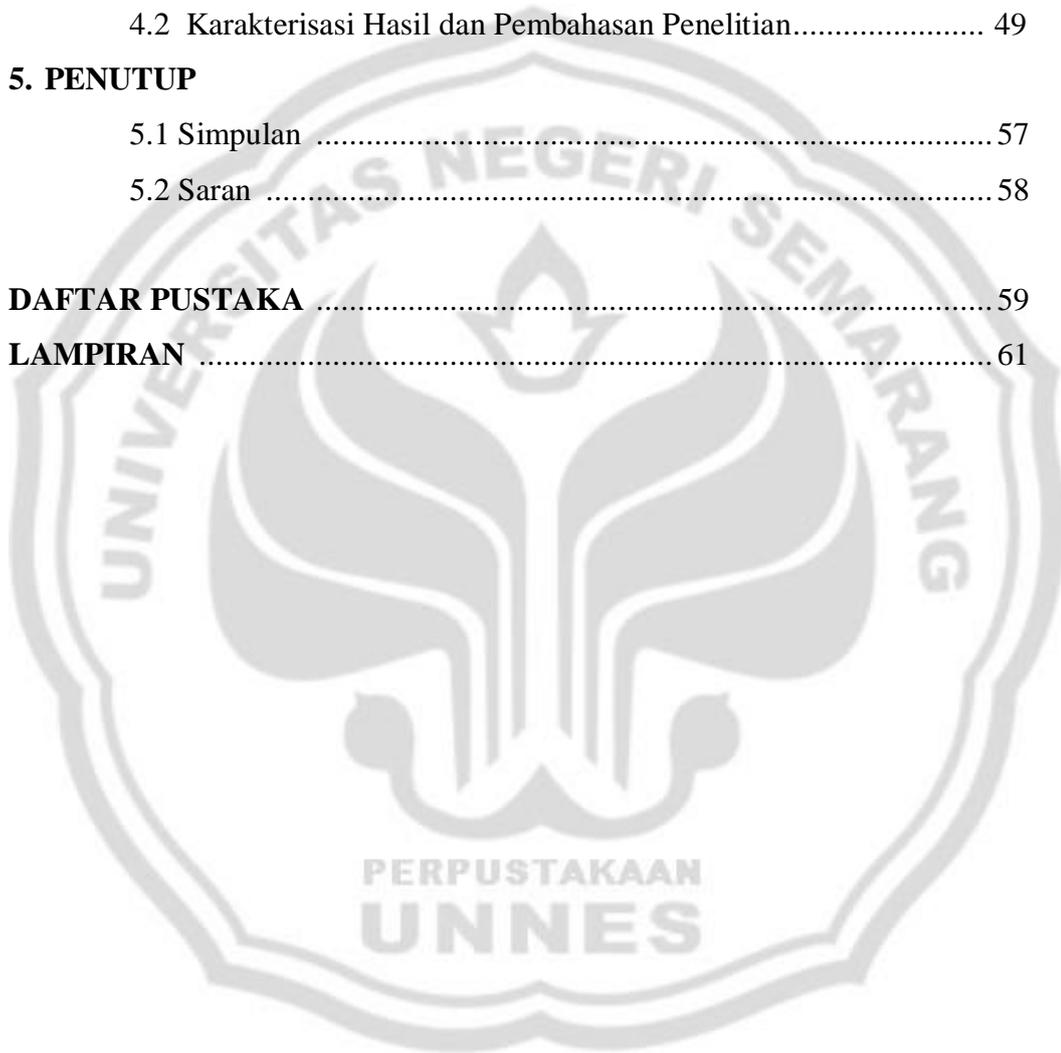
Kata kunci : *Cult*, CuO, sintering, resistivitas

*Cult* adalah serpihan kaca yang sangat kecil dan dibentuk melalui proses pemadatandari peleburan tanpa kristalisasi. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pembuatan kaca *cult* yang *didoping* copper(II)oxide dengan proses *sintering* dan mengetahui karakterisasi sifat listriknya,. Sampel *bulk cult doping* CuO dilakukan dengan menggunakan metode metalurgi serbuk. Fraksi Tembaga oxide yang *didopkan* adalah 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% dari fraksi massa sampel yang dibuat. Serbuk yang telah dicetak *disinter* pada temperatur 750° C selama 2,5 jam. Hasil Karakterisasi XRD membuktikan bahwa zat yang terkandung dalam sampel mengandung *doping* dengan puncak tertinggi CuO pada  $2\theta$  35,607° dan Cu<sub>4</sub>O<sub>3</sub>  $2\theta$  28,091°. Uji kekerasan menggunakan metode *rockwell* menghasilkan data bahwa sampel *cult doping* copper (II) oxide mempunyai kekerasan yang tinggi yaitu 110 HRB. Penambahan *doping* tidak terlalu berpengaruh terhadap rapat massa ( $\rho$ ). Hasil karakterisasi sifat listrik menunjukkan bahwa penambahan *doping* berpengaruh terhadap nilai resistivitas sampel dan bersifat fluktuatif. Nilai resistivitas pada kaca *cult* yang *didoping* Copper(II)oxide (1%) naik dan turun pada 2% kemudian terjadi peningkatan pada penambahan *doping* copper(II)oxide sebesar 3% - 4% pada penambahan doping 5% menunjukkan penurunan nilai resistivitas.

# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>PRAKATA</b> .....	vi
<b>ABSTRAK</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>BAB</b>	
<b>1. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	6
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Definisi Kaca .....	7
2.2 Klasifikasi kaca .....	9
2.3 Teknik pembuatan kaca .....	11
2.4 Cult .....	15
2.5 Isolator Listrik .....	15
2.6 Tembaga .....	16
2.7 Sintering .....	19
2.8 Sifat-sifat Kaca .....	20
2.9 Pengujian dan Karakterisasi .....	24
<b>3. METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	37

3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	38
3.3 Prosedur Penelitian .....	39
3.4 Anaisis Data .....	46
3.5 Alur Penelitian.....	47
<b>4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Deskripsi Penelitian.....	48
4.2 Karakterisasi Hasil dan Pembahasan Penelitian.....	49
<b>5. PENUTUP</b>	
5.1 Simpulan .....	57
5.2 Saran .....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	59
<b>LAMPIRAN</b> .....	61



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 .....	10
Tabel 2.2 .....	16
Tabel 2.3 .....	34
Tabel 2.4 .....	34
Tabel 3.1 .....	40
Tabel 4.1 .....	49
Tabel 4.2 .....	52
Tabel 4.3 .....	54
Tabel 4.4 .....	54
Tabel 4.5 .....	55

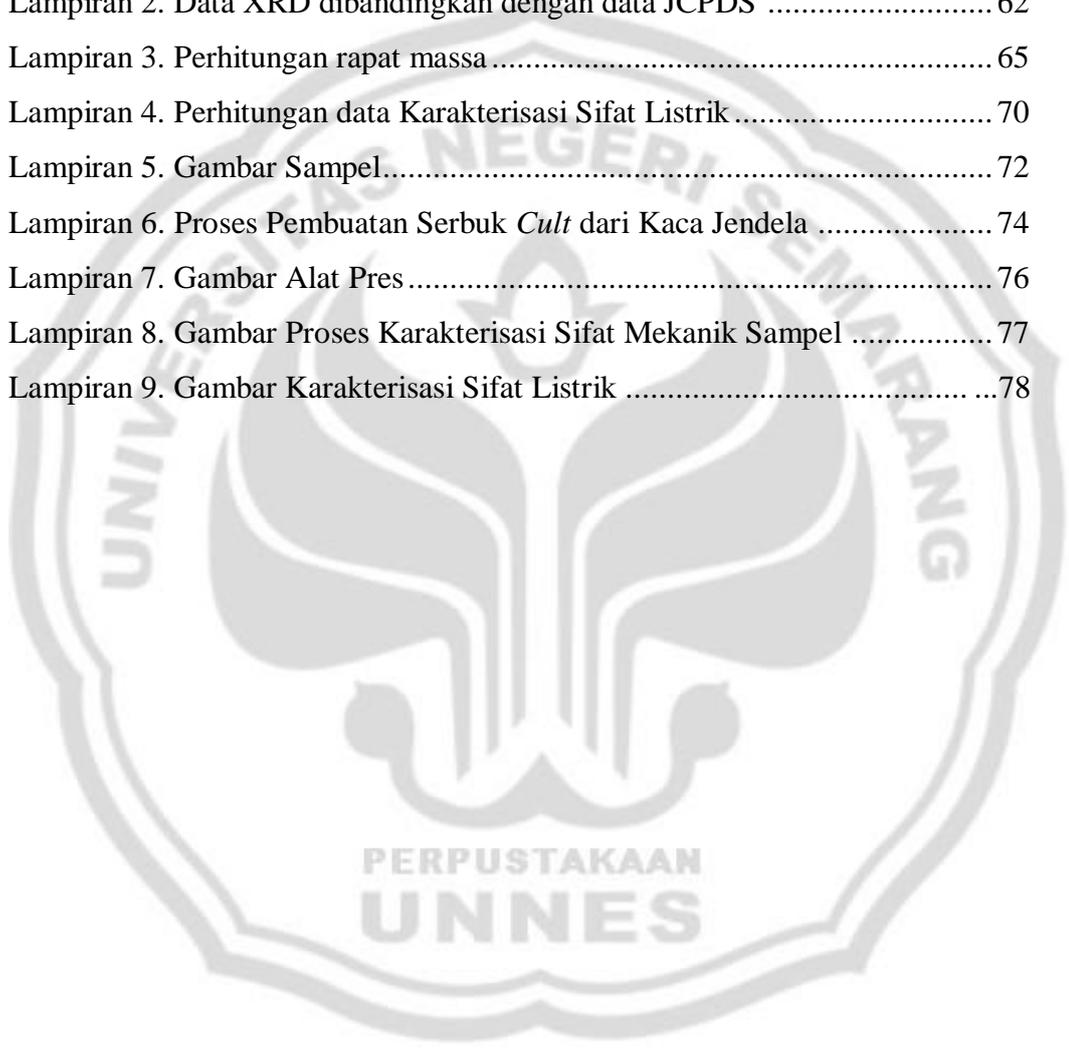
PERPUSTAKAAN  
UNNES

## DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
Gambar 2.1	Struktur Kristal <i>copper (II) oxide</i> .....	17
Gambar 2.2	Serbuk <i>copper (II) oxide</i> .....	18
Gambar 2.3	Skematis prinsip indentasi dengan metode Brinell.....	25
Gambar 2.4	Skematis prinsip indentasi dengan metode vikckers.....	26
Gambar 2.5	Mesin Uji kekerasan Rockwell.....	29
Gambar 2.6	Difraksi Sinar-X pada karakterisasi XRD.....	31
Gambar 2.7	Uji kekerasan dengan metode <i>rockwell</i> .....	33
Gambar 3.1	Ball milling.....	39
Gambar 3.2	Timbangan digital.....	40
Gambar 3.3	Alat Pres Untuk pencetakan.....	42
Gambar 3.4	Furnice Termolyne.....	43
Gambar 3.5	Diagram Alir Penelitian.....	47
Gambar 4.1	Hasil Karakterisasi XRD <i>cult</i> doping <i>copper (II) Oxide</i> .....	51
Gambar 4.2	Grafik antara variasi doping terhadap resistivitas ( $\rho$ ) <i>cult</i> doping <i>copper (II) oxide</i> .....	56

## DAFTAR LAMPIRAN

Gambar	Halaman
Lampiran 1. Perhitungan Komposisi doping.....	61
Lampiran 2. Data XRD dibandingkan dengan data JCPDS .....	62
Lampiran 3. Perhitungan rapat massa .....	65
Lampiran 4. Perhitungan data Karakterisasi Sifat Listrik .....	70
Lampiran 5. Gambar Sampel.....	72
Lampiran 6. Proses Pembuatan Serbuk <i>Cult</i> dari Kaca Jendela .....	74
Lampiran 7. Gambar Alat Pres .....	76
Lampiran 8. Gambar Proses Karakterisasi Sifat Mekanik Sampel .....	77
Lampiran 9. Gambar Karakterisasi Sifat Listrik .....	78



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Menurut Agustino (2010:1) Teknologi keramik telah dikenal sejak lama dalam peradaban manusia. Bentuk sederhana dari keramik adalah berupa benda-benda gerabah yang terbuat dari lempung, baik diproses melalui pembakaran ataupun tidak. Seiring dengan kemajuan teknologi, saat ini bahan keramik telah dikembangkan menjadi berbagai produk modern dengan keunggulan sifat yang sangat variatif. Kaca termasuk salah satu produk keramik modern yang memiliki bidang pemakaian sangat luas.

Kaca merupakan material yang mempunyai struktur kristal amorf (Sulhadi, 2007). Dikatakan amorf karena mempunyai ikatan antar atom yang berjangkauan pendek dan tidak memiliki keteraturan antar atom dalam skala besar. Misalnya jarak antar atom silika ( $\text{SiO}_2$ ) sekitar  $3,6 \text{ \AA}$  dan mempunyai ketidakteraturan diatas  $10 \text{ \AA}$  (Jones, 1956). Kaca juga mempunyai viskositas antara 10<sup>12</sup>-10<sup>14</sup> Poise. Ditinjau secara mikroskopik, susunan atom kaca mempunyai struktur seperti zat cair, yaitu susunan atomnya tidak teratur. Ditinjau secara makroskopik, kaca mempunyai viskositas yang tinggi, sehingga kaca menyerupai zat padat (Doremus, 1973).

Bahan pembuat kaca dapat dibentuk menjadi kaca menggunakan beberapa teknik, misalnya pendinginan dari keadaan cair/lelehan, kondensasi dari vapour,

tekanan quenching, hidrolisis larutan, anodisasi, pembentukan sol-gel dan bombardier/pengrusakan kristal dengan partikel berenergi tinggi atau gelombang kejut. Teknik pendinginan dari keadaan cair/lelehan adalah yang paling penting dan banyak digunakan (Uhlmann dan Kreidl, 1983). Riset yang berhubungan dengan kaca dan bahan non-kristalin lain sangat aktif dan produktif pada sepuluh tahun terakhir, hal ini disebabkan oleh tiga alasan utama. Pertama adalah pemahaman teoritis dua puluh tahun yang lalu, yang menunjukkan bahwa hampir semua cairan dapat membentuk kaca jika pertumbuhan kristal dapat ditekan. Kedua pada riset eksperimental, yang mana menunjukkan bahwa banyak bahan non-kristalin dibuat dengan proses selain pendinginan dari titik lelehnya. Fase uap digunakan untuk membuat fiber glass dengan kemurnian ultra-tinggi, pendinginan secara cepat dari lelehan/cairan logam untuk menjadi kaca metalik, metode sol-gel untuk membuat oksida kaca baru, halida, kalkogenik baru dan kaca nitrida baru. Alasan yang ketiga meningkatnya kesadaran dari industri bahwa dari sudut pandang pembuatannya kaca lebih efisien dari kristal dan kaca ini mempunyai peran yang penting dalam elektronika (Mackenzie, 1982).

Benda bisa dalam wujud padat, cair ataupun gas. Perubahan wujud terjadi mengikuti keadaan yang berlaku. Perubahan dari satu fasa ke fasa yang lain dapat dipahami karena terdapat perubahan keseluruhan struktur bahan. Kaca ditinjau secara makroskopik menunjukkan fasa padat, tetapi secara mikroskopik menunjukkan fasa cair yang mempunyai viskositas besar. Penggunaan kaca yang sangat banyak di berbagai keperluan manusia menuntut produksi bahan ini dalam jumlah yang sangat besar. Proses pembuatan kaca pada umumnya dilakukan

dengan cara peleburan langsung oksida-oksida bahan kaca. Biasanya temperatur peleburan tinggi, impurities yang terkandung relatif banyak dan proses ini dilakukan untuk skala besar (Sahar, 1998).

*Cult* adalah serpihan kaca yang sangat kecil. Kaca merupakan benda *amorf*, biasanya anorganik, dibentuk melalui proses pemadatan dari peleburan tanpa kristalisasi. Kaca kadang-kadang dapat dianggap sebagai cairan yang sangat kental (viskos) karena bukan kristalin atau *amorf*. Akan tetapi hanya beberapa jenis cairan dapat membentuk kaca. Pada suhu yang tinggi, kaca merupakan cairan sejati. Pada fase cair ini struktur dari bahan-bahan anorganik belum beraturan dan atom-atomnya selalu bergerak terus menerus.

Umumnya kaca bersifat keras, kuat, dan stabil pada temperatur tinggi tetapi getas dan mudah patah. Pembuatan kaca selalu dilakukan dengan cara metode *melt quenching* atau metode *sol-gel*. Agak berbeda dengan pembuatan yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu cara pemadatan bubuk kering (*powder compact*) didalam cetakan dengan memperlakukan sistem tekanan (*pressing*) dan selanjutnya dapat dibakar. Besar tekanan yang dilakukan dan temperatur pembakaran intensif dibuat tetap, yaitu masing-masing sekitar  $2,9 \times 10^5$  KPa dan dengan suhu  $750^\circ \text{C}$ . selama  $\pm 2,5$  jam, komposisi penyusun bahan bervariasi menurut besar penambahan prosentase bahan pencampur (*doping*). Yaitu dilakukan dari 1 – 5%, sehingga susunan kandungan sebelum dan sesudah dicampur memberikan gambaran tentang bahan yang akan digunakan sebagai bahan penelitian, terutama sifat kelistrikan setelah sintering. Penggunaan metode metalurgi serbuk dikarenakan bahan dan alat di Laboratorium Fisika

Kemagnetan UNNES cukup memungkinkan dan tidak perlu dilakukan pendinginan cepat seperti pada metode *melt quenching* yang membutuhkan *melting point* tinggi.

Berdasarkan latar belakang tersebut di atas maka akan dilakukan penelitian menggunakan bahan *cult* sebagai former dan *doping cooper (II) oxide*, penelitian yang akan dilakukan dengan judul penelitian “Fabrikasi dan Karakterisasi Sifat Listrik Kaca *Cult* yang *didoping copper (II) oxide* ”.

## 1.2 Permasalahan

Permasalahan yang menjadi fokus kajian penelitian ini antara lain adalah :

Permasalahan yang menjadi fokus kajian penelitian ini antara lain adalah :

1. Bagaimana pembuatan kaca dengan bahan former *cult* dan *doping copper (II) oxide*?
2. Bagaimana karakteristik sifat listrik kaca *cult* dengan *doping copper (II) oxide*?

## 1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini perlu dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Menggunakan *cult* sebagai former setelah berupa serbuk *cult*.
2. Menggunakan Copper (II) oxide sebagai *doping*.
3. Karakteristik sifat listrik kaca keramik *cult* menggunakan *power supply* dan multimeter yang dirangkai.

4. Karakterisasi sifat mekanik kaca *cult* menggunakan uji kekerasan rockwell dan rapat massa.
5. Karakterisasi struktur bahan kaca *cult* menggunakan XRD di Laboratorium UNS.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui proses pembuatan kaca *cult* dengan proses *sintering*.
2. Mengetahui sifat listrik kaca *cult* doping copper (II) oxide yang dihasilkan.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini antara lain adalah :

1. Diperoleh kaca *cult* yang memiliki daya saing karena pembuatan kaca yang dibuat dengan bahan dasar *cult* yang harganya relatif lebih murah dan menurunkan suhu *sintering* sehingga lebih menghemat biaya produksi.
2. Mengembangkan ilmu yang berfokus pada kajian material kaca dan keramik.
3. Mengetahui struktur bahannya.
4. Mengetahui sifat mekanik kaca *cult* doping Copper (II) oxide.
5. Mengetahui sifat listrik kaca *cult* doping Copper (II) oxide.
6. Mengetahui pengaruh penambahan *doping* terhadap resistivitas dan konduktivitasnya sehingga dapat digunakan untuk berbagai keperluan bergantung *user* (penggunanya).

## 1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun dalam 5 Bab yang diawali dengan halaman judul, abstrak, halaman pengesahan, halaman motto, halaman persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar dan daftar tabel. Bab I berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan skripsi. Bab II menjelaskan kajian pustaka yang merupakan landasan teoritis dalam penelitian ini. Tinjauan pustaka berisi penjelasan mengenai kaca, material *Cult*, material CuO, struktur bahan kaca *cult doping* CuO, sifat mekanik dan sifat listrik. Metode penelitian yang dilakukan dalam pelaksanaan eksperimen dibahas dalam Bab III yaitu meliputi lokasi penelitian, waktu penelitian, alat dan bahan penelitian, prosedur penelitian berisi penyiapan bahan, homogenisasi, kompaksi dan *sintering*. Pengujian dan karakterisasi sampel berisi karakterisasi XRD, sifat mekanik (uji kekerasan dan rapat massa), dan sifat listrik dan yang terakhir pada Bab III adalah metode analisis data dan diagram alir penelitian. Bab IV memaparkan hasil penelitian, analisis data dan pembahasan hasil penelitian. Analisis dan pembahasan hasil penelitian meliputi analisis dan pembahasan struktur bahan, sifat mekanik meliputi sifat kekerasan dan rapat massa, dan sifat listrik. Simpulan hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya dipaparkan dalam Bab 5. Bagian akhir skripsi berisi daftar pustaka bahan kajian pustaka dan lampiran hasil penelitian.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Definisi Kaca**

Menurut Agustino (2008: 6), Kaca sudah dikembangkan ribuan tahun lalu. Material yang pertama kali dapat membentuk kaca adalah silika. Pada tahun 1900an masih sedikit sekali kaca non-silika yang ditemukan. Hal ini terjadi karena masih kurangnya pengetahuan tentang teori pembentukan kaca. Saat ini telah diperkenalkan banyak sekali kaca yang terbuat dari non-silikat, polimer dan metal dapat juga dibentuk menjadi kaca, sebagaimana kebanyakan non-oksida, komposisi inorganik. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan Goldschmidt, bentuk senyawa material pembentuk kaca adalah  $R_nO_m$  dimana R merupakan kation dan O merupakan oksigen. Jadi material pembentuk kaca yang pertama kali ditemukan adalah material oksida.

Kaca merupakan material yang mempunyai struktur kristal amorf (Sulhadi, 2007). Dikatakan amorf karena mempunyai ikatan antar atom yang berjangkauan pendek dan tidak memiliki keteraturan antar atom dalam skala besar. Misalnya jarak antar atom silika ( $SiO_2$ ) sekitar  $3,6 \text{ \AA}$  dan mempunyai ketidakteraturan diatas  $10 \text{ \AA}$  (Agustino.,2010:6). Kaca juga mempunyai viskositas antara  $10^{12}$ - $10^{14}$  Poise. Ditinjau secara mikroskopik, susunan atom kaca mempunyai struktur seperti zat cair, yaitu susunan atomnya tidak teratur. Ditinjau

secara makroskopik, kaca mempunyai viskositas yang tinggi, sehingga kaca menyerupai zat padat (Agustino.,201:6).

Kaca adalah salah satu produk industri kimia yang paling akrab dengan kehidupan kita sehari-hari. Namun tidak banyak yang kita ketahui mengenai kaca tersebut.

Dipandang dari segi fisika kaca merupakan zat cair yang sangat dingin. Disebut demikian karena struktur partikel-partikel penyusunnya yang saling berjauhan seperti dalam zat cair namun dia sendiri berwujud padat. Ini terjadi akibat proses pendinginan (*cooling*) yang sangat cepat, sehingga partikel-partikel silika tidak sempat menyusun diri secara teratur. Dari segi kimia, kaca adalah gabungan dari berbagai oksida anorganik yang tidak mudah menguap, yang dihasilkan dari dekomposisi dan peleburan senyawa alkali dan alkali tanah, pasir serta berbagai penyusun lainnya. Kaca memiliki sifat-sifat yang khas dibanding dengan golongan keramik lainnya. Kekhasan sifat-sifat kaca ini terutama dipengaruhi oleh keunikan silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan proses pembentukannya.

Pembentukan kaca tergantung pada individu masing-masing bahan pembentuk kaca. Definisi kaca antara lain:

1. Kaca adalah suatu produk non-organik yang dihasilkan melalui proses pembakaran bahan (pencairan), kemudian didinginkan pada keadaan pejal yang tegar tanpa mengkristalkan.
2. Kaca adalah bahan yang memperlihatkan keteraturan atom yang pendek ( amorf ) jika dikarakterisasi menggunakan XRD.

3. Kaca mempunyai viskositas  $10^{12}$ - $10^{14}$  Poise

## 2.2. Klasifikasi Kaca

Material pembentuk kaca dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) yaitu diantaranya:

( i ). *Glass Formers* : bahan asli ( raw material ) yang bisa membentuk kaca. Misalnya  $B_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $GeO_2$ ,  $P_2O_5$ ,  $Sb_2O_3$ .

( ii ). *Conditional Glass Formers* : bahan yang tidak dapat membentuk kaca sendiri. Dapat membentuk kaca jika dicampurkan dengan komponen oksida yang lain. Misalnya  $TeO_2$ ,  $SeO_2$ ,  $MoO_3$ ,  $WO_3$ ,  $Bi_2O_3$ ,  $BaO_3$ ,  $Al_2O_3$ .

( iii ). *Modifier* : bahan yang bertindak sebagai pelemah rangkaian dan secara tak langsung mengubah sifat kaca yang dihasilkan. Misalnya  $CaO$ ,  $K_2O$ ,  $MgO$ ,  $ZnO$ ,  $BaO$ ,  $Na_2O$ ,  $Li_2O$ .

Beberapa bahan telah diketahui bisa membentuk kaca pada temperatur tertentu. Pada Tabel 2.1 ditunjukkan contoh bahan yang didinginkan dari temperatur lelehnya dapat membentuk kaca.

Tabel 2.1. Bahan pembentuk kaca dan temperatur lelehnya

No	Bahan	Temperatur Leleh (°C)
1.	SiO <sub>2</sub>	1996
2.	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	723
3.	Se	490
4.	ZnCl <sub>2</sub>	591
5.	BeF <sub>2</sub>	823
6.	GeO <sub>2</sub>	1389
7.	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	551-582
8.	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	573

Berdasarkan bahan yang digunakan sebagai pembentuk kaca, maka kaca dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis yaitu:

#### 1. Kaca Oksida

Kebanyakan industri kaca menggunakan jenis ini. Pada kaca jenis ini bahan silika (SiO<sub>2</sub>) adalah komponen terpenting. Silika bisa dicampurkan dengan bahan oksida lain untuk membentuk kaca yang lebih baik. Campuran dengan komposisi tertentu akan mendapatkan sifat kaca yang dikehendaki. Yang termasuk dalam oksida tersebut misalnya Li<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>.

#### 2. Kaca Kalkogenik

Kaca ini terbentuk berdasarkan unsure S, Se, Te dan dicampurkan dengan unsure As, Sb, Ge. Kaca jenis ini sangat penting karena mempunyai sifat listrik dan optik yang menarik (Sulhadi, 2007). Masalah besar kaca jenis ini

adalah untuk mendapatkan kemurnian bahan yang tinggi relative susah. Ini karena bahan yang digunakan banyak mengandung material asing yang sulit dipisahkan.

### 3. Kaca Halida

Kaca jenis ini terbentuk berdasarkan logam halide seperti zirconium tetraflorida ( $ZrF_4$ ), Zink klorida ( $ZnCl_2$ ), berilium flourida ( $BeF_2$ ) dan lain-lain. Kaca jenis ini sangat menarik untuk dikaji karena sifat optik yang baik dan bisa ditembus cahaya sampai rentang inframerah. Saat ini kaca jenis ini banyak digunakan sebagai alat komunikasi serat optik jarak jauh.

### 4. Kaca Magnet dan Kaca Logam

Kaca magnet terdiri dari campuran bahan yang mengandung sifat magnet seperti  $Fe_2O_3$  atau kromit ( $Cr_2O_3$ ). Kaca magnet mudah dipengaruhi medan magnet dan bisa digunakan untuk menyimpan data. Kaca logam juga terdiri dari beberapa alloy seperti Au-Si, Pd-Si, Co-P, Fe-B yang telah didinginkan dari keadaan cair.

### 5. Kaca Semikonduktor

Kaca bisa bersifat seperti semikonduktor jika dicampur dengan bahan yang bersifat semikonduktor seperti  $GeO_2$ ,  $TeO_2$ . Bahan ini akan membentuk kaca yang stabil jika dicampurkan dengan pembentuk kaca yang lain seperti  $SiO_2$ .

## 2.3. Teknik Pembuatan Kaca

Bahan pembuat kaca dapat dibentuk menjadi kaca menggunakan beberapa teknik, misalnya pendinginan dari keadaan cair/lelehan, kondensasi dari vapour, tekanan quenching, hidrolisis larutan, anodisasi, pembentukan sol-gel dan

bombardier/pengrusakan kristal dengan partikel berenergi tinggi atau gelombang kejut. Teknik *melt quenching* dan metode sol-gel yang biasanya digunakan untuk tujuan penelitian. Metode sol-gel saat ini yang sedang berkembang karena bahan pembentuk kaca dapat dibuat kaca dengan temperatur yang relatif rendah dibandingkan dengan teknik pendinginan cepat, tetapi metode sol-gel sulit dibuat dan memerlukan waktu yang relatif lama. Teknik pendinginan dari keadaan cair/lelehan adalah yang paling penting dan banyak digunakan (Uhlmann dan Kreidl, 1983).

Proses pembentukan kaca berbeda dengan proses yang lain karena melalui beberapa fenomena yang rumit. Proses pembentukan kaca memerlukan kontrol temperatur yang baik, tanpa itu akan menyebabkan kaca tidak akan terbentuk. Ini berarti proses pembentukan kaca memerlukan pengawasan perubahan termodinamik yang sangat teliti, bagaimanapun tidak semua bahan dapat membentuk kaca (Klimychev, 2005). Berikut adalah penjelasan mengenai teknik teknik *melt quenching* dan metode sol-gel yang banyak digunakan.

#### 1. Teknik *Melt Quenching*

Teknik *melt quenching* merupakan teknik pembuatan kaca yang telah lama diketahui. Lelehan bahan pembuat kaca didinginkan cukup cepat sampai kaca terbentuk. Istilah “cukup cepat” disini menggambarkan waktu yang diperlukan untuk membawa bahan dari temperatur leleh ke- temperatur tertentu supaya kaca terbentuk. Suatu lelehan mungkin tidak cukup cepat jika didinginkan di ruang terbuka biasa, tetapi jika proses pendinginan dilakukan didalam air,

proses pendinginan yang cukup cepat dapat terjadi. Biasanya teknik *melt quenching* lelehan diturunkan pada temperatur ruang dengan cara menuangkan lelehan kaca keatas sekeping plat logam, kemudian lelehan tersebut ditindih dengan plat logam lain pada bagian atas lelehan. Setelah kaca terbentuk, kaca kemudian di- *annealing* pada temperatur tertentu agar kaca yang terbentuk tidak *crack* dan sisa yang masih tertinggal dalam *crucibel* dapat dihilangkan (Rahim Sahar, 1998).

## 2. Metode Sol-Gel

Metode sol-gel merupakan metode pembuatan kaca yang baru ditemukan dan masih banyak penelitian yang dilakukan. Metode ini dapat menghasilkan kaca yang homogen karena menggunakan bentuk cairan sebagai bahan awal dan sangat sesuai bagi campuran bahan pembuat kaca yang mempunyai perbedaan temperatur leleh yang besar. Jika temperatur leleh bahan pembuat kaca terlalu besar, maka kaca yang homogen akan sulit didapatkan.

Sol bahan pembuat kaca terjadi pada larutan encer, yaitu campuran antara *former*, *modifier* dan air. Perubahan sol menjadi gel meliputi mekanisme polimerisasi, ada beberapa tahap yang dapat dibedakan:

- Polimerisasi monomer membentuk "species" molekul yang lebih tinggi (dimer, tertier, dan seterusnya).
- Pertumbuhan partikel-partikel
- Penggabungan bersama partikel-partikel dalam suatu rangkaian dan membentuk jaringan tiga dimensi (Zarzycki, 1982).

Perubahan sol-gel dapat dibedakan dari mekanisme pengendapan. Perubahan sol-gel adalah mekanisme pembentukan jaringan partikel tiga dimensi yang berlangsung terus menerus membentuk suatu rangkaian. Partikel koloid akan mengendap apabila ada gaya aktif yang dapat menimbulkan penggumpalan seperti garam, kation logam khususnya yang polivalent (Zarzycki, 1984).

### 3. Metode Metalurgi Serbuk

Secara prinsip pada umumnya terdapat dua metode utama yang digunakan dalam membuat magnet. Pertama menggunakan teknologi pengecoran atau pelelehan, dan yang kedua adalah dengan menggunakan teknologi metalurgi serbuk (Goldman, 1991). Reproduksi magnet dengan pengecoran biasanya menghasilkan bahan magnet yang lebih baik, tetapi dalam beberapa prosesnya memerlukan energi yang sangat panas sehingga dipandang tidak efisien.

Pada produksi dengan teknologi metalurgi serbuk, meski sifat kemagnetan yang diperoleh bukan yang tertinggi, tetapi dalam pengerjaannya lebih mudah dan lebih efisien. Dalam prakteknya pembuatan magnet dengan cara kedua ini memerlukan bahan dasar berupa serbuk yang berukuran sangat kecil, yaitu dalam orde micrometer ( $10^{-6}$  m). Ukuran serbuk sekecil ini diperlukan agar komponen-komponen pembentuk bahan magnet dapat saling berdeposisi (bereaksi) ketika bahan mengalami pemanasan (kalsinasi). Sebagaimana yang dilakukan oleh beberapa peneliti, penyediaan serbuk bahan magnetik yang halus biasanya dilakukan dengan menggunakan mesin *ball milling*. Misalnya yang dilakukan oleh Arie (2003), Ridwan (2003), Sudirman (2002), dan lain-lain.

Teknologi metalurgi serbuk adalah teknik pembuatan logam dengan bahan dasar berupa serbuk halus yang kemudian dipress dalam satu cetakan dan kemudian disinter dibawah titik cairnya. Diantara kelebihan metode metalurgi serbuk adalah dapat menangani bahan yang tidak dapat atau sukar diproses dengan jalan mencairkannya. Selain itu metode ini merupakan metode pemrosesan yang lebih murah dengan kualitas yang lebih baik.

#### **2.4.Cult**

*Cult* adalah serpihan kaca yang sangat kecil. Kaca merupakan benda *amorf*, biasanya anorganik, dibentuk melalui proses pemadatan dari peleburan tanpa kristalisasi. Kaca kadang-kadang dapat dianggap sebagai cairan yang sangat kental (viskos) karena bukan kristalin atau *amorf*. Akan tetapi hanya beberapa jenis cairan dapat membentuk kaca. Pada suhu yang tinggi, kaca merupakan cairan sejati. Pada fase cair ini struktur dari bahan-bahan anorganik belum beraturan dan atom-atomnya selalu bergerak terus menerus.

#### **2.5.Isolator Listrik**

Bahan isolasi berguna sebagai suatu penyekat antara dua buah penghantar yang mempunyai perbedaan tegangan, diaman didalam bahan ini elektron terikat kuat pada atom nukleusnya, sehingga konduksi oleh elektron tidak akan terjadi.

Isolator listrik merupakan suatu alat penting yang digunakan pada jaringan listrik. Berdasarkan kegunaannya, isolator mempunyai dua fungsi, yaitu :

a. Fungsi kelistrikan

Sebagai penyekat arus listrik, sehingga arus listrik tidak merambat pada benda lain selain jaringan yang sudah ditentukan.

b. Fungsi mekanik

Sebagai tempat bertambatnya konduktor, yang akan melindungi dari berbagai kendala di lapangan seperti: perubahan cuaca, perubahan suhu, hujan, angin dan sebagainya, dalam waktu yang cukup lama.

## 2.6. Tembaga

### Copper (II)oxide

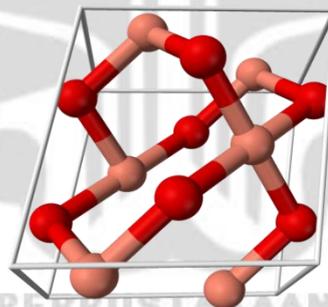
Copper (II)oxide atau Cupric oxide ( CuO) merupakan senyawa yang terdiri dari Cu dan O, dalam senyawa mineral CuO atau tenorite.

Tabel 2.2 Sifat intrinsik CuO

Struktur Kristal	Monoklinik	
Paramater kisi	a = 4,6837 Å	$\alpha = 90^\circ$
	b = 3,4266 Å	$\beta = 99,54$
	c = 5,1288 Å	$\gamma = 90^\circ$
Energi gap	1,2 eV, tidak tembus cahaya	
Massa Molar	79,545 gram/mol	
Kerapatan	6,31 gram/cm <sup>3</sup>	
Titik leleh	1201° C + (1474K)	
Resistivitas	10 <sup>3</sup> Ohm/cm	

CuO merupakan senyawa keramik yang paling sederhana yang terdiri dari atom logam dan non-logam dalam jumlah yang sama. Seperti halnya keramik pada umumnya ikatan CuO terbentuk oleh ikatan ion dan kovalen. Ikatan ion CuO, dua elektron dipindahkan dari atom Cu ke atom O sehingga menghasilkan kation ( $\text{Cu}^{2+}$ ) dan anion ( $\text{O}^{2-}$ ). Ikatan kovalen CuO dimana pada hal ini elektron valensi dipakai bersama dan terjadi pembagian elektron valensi.

Senyawa CuO diperoleh dari hasil pemanasan senyawa Copper (II) nitrat ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ), Copper(II) hydroxide ( $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ) atau Copper(II) carbonat ( $\text{CuCO}_3$ ) seperti yang ditunjukkan pada persamaan reaksi dbawah ini :



Gambar 2.1. Struktur Kristal Copper (II)oxide



Gambar 2.2. Serbuk Copper (II) oxide

## Kegunaan Tembaga

### 1. Logam Tembaga

Kegunaan : (campuran) untuk membuat perunggu (campuran 90% tembaga dan 10% timah) dan monel (campuran 70% nikel dan 30% tembaga) serta untuk kabel dan komponen berbagai alat elektronik.

### 2. Senyawa Tembaga

#### a. Tembaga (II) Oksida ( CuO)

Kegunaan: sebagai insektisida, bahan baterai, bahan penyepuh dan bahan pewarna hitam untuk keramik, bahan gelas, porselen dan rayon.

#### b. Tembaga (II) Sulfat (CuSO<sub>4</sub>)

Kegunaan: antilumut pada kolam renang dan memberikan warna biru pada air, pengawet kayu, penyepuhan dan zat aditif dalam radiator.

#### c. Tembaga (II) Klorida (CuCl<sub>2</sub>)

Kegunaan: pewarna keramik dan gelas, pabrik tinta dan fotografi serta pengawet kayu dan katalis.

## 2.7. Sintering

*Sintering* adalah suatu proses pembakaran keramik setelah melalui proses pencetakan sehingga diperoleh suatu produk keramik yang kuat dan lebih padat. Suhu pembakaran pada proses *sintering* sangat tergantung sekali dengan jenis bahan keramik, umumnya disekitar 80-90% dari titik lebur campuran bahan baku yang digunakan. Selama berlangsungnya proses *sintering* akan terjadi pengurangan pori, penyusutan dan perubahan ukuran butir. Terjadinya pengurangan pori dan pertumbuhan butir (*grain growth*) selama proses *sintering* akibat proses difusi diantara butir. Jenis proses difusi akan memberikan efek terhadap perubahan sifat-sifat fisis yaitu perubahan densitas, pororsitas, penyusutan dan ukuran butir.

Faktor-faktor yang menentukan proses dan mekanisme *sintering* antara lain: jenis bahan, komposisi, bahan pengotornya dan ukuran partikel. Proses *sintering* dapat berlangsung apabila:

1. Adanya perpindahan materi diantara butiran yang disebut proses difusi
2. Adanya sumber energi yang dapat mengaktifkan transfer materi, energi tersebut digunakan untuk menggerakkan butiran hingga terjadi kkontak dan ikatan yang sempurna.

Energi untuk menggerakkan proses *sintering* disebut gaya dorong (*driving force*) yang ada hubungannya dengan energi permukaan butiran ( $\gamma$ ). Gaya dorong tersebut dapat diilustrasikan dari dua buah bola yang berukuran sama yang saling kontak dengan ukuran kontak. Gaya dorong ( $\sigma$ ) untuk terjadinya kontak

tersebut dapat bersifat tekan bila lekukan kontak (*neck*) tersebut cembung dan bersifat tarik bila lekukan kontak (*neck*) tersebut.

## 2.8.Sifat-sifat kaca

1. Massa jenis kaca berkisar antara 2 hingga 8,1 g/cm<sup>3</sup>.
2. Kekuatan tekannya 6000 hingga 21000 kg/cm<sup>2</sup>.
3. Kekutan tariknya 1 hingga 300 kg/cm<sup>2</sup>. Karena kekuatan tariknya relatif kecil, maka kaca adalah bahan yang regas. Walaupun kaca adalah substansi berongga, tetapi tidak mempunyai titik leleh yang tegas, karena pelelehannya adalah perlahan-lahan ketika suhu pemanasan dinaikkan.
4. Titik pelembekan kaca berkisar antara 500 hingga 1700° C. Makin sedikit kandungan SiO<sub>2</sub> makin rendah titik pelembekan kaca. Demikian pula halnya dengan muai panjang ( $\alpha$ ), makin banyak kadar SiO<sub>2</sub> yang dikandungnya akan makin kecil  $\alpha$  nya.
5. Muai panjang untuk kaca berkisar antara 5,5. 10<sup>-7</sup> hingga 150. 10<sup>-7</sup> per derajat celsius. Nilai dari angka muai panjang adalah sangat penting bagi suatu kaca dalam hubungannya dengan kemampuan kaca menahan perubahan suhu. Piranti dari kaca yang dipanaskan atau didinginkan secara tiba-tiba akan meregang. Hal ini disebabkan distribusi suhu yang tidak merata pada lapisan luarnya dan keadaan tersebut menyebabkan piranti retak. Jika kekuatan tarik piranti kaca lebih rendah dari kekuatan tekannya, maka pendinginan yang mendadak pada permukaannya akan lebih memungkinkan terjadinya keretakan dibandingkan dengan pemanasan yang tiba-tiba. Kaca silika jenis Red-Hot

akan lebih aman dalam hal pendinginan atau pemanasan tiba-tiba karena kaca jenis ini mempunyai  $\alpha$  yang sangat rendah. Piranti kaca yang dindingnya tipis, ketahanannya terhadap perubahan panas mendadak lebih baik dibandingkan dengan piranti kaca yang dindingnya tebal. Hal ini karena dipengaruhi faktor kerataan pemuaian permukaan kaca bagian luar dan dalam dinding piranti adalah tidak sama. Kaca yang digunakan untuk suatu perangkat dan pada perangkat tersebut terdapat juga logam, misalnya : lampu pijar dan tabung sinar katode, maka nilai  $\alpha$  nya harus disesuaikan, yaitu harus rendah karena selalu bekerja pada suhu yang cukup tinggi. Dengan demikian, maka tidak terjadi keretakan di bagian kacanya pada waktu perangkat tersebut digunakan.

Kemampuan larut kaca terhadap bahan lain akan bertambah sesuai dengan kenaikan suhunya. Kaca yang mempunyai kekuatan hidrolitik rendah ketahanan permukaannya pada media yang lembab adalah kecil. Kaca silika mempunyai ketahanan hidrolitik paling tinggi. Kekuatan hidrolitik akan sangat berkurang jika kaca diberi alkali. Pada kenyataannya, kaca silika adalah tidak peka terhadap asam kecuali asam fluorida.

Pada fabrikasi kaca, asam fluorida digunakan untuk membuat kaca embun. Pada umumnya kaca tidak stabil terhadap pengaruh alkali. Sifat-sifat elektrik dari kaca dipengaruhi oleh komposisi dari kaca itu sendiri. Kaca yang digunakan untuk teknik listrik pada suhu normal diperlukan syarat- syarat antara lain : resistifitas berkisar antara 10<sup>8</sup> hingga 10<sup>17</sup>  $\Omega$ -cm, permitivitas relatif er berkisar antara 3,8 hingga 16,2, kerugian sudut dielektriknya 0,003 hingga 0,01, tegangan break-down 25 hingga 50 kV/mm.

Kaca silika mempunyai sifat kelistrikan yang paling baik. Pada suhu kamar, besarnya resistivitas adalah  $10^7 \Omega\text{-cm}$ ,  $\epsilon_r$  3,8 dan sudut dielektriknya pada 1 MHz adalah 0,0003. Jika kaca silika ditambahkan natrium atau kalium, maka resistivitasnya akan turun, sudut dielektriknya naik sedikit. Sering kali oksida logam alkali ditambahkan pada pembuatan kaca dengan maksud agar sifat-sifat kaca menjadi lebih baik. Oksida-oksida tersebut dimasukkan ke dalam kaca sebagai pemurnian bahan-bahan mentah. Keberadaan natrium dalam kaca adalah lebih tidak menguntungkan dari kalium. Karena ion Na adalah sangat kecil ukurannya dan sangat mudah bergerak di dalam medan listrik. Itulah sebabnya mengapa Na dapat menambah konduktivitas kaca. Kaca yang mengandung oksida-oksida dua logam alkali yang berbeda dimungkinkan mempunyai sifat isolasi yang lebih tinggi dibandingkan jika kuantitas oksidanya hanya mengandung 1 bagian. dari kuantitas oksida dua logam (efek netralisasi atau polialkalin). Kemampuan isolasi kaca juga dapat lebih baik jika ditambah PbO atau BaO.

### **2.8.1. Densitas**

Densitas merupakan suatu ukuran massa per unit volume dan dinyatakan dalam gram per centimeter kubik ( $\text{g/cm}^3$ ) atau pound per inch kuadrat ( $\text{lb/in}^2$ ). Pengukuran densitas yang dilakukan adalah jenis densitas ruah (*bulk density*) berdasarkan metode Archimedes dimana perbedaan berat di udara dibandingkan dengan beratnya di dalam air. Persamaan untuk menghitung densitas ruah diberikan pada persamaan (2.1)

$$\rho_b = \frac{m_g}{m_b - (m_g - m_{kw})} \rho_{air} \quad (2.1)$$

dengan  $\rho_b$  merupakan *bulk density* ( $\text{g/cm}^3$ ),  $\rho$  air merupakan densitas air ( $1\text{g/cm}^3$ ),  $m_0$  merupakan massa basah (g),  $m_k$  merupakan massa kering (g),  $m_g$  merupakan massa ketika beban digantung dalam air (g) dan  $m_{kw}$  merupakan massa kawat penggantung (g).

### 2.8.2. Resistivitas

Resistivitas adalah besarnya tegangan yang diberikan terhadap luas penampang suatu bahan tertentu dibagi besarnya arus yang mengalir dan panjang bahan tersebut.

$$\rho = \frac{RA}{\ell} \quad (2.2)$$

dengan  $\rho$  merupakan resistivitas bahan ( $\Omega\text{cm}$ ),  $\ell$  merupakan panjang bahan (cm), R merupakan hambatan bahan ( $\Omega$ ), dan A merupakan luas penampang bahan ( $\text{cm}^2$ ).

Resistivitas listrik suatu bahan merupakan ukuran kemampuan bahan tersebut untuk *men-transport* muatan listrik di bawah pengaruh medan listrik. standar isolator listrik tegangan rendah berdasarkan resistivitasnya memiliki resistivitas  $10^7\Omega\text{cm}$  dan untuk isolator listrik tegangan tinggi maka resistivitasnya harus lebih besar dari  $10^{14}\Omega\text{cm}$ .

Pada penelitian ini digunakan prinsip hukum ohm dalam melakukan perhitungan. Hukum Ohm semulanya terdiri atas dua bagian. Bagian pertama tidak lain ialah definisi hambatan yakni  $V = IR$ . Sering hubungan ini dinamai hukum ohm. Akan tetapi Ohm juga menyatakan bahwa R adalah suatu konstanta yang tidak tergantung pada V maupun I. bagian kedua ini hukum tidak terlalu benar seluruhnya. Hubungan  $V=IR$  dapat diterapkan pada resistor apa saja di mana V adalah beda potensial antara kedua ujung hambatan dan I adalah arus yang mengalir di dalamnya, sedangkan R adalah hambatan atau resistansi resistor tersebut.

Hukum ohm berbunyi “kuat arus yang mengalir dalam suatu penghantar (hambatan) besarnya sebanding dengan beda potensial (tegangan) antara ujung-ujung penghantar tersebut”.

### **2.8.3. Sifat Mekanik**

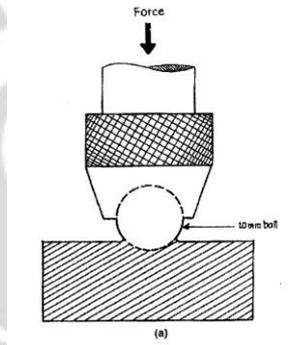
Kekerasan adalah ketahanan yang diberikan oleh bahan terhadap penekanan ke dalam yang tetap, disebabkan oleh benda tekan yang berbentuk tertentu karena pengaruh gaya tertentu. Penekanan kecil (atau tidak dalam) menunjukkan kekerasan yang besar.

## **2.9 Pengujian dan Karakterisasi**

Umumnya pengujian kekerasan menggunakan 4 macam metode pengujian kekerasan, yakni : Brinell, Vickers, Rockwel dan micro Hardness.

## 1. Metode Brinell

Metode pengujian kekerasan ini dilakukan dengan memakai bola baja yang keras (*hardened steel ball*) dengan beban dan waktu indentasi tertentu, sebagaimana yang ditunjukkan oleh gambar. Hasil penekanan adalah jejak berbentuk lingkaran bulat, yang harus dihitung diameternya di bawah mikroskop khusus pengukur jejak.



Gambar 2.3. Skematis prinsip indentasi dengan metode Brinell

Untuk pengukuran kekerasan batako mengacu pada SNI-07-0905-1989 dan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$BHN = \frac{2P}{(\pi D) \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \quad (2.3)$$

dimana :

$BHN$  = Kekerasan Brinell (N/m<sup>2</sup>)

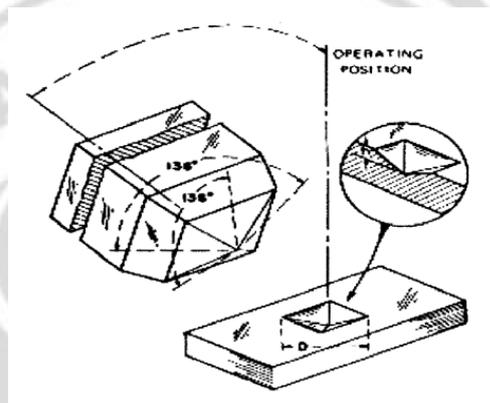
$P$  = Beban yang diberikan (N)

$D$  = Diagonal indenter (m)

$d$  = Diameter jejak (m)

## 2. Metode Vickers

Metode pengujian kekerasan ini menggunakan indentor intan berbentuk piramida dengan sudut 136°, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Skematis prinsip indentasi dengan metode Vickers

Prinsip pengujian adalah sama dengan metode Brinnel, walaupun jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak. Untuk pengukuran kekerasan batako dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$VHN = \frac{1.854P}{d^2} \quad (2.4)$$

dimana :

$VHN$  = Kekerasan Vickers (N/m<sup>2</sup>)

$P$  = Beban yang diberikan (N)

$d$  = Diameter jejak (m)

### 3. Uji Kekerasan Rockwell

Uji kekerasan *rockwell* ini juga didasarkan kepada sebuah *indentor* dengan gaya tekan tertentu ke permukaan yang rata dan bersih dari suatu logam yang diuji kekerasannya. Setelah gaya tekan dikembalikan ke gaya *minor* maka yang dijadikan dasar perhitungan nilai kekerasan *rockwell* bukanlah hasil pengukuran diameter ataupun diagonal bekas lekukan tetapi justru dalamnya bekas lekukan yang terjadi itu. Inilah perbedaan cara *rockwell* dibandingkan dengan cara pengujian kekerasan lainnya.

Pengujian *rockwell* yang umumnya biasa dipakai ada beberapa jenis yaitu HRA, HRB, HRC. HR itu sendiri merupakan suatu singkatan dari kekerasan *rockwell* atau *rockwell hardness number* dan kadang-kadang disingkat dengan huruf R saja. Pengujian kekerasan dengan metode *rockwell* ini diatur berdasarkan standar DIN 50103. Tingkat skala kekerasan menurut metode *rockwell* adalah berdasarkan pada jenis indentor yang digunakan pada masing-masing skala. Dalam metode Rockwell ini terdapat dua macam indentor yang ukurannya bervariasi, kedua jenis indentor itu adalah:

- a. Kerucut intan dengan sudut  $120^\circ$ , dikenal pula dengan “*Rockwell cone*”.
- b. Bola baja dengan berbagai ukuran, dikenal pula dengan “*Rockwell*”.

Untuk cara pemakaian skala ini, lebih dahulu ditentukan dan dipilih ketentuan angka kekerasan maksimum yang boleh digunakan oleh skala tertentu. Jika pada skala tertentu tidak tercapai angka kekerasan yang akurat, maka kita tentukan skala lain yang dapat menunjukkan angka kekerasan yang jelas. Sebagaimana rumus tertentu, maka skala memiliki standar atau acuan.

Untuk mendapatkan nilai  $HR_B$  harus menggunakan sebuah *indentor* berupa bola baja yang disepuh dengan ukuran  $\varnothing 1/16''$  dan ini digunakan untuk jenis logam yang tidak mendapatkan perlakuan pengerasan sebelumnya (sepuh) dan untuk semua jenis *non-ferrous* dalam kondisi padat. Sedangkan untuk mendapatkan nilai  $HR_C$  digunakan sebuah indentor kerucut diamond yang memiliki sudut puncak  $120^\circ$  yang ujungnya dibundarkan dengan jari-jari 0.2 mm dan dipakai untuk menentukan kekerasan baja-baja yang telah dikeraskan. Kerucut *diamond* biasa disebut juga "*brale*". Bahan-bahan atau perlengkapan yang dipakai untuk pengujian kekerasan *rockwell* adalah sebagai berikut:

1. Mesin pengujian kekerasan *rockwell*.
2. *Indentor (penetrator)* berupa bola baja yang disepuh dengan ukuran  $\varnothing 1/16''$  dan kerucut intan dengan besar sudut  $120^\circ$ .
3. Mesin gerinda.
4. Amplas kasar dan halus.
5. Benda uji (*test specimen*).

**a. Alat Uji Kekerasan *Rockwell***

Alat yang digunakan untuk melakukan uji kekerasan suatu logam yang dilakukan dengan menggunakan uji kekerasan *rockwell* digunakan alat yang bernama *Rockwell Hardness Test*. Berikut ini merupakan gambar beserta data dari mesin uji kekerasan *rockwell*.

Nama alat : *Rockwell Hardness Test*

Merk : AFFRI seri 206.RT-206 RTS

Loading : *Maximum* 150 KP dan *Minimum* 60 KP

Spesifikasi :HR C Load : 150 KP

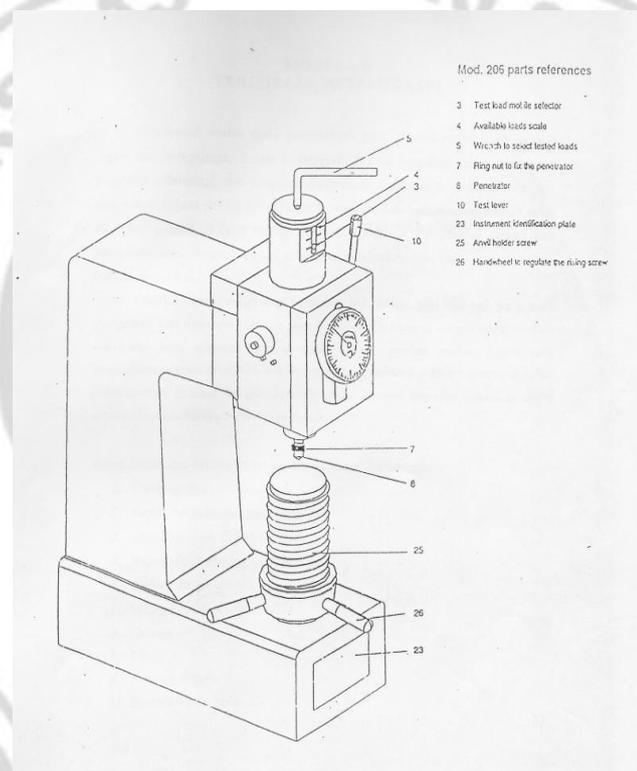
indenter : Kerucut Diamond 120°

HR B Load : 100 KP

Indenter : *Stell Ball* Ø 1/16"

HR A Load : 60 KP

Indenter : Kerucut Diamond 120°



Gambar 2.5. Mesin Uji kekerasan Rockwell

### b. Cara Penggunaan Mesin Rockwell

Mesin uji kekerasan *rockwell* (Rockwell hardness test) harus dipelajari dulu secara seksama. Mesin yang ada merupakan mesin yang digunakan untuk uji

*Rockwell* HR<sub>A</sub>, HR<sub>B</sub>, HR<sub>C</sub>, HR<sub>D</sub>, HR<sub>F</sub>, HR<sub>G</sub> selanjutnya sebelum dimulai pengujian indentor bola baja maupun kerucut diamond. Setelah indentor terpasang, letakan specimen yang akan diuji kekerasannya ditempat yang tersedia dan menyetel beban yang akan diuji kekerasannya ditempat yang tersedia dan menyetel beban yang akan digunakan untuk proses penekanan. Nilai kekerasan dapat dilihat pada jarum yang terpasang pada alat ukur berupa *dial indicator pointer*.

## 2.9. Pengujian dan Karakterisasi

### 2.9.1. XRD (*X-Ray Diffraction*)

XRD digunakan untuk mengetahui struktur kristal lapisan tipis. XRD menggunakan prinsip Hukum Bragg. Hukum Bragg menyatakan bila atom-atom pada kristal ditumbuk oleh partikel yang ukurannya seorde dengan ukuran atom, maka partikel tersebut akan dipantulkan dengan sudut yang tidak dapat dipastikan arahnya. Oleh sebab itu, yang terjadi adalah peristiwa hamburan atau difraksi dengan menganggap kristal sebagai pusat-pusat hamburan yang menempati titik-titik kisi. Difraksi akan saling menguatkan jika memenuhi persamaan Bragg sebagai berikut:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2.5)$$

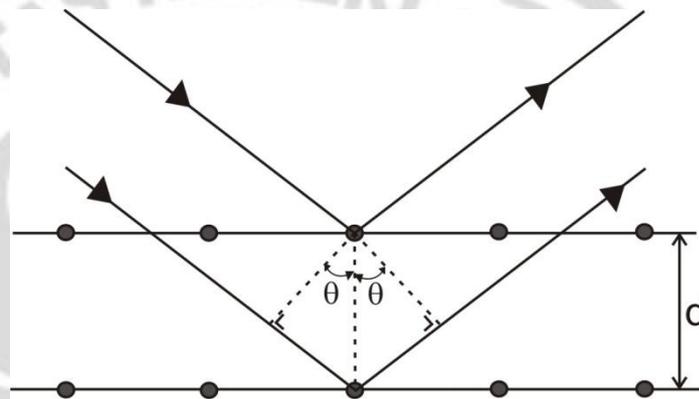
dengan  $n$  adalah orde difraksi,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X,  $d$  adalah jarak antar atom bahan dan  $\theta$  merupakan sudut difraksi. Untuk menentukan konstanta kisi ( $a$  dan  $c$ ) digunakan persamaan:

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$$

$$d = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{3} \left( \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \left( \frac{l}{c} \right)^2}}$$

$$\frac{c}{a} = \sqrt{\frac{8}{3}} \quad (2.6)$$

dengan  $h$ ,  $k$ , dan  $l$  merupakan orientasi tertinggi yang dihasilkan. Skema difraksi sinar-X pada karakterisasi XRD diilustrasikan pada Gambar



Gambar 2.6. Difraksi sinar-X pada karakterisasi XRD

### 2.9.2. Uji Sifat Listrik

Pengukuran sifat listrik menggunakan *power supply* dan multimeter yang dirangkai menggunakan rangkaian tertutup agar diperoleh arus dari tegangan listrik yang diberikan dengan tegangan maksimum 6 Kv dan arus disesuaikan dengan yang dibutuhkan minimum 200  $\mu$ A. Pengukuran hambatan sampel dapat dicari dengan rumus

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.7)$$

$$A = \Pi r^2 \quad (2.8)$$

Setelah R dan A diketahui dapat dihitung hambatan jenis bahan ( $\rho$ ) dengan rumus:

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (2.9)$$

dengan R = hambatan

$\rho$  = hambatan jenis

$\ell$  = panjang bahan yang terlewati arus

A = luas penampang bahan

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.10)$$

dengan  $\sigma$  = konduktivitas

$\rho$  = resistivitas



### 2.9.3. Uji Kekerasan

#### Uji Kekerasan *rockwell*



Gambar 2.7. Uji kekerasan dengan metode *rockwell*

Metode yang paling umum digunakan karena sederhana dan tidak menghendaki keahlian khusus. Digunakan kombinasi variasi indenter dan beban untuk bahan metal dan campuran mulai dari bahan lunak sampai keras.

indenter : - bola baja keras

ukuran 1/16 , 1/8 , 1/4 , 1/2 inci (1,588 ; 3,175 ; 6,350 ; 12,70 mm)

- intan kerucut

Hardness number (nomor kekerasan) ditentukan oleh perbedaan kedalaman penetrasi indenter, dengan cara member beban minor diikuti beban major yang lebih besar.

Berdasarkan besar beban minor dan major, uji kekerasan Rockwell dibedakan atas 2:

- Rockwell
- Rockwell superficial → bahan tipis

Uji kekerasan rocowell :

- Beban minor : 10 kg
- Beban major : 60, 100, 150 kg

Uji kekerasan Rockwell superficial :

- Beban minor : 3kg
- Beban major : 15, 30, 45 k

Skala kekerasan

Tabel 2.3. Skala kekerasan Rockwell

Simbol	Indenter	Beban Major (kg)
A	Intan	60
B	Bola 1/16 inchi	100
C	Intan	150
D	Intan	100
E	Bola 1/8 inchi	100
F	Bola 1/16 inchi	60
G	Bola 1/16 inchi	150
H	Bola 1/8 inchi	60
K	Bola 1/8 inchi	150

Tabel 2.4. Rockwell superficial

Simbol	Indenter	Beban Major(kg)
15 N	Intan	15
30 N	Intan	30
45 N	Intan	45
15 T	Bola 1/16 inchi	15
30 T	Bola 1/16 inchi	30
45 T	Bola 1/16 inchi	45
15 W	Bola 1/8 inchi	15
30 W	Bola 1/8 inchi	30
40 W	Bola 1/8 inchi	45

Contoh : skala 80 hrb : kekerasan Rockwell 80 skala B

kekerasan superficial 60

pada skala 30 W.

maksimum skala : 130

jika skala kekerasan < 20 atau > 100 → hasil kurang teliti

→ gunakan skala dibawahnya atau di atasnya.

#### 2.9.4. *Rapat massa*

Massa jenis (rapat massa) suatu zat adalah massa tiap satuan volume atau dapat dirumuskan:

$$\rho = M/V \quad (2.11)$$

Dengan  $\rho$  = massa jenis ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

$M$  = massa zat ( $\text{Kg}$ )

$V$  = volume zat ( $\text{m}^3$ )

Jika massa dan volume dapat diketahui dengan cara menimbang zat itu dengan timbangan atau neraca teknis sehingga besaran massa dapat diukur langsung dengan alat ukurnya. Untuk mengukur langsung volume zat padat dapat dilakukan dengan memasukkan zat padat itu ke dalam gelas ukur yang berisi zat cair. Apabila zat itu tenggelam seluruhnya maka perubahan penunjukan volume itu dari zat padat tersebut.

Tetapi untuk mengukur volume zat padat besarnya tidak selalu dapat diukur langsung seperti itu karena terdapat zat padat yang massa jenisnya lebih kecil dari zat cair sehingga kalau zat padat tersebut dimasukkan ke dalam zat cair akan mengapung atau melayang ( tidak tenggelam seluruhnya). Untuk mengukur volume zat padat yang teratur bentuknya (kontinu) dapat pula dilakukan secara tidak langsung dengan mengukur perubah (variabel) yang membanggunya.

Volume balok dapat juga dilakukan dengan cara mengukur panjang lebar dan tinggi dari balok itu sehingga :

$$V_{\text{balok}} = p \times \ell \times t \quad (2.12)$$

Dengan p = panjang balok

$\ell$  = lebar balok

t = tinggi balok

Sedangkan volume silinder pejal dapat juga dilakukan dengan mengukur diameter dan panjang silinder itu sehingga:

$$\begin{aligned} V_{\text{silinder}} &= \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times p \\ &= \frac{1}{4} \pi d^2 \cdot p \end{aligned} \quad (2.13)$$

Dengan d = diameter silinder

p = panjang silinder

Untuk volume bola pejal dapat juga dilakukan dengan mengukur diameter bola itu sehingga:

$$V_{\text{bola}} = \left(\frac{4}{3}\right) \pi \left(\frac{d}{2}\right)^3 \quad (2.14)$$

Dengan d = diameter bola.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian**

##### **3.1.1. Lokasi Penelitian**

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Eksperimen dilakukan di tempat yang berbeda-beda, yaitu :

1. Laboratorium Kemagnetan bahan Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang sebagai tahap preparasi bahan dan fabrikasi pembuatan sampel kaca dari mulai tahap pembuatan serbuk *cult* dengan memecah kaca dan menghaluskan hingga menjadi serbuk menggunakan *ball milling*. Tahap pencampuran bahan (doping) seperti menggunakan metode metalurgi serbuk.
2. Karakterisasi struktur bahan (XRD) di Laboratorium Universitas Sebelas Maret (UNS) sebagai tempat uji struktur sampel bahwa sampel mempunyai struktur.
3. Uji kekerasan bahan menggunakan *rockwell* di POLINES.
4. Menghitung rapat massa sampel ( $\rho$ ) dari massa dan volume sampel.
5. Karakterisasi sifat listrik dilakukan di Laboratorium Fisika Magnetik Universitas Negeri Semarang. Pada tahap ini menggunakan rangkaian tertutup menggunakan power supply dan multimeter.

### 3.1.2. Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada tanggal 29 Juli 2011 sampai dengan 26 Agustus 2011 di Laboratorium Fisika Magnetik Universitas Negeri Semarang.

## 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

### 3.2.1 Alat

- a. Timbangan digital.
- b. *Furnice Thermolyne*, digunakan untuk *sintering* bahan pembuat kaca keramik.
- c. wadah dari tanah liat yang telah dicetak atau batu bata halus yang di bor sesuai ukuran yang dibutuhkan.
- d. Cetakan dan alat pres.
- e. Jangka sorong digital.
- f. Karakterisasi sifat listrik kaca keramik *cult* menggunakan multimeter dan *power supply* dilakukan di Laboratorium Fisika Magnetik Universitas Negeri Semarang.
- g. Mengukur diameter dan panjang bahan menggunakan jangka sorong digital di Laboratorium Fisika Magnetik Universitas Negeri Semarang (UNNES).
- h. Uji sifat mekanik bahan menggunakan *Rockwell* di Fakultas Teknik Mesin POLINES.
- i. Karakterisasi struktur Kristal bahan menggunakan XRD di Universitas Negeri Sebelas Maret (UNS).

### 3.2.2 Bahan

- a. *Cult* kaca jendela yang telah diserbukan
- b. Copper (II) oxide (bahan PA)
- c. *PVA+Aquades*

### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1. Penyiapan Bahan

Ada beberapa tahapan penting yang mempengaruhi sifat-sifat akhir produk kaca yaitu tahapan pra-kompaksi, tahapan kompaksi dan tahapan *sintering*. Tahapan pra kompaksi merupakan tahapan penyiapan bahan sebelum dimasukkan ke dalam cetakan. Tahapan penyiapan bahan ini meliputi tahap penggilingan

(Gambar 3.1 ) dan pengukuran komposisi sampel (Gambar 3.2).



Gambar 3.1. *ball milling*



Gambar 3.2. timbangan digital

### 3.3.2. Homogenisasi

Pada penelitian ini, pencampuran bahan dilakukan dengan menggunakan *mortal*, media pencampuran yang digunakan adalah PVA. Proses ini penting dilakukan untuk campuran material bahan baku kaca dengan pengaturan komposisi dan ukuran butir hingga homogen.

komposisi dilakukan dengan variasi yang berbeda-beda yaitu:

<i>Cult</i>	doping
99%	1%
98%	2%
97%	3%
96%	4%
95%	5%

Sebelum komposisi (*cult* dan Copper(II)oxide) dicampur, terlebih dahulu bahan komposisi tersebut dihaluskan agar mempermudah dalam proses pencampuran.

Metode penghalusan *cult* dilakukan dengan menggunakan *ball-mill* selama berkali-kali hingga halus yaitu 4-5 kali *milling* dengan waktu *milling* 15 menit *milling* 10 menit istirahat dan begitu seterusnya hingga halus sampai 4 atau 5 kali *milling*. *Ball-milling* terdiri dari wadah bahan baku yang berbentuk silinder tertutup, terbuat dari keramik yang diisi dengan media penghalus berbentuk bola-bola atau silinder yang juga terbuat dari keramik.

Selain *cult*, digunakan adalah Copper(II)oxide sebagai *doping*. Penggunaan Copper (II)oxide dimaksudkan agar dapat mengetahui pengaruh penambahan *doping* terhadap nilai resistivitas dan konduktivitas bahan. Dimana penambahan *doping* yang nantinya akan digunakan sesuai kebutuhan *user* (pengguna) dalam aplikasi pemakaian sesuai kebutuhan. Hal ini karena Copper (II)oxide adalah golongan logam transisi jenis CU (tembaga) yang sebelumnya diketahui logam yang banyak dipakai dalam bidang listrik karena harganya relatif murah dibandingkan logam transisi lain seperti emas.

### 3.3.3.Kompaksi

Proses selanjutnya merupakan proses pembentukan dengan cara menekan serbuk material (tahapan kompaksi) dengan menggunakan alat pres seperti pada Gambar 3.3. Penekanan merupakan suatu proses dimana serbuk kaca dimasukkan dalam suatu wadah berongga berbentuk lingkaran (kemudian ditekan

dengan arah uniaksial sehingga serbuk akan mengalami konsolidasi dan memiliki bentuk yang sesuai dengan cetaknya.



Gambar 3.3. Alat pres untuk pencetakan

#### 3.3.4. *Sintering*

*Sintering* adalah proses pemadatan dari sekumpulan serbuk pada temperatur tinggi, mendekati titik leburnya, sehingga terjadi perubahan struktur mikro seperti pengurangan jumlah dan ukuran pori, pertumbuhan butir (*grain growth*), peningkatan densitas, dan penyusutan volume. *Sintering* merupakan tahapan pembuatan keramik yang sangat penting dan menentukan sifat-sifat keramik yang dihasilkan.

Faktor yang menentukan proses dan mekanisme *sintering* antara lain jenis bahan, komposisi, bahan pengotor dan ukuran partikel. Proses *sintering* dapat berlangsung apabila adanya transfer materi diantara butiran (proses difusi) dan adanya sumber energi yang dapat mengaktifkan transfer materi yang berguna

dalam menggerakkan butiran hingga terjadi kontak dan ikatan yang sempurna. Proses difus tersebut akan memberikan efek terhadap perubahan sifat fisis bahan setelah *sintering*, diantaranya densitas, porositas, serta penyusutan dan pembesaran butiran. Proses *sintering* dapat dilakukan menggunakan furnice termolyne seperti pada Gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4. Furnice termolyne

### 3.3.5. Pengujian dan Karakterisasi Sampel

#### 3.3.5.1. Karakterisasi XRD

Karakterisasi XRD digunakan untuk mengetahui struktur bahan kaca *cult* doping Copper(II)oxide. Hasil karakterisasi XRD berupa kurva difraktogram yang akan dibandingkan dengan data JCPDS untuk mengetahui orientasi puncak penambahan doping. Dari XRD tersebut dapat diketahui sampel tersebut mempunyai puncak yang mengandung *doping*, ada atau tidaknya perubahan *doping* disesuaikan dengan data yang ada dalam JCPDS dan hasil yang

menunjukkan tersebut sesuai data XRD. Analisis XRD dilakukan di Laboratorium Universitas Sebelas Maret (UNS).

Sinar X yang dihasilkan dari lucutan elektron ditembakkan ke arah sampel bahan *cult* di doping Copper (II) oxide. Elektron akan mengalami difraksi, karena bertumbukan dengan atom-atom bahan. Tiga peristiwa yang terjadi setelah tumbukan yaitu hamburan, interferensi dan difraksi. Hamburan yaitu penyerapan radiasi penumbuk dan dipancarkan kembali dengan arah yang berbeda. Interferensi adalah superposisi dari dua atau lebih gelombang yang terhambur. Difraksi adalah interferensi konstruktif dari gelombang yang terhambur. Difraksi akan saling menguatkan jika terpenuhi persamaan Bragg.

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (3.1)$$

Persamaan ini dikenal sebagai hukum Bragg. Pada kondisi eksperimen, Dengan  $n$  adalah bilangan bulat,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X,  $d$  adalah jarak antar atom bahan dan  $\theta$  merupakan sudut difraksi. Karakterisasi diperoleh dengan membandingkan hasil grafik dengan hasil dari penelitian terdahulu.

### 3.3.5.2 Sifat mekanik

Uji Kekerasan dengan Metode *Rockwell*

Sampel yang telah dibuat kemudian diuji kekerasannya menggunakan metode *rockwell*. Dari karakterisasi tersebut dapat diketahui tingkat kekerasan sampel.

### 3.3.5.3 Rapat Massa ( $\rho$ )

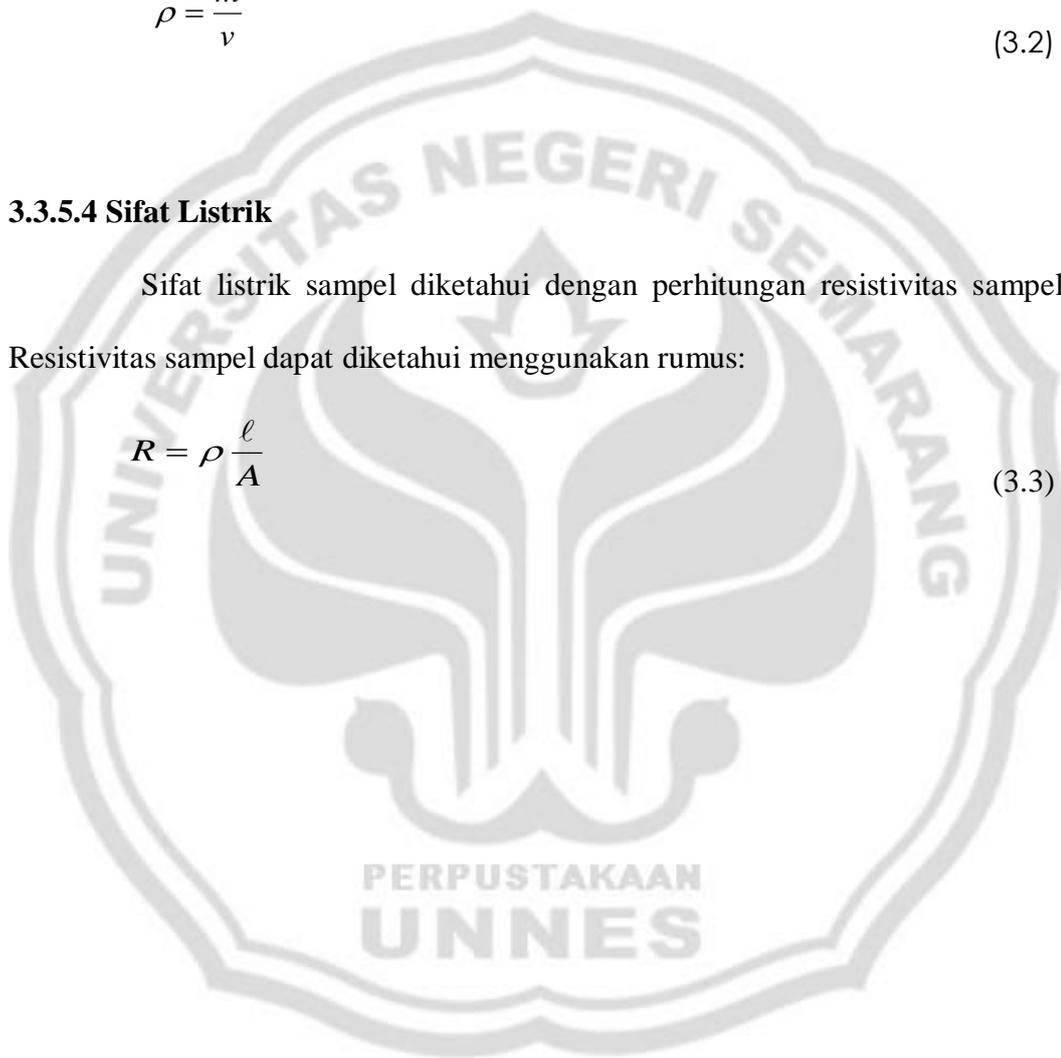
Selain uji kekerasan, sifat mekanik sampel juga dapat diketahui dengan perhitungan rapat massa. Rapat massa sampel dapat dicari menggunakan rumus:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.2)$$

### 3.3.5.4 Sifat Listrik

Sifat listrik sampel diketahui dengan perhitungan resistivitas sampel. Resistivitas sampel dapat diketahui menggunakan rumus:

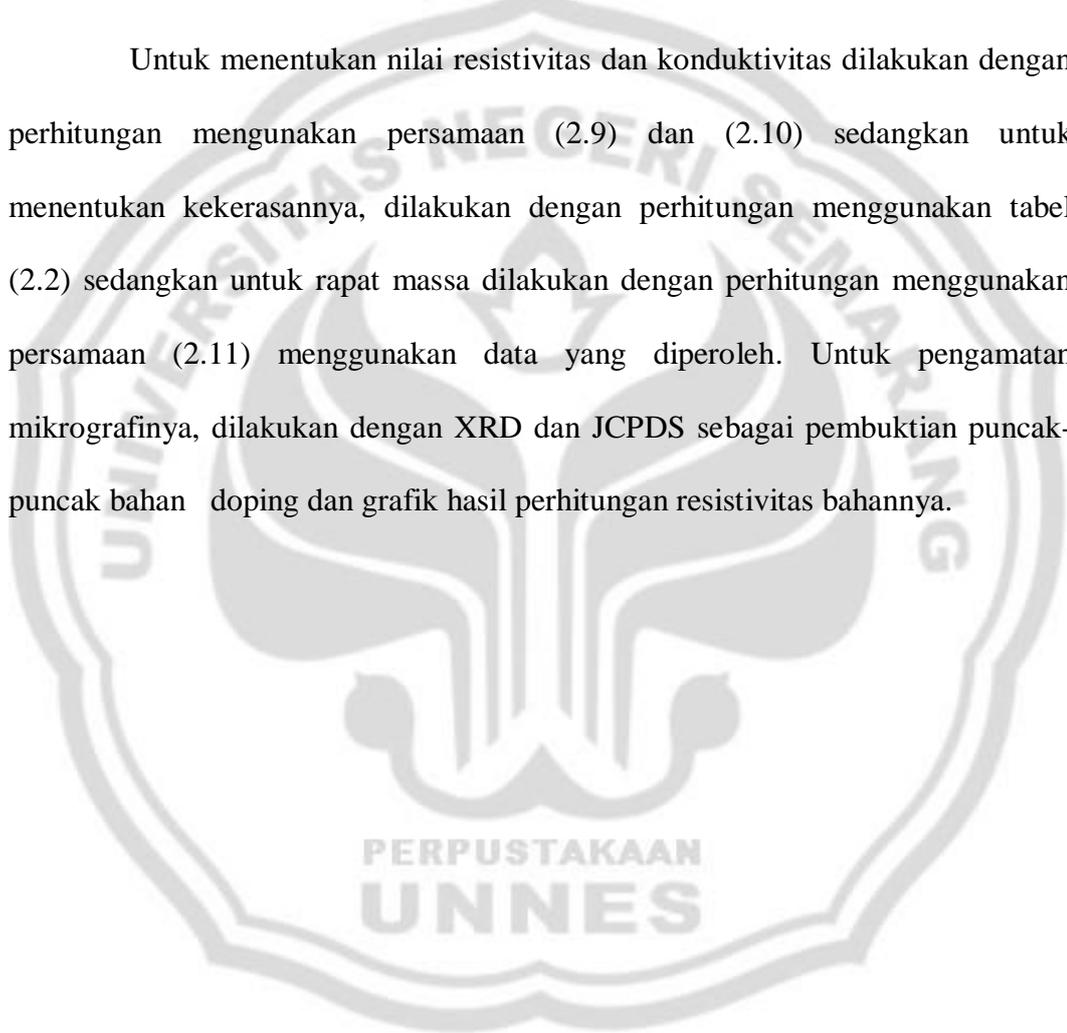
$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (3.3)$$



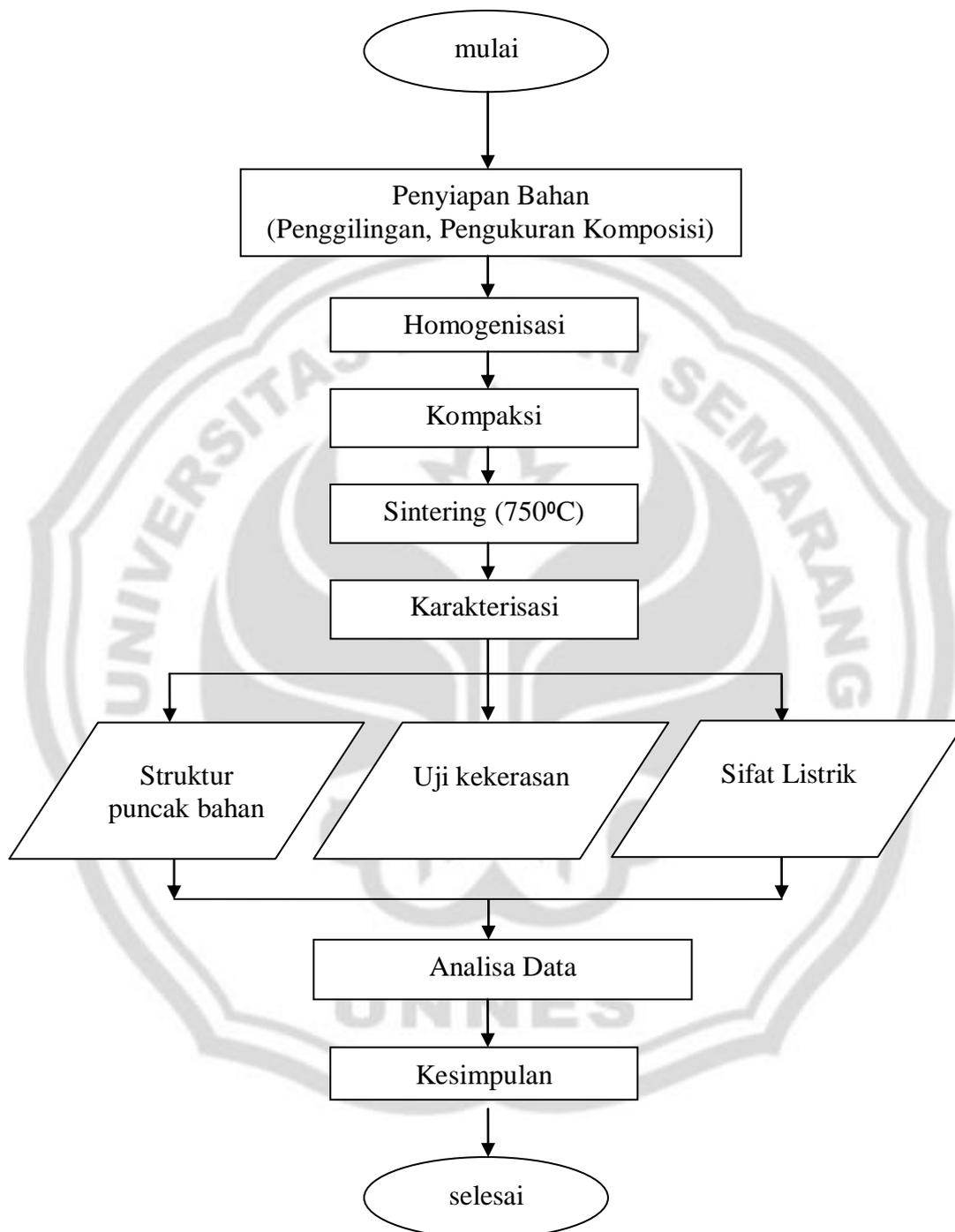
### 3.4 Analisis Data

Metode analisis data yang akan digunakan adalah perhitungan matematis dan metode grafik. Metode perhitungan matematis untuk menentukan nilai resistivitas dan konduktivitas bahan, dan perhitungan matematis untuk nilai kekerasan (metode *rockwell*), rapat massa ( $\rho$ ).

Untuk menentukan nilai resistivitas dan konduktivitas dilakukan dengan perhitungan menggunakan persamaan (2.9) dan (2.10) sedangkan untuk menentukan kekerasannya, dilakukan dengan perhitungan menggunakan tabel (2.2) sedangkan untuk rapat massa dilakukan dengan perhitungan menggunakan persamaan (2.11) menggunakan data yang diperoleh. Untuk pengamatan mikrografinya, dilakukan dengan XRD dan JCPDS sebagai pembuktian puncak-puncak bahan doping dan grafik hasil perhitungan resistivitas bahannya.



### 3.5 Alur Penelitian



Gambar 3.5. Diagram alir penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1.Deskripsi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Material Kemagnetan UNNES dengan bahan dasar *cult* yang berasal dari kaca jendela yang berwarna putih bening yang sebelumnya diserbukan dengan cara dipecah dan dihaluskan dengan menggunakan alat milling. Pada penelitian ini menggunakan metode metalurgi serbuk.

Pembuatan bahan kaca ini menggunakan *cult* dengan *doping* Copper(II)oxide. Tetapi terlebih dahulu menimbang ukuran bahan menggunakan timbangan digital sebesar 3 gram dengan variasi komposisi dengan tujuan mempermudah dalam membandingkannya. Kemudian bahan ditimbang dan dicampur dalam mortal , kedua bahan tersebut diaduk hingga merata dan homogen. Setelah pengadukan bahan merata dan homogen ditambahkan PVA  $\pm$  3 sendok spatula atau sesuai kebutuhan agar bahan saat dicetak tidak terlihat ada celah. Untuk memperoleh bentuk sampel yang baik kedua bahan yang dicampur hingga merata dan ditambah sedikit PVA tersebut dipress pada sebuah alat press dengan berat maksimal tekanan  $2,9 \times 10^5$  Kpa agar hasil cetakan rapi.

## 4.2. Karakterisasi Hasil dan Pembahasan Penelitian

### 4.2.1. Variasi Komposisi Bahan doping

Kaca jendela yang berwarna bening setelah dipecah menggunakan palu dan mortal kemudian dihaluskan dengan ball milling sebanyak 5 kali yang kemudian disaring menggunakan saringan menggunakan bahan kristik seperti pada lampiran 6. Bahan *cult* yang terbentuk dari penyerbukan kaca jendela *didoping* menggunakan CuO dengan variasi komposisi 1% sampai dengan 5% secara berurutan (perhitungan pada lampiran 1) dan ditambah PVA secukupnya, untuk mendapatkan campuran yang homogen. Selanjutnya dicetak ke dalam cetakan pembentuk, kemudian di pres menggunakan alat pres (selengkapnya lihat lampiran 7) dengan besar tekanan masing-masing  $2,9 \times 10^5$  KPa.

Setelah bahan tercetak bahan *disintering* dengan menggunakan *Furnice* dan ditaruh di dalam wadah dari batu bata yang telah dibor sebagai tempat sampel maupun menggunakan cetakan dari tanah liat dengan ukuran yang sesuai. Suhu *sintering* sama untuk masing-masing komposisi doping yaitu  $750^\circ$  C. Hasil sintering yang telah dikeluarkan menghasilkan warna seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Tabel Hasil Sintering variasi komposisi pada suhu  $750^\circ$

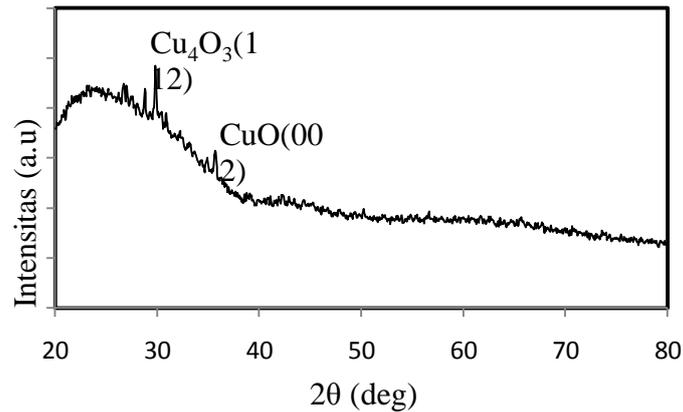
No	<i>Cult</i>	doping <i>CuO</i>	Hasil <i>sintering</i> pada suhu $750^\circ$
1	99%	1%	Menghasilkan warna biru
2	98%	2%	Menghasilkan warna biru
3	97%	3%	Menghasilkan warna biru
4	96%	4%	Menghasilkan warna hitam, tembaga sudah mulai muncul
5	95%	5%	Menghasilkan warna hitam, tembaga mulai muncul dengan penambahan jumlah doping <i>CuO</i>

Dari Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa penambahan *doping* mempengaruhi warna sampel dan dapat diketahui pada komposisi 4% CuO mulai muncul.

Setelah sampel dingin dengan sendirinya dan diketahui warnanya dapat dilihat pada lampiran 5, sampel tersebut dapat dikarakterisasi sesuai dengan *doping* yang digunakan, yaitu fungsi CuO sebagai *doping* kaca dapat diuji struktur, sifat mekanik bahan yang meliputi uji kekerasan dan rapat massa ( $\rho$ ), dan yang paling berpengaruh adalah sifat kelistrikan sampel tersebut.

#### **4.2.2. Karakterisasi XRD**

XRD digunakan untuk mengetahui struktur bahan sampel *cult doping* Copper(II)oxide. XRD menggunakan prinsip Hukum Bragg. Hukum Bragg menyatakan bila atom-atom pada Kristal ditumbuk oleh pertikel yang ukurannya seorde dengan ukuran atom, maka pertikel tersebut akan dipantulkan dengan sudut yang dipastikan arahnya. Dalam penelitian ini yang digunakan adalah lucutan sinar Cu dengan sudut  $2\theta$  (20-80). Untuk grafik hasil XRD dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan darimana menghasilkan grafik dengan puncak-puncak CuO dan Cu<sub>4</sub>O<sub>3</sub> dapat dilihat pada lampiran hasil XRD yang dibandingkan dengan data yang ada pada JCPDS pada lampiran 2.



Gambar 4.1. Hasil karakterisasi XRD *cult* doping *Copper(II) oxide*

Gambar 4.1 menunjukkan hasil karakterisasi XRD *cult* doping *Copper(II) oxide*. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa muncul puncak tertinggi penyisipan doping CuO pada  $2\theta$   $35,607^\circ$  serta puncak  $\text{Cu}_4\text{O}_3$  pada  $2\theta$   $28,091^\circ$ . Gelas yang telah mengalami perlakuan termal akan menghasilkan gelas yang ditandai dengan munculnya puncak-puncak penyisipan doping pada kurva difraktogram. Dimana puncak-puncak tersebut bukan keramik tetapi doping yang tidak berstruktur.

#### 4.2.3. Karakterisasi Sifat Mekanik

Dalam penelitian ini sifat mekanik yang dikaji adalah uji kekerasan dan rapat massa ( $\rho$ ). Uji kekerasan dilakukan menggunakan metode *rockwell* di Jurusan teknik mesin POLINES, sedangkan rapat massa ( $\rho$ ) diperoleh dari perhitungan dari hasil pengukuran massa dan volume sampel yang dilakukan di Laboratorium Fisika Magnetik Universitas Negeri Semarang (UNNES) menggunakan rumus:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (5.1)$$

Uji kekerasan menggunakan metode *rockwell* menghasilkan data bahwa Sampel *cult doping* Copper (II) oxide mempunyai kekerasan yang tinggi. Hal ini dapat dilihat dari nilai kekerasan sampel yang mencapai 110 HRB yaitu HardRock tipe B skala *rockwell* dengan indenter Bola baja 1/16 inchi yang diketahui batas maksimal yang digunakan pada alat *rockwell* (104 HRB) sesuai skala yang ada. Akan tetapi sampel yang dihasilkan juga bersifat getas hal ini ditandai dengan hasil yang menunjukkan batas maksimal skala *Rockwell* tipe B (104 HRB dan sampel terbaca 110 HRB), namun sampel pecah dan hanya dapat terbaca satu titik selengkapnya lihat lampiran 8. Hasil perhitungan rapat massa dari beberapa sampel dengan variasi kadar *doping* tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

Tabel 4.2. Data hasil perhitungan rapat massa ( $\rho$ )

No	Komposisi doping (%)	m rata-rata (kg)	V (m <sup>3</sup> )	Rapat massa ( kg/m <sup>3</sup> )
1	1	$2,7 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-6}$	$1,34 \times 10^3$
2	2	$2,8 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-6}$	$1,42 \times 10^3$
3	3	$2,9 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-6}$	$1,43 \times 10^3$
4	4	$2,8 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-6}$	$1,40 \times 10^3$
5	5	$2,4 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-6}$	$1,20 \times 10^3$

Dari tabel 4.2 di atas dapat dilihat bahwa penambahan *doping* tidak terlalu berpengaruh terhadap rapat massa ( $\rho$ ). Hal ini diasumsikan bahwa penambahan *doping* CuO tidak mengisi pori-pori sehingga volume sampel yang dihasilkan relatif sama. Akan tetapi pada sampel *cult* yang *didoping* Copper(II)oxide (5%) tampak perubahan nilai rapat massa ( $\rho$ ) yang cukup besar data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 3.

#### 4.2.4. Karakterisasi Sifat Listrik

Pada proses karakterisasi ini peneliti menggunakan multimeter dan catu daya dengan tegangan tinggi yang kemudian sample dapat diukur menggunakan kedua alat tersebut setelah dirangkai atau lebih tepatnya menggunakan prinsip Hukum Ohm, rangkaian dibantu dengan kabel dan capit buaya agar sample dapat dijepit kemudian diukur tegangan dan arusnya selengkapnya lihat lampiran 9. Dari itulah nanti akan diketahui nilai hambatannya yang kemudian dapat dicari nilai resistivitas dan konduktivitasnya.

dengan rumus :  $R = \rho \frac{\ell}{A}$  dengan  $R =$  hambatan ( $\Omega$ )

$\rho =$  resistivitas ( $\Omega m$ )

$\ell =$  tinggi sample (m)

$A =$  luas silinder sample ( $m^2$ )

Dari penelitian ini dihasilkan data nilai resistivitas dan konduktivitasnya sebagai berikut:

Tabel 4.3 untuk kaca *cult*

No	Sample	$\rho(\Omega m)$	$\sigma(\Omega m^{-1})$	prata - rata ( $\Omega m$ )	σ rata - rata ( $\Omega m^{-1}$ )
1	Kaca <i>cult</i> 1	$1.45 \times 10^5$	$0.69 \times 10^5$	$2,20 \times 10^5$	$0,51 \times 10^{-5}$
	Kaca <i>cult</i> 2	$2.96 \times 10^5$	$0.34 \times 10^5$		

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa dari kedua sample tersebut menghasilkan prata-rata =  $2,20 \times 10^5 \Omega m$  dan  $\sigma$  rata-rata =  $0,51 \times 10^{-5} /\Omega m$  . Diambil dua sample kaca murni karena nilai resistivitas maupun nilai konduktivitasnya agar lebih bagus dengan cara merata-rata hasilnya.

Dari penelitian ini dihasilkan data nilai resistivitas dan konduktivitasnya sebagai berikut:

Tabel 4.4 untuk *cult* menggunakan PVA dan tanpa PVA

No	PVA	Sample	$\rho(\Omega m)$	$\sigma(\Omega m^{-1})$	$\rho_{rata-rata}$ ( $\Omega m$ )	$\sigma_{rata-rata}$ ( $\Omega m^{-1}$ )
1	Tanpa PVA	S <sub>1</sub>	16.67x10 <sup>5</sup>	0.06x10 <sup>-5</sup>	11,59x10 <sup>5</sup>	0.11x10 <sup>-5</sup>
		S <sub>2</sub>	5.5x10 <sup>5</sup>	0.18x10 <sup>-5</sup>		
		S <sub>3</sub>	7.5x10 <sup>5</sup>	0.13x10 <sup>-5</sup>		
		S <sub>4</sub>	16.67x10 <sup>5</sup>	0.06x10 <sup>-5</sup>		
2	Dengan PVA	S <sub>1</sub>	10x10 <sup>5</sup>	0.1x10 <sup>-5</sup>	12,5x10 <sup>5</sup>	0.08x10 <sup>-5</sup>
		S <sub>2</sub>	15x10 <sup>5</sup>	0.07x10 <sup>-5</sup>		

Dari tabel diatas dapat dilihat perbandingan nilai resistivitasnya yaitu *cult* yang ditambahkan PVA nilai resistivitasnya lebih tinggi daripada *cult* yang tidak ditambahkan PVA. Data ini diambil dari beberapa sample sehingga memudahkan perhitungan dengan cara mengambil rata-ratanya. Untuk data sample *cult* tanpa PVA digunakan 4 sample sebagai perbandingan dan *cult* dengan PVA digunakan 2 sample. Masing-masing dirata-rata agar nilai resistivitasnya semakin baik. Dari data ini membuktikan bahwa penambahan PVA sangat berpengaruh terhadap nilai resistivitasnya. Semakin banyak PVA yang ditambahkan maka nilai resistivitasnya semakin tinggi.

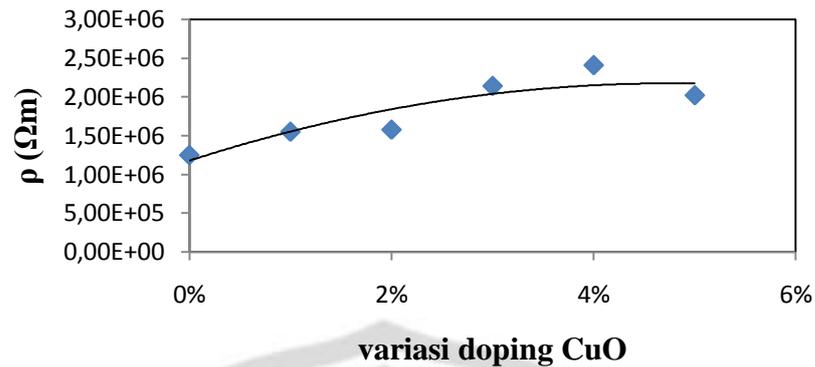
Untuk hasil pengukuran *cult* dengan doping CuO dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.5 Data hasil pengukuran sifat listrik

No	Cult	CuO	S	$\rho(\Omega m)$	$\sigma(\Omega m^{-1})$	$\rho_{rata - rata}$ ( $\Omega m$ )	$\sigma_{rata - rata}$ ( $\Omega m^{-1}$ )
1	99%	1%	S <sub>1</sub>	7,56x10 <sup>5</sup>	13,22x10 <sup>-7</sup>	1,55x10 <sup>6</sup>	8,05x10 <sup>-7</sup>
			S <sub>2</sub>	1,28x10 <sup>5</sup>	7,82x10 <sup>-7</sup>		
			S <sub>3</sub>	1,31x10 <sup>5</sup>	7,66x10 <sup>-7</sup>		
			S <sub>4</sub>	2,86x10 <sup>5</sup>	3,49x10 <sup>-7</sup>		
2	98%	2%	S <sub>1</sub>	1.84x10 <sup>5</sup>	5,42x10 <sup>-7</sup>	1,58x10 <sup>6</sup>	8,29x10 <sup>-7</sup>
			S <sub>2</sub>	2,22x10 <sup>5</sup>	4,5x10 <sup>-7</sup>		
			S <sub>3</sub>	6,70x10 <sup>5</sup>	14,9x10 <sup>-7</sup>		
3	97%	3%	S <sub>1</sub>	2,94x10 <sup>5</sup>	3,39x10 <sup>-7</sup>	2,14x10 <sup>6</sup>	5,44x10 <sup>-7</sup>
			S <sub>2</sub>	1,34x10 <sup>5</sup>	7,48x10 <sup>-7</sup>		
4	96%	4%	S <sub>1</sub>	2,59x10 <sup>5</sup>	3,86x10 <sup>-7</sup>	2,41x10 <sup>6</sup>	4,18x10 <sup>-7</sup>
			S <sub>2</sub>	2,23x10 <sup>5</sup>	4,49x10 <sup>-7</sup>		
5	95%	5%	S <sub>1</sub>	2,01x10 <sup>5</sup>	4.98x10 <sup>-7</sup>	2,02x10 <sup>6</sup>	0.14x10 <sup>-7</sup>
			S <sub>2</sub>	2,033x10 <sup>5</sup>	4,92x10 <sup>-7</sup>		

Setiap nilai resistivitas dari masing-masing prosentase CuO diambil dari berbagai sample sehingga data yang dihasilkan lebih baik. Data dari prosentase CuO 1% lebih banyak sample yang digunakan untuk perhitungan karena hasil sample yang telah dibuat kurang baik sehingga dibuat sample lebih dari yang diperkirakan untuk perbandingan dan merata-rata hasil nilai resistivitasnya data selengkapnya lihat lampiran 4. Dari data tabel diatas dapat dilihat dengan grafik bagaimana pengaruh doping CuO terhadap *cult*.

Karakterisasi sifat listrik menunjukkan data dengan grafik



Gambar 4.2. Grafik antara variasi *doping* terhadap resistivitas ( $\rho$ ) *cult* yang *didoping* Copper(II)oxide

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa Grafik diatas menunjukkan bahwa nilai resistivitas pada kaca *cult* yang *didoping* Copper(II)oxide (1%) naik kemudian terjadi peningkatan pada penambahan *doping* copper (II) oxide sebesar 3% - 4% pada penambahan *doping* 5% menunjukkan penurunan nilai resistivitas. Dapat disimpulkan bahwa pengaruh penambahan *doping* terhadap nilai resistivitas bersifat fluktuatif karena nilai resistivitas yang dihasilkan selalu berubah, yang mula-mula naik kemudian turun nilai resistivitasnya.

Hal ini juga membuktikan bahwa bahan semakin bersifat konduktif maka nilai resistivitasnya semakin menurun.

Kaca yang *didoping cult* dapat digunakan untuk konsentrasi nilai resistivitas, *bulk cult* dapat bervariasi berdasarkan penambahan *doping* CuO. Sehingga dengan mengetahui pengaruh penambahan *doping* dapat digunakan sebagai referensi pembuatan aplikasi tertentu sesuai dengan kebutuhan penggunaannya yang memerlukan penambahan *doping* tertentu sesuai kebutuhan *user* (penggunanya).

## BAB V

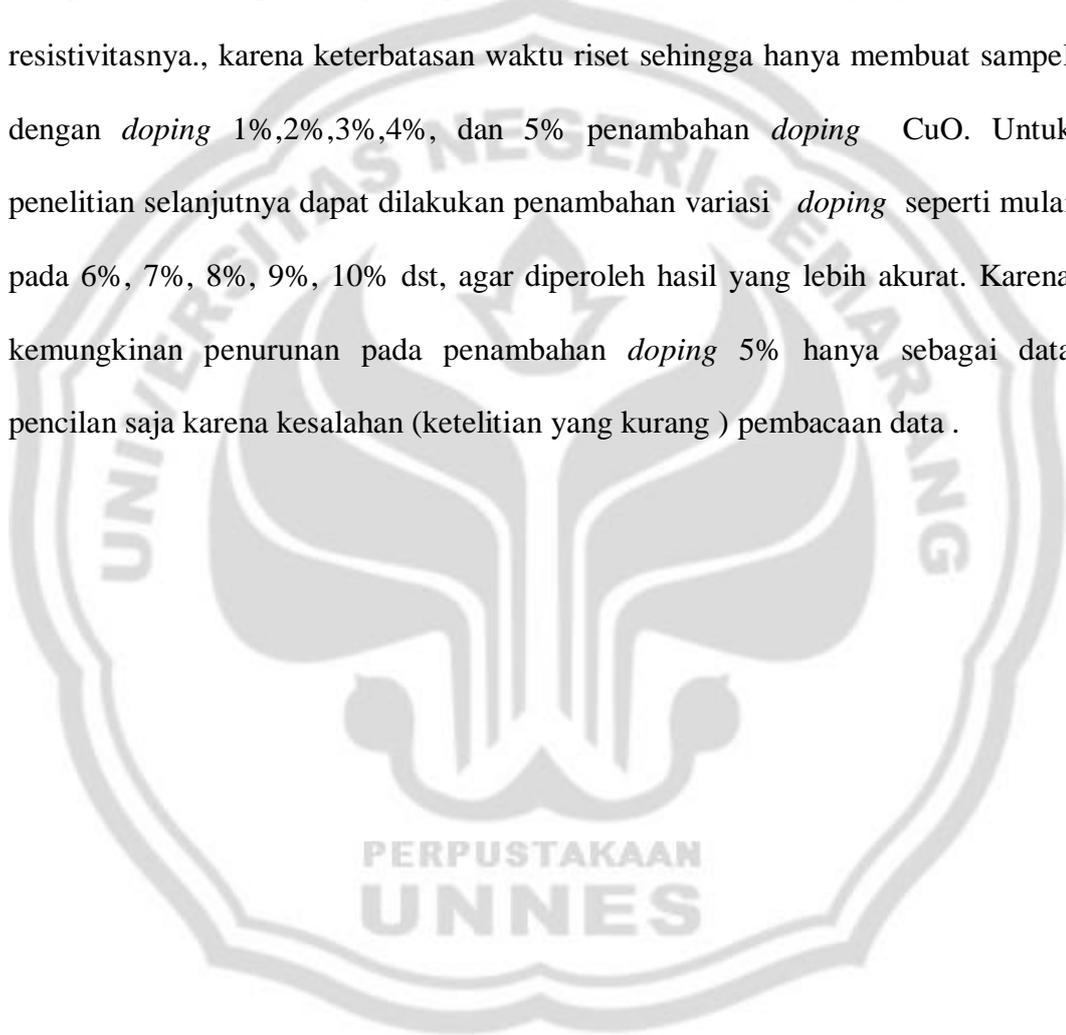
### PENUTUP

#### 5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa bahan *cult* yang terbentuk dari penyerbukan kaca jendela *didop* menggunakan CuO. Selanjutnya dicetak ke dalam cetakan pembentuk, kemudian dipres menggunakan alat pres dengan besar tekanan masing-masing  $2,9 \times 10^5$  KPa. Setelah bahan tercetak bahan *disinter* dengan menggunakan *Furnice*. Suhu *sintering* sama untuk masing-masing komposisi *doping* yaitu  $750^\circ\text{C}$ . Penambahan *doping* CuO pada karakterisasi sifat listrik tidak stabil, selalu ada perubahan peningkatan maupun penurunan nilai resistivitasnya. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan munculnya puncak-puncak *doping* pada kaca *cult* berupa CuO dan  $\text{Cu}_4\text{O}_3$  pada puncak tertinggi *doping* CuO pada  $2\theta$   $35,607^\circ$  serta puncak  $\text{Cu}_3\text{O}_4$  pada  $2\theta$   $28,091^\circ$ . Uji sifat mekanik menunjukkan bahwa uji kekerasan menggunakan metode *rockwell* menghasilkan data bahwa sampel *cult doping* Copper (II) oxide mempunyai kekerasan yang tinggi dan getas dengan nilai kekerasan sampel 110 HRB. Penambahan *doping* tidak terlalu berpengaruh terhadap rapat massa ( $\rho$ ). Akan tetapi pada sampel *cult* yang *didoping* Copper(II)oxide (5%) tampak perubahan nilai rapat massa ( $\rho$ ) yang cukup besar.

## 5.2. Saran

Kelemahan dari penelitian ini adalah variasi jumlah *doping* belum bisa ditelusuri dengan variabel yang banyak sehingga belum dapat ditentukan secara akurat *doping* yang diberikan. Kemungkinan bisa saja naik lagi grafiknya atau mungkin turun lagi. Hanya dapat diduga jika ditambah *doping* bisa turun resistivitasnya., karena keterbatasan waktu riset sehingga hanya membuat sampel dengan *doping* 1%,2%,3%,4%, dan 5% penambahan *doping* CuO. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan penambahan variasi *doping* seperti mulai pada 6%, 7%, 8%, 9%, 10% dst, agar diperoleh hasil yang lebih akurat. Karena kemungkinan penurunan pada penambahan *doping* 5% hanya sebagai data pencilan saja karena kesalahan (ketelitian yang kurang ) pembacaan data .



## DAFTAR PUSTAKA

- Abe. Y, Hasono. H, Tsutsumi. S, Shinya. A, Yokozuka. S, *Bioceramics 1* (1988)181.
- Agustino, R.2010. *Fabrikasi dan Studi Komposisi Kaca Posfat*. Skripsi.Semarang:FMIPA Universitas Negeri Semarang
- Ardelean. I,Cozar. O, Vedeanu. N, Dorina Rusu, Andronache. C.2007. EPR study of  $V_2O_5 - P_2O_5 - Li_2O$  glass system. *J Mater Sci: Mater Electron* (2007) 18:963 – 966.
- Bernasconi, Gerster, Hauser, Stauble, Schneiter. 1995. *Teknologi Kimia bagian 1*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Bernasconi, Gerster, Hauser, Stauble, Schneither. 1995.*Teknologi Kimia bagian 2*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Doremus, R. 1973. *Glass Science*. Canada : John Wiley and Sons
- Klimychev. V. N, Shadrin.V. K, Shadrin. V. K, Bleklov. D. V. 2005.Automation of Thermotechnical Machinery in Glass Production. *Glass and Ceramics*. Vol. 62, Nos 3-4.
- Mackenzie, J. D. (1982). State of Art and Prospects of Glass Science. *J. Non-Cryst. Solids* 52: 1-8.
- Rawlings, R.D.,J.P.WU, & A.R.Boccaccini.2006.Department of Materials,Imperial College London: Prince Consort Road.
- Ristic, M.M. 1998. *Sintering New Development*. Elsevier Scientific Publishing Company, vol. 4<sup>th</sup>. Neitherland.
- Sahar, R. 1998. *Sains Kaca*. Malaysia. Universiti Teknologi Malaysia
- Shelby, J. 2005. *Introduction to Glass Science and Technology*. UK: The Royal Society of Chemistry

Sulhadi. 2007. *Structural and Optical Properties Studies of Erbium Doped Tellurite Glasses*. Thesis Doctor of Philosophy, Universiti Teknologi Malaysia.

Sebayang,P. & Muljadi. 1996. Pengaruh SiO<sub>2</sub> pada Pembentukan Gelas Keramik Sistem Mika. *LIPI PUSPITEK*, 0854-4085.

Sulhadi. 2007. *Structural and Optical Properties Studies of Erbium Doped Tellurite Glasses*. Thesis Doctor of Philosophy, Universiti Teknologi Malaysia.

Sugianto dan Nurbaiti, U. 2005. Buku Ajar Fisika Zat Padat. Semarang: UNNES.

Uhlmann, D. R. and Kreidl, N. J. 1983, *Glass: Science and Technology*. Vol.1.New York: Academic Press.

Van Vlack, Lawrence. (Penerjemah: Ir. Sriatie Djaprie). 1994. *Element of Materials Science and Engineering* (Ilmu dan Teknologi Bahan). Jakarta: Erlangga.

Zarzycki, Jerzy, Prassa, M. dan Phalippou, J. 1982. *Synthesis of Glasses from Gel: The Problem of Monolithic Gels*. *Journal of Materials Science* 17, p. 3371-3379.

Zarzycki, Jerzy. 1984. *Processing of Gel Glasses*. *Glass Science and Technology*, vol. 2, chapter 7, p. 209-24.

PERPUSTAKAAN  
UNNES

## Lampiran 1

### Lampiran Perhitungan komposisi doping

a. 1 % *Cooper (II) oxide* dan 99% *cult* :

$$1\% \times 3 \text{ gram} = 0.03 \text{ gram}$$

$$99\% \times 3 \text{ gram} = 2,97 \text{ gram}$$

b. 2 % *Cooper (II) oxide* dan 99% *cult* :

$$2\% \times 3 \text{ gram} = 0.06 \text{ gram}$$

$$98\% \times 3 \text{ gram} = 2,94 \text{ gram}$$

c. 3 % *Cooper (II) oxide* dan 99% *cult* :

$$3\% \times 3 \text{ gram} = 0.09 \text{ gram}$$

$$97\% \times 3 \text{ gram} = 2,91 \text{ gram}$$

d. 4 % *Cooper (II) oxide* dan 99% *cult* :

$$4\% \times 3 \text{ gram} = 0.12 \text{ gram}$$

$$96\% \times 3 \text{ gram} = 2,88 \text{ gram}$$

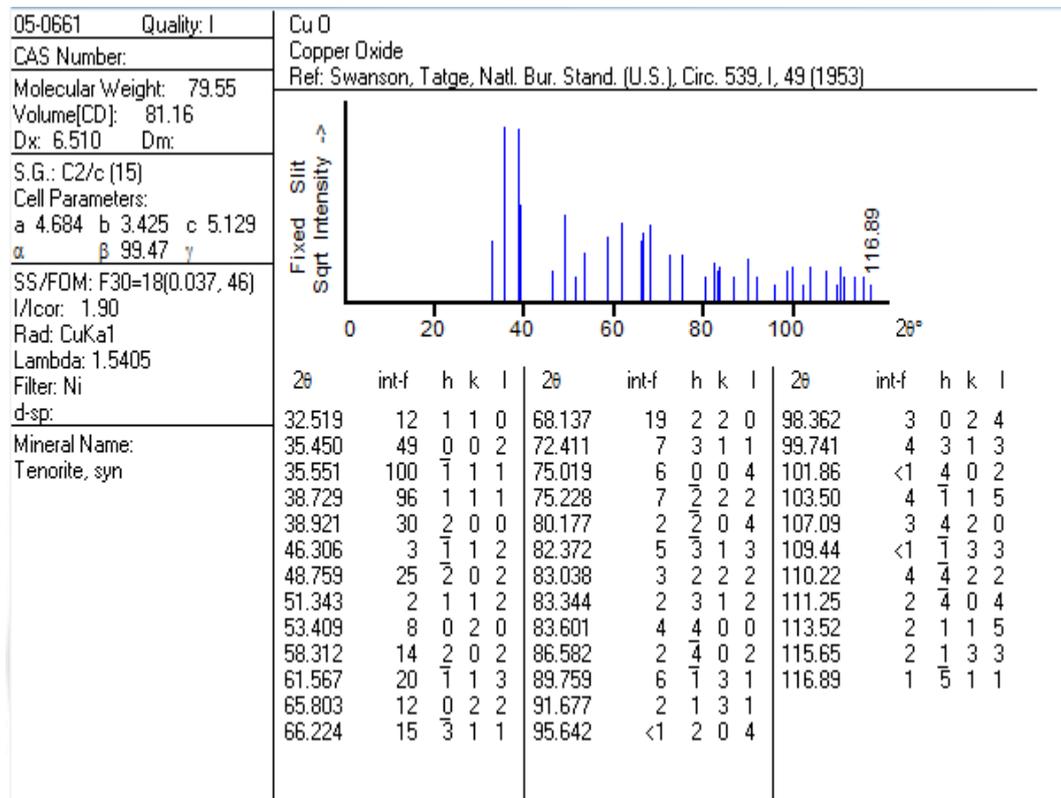
e. 5% *Cooper (II) oxide* dan 99% *cult* :

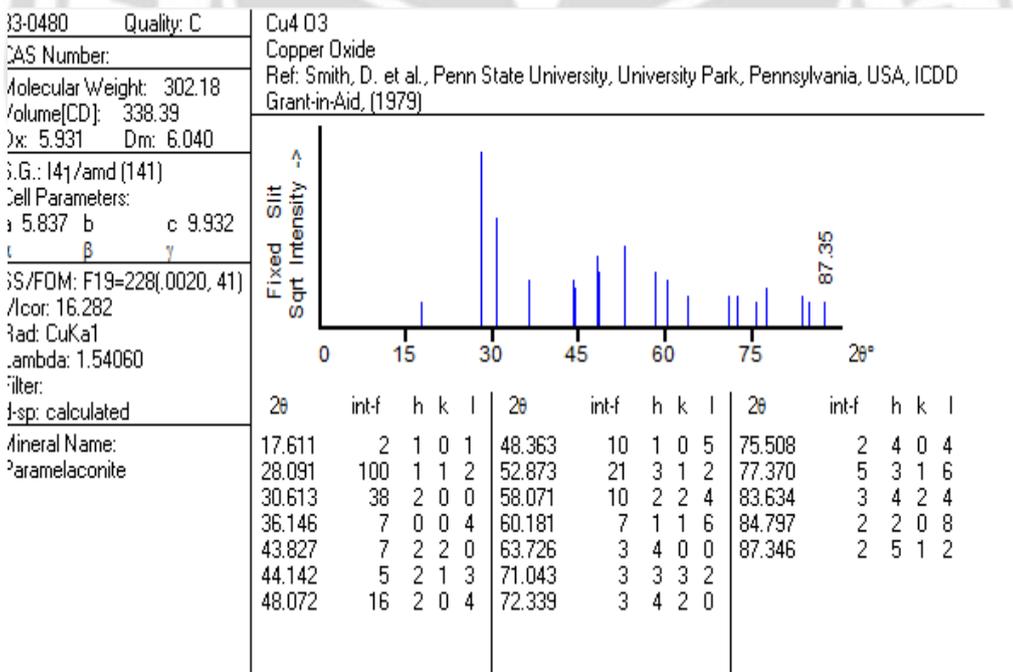
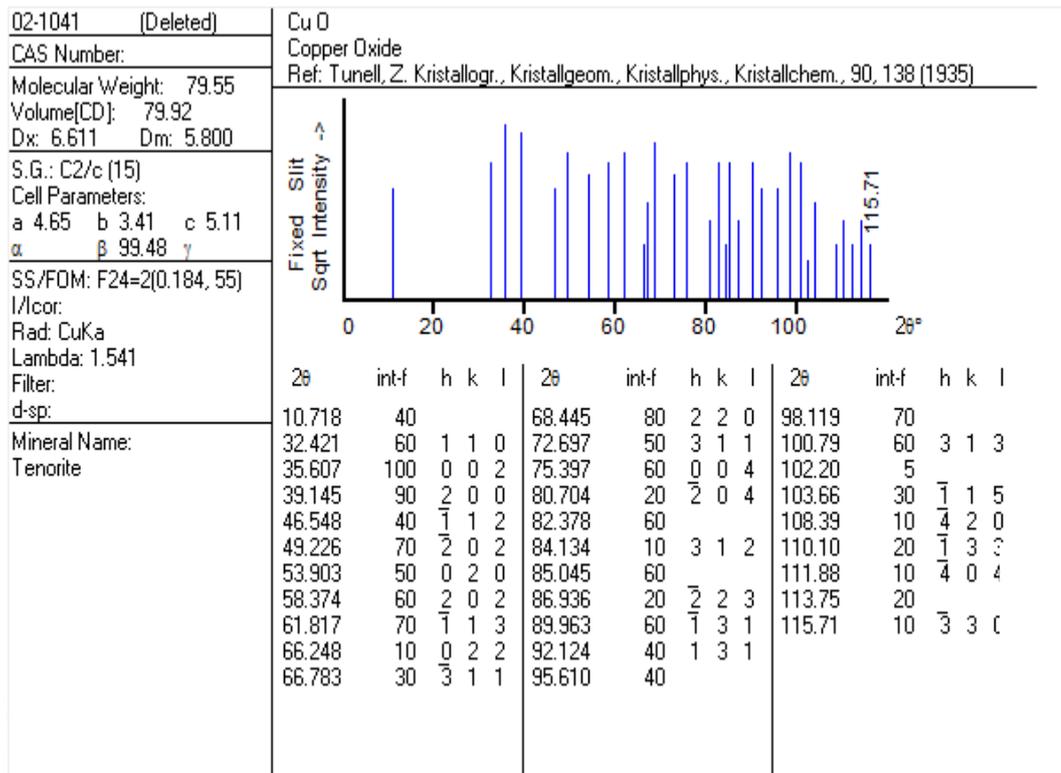
$$95\% \times 3 \text{ gram} = 0.15 \text{ gram}$$

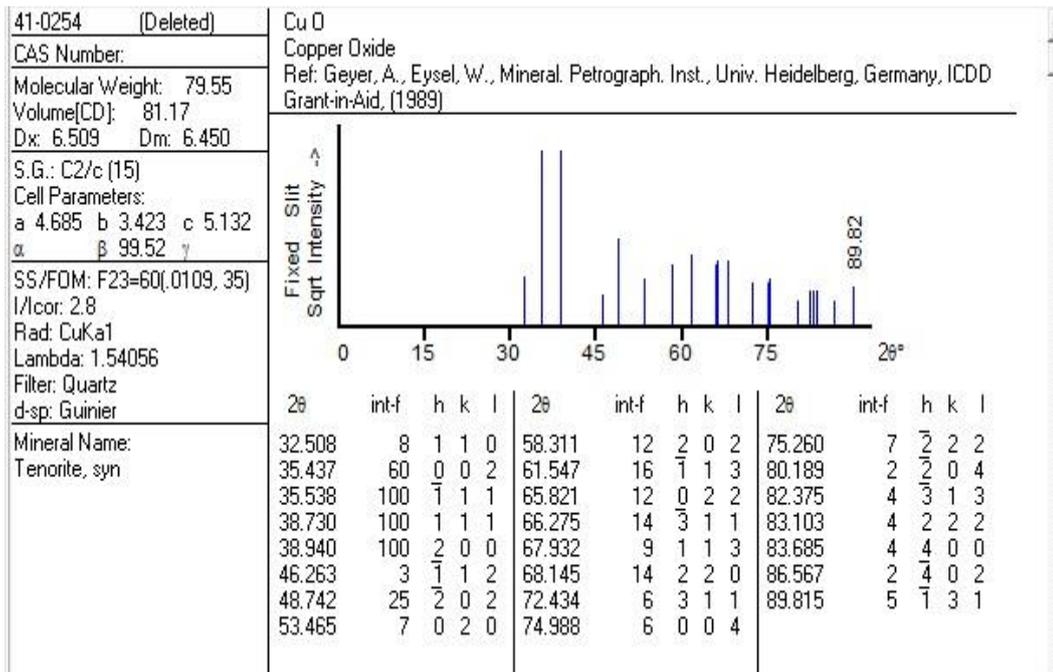
$$99\% \times 3 \text{ gram} = 2,85 \text{ gram}$$

## Lampiran 2

### Lampiran Data XRD dibandingkan dengan data JCPDS







### Lampiran 3

Perhitungan rapat massa ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{m}{v}$$

a. Untuk 1% Copper(II) oxide

Sampel pertama

$$m = 2,84 \text{ gram} = 2,84 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$v = 2 \text{ m} \ell = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{2,84 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{2 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$= 1,42 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Sampel kedua

$$m = 2,50 \text{ gram} = 2,50 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$v = 2 \text{ m} \ell = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{2,50 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{2 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$= 1,25 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

rapat massa rata-rata =

$$\bar{\rho} = \frac{1,42 + 1,25}{2} \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1,34 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

b. Untuk 2% Copper(II) oxide

Sampel pertama

$$m = 2,87 \text{ gram} = 2,87 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$v = 2 \text{ m} \ell = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{2,87 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{2 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$= 1,435 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Sampel kedua

$$m = 2,87 \text{ gram} = 2,87 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$v = 2 \text{ m} \ell = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{2,87 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{2 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$= 1,435 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Sampel ketiga

$$m = 2,80 \text{ gram} = 2,80 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$v = 2 \text{ m} \ell = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{2,80 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{2 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$= 1,4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

rapat massa rata-rata =

$$\rho = \frac{1,435 + 1,435 + 1,4}{3} \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1,423 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

c. Untuk 3% Copper(II) oxide

Sampel pertama

$$m = 2,86 \text{ gram} = 2,86 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$v = 2 \text{ m} \ell = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{2,86 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{2 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$= 1,43 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Sampel kedua

$$m = 2,86 \text{ gram} = 2,86 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$v = 2 \text{ m} \ell = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{2,86 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{2 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$= 1,43 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

rapat massa rata-rata =

$$\bar{\rho} = \frac{1,43 + 1,43}{2} \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1,43 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

d. Untuk 4% Copper(II) oxide

Sampel pertama

$$m = 2,80 \text{ gram} = 2,840 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$v = 2 \text{ m} \ell = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{2,80 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{2 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$= 1,4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Sampel kedua

$$m = 2,80 \text{ gram} = 2,80 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$v = 2 \text{ m} \ell = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{2,80 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{2 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$= 1,4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

rapat massa rata-rata =

$$\bar{\rho} = \frac{1,4 + 1,4}{2} \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1,4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

e. Untuk 5% Copper(II) oxide

Sampel pertama

$$m = 2,837 \text{ gram} = 2,37 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$v = 2 \text{ m} \ell = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{2,37 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{2 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$= 1,185 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Sampel kedua

$$m = 2,37 \text{ gram} = 2,37 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$v = 2 \text{ m} \ell = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{2,37 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{2 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$= 1,185 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

rapat massa rata-rata =

$$\bar{\rho} = \frac{1,185 + 1,185}{2} \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1,185 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$



Lampiran 4. Perhitungan data Karakterisasi sifat listrik

drt	r	A(mm <sup>2</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	v(volt)	I (Ampere)	R
10.675	5.3375	89.5	8,95	3500	6.E-05	5.83E+07
10.625	5.3125	88.6	8,86	1700	2.E-05	8.50E+07
10.61	5.305	88.4	8,84	4000	4.E-05	1.00E+08
11.33	5.665	100.8	1,01	2900	2.E-05	1.45E+08
10.945	5.4725	94.0	9,40	2800	2.E-05	1.40E+08
10.675	5.3375	89.5	8,95	3200	2.E-05	1.60E+08
10.915	5.4575	93.5	9,35	2200	6.E-05	3.67E+07
10.79	5.395	91.4	9,14	3000	2.E-05	1.50E+08
10.95	5.475	94.1	9,41	2600	4.E-05	6.50E+07
10.625	5.3125	88.6	8,86	2200	2.E-05	1.10E+08
10.58	5.29	87.9	8,79	2600	2.E-05	1.30E+08
10.345	5.1725	84.0	8,40	2000	2.E-05	1.00E+08
10.675	5.3375	89.5	8,95	2000	2.E-05	1.00E+08
v(volt)	I (Ampere)	R	R*A			
3500	6.E+00	5.83E+02	5.22E-02			
1700	2.E+00	8.50E+02	7.53E-02			
4000	4.E-05	1.00E+08	8.84E+03			
2900	2.E-05	1.45E+08	1.46E+04			
2800	2.E-05	1.40E+08	1.32E+04			
3200	2.E-05	1.60E+08	1.43E+04			
2200	6.E-05	3.67E+07	3.43E+03			
3000	2.E-05	1.50E+08	1.37E+04			
2600	4.E-05	6.50E+07	6.12E+03			
2200	2.E-05	1.10E+08	9.75E+03			
2600	2.E-05	1.30E+08	1.14E+04			
2000	2.E-05	1.00E+08	8.40E+03			
2000	2.E-05	1.00E+08	8.95E+03			

l (mm)	l ( m)	$\rho$	$\rho$ rata-rata	$\sigma$	$\sigma$ rata-rata
6.90	6.90E-03	7.56E+05		1.322E-06	
5.89	5.89E-03	1.28E+06	1.55E+06	7.819E-07	8.05E-07
6.77	6.77E-03	1.31E+06		7.661E-07	
5.11	5.11E-03	2.86E+06		3.497E-07	
7.14	7.14E-03	1.84E+06	1.58E+06	5.423E-07	8.29E-07
6.46	6.46E-03	2.22E+06		4.513E-07	
5.12	5.12E-03	6.70E+05		1.493E-06	
4.66	4.66E-03	2.94E+06	2.14E+06	3.399E-07	5.44E-07
4.58	4.58E-03	1.34E+06		7.486E-07	
3.77	3.77E-03	2.59E+06	2.41E+06	3.867E-07	4.18E-07
5.13	5.13E-03	2.23E+06		4.491E-07	
4.19	4.19E-03	2.01E+06	2.02E+06	4.988E-07	4.95E-07
4.4	4.40E-03	2.03E+06		4.919E-07	



Lampiran 5

Gambar Sampel



Gambar sampel 99% *cult* doping 1% *cooper(II) oxide*



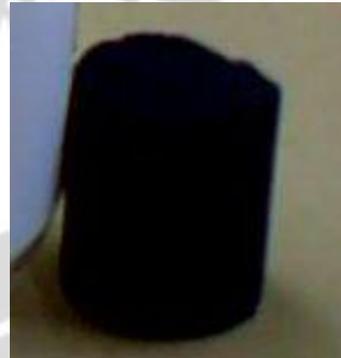
Gambar sampel 98 %*cult* doping 2 % *Copper (II) oxide*



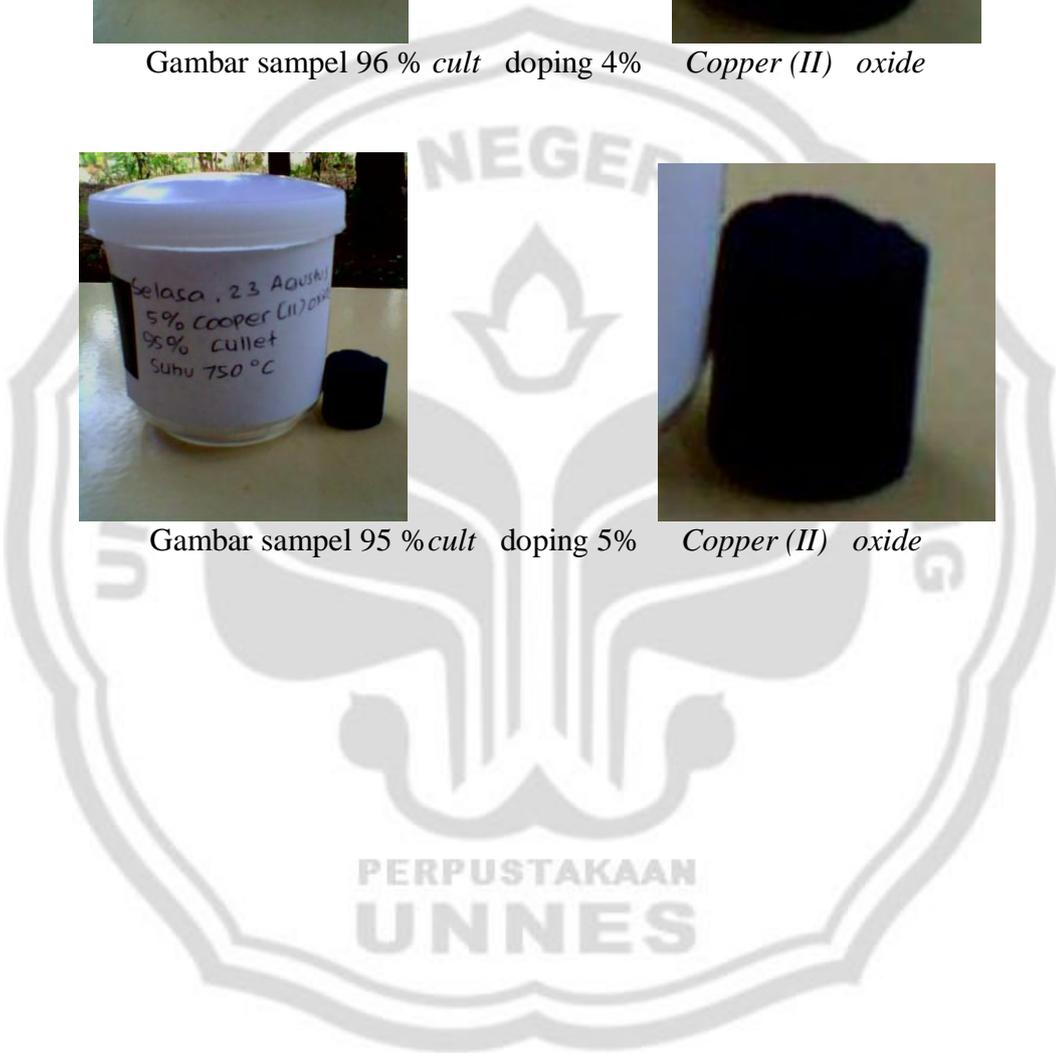
Gambar 97% *cult* doping 3% *Copper (II) oxide*



Gambar sampel 96 % *cult* doping 4% *Copper (II) oxide*



Gambar sampel 95 % *cult* doping 5% *Copper (II) oxide*



Lampiran 6

Lampiran Proses Pembuatan serbuk Cult dari Kaca Jendela



Gambar potongan kaca jendela sebelum dipecah



Gambar Kaca jendela dipecah menggunakan palu



Gambar proses penumbukan kaca jendela yang dipecah menggunakan mortal



Gambar serbuk kaca jendela disaring menggunakan kristik



Gambar proses *milling* serbuk kaca jendela agar lebih halus sebanyak  $\pm 5$  kali *milling*



Gambar pengamanan serbuk *cult* yang telah di *milling* sebanyak  $\pm 5$  kali *milling* agar tidak terkontaminasi

Lampiran 7

Lampiran Gambar perbaikan alat press untuk cetakan



Gambar proses perbaikan alat press di Laboratorium Fisika magnetik UNNES



alat press yang berhasil diperbaiki

PERPUSTAKAAN  
UNNES

Lampiran 8  
Gambar Proses Karakterisasi Sifat Mekanik Sampel

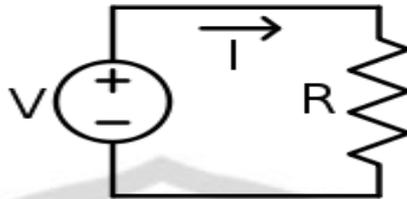


Gambar alat uji kekerasan Rockwell di teknik mesin POLINES



Gambar pengukuran massa dan volume sampel

Lampiran 9 Gambar Karakterisasi sifat Listrik



Gambar rangkaian Hukum Ohm



Gambar Multimeter



Gambar *Power supply*



Gambar rangkaian tertutup



penjepitan sampel saat pengukuran