



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI  
SIFAT FERROELEKTRIK LAPISAN  $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$**

**TESIS**

**ANIF JAMALUDDIN**  
**NPM. 630500201X**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL  
JAKARTA  
DESEMBER 2008**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI  
SIFAT FERROELEKTRIK LAPISAN  $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains**

**ANIF JAMALUDDIN**  
**NPM. 630500201X**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL  
JAKARTA  
DESEMBER 2008**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini hasil karya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Anif Jamaluddin

NPM : 630500201X

Tanda tangan :

Tanggal :

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Anif Jamaluddin  
NPM : 63502001X  
Program Studi : Ilmu Material  
Judul Tesis :

### PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI SIFAT FERROELEKTRIK LAPISAN $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Ilmu Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

#### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : **Dr. Muhammad Hikam** (.....)  
Penguji : **Dr. Bambang Sugiyono** (.....)  
Penguji : **Dr Azwar Manaf, M.Met** (.....)  
Penguji : **Dr. Budhy Kurniawan** (.....)  
Penguji : **Dr. Irzaman** (.....)

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 13 Desember 2008

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan Tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Science Program Studi Ilmu Material, pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Muhammad Hikam, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan dalam penyusunan tesis ini;
2. Yoven Irianti, Yang telah banyak memberikan saran, kritik masukan, untuk kesempurnaan tulisan ini, dan rekan-rekan team penelitian BST (Pak Ishom atas softwarena, Pak Nyoman sueta, Pak Andrie, P. Teguh) serta teman-teman dari laboratorium lain (Pak irfan, Ibu Fira, Pak Priyono, Yorga dll)
3. Staf Pengajar dan administrasi di Program Studi Ilmu Material
4. Teman-teman se-angkatan 2005 Genap, yang telah mendahului kelulusannya, serta yang setia untuk menutup kelulusan (Pak Ogik n Pak Zaen)
5. Orang tua (H. Rochmad Alm, Ibu Siti Fatimah) dan keluarga besar di Pati yang telah memberikan bantuan dukungan, semangat dan calon istriku yang masih dibalik tabir misteri Sang Ilahi.
6. Teman-teman di R&D PT. LGEIN
7. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu-persatu

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Desember 2008

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anif Jamaluddin

NPM : 630500201X

Program Studi : Ilmu Material

Departemen : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Jenis karya : Tesis

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI  
SIFAT FERROELEKTRIK LAPISAN ( $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}$ ) $_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 13 Desember 2008

Yang menyatakan

(Anif Jamaluddin)

## ABSTRAK :

Nama : Anif Jamaluddin  
Program Studi : Ilmu Material  
Judul :

### **PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI SIFAT FERROELEKTIK LAPISAN $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$**

$(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$  telah dihasilkan dari  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$  (BST) yang *doping* Cu ( $x=1\%$ ,  $2\%$ ,  $4\%$ ) dengan metode *Chemical Solution Deposition* (CSD) dan proses *spin coating* (3000 rpm, selama 30 detik), di atas permukaan substrat Si (1 0 0) dan Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si (2 0 0). Proses *thermal hydrolisis*, *pyrolisis* dilanjutkan dengan *annealing* pada suhu 800<sup>0</sup>C untuk pembentukan kristal. Hasil karakterisasi XRD dengan penghalusan GSAS, *doping* Cu (1%, 2% dan 4%) sudah masuk dalam BST menjadi kristal  $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$  dan menyebabkan perubahan jarak antar kisi dari kristal. Analisa struktur, mikrostruktur, morfologi dan topografi lapisan  $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$  berpengaruh terhadap hasil karakterisasi sifat listrik (polarisasi dan konstanta dielektrik). Polarisasi (spontan dan remanen) untuk BST murni lebih besar dibandingkan dengan BST yang di-*doping* Cu, tetapi *doping* Cu memperkecil medan koersif lapisan. Penggunaan substrat Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si untuk penumbuhan lapisan  $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$ , dapat memperkecil medan koersif dibandingkan dengan substrat Si. Telah dihasilkan konstan dielektrik dari lapisan  $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$  sebesar 900. Karakteristik dielektrik dan medan koersif yang rendah dari penumbuhan lapisan BST diatas permukaan substrat, sangat baik untuk *switching* pada aplikasi memori ferroelektrik.

Kata kunci :  $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$ , BST, Rietveld, Medan Koersive

## ABSTRACT :

Nama : Anif Jamaluddin  
Study Program : Material Sciences  
Judul :

### **FABRICATION AND FERROELECTRIC CHARACTERIZATION OF FILM $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$**

$(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$  fabricated from  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$  (BST) with *doping* Cu ( $x=1\%$ ,  $2\%$ ,  $4\%$ ) used *Chemical Solution Deposition* (CSD) method and *spin coating* (3000 rpm, 30 second) process, on substrate Si (1 0 0) and Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si (2 0 0). The Thermal process, hydrolisis, pyrolisis and annealing at temperature 800<sup>0</sup>C for crystallization. Characterization used XRD with refinement GSAS, *doping* Cu (1%, 2% dan 4%) doped in BST became crystal  $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$  and changed lattice parameter of crystal. The structure, microstructure, morphology and topography of film  $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$  were analyzed and correlated to electronic properties of film (Polarization and Dielectric). The undoped BST had more high polarization (spontant and remanent) than BST with doping Cu, but doping Cu made decrease coersive field of film. The used substrate Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si for growthing of film  $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$ , could more decrease coersive field than used substrate Si. The dielectric constant of film  $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$  are 900. The dielectric properties, low coersive field of growth BST films on substrate propose for utilization in switching ferroelectric memory.

Key word :  $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$ , BST, Rietveld, Coercive Field

## DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Perumusan Masalah	3
1.4 Kontribusi penelitian	3
<b>BAB II STUDI PUSTAKA</b>	
2.1 Dielektrik, Polarisasi dan Kapasitansi	4
2.2 Fenomena Ferroelektrik	6
2.2.1 Ferroelektrik Material	7
2.2.2 Kristallografi dan Ferroelektrik	8
2.3 Barium Strontium Titanat <i>System</i>	10
2.4 Teknik <i>Chemical Solution Deposition</i> (CSD)	11
2.4.1 Proses Kimia	11
2.4.1 <i>Spin Coating</i>	12
2.4.3 Pendarahan	13
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Alat dan Bahan Penelitian	15
3.2 Langkah Penelitian	15
3.2.1 Pembuatan lapisan $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$	15
3.2.1.1 Perhitungan larutan $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ (BST)	15
3.2.1.2 Substrat	16
3.2.1.3 <i>Spin Coating</i>	16
3.2.1.4 Kristalisasi	17
3.2.1.5 Kontak Elektroda	17
3.2.2 Karakterisasi	18
3.2.2.1 Struktur Kristal	18
3.2.2.2 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	21

BAB IV PEMBAHASAN	
4.1 Karakterisasi Material BST	22
4.1.1 Hasil Pengujian dengan SEM	22
4.1.2 Hasil Analisa XRF	25
4.1.3 Hasil Pengujian XRD	27
4.2 Analisa <i>Reitveld</i> GSAS	30
4.3 Karakteristik Sifat Listrik	33
4.4 Pengaruh Doping terhadap Volume Kristal, Polarisasi dan Dielektrik	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	38
DAFTAR PUSTAKA	39

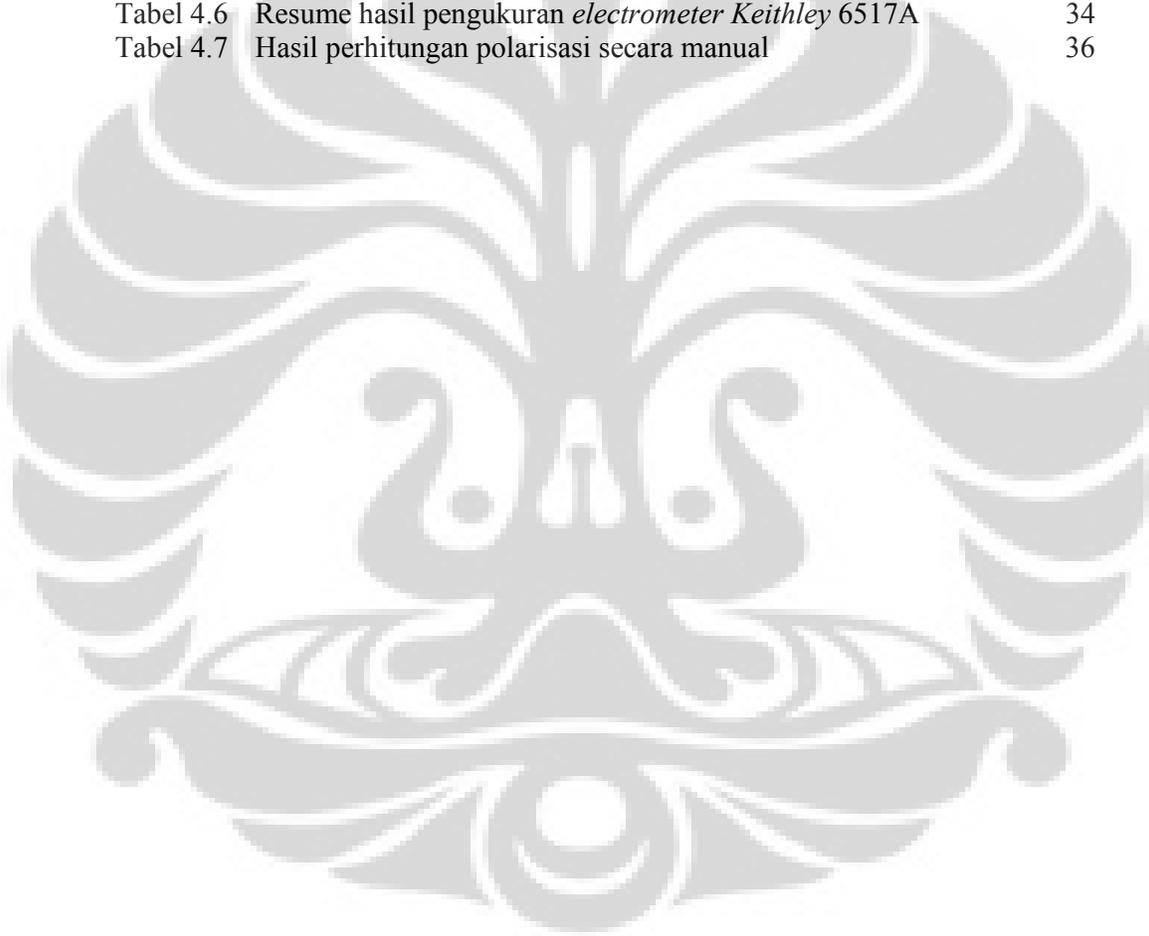


## DAFTAR GAMBAR

	<b>halaman</b>
Gambar 2.1 Distribusi muatan ketika diberikan tegangan	5
Gambar 2.2 Kapasitor plat paralel	5
Gambar 2.3 Respon muatan terhadap tegangan (beda potensial)	6
Gambar 2.4 Perbedaan nilai permitivity pada fase transisi ferroelektrik dan paraelektrik	7
Gambar 2.5 Struktur <i>Perovskite</i> kristal $ABO_3$	8
Gambar 2.6 Klasifikasi Ferroelektrik kristal	9
Gambar 2.7 Pergeseran Posisi Ti, akibat pengaruh medan listrik	10
Gambar 2.8 Kurva Polarisasi material ferroelektrik	10
Gambar 2.9 Prinsip <i>spin coating</i>	12
Gambar 3.1 Diagram Alir BST dengan <i>doping</i> Cu	18
Gambar 3.2 Diffraksi Bragg	19
Gambar 4.1 Hasil lapisan film BST diatas permukaan Substrat Si	23
Gambar 4.2 Hasil lapisan film BST diatas permukaan substrat Pt/TiO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub> /Si	24
Gambar 4.3 Hasil GSAS BST substrat Si	27
Gambar 4.4 Variasi % massa dopan Cu substrat Si	28
Gambar 4.5 Hasil GSAS BST substrat Pt	29
Gambar 4.6 Variasi % massa dopan Cu substrat Pt/TiO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub> /Si	30
Gambar 4.8 Probabilitas normal BST substrat Si	31
Gambar 4.8 Probabilitas normal BST substrat Pt	31
Gambar 4.9 Hasil pengukuran polarisasi BST substrat Si	33
Gambar 4.10 Hasil pengukuran polarisasi BST substrat Pt/TiO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub> /Si	34

## DAFTAR TABEL

	<b>halaman</b>
Tabel 2.1 Jari-jari ion pendoping sebagai <i>soft doping</i>	13
Table 2.2 Jari-jari ion pendoping sebagai <i>hard doping</i>	14
Tabel 4.1 Hasil XRF (wt%) BST murni dan BST <i>doping</i> Cu pada substrat Si	25
Tabel 4.2 Hasil XRF (At%) BST murni dan BST <i>doping</i> Cu substrat Si	25
Tabel 4.3 Hasil XRF (wt%) BST murni dan BST <i>doping</i> Cu pada substrat Pt	26
Tabel 4.4 Hasil XRF (At%) BST murni dan BST <i>doping</i> Cu pada substrat Pt	26
Tabel 4.5 Hasil penghalusan <i>Rietveld</i>	32
Tabel 4.6 Resume hasil pengukuran <i>electrometer Keithley 6517A</i>	34
Tabel 4.7 Hasil perhitungan polarisasi secara manual	36



## DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
Lampiran 1. Desain lapisan BST	41
Lampiran 2. Database ICDD BST, Si, Pt	42
Lampiran 3. Hasil Pencocokan Data Eksperimen Vs <i>database</i> ICDD	43
Lampiran 4. Perhitungan Stabilitas Doping	44
Lampiran 5. Perhitungan Polarisasi	45
Lampiran 6. Hasil GSAS BST Murni Substrat Si	46
Lampiran 7. Hasil GSAS BST 1 % Cu Substrat Si	48
Lampiran 8. Hasil GSAS BST 2 % Cu Substrat Si	50
Lampiran 9. Hasil GSAS BST 4 % Cu Substrat Si	52
Lampiran 10. Hasil GSAS BST Murni Substrat Pt	54
Lampiran 11. Hasil GSAS BST 1 % Cu Substrat Pt	56
Lampiran 12. Hasil GSAS BST 2 % Cu Substrat Pt	58
Lampiran 13. Hasil GSAS BST 4 % Cu Substrat Pt	60

## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangn	Satuan
$D$	Ionic Displacement	Columb/m <sup>2</sup>
$\epsilon_0$	Permetivity listrik pada kondisi vakum	farad/m
$\xi$	Medan Listrik	Volt
$P$	Polarisasi	Columb/m <sup>2</sup>
$p$	Momen <i>dipole</i>	Columb m
$q$	Muatan	Columb
$d$	Jarak antar <i>dipole</i>	m
$\chi$	Suseptibilitas elektrik	
$C$	Kapasitansi	Farad
$A$	Luas Permukaan plat	m <sup>2</sup>

## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Akhir-akhir ini, terdapat peningkatan penggunaan ferroelektrik material yang diaplikasikan dalam berbagai hal diantaranya: sensor dengan detektornya menggunakan sifat piezoelektrik, multilayer kapasitor dengan memanfaatkan nilai konstanta dielektrik yang tinggi, *infra red detector* yang memanfaatkan prinsip piroelektrik (Saha, 2000).

Beberapa jenis material ferroelektrik yang sering dipergunakan antara lain: *Barium Strontium Titanate* (BST), *Lead Zirconium Titanate* (PZT), *Strontium Titanate* (STO). *Barium Strontium Titanate* (BST) *thin film* telah lama dipelajari sebagai salah satu material yang dapat diaplikasikan untuk *Non Volatile Memory Device*, *Dynamic Random Access Memory* (DRAM), *voltage tunable device*, *Infra Red* (IR) dan sensor kelembaban (Roy, 2004). Karakteristik polarisasi non-linear dari BST ketika arus listrik DC diberikan dan membentuk kurva histerisis, menjadikan BST sebagai salah satu kandidat untuk *tunable microwave* dan *phase shifter*. Karakteristik sifat kelistrikan dari BST banyak dipengaruhi oleh metode pembuatan film, jenis material *doping*, suhu *annealing*, dan ukuran *grain* (Tae Gon, 2006).

Dalam proses pembuatan BST *thin film*, ada beberapa metode yang dipergunakan diantaranya *Pulsed Laser Deposition* (PLD), *Metal Organic Solution Deposition* (MOSD), *Sol-Gel Process* (Tae Gon, 2006) dan *RF Magnetron Sputtering*. Metode *Chemical Solution Deposition* (CSD) telah lama dikembangkan untuk penumbuhan *perovskite thin film* semenjak tahun 1980-an dan dipublikasikan oleh Fukushima et al (Schwartz, 1997). Metode ini berupa *sol-gel* yang memiliki beberapa keuntungan diantaranya memiliki tingkat homogenitas yang tinggi, mudah untuk mengontrol stoichiometri, serta dapat dipergunakan untuk *coating film* dalam jumlah besar (Sandip, 2006) dan mudah dalam proses *doping* (Sun, 2006).

Pada penelitian ini akan dipergunakan metode *chemical solution deposition* berupa *sol gel*  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$  (BST) yang akan dilapiskan dengan peralatan *spin coating* di atas substrat Si dan Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si, *doping* material

Universitas Indonesia

yang akan dipergunakan adalah Cu (*Copper*) Asetat ( $\text{Cu}(\text{COOH})_2$ ) 1%, 2% dan 4%. Menurut Tae gon Ha, 2006, *doping* Cu berpengaruh pada sifat dielektrik dan *insulator thin film* BST.

Pemilihan material *doping* berupa Cu Asetat, memiliki ion  $\text{Cu}^{2+}$ , ukuran jari-jari ion  $\text{Cu}^{2+}$  adalah 0.87 Å (Van Vlack, 1970), sehingga lebih kecil dibandingkan  $\text{Ba}^{2+}$  (1.43 Å) dan  $\text{Sr}^{2+}$  (1.27 Å), diharapkan dengan adanya *doping* Cu dapat menggantikan posisi atom Ba atau Sr pada BST ( $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ ) sehingga terbentuk  $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$  (Jamaluddin, 2008). Dengan adanya ion *doping* Cu yang memiliki jari-jari lebih kecil diharapkan pula dapat memperkecil jarak parameter kisi antar atom, sehingga dapat memperkecil volume atom yang pada akhirnya dapat memperbesar polarisasi.

Pada penelitian kali ini konsentrasi larutan *sol gel*  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$  (BST) adalah 0.5 M, hal ini didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh (Darmawan, 2007), bahwa untuk menghasilkan  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$  (BST) yang optimum konsentrasi larutan *sol gel* adalah 0.5 M. Sedangkan material *solvent* yang dipergunakan adalah asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) dan *ethylene glycol* ( $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ ), yang berfungsi untuk melarutkan dan mengurangi *crack* (retak) pada lapisan BST (Iriani, 2007). Pada proses *spin coating* menggunakan kecepatan 3000 rpm selama 30 detik (Iriani, 2008). Proses *thermal*, dilakukan mulai dari *hydrolisis*, *pyrolisis* dan dilanjutkan proses *annealing* untuk kristalisasi BST (Hikam, 2008).

Karakterisasi material lapisan BST terdiri dari karakterisasi unsur menggunakan *X-Ray Flourrosence* (XRF), morfologi dan kristalisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Sedangkan karakterisasi sifat listrik dengan melihat respon pemberian medan listrik terhadap polarisasi (P-E) menggunakan *electrometer Keithley 6513A*, dengan metode *Sawyer-Tower* (Iriani, 2008).

Menurut (Ornelas, 1998) metode *Sawyer-Tower* telah lama dipergunakan semenjak tahun 60-an, untuk melakukan pengukuran histerisis polarisasi (P-E) pada ferroelektrik kristal, serta dapat dipergunakan juga untuk mengamati fenomena polarisasi spontan dan medan koersif.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian ini adalah :

- Mendapatkan perbandingan karakteristik (morfologi kristal, polarisasi, medan koersif) ferroelektik antara lapisan BST yang di-*doping* Cu 1%, 2% dan 4 % dengan lapisan BST murni.
- Mendapatkan perbandingan karakteristik (medan koersif) ferroelektik antara lapisan BST yang ditumbuhkan di atas substrat Si dan Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si.

## 1.3 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dipelajari dalam penelitian ini mencakup :

Mempelajari dan mengkaji pen-*doping*-an *Copper* (Cu) pada BST (Ba<sub>0,5</sub>Sr<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub>), dengan asumsi akan terbentuk (Ba<sub>0,5</sub>Sr<sub>0,5</sub>)<sub>1-x</sub>Cu<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub>, dimana Cu memiliki jari-jari ion yang lebih kecil yang akan menggantikan Ba dan Sr, sehingga akan memperkecil volume atom, kemudian dikarakterisasi struktur kristal, komposisi, dan pengaruhnya terhadap sifat polarisasi.

## 1.4 Kontribusi Penelitian

Penelitian yang ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan dan teknologi sehingga dapat diketahui bagaimana karakteristik dari lapisan BST yang di-*doping* dengan Cu yang ditumbuhkan dengan metode *Chemical Solution Deposition* (CSD) pada permukaan substrat Si dan Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si.

## BAB 2 STUDI PUSTAKA

### 2.1 Dielektrik, Polarisasi dan Kapasitansi

Dielektrik material merupakan bahan isolasi listik (*nonmetallic*) dan dapat menghasilkan atau menunjukkan struktur *dipole* listrik, dimana dapat memisahkan antara muatan positif dan negatif ketika diberikan tegangan. Konstanta dielektrik diukur dari kemampuan material untuk menyimpan muatan pada kondisi relatif ataupun vakum (Adem, 2000).

Jika medan listrik  $E$  diberikan diantara dua plat elektroda muatan akan timbul, yang menghasilkan *Displacement*  $D$  :

$$D = \epsilon_0 E \quad (2.1)$$

Pada kondisi di antara plat adalah vakum, maka konstanta  $\epsilon_0$  dinamakan permitivity listrik pada kondisi vakum. Ketika terdapat material di antara plat, menyebabkan terjadinya kenaikan nilai *Displacement* terhadap medan listrik yang diberikan sebesar :

$$D = \epsilon_0 k E \quad (2.2)$$

Dimana  $k = \epsilon/\epsilon_0$  konstanta dielektrik

Dalam mempelajari material, lebih tertarik untuk mengembangkan bagian dari rapat muatan yang dinamakan polarisasi (columb/m<sup>2</sup>) :

$$P = D - \epsilon_0 E \quad (2.3)$$

Substitusi Persamaan 2.2 pada Persamaan 2.3 menjadi :

$$P = (k - 1) \epsilon_0 E$$

Sehingga diperoleh nilai suseptibilitas elektrik  $\chi = (k - 1)$

(Van Vlack, 1970)

Sebuah medan listrik yang diberikan pada dua paralel elektroda, akan menyebabkan atom atau melekul dalam material tersebut terpolarisasi. sehingga kita mendapatkan distribusi dari *moment dipole*. Besarnya nilai moment dipole  $p$  adalah :

$$p = q d \quad (2.4)$$

Dimana  $q$  adalah muatan dengan vektor dari negatif ke positif, dan  $d$  adalah jarak antara muatan positif dan negatif.

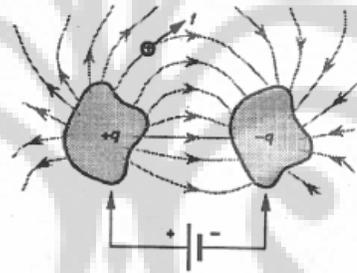
**Universitas Indonesia**

Terdapat empat jenis mekanisme polarisasi pada keramik dan gelas, polarisasi elektronik, polarisasi ionik (*atomic*), polarisasi dipolar (*orientational*) and polarisasi *interfacial*. Polarisasi dipolar sangat penting pada ferroelektrik, yang mempengaruhi konstanta dielektrik, serta cukup untuk memutar posisi *dipole* searah dan berlawanan arah pada *ionic displacement*.

Tegangan yang diberikan pada kapasitor, menyebabkan salah satu plat bermuatan positif dan negatif di bagian lain. Sehingga kapasitansi ( $C$ ) dapat didefinisikan sebagai nilai kuantitatif dari muatan ( $Q$ ) tiap tegangan ( $V$ ) yang diberikan :

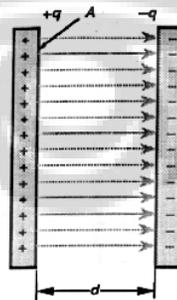
$$C = Q/V \quad (2.5)$$

$C$  = kapasitansi memiliki satuan farad (F)



Gambar 2.1 Distribusi muatan ketika diberikan tegangan

Untuk plat paralel kapasitor dimana tidak terdapat bahan dielektrik diantara plat tersebut, tampak pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kapasitor plat paralel

Nilai kapasitansinya adalah :

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (2.6)$$

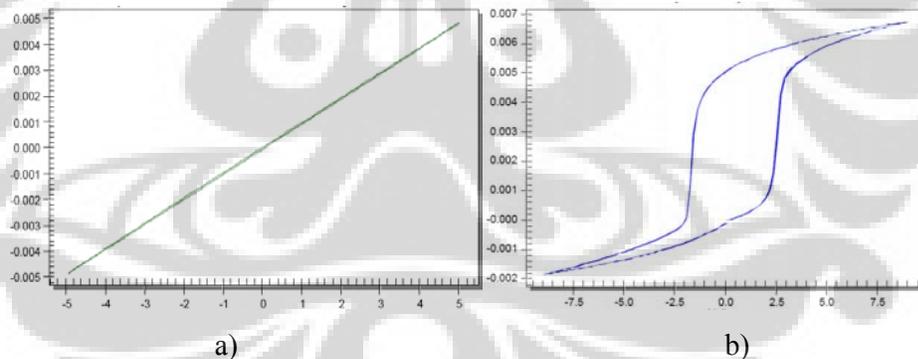
$A$  luas area plat sedangkan  $d$  adalah jarak antar plat. Ketika material dielektrik ditempatkan diantara plat maka nilai kapasitansi akan berubah menjadi :

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (2.7)$$

Sehingga nilai konstanta dielektrik relatif  $k(\epsilon_r)$ , merupakan rasio dari permitivity medium dengan permitivity pada kondisi vakum ( $\epsilon/\epsilon_0$ )

## 2.2 Fenomena Ferroelektrik

Ferroelektrik didefinisikan sebagai gejala terjadinya perubahan polarisasi secara spontan pada material tanpa gangguan listrik dari luar (Van Vlack, 1970). Pada material ferroelektrik variasi polarisasi ketika medan listrik diberikan tidak berbanding lurus (linear) melainkan membentuk kurva tertutup yang dinamakan kurva histerisis (Puri, 1997). Gambar 2.3 menunjukkan respon pemberian beda potensial terhadap jumlah muatan pada material.

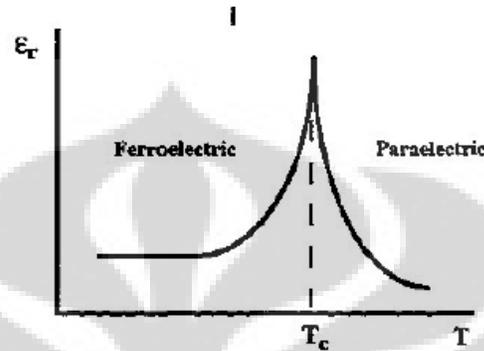


Gambar 2.3

Respon muatan terhadap tegangan (Evans, 2007)

Pada Gambar 2.3 a, linear respon ketika diberikan beda potensial terdapat jumlah muatan, hal ini mengikuti Persamaan 2.5, sehingga material yang memiliki respon seperti ini biasanya berupa linier kapasitor. Sedangkan pada Gambar 2.3 b, terdapat kurva histerisis untuk material ferroelektrik dimana respon yang diberikan terhadap beda potensial tidak linier (Evans, 2007).

Hilang atau munculnya sifat ferroelektrik pada material ketika mencapai suhu tertentu, suhu ini dinamakan suhu transisi atau *Curie Point*  $T_C$  (Puri, 1997). Pada Gambar 2.4, menunjukkan nilai suhu transisi, yang memisahkan sifat material



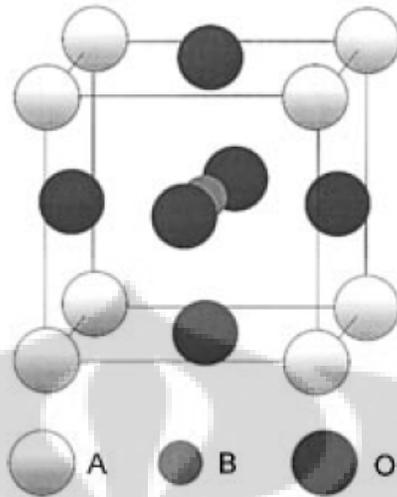
Gambar 2.4 Perbedaan nilai permitivity pada fase transisi ferroelektrik dan paraelektrik (Puri,1997)

### 2.2.1 Ferroelektrik Material

Keramik ferroelektrik pertama kali ditemukan pada tahun 1940, yaitu dengan ditemukannya konstanta dielektrik tinggi pada keramik kapasitor barium titanat. Sejak saat itu keramik ferroelektrik menjadi bahan yang sangat diperlukan oleh sejumlah industri. Komposisi pembuatan material ferroelektrik ada dua yaitu barium titanat dan zirconat titanat. Kini perkembangan keramik ferroelektrik menjadi pesat, tidak hanya terdiri dari dua komposisi terdahulu melainkan lebih dari itu (Adem, 2003). Material yang memiliki sifat ferroelektrik antara lain:  $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$  (PZT),  $(\text{BaSr})\text{TiO}_3$  (BST),  $\text{SrTiO}_3$  (ST) (Schwartz, 1997).

Material ferroelektrik ditandai dengan adanya polarisasi spontan tanpa adanya medan listrik. Ketika medan listrik diberikan pada material ferroelektrik, polarisasi akan menunjukkan sifat histerisis dengan medan listrik yang diberikan, seperti terlihat pada Gambar 2.2 b.

Pada dasarnya ferroelektrik material memiliki struktur kristal yang dinamakan *perovskite* ( $\text{ABO}_3$ ), kation yang memiliki diameter besar pada pojok unit sel (A), kation yang lebih kecil terletak pada pusat unit sel (B), dan ion oksigen pada pusat permukaan unit sel (Schwartz, 1997), Gambar 2.5 menunjukkan *perovskite* struktur.

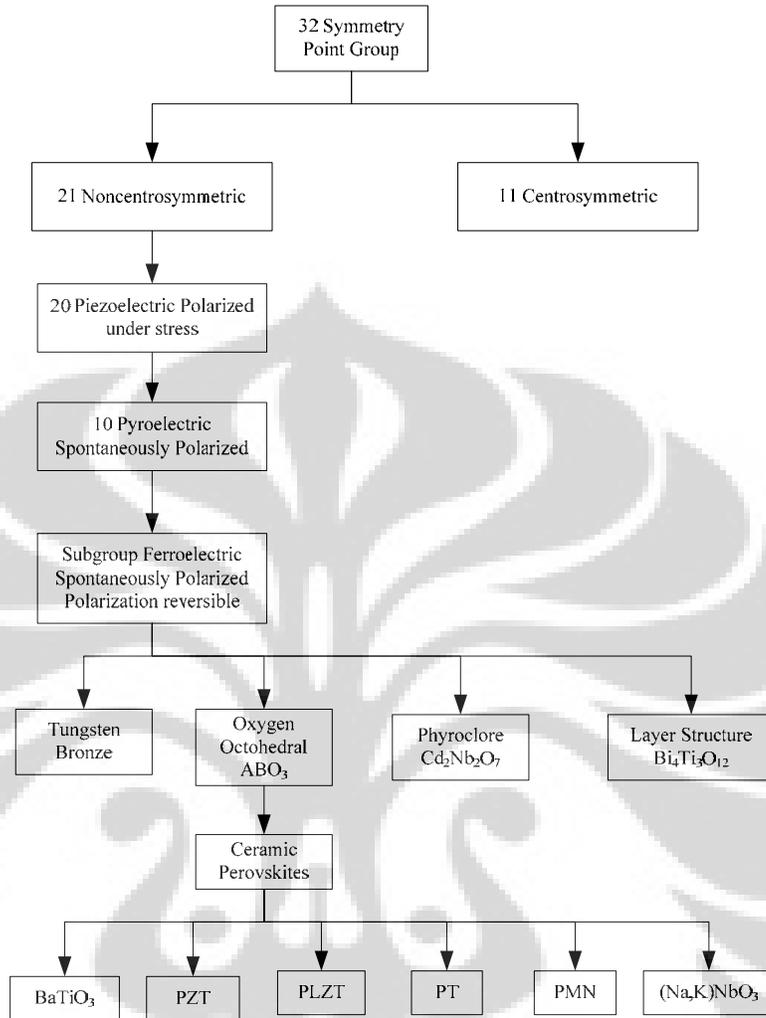


Gambar 2.5 Struktur *Perovskite* kristal  $ABO_3$  (Schwartz,1997)

### 2.2.2 Kristalografi dan Feroelektrik

Sistem kristal yang dapat menghasilkan sifat ferroelektrik dinamakan ferroelektrik kristal. Struktur simetri kristal memberikan efek geometri pada sifat struktur dan fisik kristal, seperti dielektrik, ferroelektrik, elastik, piezoelektrik, non linear optik. Kristal dibagi menjadi 32 kelas kristal (*point group*) sesuai dengan simetri yang dimiliki, dari 32 *point group* tersebut, terdiri dari 21 *non-centrosymmetric* dan 11 *centrosymmetric* (Xu, 2001).

*Centrosymmetric crystal* tidak memiliki banyak sifat polar, sebagai contoh jika kita memberikan tekanan yang merata (*uniform stress*) pada *Centrosymmetric crystal*, menyebabkan terjadinya sedikit pergeseran muatan pada kisi kristal, tetapi pusat simetri akan mengimbangi dengan membuat pergeseran relatif secara proporsional. Jika medan listrik diberikan akan menyebabkan perubahan muatan, namun *strain* tidak akan berubah jika memberikan medan listrik dari arah yang berlawanan. Dengan kata lain *strain* proporsional persegi yang diberikan medan, dinamakan *Quadratic Effect* atau *Electrostriction*. Efek ini terjadi pada semua bahan baik kristal maupun amorf (Jona, 1993).

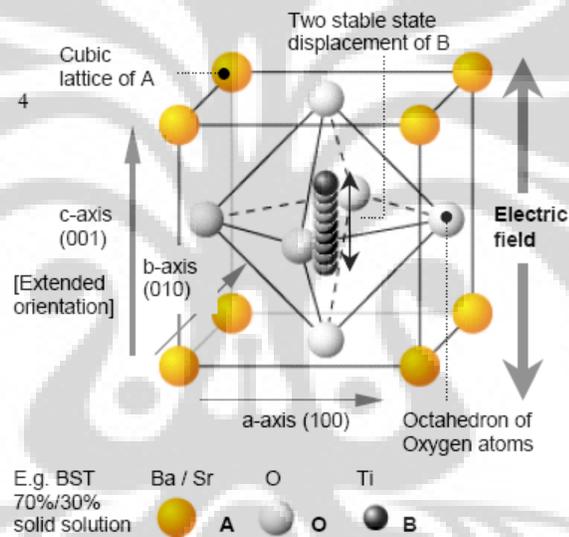


Gambar 2.6 Klasifikasi ferroelektrik kristal (Adem, 2003)

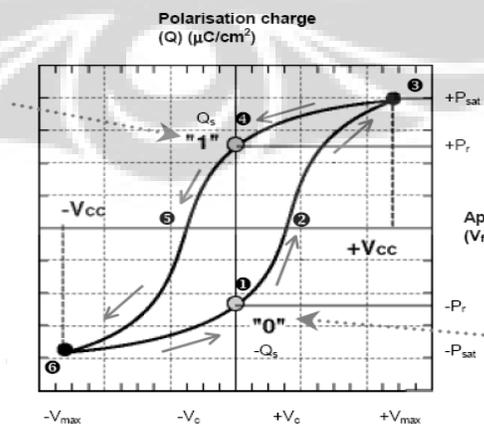
*Non-Centrosymmetric crystal* memiliki satu atau lebih sumbu polar dan menunjukkan sifat vektor dan tensor pada kristal. *Non-Centrosymmetric crystal* dibagi menjadi 20 *piezoelectric material*, yang menunjukkan terjadinya polarisasi listrik ketika diberikan suatu tekanan. Efek ini terjadi secara linier (Lines, 1979). Dari 20 piezoelektrik *Non-Centrosymmetric Crystal*, terdapat 10 yang memiliki sifat polarisasi spontan yang dipengaruhi oleh suhu (Adem, 2000). 10 group ini dinamakan *pyroelectric*. Ferroelektrik adalah bagian dari *pyroelectric* yang memiliki polarisasi spontan dan dapat kembali jika diberikan medan listrik dari luar (Jona, 1993).

### 2.3 Barium Strontium Titanat System

Barium strontium titanate merupakan salah satu ferroelektrik material yang banyak diaplikasikan untuk media penyimpan, memiliki struktur kristal *perovskite*. Pada gambar 2.7 merupakan gambar system kristal tetragonal, *perovskite* strukur pada ferroelektrik BST, yang memiliki orientasi pada permukaan (0 0 1), (0 1 0) dan (1 0 0). Bila diberikan medan listrik dari luar maka polarisasi elektrik ini menjadi dominan, polarisasi elektrik searah dengan orientasi sumbu-c (0 0 1), kondisi stabil pada polarisasi dapat dimanfaatkan untuk *logic* pada data digital 0 dan 1.



Gambar 2.7 Pergeseran Posisi Ti, akibat pengaruh medan listrik



Gambar 2.8 Kurva polarisasi material ferroelektrik

Kurva histerisis polarisasi pada material ferroelektrik ditunjukkan pada gambar 2.4, ketika medan listrik dari luar diberikan pada ferroelektrik kapasitor (1→3 atau 4→6), ini adalah merupakan proses *ionic displacement* pada material ferroelektrik, ketika tegangan dihilangkan (3→4 or 6→1). Ketika medan listrik yang diberikan 0 V (1 or 4) terdapat 2 kondisi polarisasi ( $\pm P_r$ ), pada keadaan stabil. Dua keadaan ini dipergunakan pada logic “1” or “0”, ketika tanpa ada medan ini dipergunakan pada aplikasi *non-volatile memory*.

## 2.4 Teknik *Chemical Solution Deposition* (CSD)

### 2.4.1 Proses Kimia

Teknik *Chemical Solution Deposition* (CSD) terdiri dari proses *sol gel* dan *Metalorganic Deposition* yang dipergunakan untuk memproduksi lapisan tipis keramik *perovskite*, khususnya untuk lapisan tipis barium strontium titanat (BST). Metode ini lebih ekonomis tidak hanya untuk penelitian ilmiah, namun juga dipergunakan pada pembuatan keramik modern dan teknologi yang mempersyaratkan kemurnian yang tinggi dan kontrol terhadap mikrostruktur dan komposisi. Semenjak reaktan kimia untuk CSD dapat dimurnikan dengan metode destilasi dan kristalisasi, film dengan kemurnian tinggi dapat difabrikasi. Keuntungan CSD yang sangat penting adalah elemen yang dapat dibuat, dihasilkan komposisi campuran akhir pada tingkat molekuler, yang berarti waktu difusi pada film inorganik setelah *pyrolysis* untuk mencapai kondisi termodinamika, fase stabil cukup singkat, yang pada akhirnya dapat menghasilkan campuran yang homogen dan lapisan yang tebal (Adem, 2000).

Pada prinsipnya CSD untuk mempersiapkan larutan yang terdiri campuran pelarut dan di-*coating* pada permukaan substrat dan larutan di polimerisasi menjadi berbentuk gel dan di panaskan untuk menghilangkan oksidasi *inorganic*.

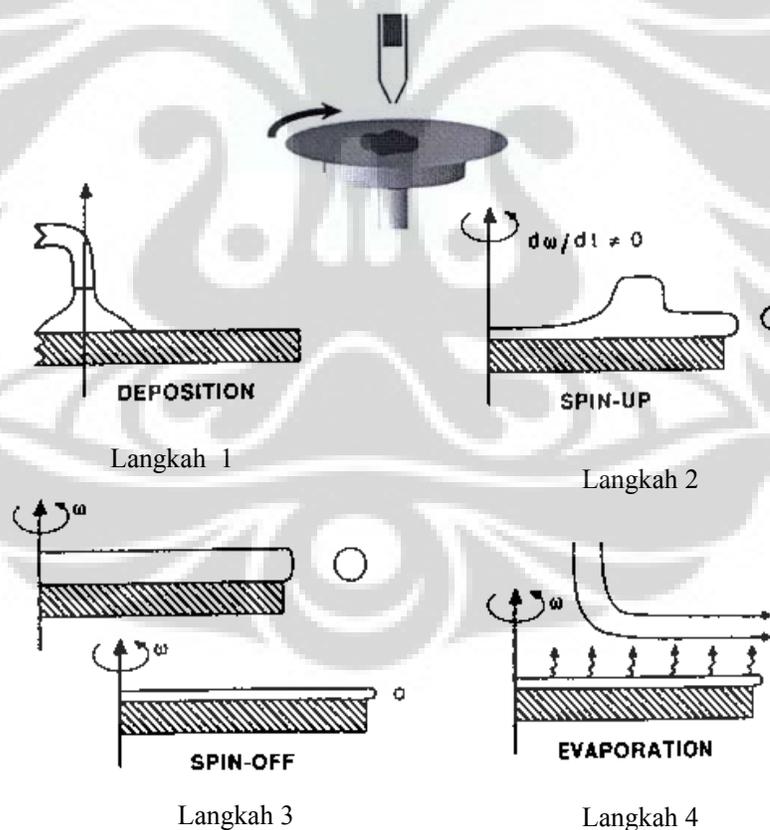
### 2.4.2 *Spin Coating*

Pendeposisian lapisan tipis dengan metode *spin coating* telah digunakan dalam beberapa dekade. Ada empat langkah pada proses *spin coating*. Langkah ketiga dan keempat adalah langkah yang berpengaruh pada ketebalan lapisan.

Langkah pertama adalah deposisi larutan pelapis di atas permukaan substrat. Hal ini dapat dikerjakan menggunakan pipet dengan meneteskan larutan

pelapis di atas substrat. Langkah kedua adalah substrat dipercepat dengan kecepatan putar tinggi (biasanya sekitar 3000rpm) yang merupakan langkah penipisan cairan pelapis. Pada langkah ini biasanya cairan pelapis ada yang ke luar dari permukaan substrat karena adanya gerak rotasi yang menyebabkan inersia dari lapisan larutan bagian atas tidak bisa dipertahankan saat substrat berputar lebih cepat Gambar 2.9 merupakan prinsip kerja *spin coating*.

Langkah ketiga adalah ketika substrat pada kecepatan konstan (sesuai yang diinginkan), yang dicirikan dengan penipisan larutan pelapis secara perlahan-lahan, sehingga didapatkan ketebalan larutan pelapis yang homogen. Kadang-kadang juga terlihat di bagian tepi pada bagian substrat yang ditetesi larutan pelapis lebih tebal. Langkah keempat adalah ketika substrat diputar pada kecepatan konstan dan terjadi penguapan pelarut.



Gambar 2.9 Prinsip *spin coating* (Adem, 2000)

Ketebalan lapisan dan sifat lainnya tergantung pada jenis cairan (viskositas, kecepatan pengeringan dan molaritas) serta parameter-parameter yang dipilih saat proses *spin coating* meliputi kecepatan putar, percepatan, dan kevakuman. Umumnya kecepatan putar yang tinggi dan lama waktu putarnya menghasilkan lapisan yang lebih tipis.

### 2.4.3. Pendadahan

Pendadahan atau pen-*doping*-an dapat menyebabkan perubahan: parameter kisi, konstanta dielektrik, sifat elektromekanik, sifat elektrooptik, sifat ferroelektrik, dan sifat piroelektrik dari setiap keramik dan lapisan tipis. Pen-*doping*-an atau pendadahan pada material ferroelektrik dibedakan menjadi dua, yaitu *soft doping* dan *hard doping* (Xu, 1991).

Tabel 2.1. Jari-jari ion pen-*doping* sebagai *soft doping* (Xu, 1991)

Ion kecil	r (Å)	Ion besar	r (Å)
Ti <sup>4+</sup>	0,68	Pb <sup>2+</sup>	1,32
Zr <sup>4+</sup>	0,79	La <sup>3+</sup>	1,22
Nb <sup>5+</sup>	0,69	Nd <sup>3+</sup>	1,15
Ta <sup>5+</sup>	0,68	Sb <sup>3+</sup>	0,90
Sb <sup>5+</sup>	0,63	Bi <sup>3+</sup>	1,14
W <sup>6+</sup>	0,65	Th <sup>4+</sup>	1,10

Ion *soft doping* dapat menghasilkan sifat material ferroelektrik menjadi lebih *soften*, seperti: koefisien elastisitas lebih tinggi, sifat medan koersif lebih rendah, faktor kualitas mekanik lebih rendah, dan faktor kualitas listrik lebih rendah. Ion-ion yang dapat dipakai *soft dopan* adalah: La<sup>3+</sup>, Nd<sup>3+</sup>, dan ion-ion tanah jarang seperti: Sb<sup>3+</sup>, Bi<sup>3+</sup>, Th<sup>4+</sup>, Nb<sup>5+</sup>, Ta<sup>5+</sup>, dan W<sup>6+</sup>. Pada BST, *soft doping* menyebabkan tidak efektifnya pembangkitan momen dipol, karena ion Ba tidak dapat mudah melompat dari posisi A ke ruang kosong posisi A, akibat terhalang secara ikatan ionik oleh oksigen pada gugus oktohedran.

Tabel 2.2. Jari-jari ion pen-doping sebagai *hard doping* (Xu, 1991)

Ion kecil	r (Å)	Ion besar	r (Å)
Ti <sup>4+</sup>	0,68	Pb <sup>2+</sup>	1,32
Zr <sup>4+</sup>	0,79	K <sup>+</sup>	1,33
Fe <sup>3+</sup>	0,67	Na <sup>+</sup>	0,94
Al <sup>3+</sup>	0,57		
Sc <sup>3+</sup>	0,83		
In <sup>3+</sup>	0,85		
Cr <sup>3+</sup>	0,64		
Mg <sup>2+</sup>	0,78		

Ion *hard doping* dapat menghasilkan sifat material ferroelektrik menjadi lebih *hardness*, seperti: loss dielektrik yang rendah, *bulk* resistivitas lebih rendah, sifat medan listrik koersif lebih tinggi, faktor kualitas mekanik lebih tinggi, dan faktor kualitas listrik lebih tinggi. Ion-ion yang dapat dipakai sebagai *hard dopant*: K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Co<sup>3+</sup>, Mn<sup>3+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Ga<sup>3+</sup>, In<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Sc<sup>3+</sup>. Pada BST ion *hard doping* menyebabkan sangat efektifnya pembangkitan momen dipol karena ion O dapat mudah melompat dari posisi O ke ruang kosong posisi O yang jaraknya sangat berdekatan (2,8 Å) dan loncatan ion dapat dengan mudah terjadi (Xu, 1991).

Pada penentuan material *doping* yang akan dipergunakan, untuk *perovskite* material (ABO<sub>3</sub>), diperlukan adanya faktor toleransi yang didasarkan jari-jari ion dan mengikuti persamaan :

$$t = (R_A + R_O) / (2)^{0.5} (R_B + R_O) \quad (2.8)$$

R<sub>A</sub> = Jari-jari ion atom A

R<sub>B</sub> = Jari-jari ion atom B

R<sub>O</sub> = Jari-jari ion atom O

Dimana t adalah faktor toleransi, *doping* akan stabil bila nilai t berada pada rentan 0.77 < t < 1.10 (Fu, 2004).

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain, seperangkat alat *spin coating*, untuk proses *coating* larutan *gel* BST di atas permukaan substrat. Peralatan untuk membuat larutan BST dengan metode *Chemical Solution Deposition* (CSD) diantaranya adalah : timbangan sartorius, tabung reaksi, tabung ukur, pipet corong, cawan petri, spatulla. Peralatan lainnya, antara lain sarung tangan, gunting, pinset dan mortal. Sedangkan peralatan untuk proses kristalisasi BST, dengan proses *annealing* untuk membentuk kristal BST menggunakan peralatan *furnace*. Untuk proses karakterisasi terdapat beberapa peralatan diantaranya untuk karakterisasi material : *X-ray Fluorescence* (XRF) model JSX-3211 (Jeol), *X-ray Diffraction* (XRD) Model PW 3710 (Philips), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) model Jeol JSM-5310LV, karakterisasi sifat listrik menggunakan peralatan *electrometer Keithley* 6570A.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, untuk pembuatan larutan BST terdiri dari *precursor* dan *solvent*. Bahan *precursor* diantaranya yang dipergunakan Barium Asetat ( $\text{Ba}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ) 99.999%, Strontium Asetat ( $\text{Sr}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ) 99.995%, Titanium Isopropoksid ( $\text{Ti}(\text{C}_{12}\text{O}_4\text{H}_{28})$ ) 99.000%, serta material untuk *doping* berupa *Copper* Asetat ( $\text{Cu}(\text{COOH})_2$ ). *Solvent* yang dipergunakan terdiri dari : Asam Asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) dan *Ethylene glycol* ( $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ ). Substrat yang dipergunakan terdiri dari 2 jenis yaitu: Si (*silicon*) (1 0 0) dan Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si (2 0 0) dari Inostek Korea. Bahan-bahan habis pakai lainnya yang diperlukan adalah kertas-saring dan selotip.

### 3.2 Langkah-Langkah Penelitian

#### 3.2.1 Pembuatan lapisan $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$

##### 3.2.1.1 Perhitungan larutan $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ (BST)

Barium asetat, strontium asetat, titanium (IV) isopropoksid adalah material *precursor* dan asam asetat, *ethylene glycol* merupakan *solvent* yang berfungsi untuk melarutkan dan mengurangi *crack* (retak) pada lapisan BST. Sedangkan

material *doping* berupa Cu asetat. Pada penelitian kali ini molaritas larutan BST murni 0.5 M dan variasi *doping* material Cu adalah 1%, 2% dan 4%.

Proses pembuatan larutan *sol gel* BST diawali dengan barium asetat, strontium asetat, asam asetat dikocok dengan ultrasonik. Asam asetat dicampurkan dalam larutan berfungsi untuk memudahkan penyaringan. Kemudian titanium (IV) isopropoksid ditambahkan ke larutan tersebut dan diaduk kembali. Selanjutnya *ethylene glycol* ditambahkan dan diaduk selama 30 menit. Kemudian larutan di atas *hotplate*. Untuk BST dengan *doping*, material *doping* ditambahkan sebelum penambahan *ethylene glycol*.

### 3.2.1.2 Substrat

Ada 2 jenis substrat yang akan digunakan dalam yaitu Si (*silicon*) (1 0 0), Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si (2 0 0), yang diproduksi oleh Inostek Korea. Sebelum dipergunakan untuk substrat dicuci menggunakan *treatment* khusus. Substrat Si dicuci dengan cairan *acetone*, selama 10 menit dengan mengoyang-goyangkannya, dilanjutkan dengan cairan methanol diulang selama 3 kali masing-masing tahap 10 menit. Cairan A dan dilanjutkan cairan B. Selama pengulangan tersebut substrat diselingi dicuci dengan aquades. Tahapan terakhir adalah pemanggangan di atas *hotplate* selama 30 menit.

Sedangkan untuk substrat dilakukan dengan cara Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si, pencucian dengan methanol selama 10 menit dan diulang sebanyak 3 kali, diantara diselingi dengan pencucian menggunakan aquades. Dan tahap akhirnya dipanggang di atas *hotplate* selama 30 menit.

### 3.2.1.3 Spin coating

Proses pelapisan menggunakan *spin coating*, pada proses pelapisan, substrat yang telah dibersihkan dan dipanggang, dipotong kecil-kecil sesuai dengan kebutuhan, dimasukan ke dalam peralatan *spin coating*. Substrat ditetesi dengan larutan BST (murni atau *doping*), dan diproses/diputar selama 30 detik dengan kecepatan 3000 rpm. Substrat yang telah ditetesi BST diambil dan dilanjutkan proses *hydrolisis* dengan pemanasan di suhu ruangan pada 200<sup>0</sup>C dan

proses *pyrolysis* pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$ , masing-masing proses dilakukan selama selama 10 menit.

Untuk membuat multilayer BST, proses mulai dari penetasan BST pada substrat, *spin coating* sampai ke proses *hydrolysis* dan *pyrolysis*, tahapan proses ini menghasilkan satu lapisan BST. Proses ini diulang sampai dengan jumlah lapisan yang diinginkan. Pada penelitian ini akan dibuat film BST dengan 5 lapisan.

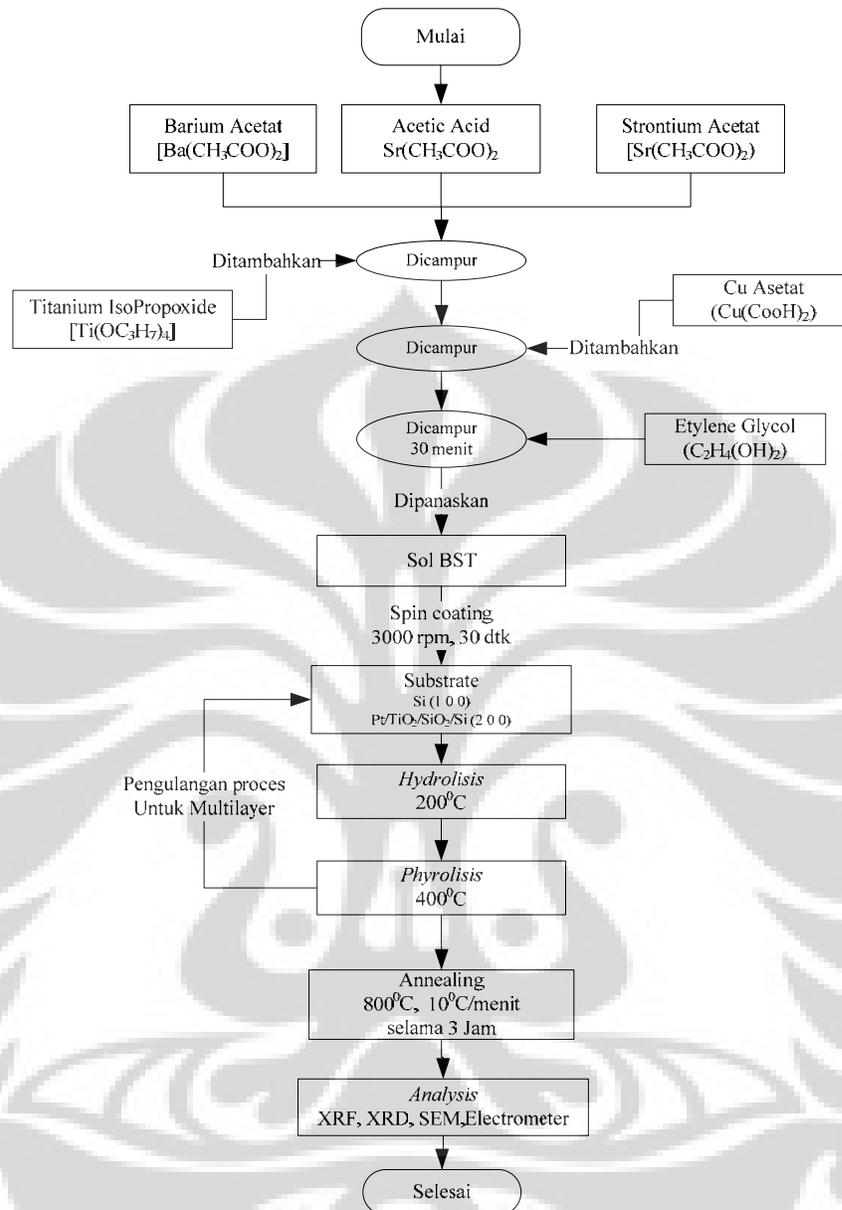
#### 3.2.1.4 Kristalisasi

Proses *annealing*, sampel di-*anneal* dengan pada suhu *annealing*, yaitu  $800^{\circ}\text{C}$  untuk masing-masing substrat Si dan Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si. Pada penelitian ini akan dilakukan dengan cara menaikkan suhu *furnace* dari suhu normal dengan kecepatan  $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$  selanjutnya dinaikkan sampai suhu *annealing* ( $800^{\circ}\text{C}$ ) dan ditahan selama 3 Jam. Penurunan suhu dilakukan secara perlahan sehingga diperoleh suhu pada *furnace* hampir sama dengan suhu kamar.

#### 3.2.1.5 Kontak Elektroda

Pada proses karakterisasi listrik material BST yang telah di tumbuhkan diatas permukaan substrat harus disambung dengan elektroda, yang selanjutnya akan disambungkan dengan sumber tegangan untuk dialirkan arus listrik. Elektroda Cu dipergunakan pada penelitian ini karena mudah dalam proses fabrikasi jika dibandingkan dengan Pt (Fan 2003). Detail kontak elektroda pada lampiran 1.

Langkah-langkah penumbuhan BST dengan metode *spin coating* seperti diperlihatkan pada Gambar 3.1 alur kerja penelitian pembuatan BST dengan *doping* Cu.



Gambar 3.1 Diagram Alir BST dengan *Doping* Cu

### 3.2.2. Karakterisasi

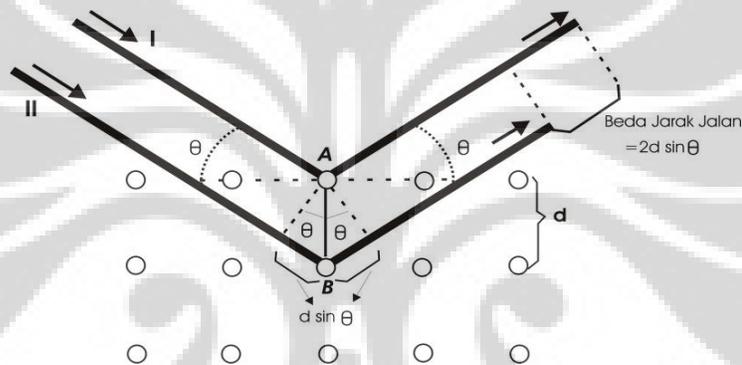
#### 3.2.2.1 Struktur Kristal

Karakterisasi struktur kristal menggunakan difraktometer Shimadzu 6000. Pada karakterisasi ini akan dilihat orientasi kristal dan parameter kisi dari lapisan BST yang terbentuk.

Pada proses difraksi sinar-X, sinar-X dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) mengenai atom A pada bidang I dan atom B pada bidang berikutnya. Interferensi konstruktif akan terjadi bila sinar terhambur sejajar dan beda jarak jalannya  $n\lambda$  dengan  $n$  bilangan bulat. Sudut yang terbentuk antara sinar datang terhadap permukaan bidang Bragg adalah  $\theta$ . Jarak antara dua permukaan bidang kristal disimbolkan dengan  $d$ , sehingga didapatkan persamaan Bragg sebagai berikut (Suryanaryana dan Norton, 1988):

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

dengan  $n$  dalah bilangan bulat 1,2,3,....



Gambar 3.3  
Difraksi Bragg

Hubungan antara sudut difraksi dan konstanta kisi bergantung pada sistem material. Untuk struktur kubus memenuhi persamaan:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (3.2)$$

Metode analitik merupakan salah satu metode untuk menganalisis sistem kristal, indeks pola difraksi ( $hkl$ ) dan menentukan parameter kisi suatu material. Pengindeksian dengan metode analitik meliputi pengerjaan aritmatik nilai  $\sin^2 \theta$  yang dicobakan dalam beberapa hubungan persamaan. Kunci dari pengindeksian pola difraksi suatu sistem, terutama untuk sistem kubik adalah perbandingan dari  $\sin^2 \theta$  dari setiap puncak. Pola difraksi dari sistem kubik memenuhi persamaan:

$$\frac{\sin^2 \theta}{(h^2 + k^2 + l^2)} = \frac{\sin^2 \theta}{s} = \frac{\lambda^2}{4a^2} \quad (3.3)$$

Dimana nilai perbandingan  $s$  merujuk pada penjumlahan dari indeks Miller bidang pantulan ( $hkl$ ), dengan penjumlahan  $s = (h^2 + k^2 + l^2)$  selalu bilangan bulat dan  $A = \frac{\lambda^2}{4a^2}$  sebuah konstanta setiap pola. Perbandingan dari nilai  $\sin^2 \theta$  pada sistem kubik mengikuti bilangan 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8,... dan seterusnya (tergantung tipe Bravaisnya). Prosedur pengindeksian sistem kristal kubik digambarkan dengan tabulasi langsung yang memberikan nilai  $\{\sin^2 \theta\}$ ,  $\{\sin^2 \theta / \text{faktor pembaginya}\}$  dan  $\{\text{sudut } (2\theta)\}$  dari setiap puncak.

### 3.2.2.2 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Korelasi antara tegangan dan panjang gelombang serta resolusi (daya pisah) dan panjang gelombang merupakan prinsip dasar dalam mengoperasikan Scanning Mikroskop Elektron (SEM). Berdasarkan hasil pengamatan Thomson (1897) dan hipotesa L. de Broglie (1924), berkas elektron dapat dibelokkan dan difokuskan oleh medan magnet dengan panjang gelombang elektron ( $\lambda$ ) dibuat sangat pendek sesuai dengan persamaan :

$$\lambda = h / m v \quad (3.4)$$

di mana  $\lambda$  = panjang gelombang

$h$  = konstanta Planck

$m$  = massa elektron

$v$  = kecepatan elektron

Berdasarkan hubungan antara voltase dan panjang gelombang, yakni :

$$V \sim 1/\lambda$$

Diketahui bahwa makin tinggi voltase maka makin pendek panjang gelombang. Sedangkan hubungan antara daya pisah (*resolution*) dengan panjang gelombang dinyatakan dalam rumus Reyleigh :

$$R = 0.61 \lambda / \alpha \quad (3.5)$$

Di mana  $R$  = daya pisah (*resolution*)

$\lambda$  = panjang gelombang

$\alpha$  = *Aperture* efektif lensa obyektif.

Pengamatan sampel dengan mikroskop elektron membutuhkan beberapa persyaratan yang berkaitan dengan interaksi elektron dan materi agar dapat diperoleh informasi yang diinginkan. Persyaratan utama agar sampel dapat diamati adalah harus konduktif. Akan tetapi untuk sampel yang non konduktif atau konduktivitasnya rendah harus dibuat konduktif atau ditingkatkan konduktivitasnya dengan cara melapis permukaan sampel dengan logam-logam berat atau karbon.

Untuk memperoleh informasi yang rinci biasanya digunakan perbesaran yang relatif tinggi. Dalam hal ini sampel harus stabil atau tahan panas terhadap terkonsentrasinya berkas elektron terutama pada saat pengamatan atau perekaman foto agar kualitas gambar yang diperoleh baik. Demikian pula dalam hal pengaturan tegangan pemercepat - untuk mempercepat laju elektron - harus senantiasa diperhatikan terhadap daya resolusi dan kestabilan bahan sampel yang diamati. Oleh karenanya, dalam hal penggunaan mikroskop ini harus selalu mempertimbangkan karakteristik sampel yang diamati, begitu juga kapasitas mikroskop elektron yang ada, agar diperoleh hasil yang optimal.

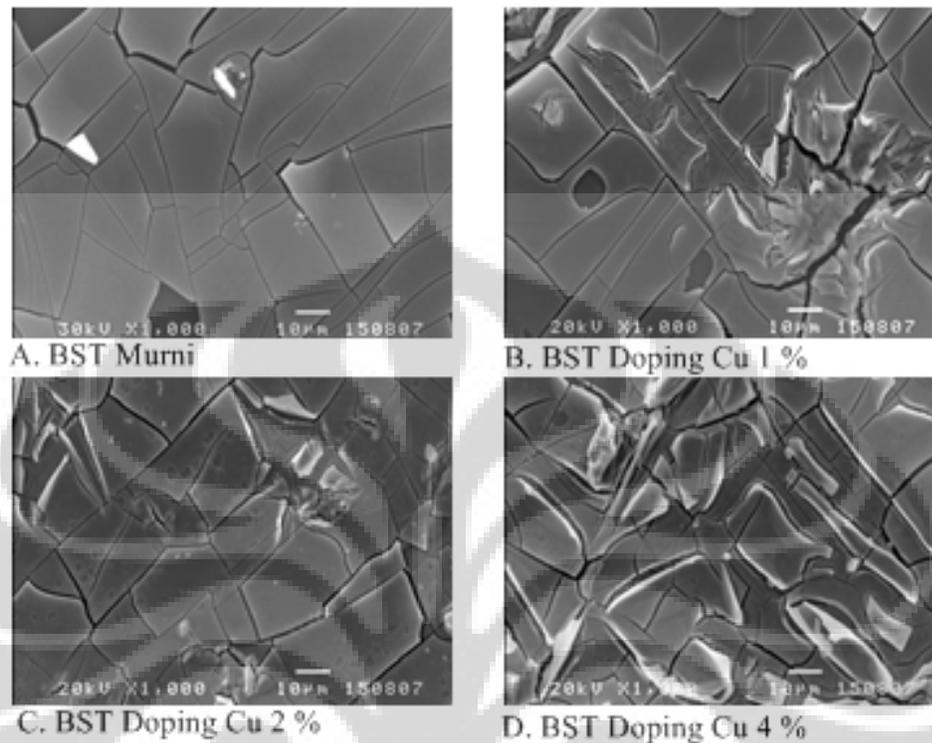
## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan metode *Chemical Solution Deposition* (CSD) dalam pembuatan lapisan  $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$  (BST) dengan *doping* Cu 1%, 2% dan 4%, dilanjutkan dengan melakukan *spin coating* pada permukaan substrat Si (1 0 0) dan Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si (2 0 0), dan diakhiri dengan proses *thermal* (*hydrolysis*, *pyrolysis* dan *annealing*). Dengan memperhatikan beberapa parameter diantaranya homogenitas larutan, kecepatan *spin coating*, waktu *spin*, suhu dan waktu *annealing*. Karakterisasi material yang dilakukan untuk melihat struktur kristal dan morfologi dari lapisan BST, analisa *rietveld* dengan bantuan software GSAS dilakukan untuk proses penghalusan dan pencocokan data eksperimen dengan *data base*, serta untuk mengukur jarak parameter kisi dari kristal yang berbentuk. Sehingga diperoleh nilai volume dari unit kristal. Karakterisasi sifat listrik untuk melihat polarisasi yang terbentuk pada lapisan  $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$  (BST) ketika diberikan tegangan DC. Perhitungan polarisasi secara manual dilakukan, untuk dapat memperoleh perbandingan dengan hasil eksperimen serta dibandingkan dengan literatur untuk Barium Titanate.

### 4.1 Karakterisasi Material BST

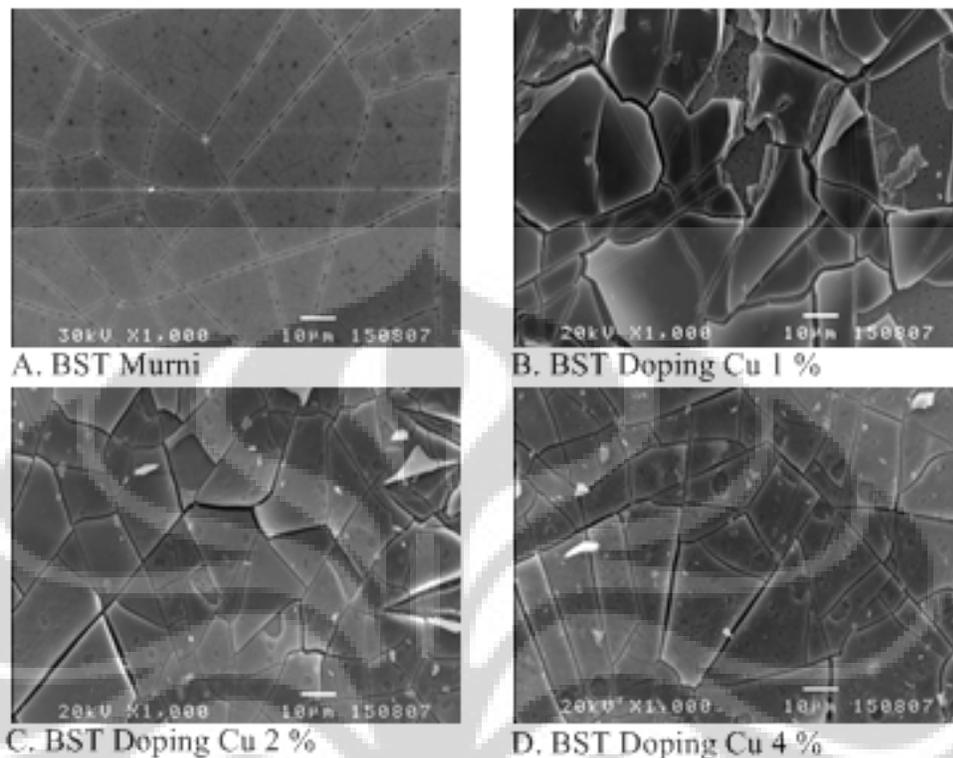
#### 4.1.1 Hasil pengujian dengan SEM

Karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) perbesaran 1000 X dilakukan untuk melihat morfologi permukaan lapisan  $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$  (BST) murni maupun BST dengan *doping* Cu (1%, 2% dan 4%). Gambar 4.1 menunjukkan Hasil SEM perbesaran 1000 X lapisan  $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$  (BST) di atas permukaan substrat Si, sedangkan Gambar 4.2 Hasil SEM lapisan  $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$  (BST) di atas permukaan Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si.



Gambar 4.1 Hasil SEM lapisan BST diatas permukaan Substrat Si

Pada Gambar 4.1 tersebut, masih terlihat *crack* (retak) pada semua permukaan BST (murni maupun *doping*), untuk BST murni *retak* yang dihasilkan cukup halus dibandingkan dengan BST yang di-*doping* Cu (1%, 2% dan 4%), retak yang sangat besar terlihat pada *doping* 4%. Pada Gambar 4.2 menunjukkan hasil SEM dengan perbesaran 1000 X, lapisan BST di atas permukaan substrat Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si.



Gambar 4.2 Hasil SEM lapisan BST diatas permukaan substrat Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si

Pada Gambar 4.2, masih terlihat *retak* pada semua permukaan BST (murni maupun *doping*), Namun jika dibandingkan dengan hasil SEM lapisan BST di atas permukaan Si (Gambar 4.1), hasil SEM lapisan BST di atas permukaan Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si sedikit lebih baik karena retak yang dihasilkan sedikit lebih rata. Pada konsentrasi *doping* Cu 1% (Gambar 4.2 B) terjadinya kerusakan berupa *retak* yang lebih lebar pada *film*.

Dari pengujian SEM perbesaran 1000 X terdapat *retak* pada hampir semua sampel BST. Ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya *retak*, namun untuk kasus ini penyebab adalah pada proses *annealing*, yaitu pemilihan laju untuk menaikkan suhu dari suhu lingkungan ke suhu *annealing* dan menurunkan suhu (*cooling process*). Serta masih ada kemungkinan air yang terjebak di dalam lapisan karena kurang sempurnanya proses pengeringan di atas *hotplate*, pada tahap pengulangan proses membentuk multilayer BST (*spin coating*, proses *thermal* di atas *hotplate*, penetasan *sol gel* BST pada substrat dan *spin coating*). Faktor lain adalah pada proses *coating* BST di atas permukaan substrat, ketika

proses *coating* telah 30 detik, dan peralatan (*spin coater*) dimatikan, *spin coater* tidak langsung berhenti (serentak), tetapi masih melakukan perputaran dengan memperlambat kecepatan sentrifugal secara perlahan sehingga menyebabkan lapisan menyebar tidak merata di atas permukaan substrat, lapisan yang tidak merata tadi ketika ditetesi BST untuk proses multilayer BST, akan menjadikan susunan lapisan BST yang tidak merata juga, yang pada akhirnya dapat menyebabkan retak pada *film*.

Retak pada lapisan BST ( $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ ) murni maupun dengan *doping* Cu (1%, 2%, 4%), sangat berpengaruh pada sifat listrik (polarisasi). Hal ini dapat dilihat pada pembahasan pengujian sifat listrik dari BST 4.3 dan 4.4.

#### 4.1.2 Hasil Analisa XRF

Pengujian dengan menggunakan XRF dilakukan dalam penelitian kali ini untuk mengetahui unsur penyusun dari lapisan BST ( $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ ) dengan *doping* Cu. Pada tabel 4.1 dan 4.2 menunjukkan hasil XRF pada BST di atas permukaan substrat Si, sedangkan tabel 4.3 dan 4.4 hasil XRF pada BST di atas permukaan substrat Pt.

Tabel 4.1 Hasil XRF (wt%) BST murni dan BST di-*doping* Cu pada substrat Si

Unsur Sampel	Ba (Wt %)	Sr (Wt %)	Ti (Wt %)	Cu (Wt %)
BST Murni	56,4288	5,9660	37,6051	-
BCST 1% massa	57,4744	5,8925	36,5043	0,1288
BCST 2% masa	56,3594	5,7676	37,8147	0,0584
BCST 4% massa	55,0627	5,5094	38,5244	0,9035

Tabel 4.2 Hasil XRF (At%) BST murni dan BST *doping* Cu substrat Si

Unsur Sampel	Ba (At %)	Sr (At %)	Ti (At %)	Cu (At %)
BST Murni	32,5046	5,3867	62,1087	-
BCST 1% massa	33,4825	5,3807	60,9746	0,1622
BCST % massa	32,4000	5,1971	62,3304	0,0725
BCST 4% massa	31,2662	4,9036	62,7214	1,1088

Tabel 4.3 Hasil XRF (wt%) BST murni dan BST di-*doping* Cu pada substrat Pt

Unsur Sampel	Ba (Wt %)	Sr (Wt %)	Ti (Wt %)	Cu (Wt %)
BST Murni	56,8640	5,5311	37,6048	-
BCST 1% massa	57,7863	5,4651	36,5561	0,1924
BCST 2% massa	54,2144	5,9731	39,8068	0,0057
BCST 4% massa	52,4479	5,8885	40,3621	1,3015

Tabel 4.4 Hasil XRF (At%) BST murni dan BST di-*doping* Cu pada substrat Pt

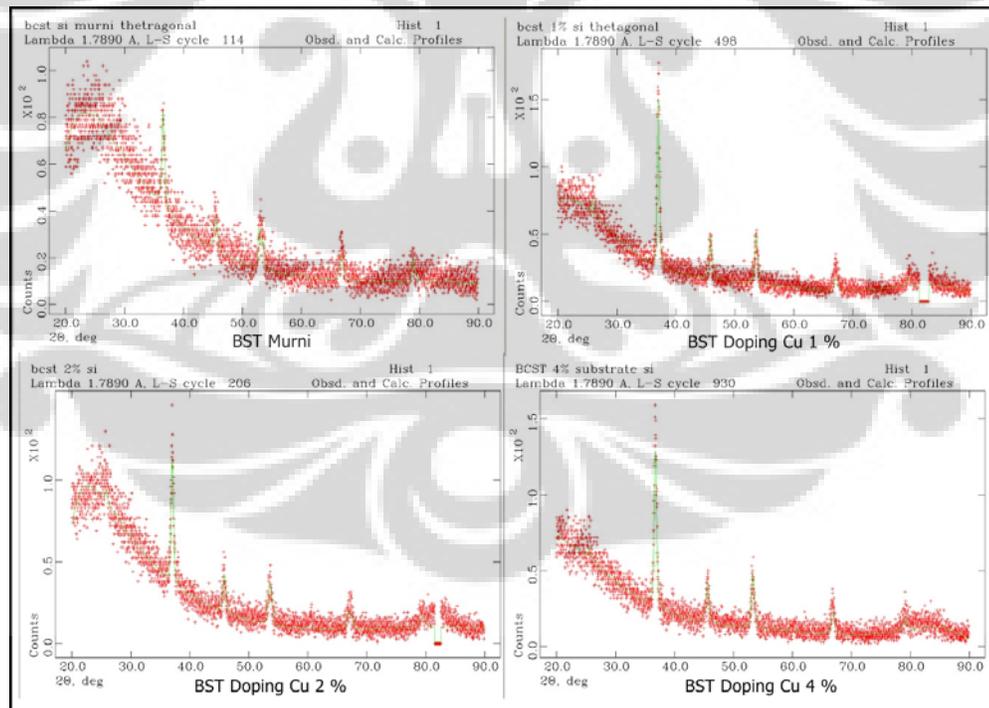
Unsur Sampel	Ba (At %)	Sr (At %)	Ti (At %)	Cu (At %)
BST Murni	32,8020	5,0012	62,2968	-
BCST 1% massa	33,6783	4,9925	61,0868	0,2424
BCST 2% massa	30,5048	5,2680	64,2203	0,0069
BCST 4% massa	29,1025	5,1216	64,2152	1,5608

Dari tabel 4.1, tabel 4.2, tabel 4.3, dan tabel 4.4, menunjukkan hasil analisa XRF bahwa unsur-unsur penyusun BST ( $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ ) yaitu Ba, Sr dan Ti telah terdeposit di atas substrat (Si maupun Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si). Namun, jika dilakukan perhitungan ulang komposisi BST, hasil XRF tersebut berbeda dengan hasil perhitungan. Seiring dengan penambahan jumlah konsentrasi *doping*, untuk penambahan 2% *doping* Cu, dimana hasil XRF menunjukkan nilai At% dan Wt%, yang lebih kecil jika dibandingkan dengan *doping* 1%. Perbedaan yang terjadi disebabkan antara lain karena pada analisa XRF yang terdeteksi adalah unsur yang memiliki nomor atom lebih dari 10, sedangkan pada perhitungan untuk membentuk komposisi BST, memperhitungkan massa material penyusun yaitu masa *precursor* (barium asetat, strontium asetat, titanium (IV) isopropoksid) dan masa *solvent* (asam asetat, *ethylene glycol*). Selain itu terdapat beberapa pengotor yang masih terjebak pada lapisan BST yang tidak terlihat pada analisa XRF karena memiliki nomor atom yang kecil. Pengotor ini secara proses harusnya hilang ketika dilakukan proses *thermal* (*hydrolysis*, *pyrolysis* dan *annealing*),

munculnya pengotor terjadi (selain terjebak diantara layer lapisan BST) juga karena pengotor tersebut memiliki titik leleh dan titik didih yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses thermal yang telah dilakukan pada penelitian kali ini (200<sup>0</sup>C, 400<sup>0</sup>C, dan 800<sup>0</sup>C)

#### 4.1.3 Hasil pengujian dengan XRD

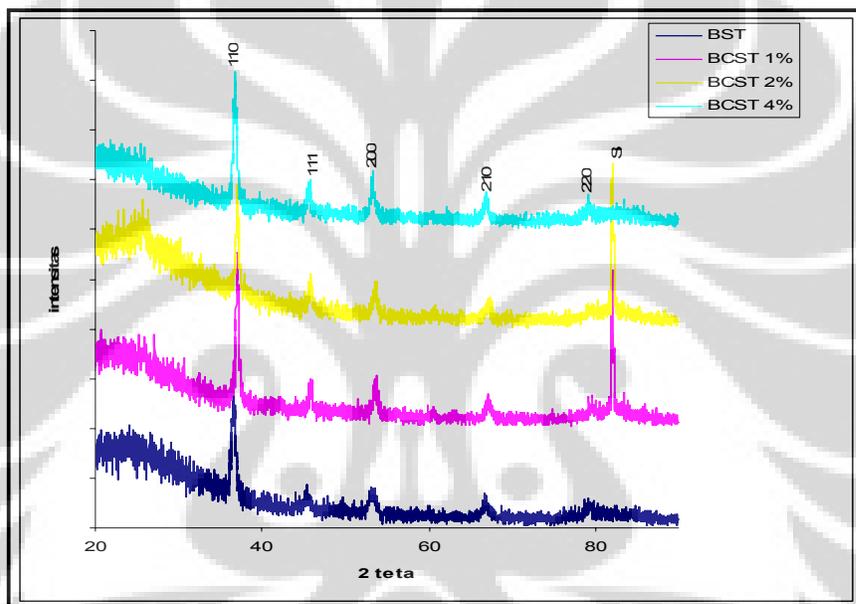
Pengujian XRD dilakukan untuk melihat terbentuknya fase BST atau terbentuk fase baru pada permukaan substrat Si dan Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si, serta untuk mengetahui pengaruh *doping* pada lapisan Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> (BST), yang telah dilakukan beberapa perlakuan suhu, *hydrolysis*, *pyrolysis* dan *annealing* pada suhu 800<sup>0</sup>C sehingga membentuk kristal BST. Berdasar Gambar 4.3, 4.4, 4.5 dan 4.5. terlihat sudah munculnya puncak-puncak difraksi, sehingga dapat dikatakan telah terbentuk kristal Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> (BST) diatas permukaan substrat Si maupun Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si.



Gambar 4.3 Hasil GSAS BST substrat Si

Dengan bantuan *data base ICDD (International Center for Diffraction Data)*, dilakukan pencocokan data eksperimen dengan *data base ICDD*. Berdasar

data eksperimen terdapat puncak (1 1 0), (1 1 1), (2 0 0), (2 1 0) dan (2 2 0), puncak terakhir (pada  $2\theta = 81.975^\circ$ ) yang muncul untuk konsentrasi *doping* 1 % dan 2 %. Setelah dilakukan pencocokan dengan *data base* ICDD (Lampiran 2), puncak (1 1 0), (1 1 1), (2 0 0), (2 1 0) dan (2 2 0), merupakan puncak-puncak BST, sedangkan puncak terakhir ( $2\theta = 81.975^\circ$ ) merupakan sudut dari substrat Si, detail pencocokan terlihat di lampiran 3. Hasil GSAS (Gambar 4.3), menunjukkan grafik pencocokan antara hasil eksperimen, dengan *data base*.

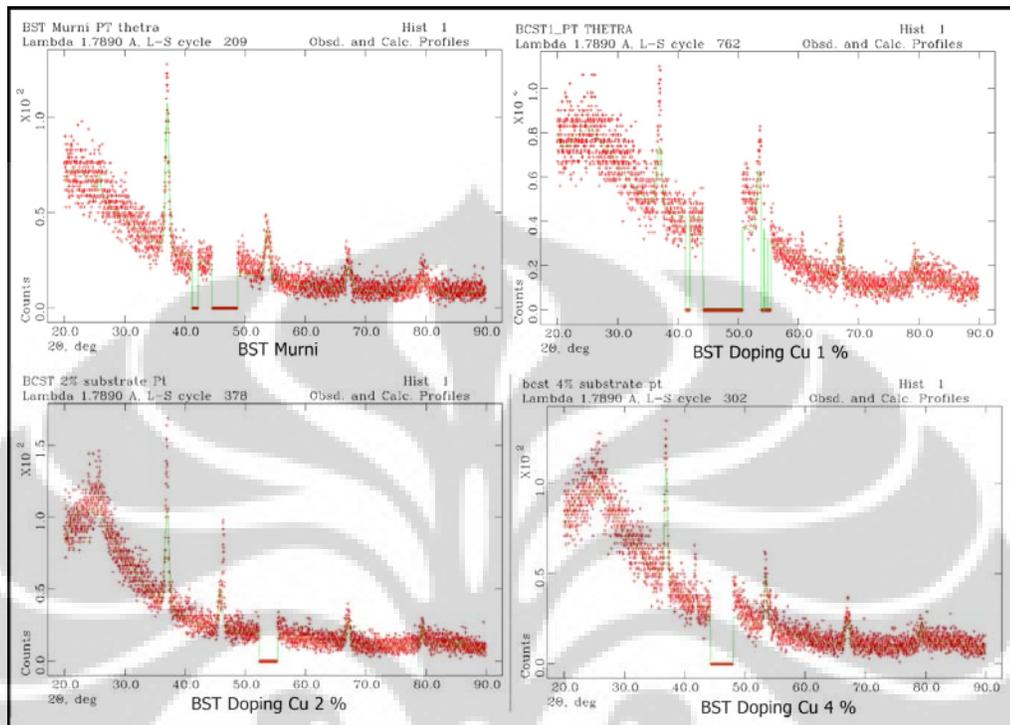


Gambar 4.4  
Variasi % massa dopan Cu substrat Si

Sedangkan pada Gambar 4.4 merupakan hasil XRD, dengan membandingkan variasi konsentrasi *doping* terhadap puncak-puncak intensitas sinar-X. Pada gambar tersebut tidak terlihat munculnya puncak baru atau kenaikan intensitas yang signifikan sehingga bisa diasumsikan bahwa tidak terjadi pergeseran fase atau muncul fase baru antara sebelum dan sesudah *doping* Cu.

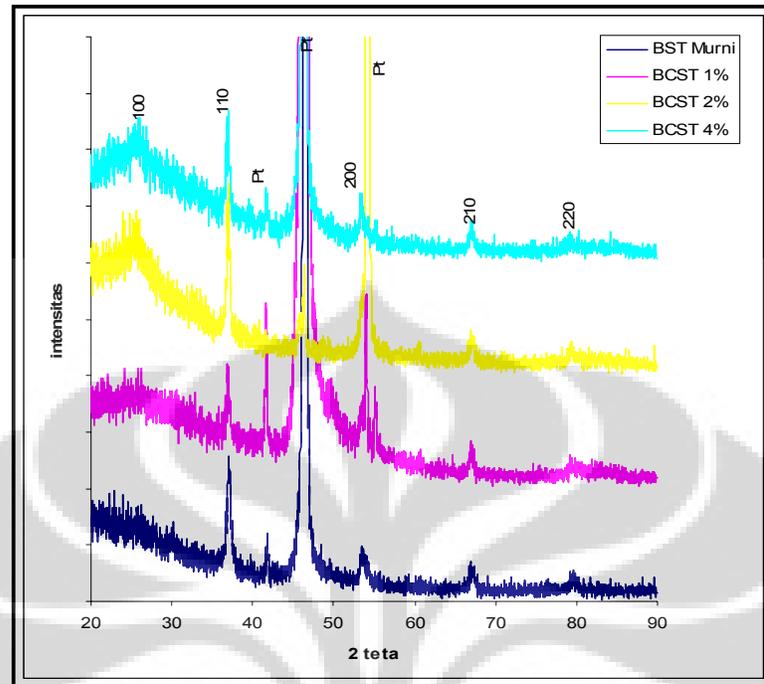
Dengan bantuan *database* ICDD (*International Center for Diffraction Data*), dilakukan pencocokan data eksperimen dengan *data base* ICDD. Berdasarkan data eksperimen terdapat puncak (1 1 0), (2 0 0), (2 1 0) dan (2 2 0), Setelah dilakukan pencocokan dengan *data base* ICDD (Lampiran 1), puncak (1 1

0), (2 0 0), (2 1 0) dan (2 2 0), merupakan puncak-puncak BST, secara lengkap pencocokan *database* ICDD dengan eksperimen terlihat pada Lampiran 3.



Gambar 4.5 Hasil GSAS BST substrat Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si

Pada Gambar 4.5 merupakan hasil GSAS, pencocokan antara hasil XRD dengan *data base*, terlihat hasil pencocokan bahwa puncak-puncak antara eksperimen dengan *database* sama. Untuk memudahkan pada proses GSAS dilakukan *crop (exclude)* pada puncak Pt (substrat) karena memiliki intensitas yang cukup tinggi sehingga puncak-puncak BST tidak terlihat (kurang dominan). Setelah dilakukan proses *exclude*, terlihat pada gambar 4.5 bahwa puncak-puncak BST yang muncul terlihat jelas.



Gambar 4.6  
Variasi % massa dopan Cu substrat Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si

Gambar 4.6 merupakan hasil XRD lapisan BST murni dan BST yang di-*doping* Cu di atas substrat Pt, dengan membandingkan variasi konsentrasi *doping* terhadap puncak-puncak intensitas sinar-X. Pada gambar tersebut terlihat puncak (1 0 0) semakin meningkat intensitasnya seiring dengan penambahan konsentrasi *doping* Cu.

Dari analisa di atas dapat dijelaskan bahwa telah terbentuk kristal Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> (BST). Serta dengan penambahan *doping*, *doping* Cu telah masuk dan tercampur dalam Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> (BST) membentuk kristal (Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>)<sub>1-x</sub>Cu<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> (x = 1%, 2% dan 4%).

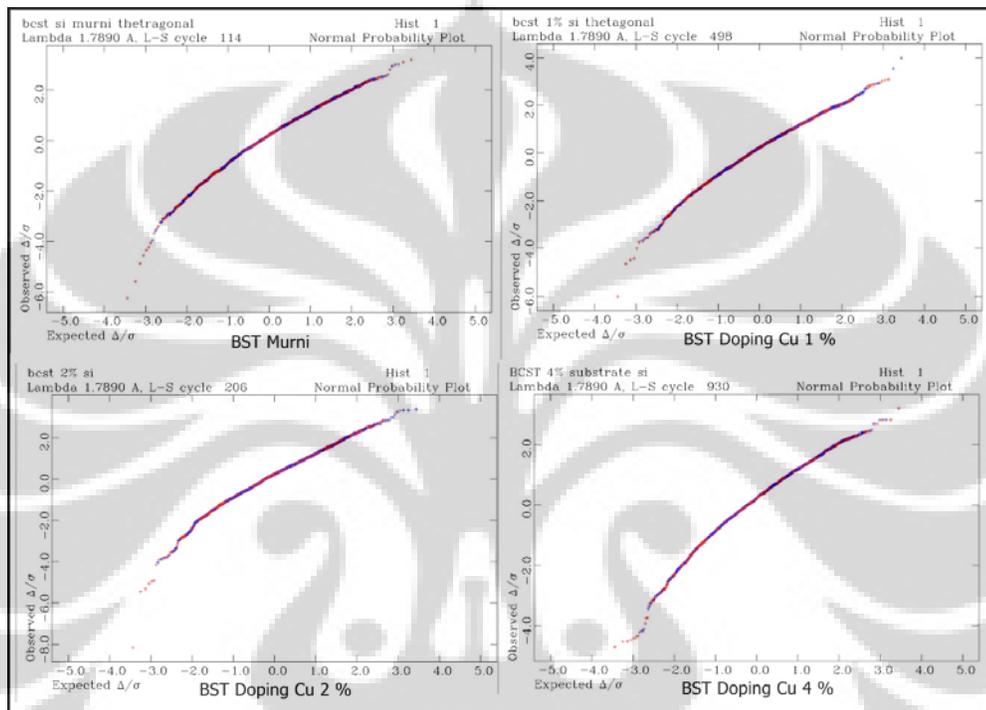
#### 4.2 Analisa Rietveld GSAS

Dengan bantuan *data base* ICDD-PCPDFWIN, dilakukan pencocokan sudut 2θ vs puncak intensitas antara hasil eksperimen (XRD) dengan *data base* ICDD (*International Center for Diffraction Data*). Berdasar data ICDD BST berbentuk kristal tetragonal, *space group* : p 4 m m.

Penghalusan dengan analisis *Rietveld* menggunakan bantuan *software* GSAS (*General Structure Analysis System*) yang telah dilakukan dengan

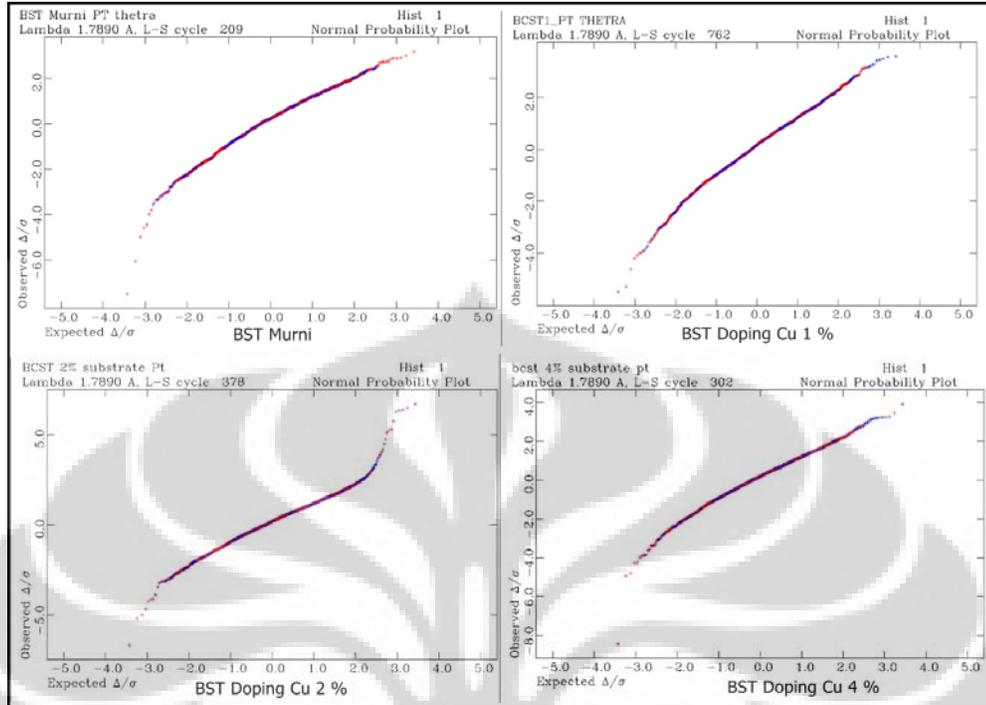
Universitas Indonesia

parameter-parameter seperti konstanta kisi, *background*, posisi atom dan fungsi profil puncak. Gambar 4.3 dan 4.5 merupakan perbandingan antara eksperimen dan hitungan GSAS yang tidak jauh berbeda. Sedangkan pada Gambar 4.7 dan 4.8 merupakan probabilitas normal untuk BST substrat Si dan substrat Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si.



Gambar 4.7 Probabilitas normal BST substrat Si

Meskipun, kurva pada probabilitas tidak menunjukkan garis lurus (Gambar 4.7 dan 4.8). Hasil tersebut telah cukup memadai untuk menunjukkan bahwa penghalusan telah berhasil. Sehingga analisa kuantitatif dapat dipercaya untuk menghitung besaran yang berkaitan dengan informasi struktur kristal. Hasil kuantitatif dari hasil penghalusan *Rietveld* GSAS terlihat pada Tabel 4.5 yang menunjukkan jarak parameter kisi kristal.

Gambar 4.8 Probabilitas normal BST substrat Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si

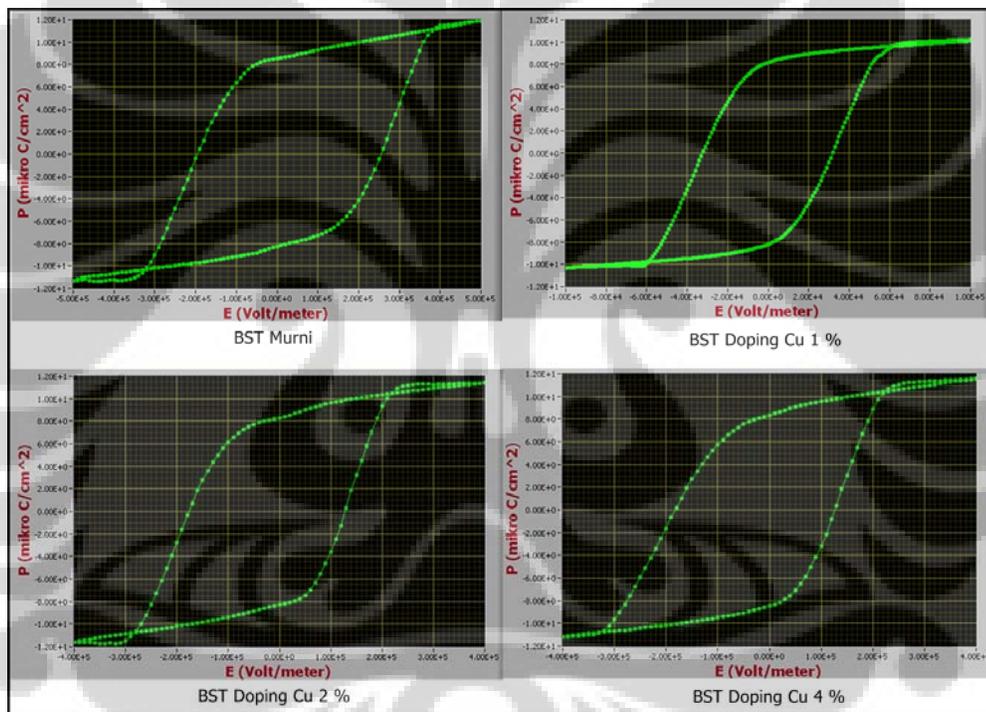
Analisa kualitatif berupa sudah mulai terbentuk kristal Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> (BST) dan penambahan *doping* Cu membentuk kristal (Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>)<sub>1-x</sub>Cu<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> (x = 1%, 2% dan 4%) diindikasikan dengan terlihat adanya puncak – puncak hasil XRD pada Gambar 4.4 dan 4.6. Sedangkan analisa kuantitatif terlihat pada Tabel 4.5 dimana terjadi perubahan parameter kisi dari kristal BST, perubahan ini terjadi karena pengaruh adanya atom *doping* Cu pada BST.

Tabel 4.5. Hasil penghalusan *Rietveld*

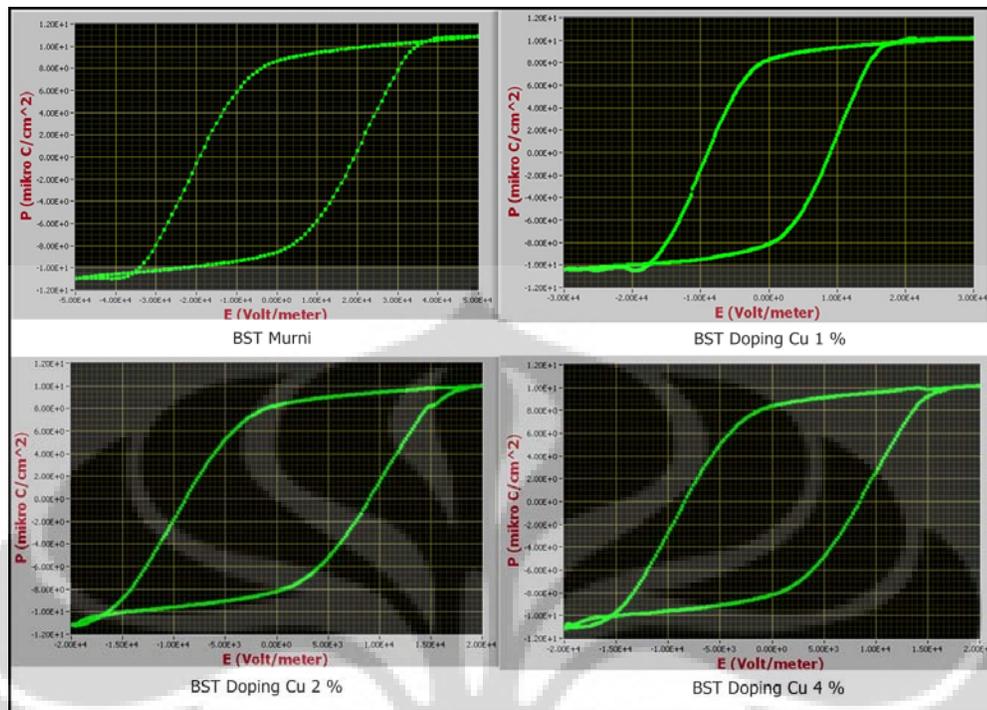
BST	Substrat	Parameter kisi		
		a (Å)	b (Å)	c(Å)
MURNI	Si	3.9298	3.9298	3.9664
Cu 1%		3.9474	3.9474	3.9680
Cu 2%		3.9484	3.9484	3.9621
Cu 4%		3.9435	3.9435	3.9596
MURNI	Pt/TiO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub> /Si	3.9469	3.9469	3.9382
Cu 1%		3.9532	3.9532	3.9296
Cu 2%		3.9506	3.9506	3.9256
Cu 4%		3.9396	3.9396	3.9649

### 4.3 Karakterisasi Sifat Listrik

Salah satu indikasi yang menunjukkan bahwa material memiliki sifat ferroelektik adalah adanya sifat polarisasi spontan. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran polarisasi listrik pada lapisan BST, menggunakan *electrometer Keithley 6517A*, dengan metode *Sawyer-Tower*. Untuk struktur elektroda mengikuti MIM (*Metal Insulator Metal*). Pada Gambar 4.9 dan 4.10 menunjukkan kurva histerisis dari kristal  $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$  ( $x = 0\%$ ,  $1\%$ ,  $2\%$  dan  $4\%$ ) ketika diberikan medan listrik dari luar. Dari kurva histerisis ini diperoleh nilai polarisasi spontan, polarisasi remanen serta medan koersif dari lapisan  $(\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Cu}_x\text{TiO}_3$ .



Gambar 4.9 Hasil pengukuran polarisasi BST substrat Si



Gambar 4.10 Hasil pengukuran polarisasi BST substrat Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si

Pada Gambar 4.9 dan 4.10 terlihat hasil pengukuran polarisasi dari BST yang di-doping Cu di atas permukaan substrat Si dan Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si, ketika diberikan beda potensial di antara kedua kutubnya. Dari semua sampel yang dibuat pada penelitian ini, respon polarisasi ketika diberikan medan listrik dari luar, membentuk kurva histerisis. Jadi dapat dikatakan material BST yang dibuat memiliki sifat ferroelektrik.

Tabel 4.6. Hasil pengukuran *electrometer Keithley 6517A*

Sampel	Substrat	Polarisasi Spontan (mikro C/cm <sup>2</sup> )		Polarisasi Remanen (mikro C/cm <sup>2</sup> )		Medan Koersif (Kvolt/cm)	
BST Murni	Si	10.2273	-9.7952	8.5371	-8.2462	254.8860	-195.2340
BST 1% Cu		9.1349	-9.2484	8.1705	-8.188	31.9218	-32.4131
BST 2% Cu		9.8636	-9.9405	8.2981	-8.2854	128.0510	-176.6680
BST 4% Cu		9.9875	-9.8209	8.3599	-8.4747	126.7410	-182.3730
BST Murni	Pt	9.7591	-9.7671	8.6483	-8.5701	19.2334	-19.1933
BST 1% Cu		9.2443	-9.2721	8.2646	-8.1413	9.0437	-8.9592
BST 2% Cu		9.1202	-9.6802	8.2749	-8.2077	9.0356	-8.8694
BST 4% Cu		9.2588	-9.5791	8.3713	-8.1708	8.4214	-8.4134

Pada Tabel 4.6 medan koersif pada lapisan BST murni maupun BST yang di-*doping* di atas substrat Si lebih besar jika dibandingkan dengan Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si. Sehingga dapat dikatakan, lapisan BST di atas substrat Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si sangat baik untuk *switching* pada aplikasi memori ferroelektrik. Karena untuk sebuah memori persyaratan yang diperlukan adalah sebuah material yang memiliki nilai polarisasi spontan yang besar dan medan koersif yang kecil.

Berdasarkan data Tabel 4.6 dan Gambar 4.9 dan 4.10, pengaruh *doping* Cu (1%, 2% dan 4%) terhadap polarisasi (spontan maupun remanen) material BST tidak begitu signifikan baik ketika ditumbuhkan di atas substrat Si maupun Pt. Polarisasi (spontan dan remanen) untuk BST murni di atas substrat Si maupun substrat Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si memiliki polarisasi (spontan dan remanen) lebih besar, jika dibandingkan dengan BST yang di-*doping*. Sedangkan medan koersif dari lapisan BST murni lebih besar jika dibandingkan dengan lapisan BST yang di-*doping* Cu. Sehingga dengan adanya *doping* Cu memperkecil medan koersif lapisan BST.

Kurva histerisis yang muncul dari tidak menunjukkan kurva yang simetri ketika diberikan medan potensial yang searah maupun arah sebaliknya, hal ini terlihat pada nilai polarisasi spontan, remanen dan medan koersif (antara positif dan negatif). Secara teori, kurva histerisis ada simetri. Sehingga munculnya ketidaksimetrian ini dapat disebabkan karena kristal BST yang ditumbuhkan pada penelitian ini tidak memiliki orientasi yang seragam atau masih terdapat retak di dalamnya (terlihat pada hasil SEM). Retak ini, akan mengakibatkan pergeseran ion Ti<sup>4+</sup> dalam BST ketika diberikan potensial dari luar tidak dapat terjadi secara simultan seperti pada teori (sub bab 2.3), ada bagian yang sudah bergeser namun dibagian lain tidak terjadi pergeseran karena pada bagian itu terdapat retak. Ketika diakumulasikan akan terjadi suatu bagian sudah terpolarisasi dan bagian lain belum terpolarisasi, sehingga terjadi ketidaksimetrian kurva histerisis.

#### 4.4 Pengaruh *Doping* terhadap Volume Kristal, Polarisasi dan Dielektrik

Penambahan *doping* Cu, akan menggantikan posisi atom Ba dan Sr pada struktur *perovskite* kritel, karena Cu yang dipergunakan yaitu *Copper* Asetat ( $\text{Cu}(\text{COOH})_2$ ) memiliki muatan yang sama (+2), serta  $\text{Cu}^{2+}$  (0.87 Å) memiliki jari-jari ion lebih kecil dibandingkan dengan  $\text{Ba}^{2+}$  (1.43 Å) maupun  $\text{Sr}^{2+}$  (1.27 Å). Setelah dilakukan perhitungan faktor kestabilan *doping* (Lampiran 4), sehingga penggunaan *doping* Cu dapat diterima.

Berdasarkan data hasil analisa *rietveld* GSAS tabel 4.5, bentuk kristal BST yang ditumbuhkan adalah tetragonal ( $a=b,c$ ). sehingga dihitung nilai volume kristal. Perhitungan polarisasi sangat dipengaruhi oleh volume kristal, hal ini terlihat pada lampiran 4 dan 5, dengan melakukan pendekatan perhitungan polarisasi untuk material Barium Titanate (interaksi yang terjadi sebagai penyebab polarisasi adalah antara ion  $\text{Ti}^{4+}$  dan  $\text{O}^{2-}$ ). Dengan pendekatan yang sama dilakukan untuk material BST, sehingga diperoleh nilai volume kristal, polarisasi seperti terlihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil perhitungan polarisasi secara manual

BST	Substrat	Parameter kisi			Volume (Å)	Polarisasi $10^{-5}$ (C/cm <sup>2</sup> )	<i>k</i>
		a (Å)	b (Å)	c(Å)			
MURNI	Si	3.93	3.9298	3.966	61.2544	1.7240	974.9872
Cu 1%		3.947	3.9474	3.968	61.8292	1.7079	965.9320
Cu 2%		3.948	3.9484	3.962	61.7686	1.7096	966.8795
Cu 4%		3.944	3.9435	3.96	61.5765	1.7149	969.8926
MURNI	Pt	3.947	3.9469	3.938	61.3494	1.7213	973.4799
Cu 1%		3.953	3.9532	3.93	61.4110	1.7196	972.5043
Cu 2%		3.951	3.9506	3.926	61.2678	1.7236	974.7747
Cu 4%		3.94	3.9396	3.965	61.5370	1.7160	970.5142

Secara teori, dengan penambahan *doping* Cu akan menyebabkan volume kristal akan semakin kecil, karena  $\text{Cu}^{2+}$  memiliki jari-jari ion lebih kecil dibandingkan dengan  $\text{Ba}^{2+}$  maupun  $\text{Sr}^{2+}$ , sehingga jarak ion akan semakin dekat. Namun hasil GSAS menunjukkan fakta yang berlainan, bahwa penambahan Cu tidak secara signifikan atau membentuk kecenderungan jarak antar ion yang semakin dekat sehingga terjadi pengurangan volume kristal. Terjadinya perbedaan hasil GSAS dan teori, dapat disebabkan oleh adanya jumlah yang *doping* yang

dipergunakan relatif kecil hanya maksimal 4 %, dapat juga terjadi karena adanya retak pada kristal sehingga pengaruh *doping* menjadi kurang signifikan.

Penggunaan Cu sebagai *doping* yang menggantikan Ba dan Sr, tidak berpengaruh banyak terhadap polarisasi, karena yang memiliki peran penting untuk mempengaruhi polarisasi adalah penggantian atom B pada struktur *perovskite* kristal ( $ABO_3$ ). Dalam hal ini untuk material  $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$  (BST), material yang akan digantikan adalah Titanium ( $Ti^{4+}$ ). Berdasar literatur Barium Titanate memiliki polarisasi pada rentan  $15-18 \times 10^{-6} \text{ C/cm}^2$  (Jona, 1993), pada penelitian ini hasil perhitungan menunjukkan polarisasi pada rentan  $17 \times 10^{-6} \text{ C/cm}^2$  (Tabel 4.7), sehingga hampir sama dengan literatur. Sedangkan hasil pengukuran polarisasi menggunakan peralatan *electrometer Keithley 6517A* menghasilkan polarisasi pada rentan  $9 \times 10^{-6} \text{ C/cm}^2$  (Tabel 4.6). Terdapat perbedaan hasil pengukuran polarisasi dibandingkan dengan literatur atau perhitungan. Perbedaan ini dapat terjadi dikarena proses kalibrasi peralatan, atau juga faktor eksternal pada penggunaan metode *Sawyer-Tower* berupa penentuan nilai kapasitansi yang lebih kecil dari kapasitansi lapisan  $(Ba_{0.5}Sr_{0.5})_{1-x}Cu_xTiO_3$  (BCST).

Konstanta dielektrik dari  $(Ba_{0.5}Sr_{0.5})_{1-x}Cu_xTiO_3$  (BCST), dapat dilakukan perhitungan dengan mengikuti persamaan 2.3. Dengan mengetahui nilai medan listrik DC dari luar yang diberikan pada lapisan  $(Ba_{0.5}Sr_{0.5})_{1-x}Cu_xTiO_3$ , maka diperoleh nilai konstanta dielektrik seperti terlihat pada tabel 4.8. Nilai konstanta dielektrik yang dihasilkan pada penelitian ini adalah sekitar  $k = 900$ , sedangkan penelitian lain menghasilkan konstanta dielektik pada rentan  $k = 600-900$  (Tae Gon, 2006).

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Pembuatan lapisan  $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$  (BST) murni dan BST yang di-*doping* Cu di atas substrat Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si dan Si telah berhasil dilakukan. Adapun kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah:

- Dari hasil karakterisasi XRD dan penghalusan GSAS, *doping* Cu (1%, 2% dan 4%) telah membentuk kristal  $(Ba_{0.5}Sr_{0.5})_{1-x}Cu_xTiO_3$ . Analisa sifat listrik menunjukkan bahwa polarisasi (spontan dan remanen) untuk BST murni lebih besar jika dibandingkan dengan BST yang di-*doping* Cu ( $(Ba_{0.5}Sr_{0.5})_{1-x}Cu_xTiO_3$ ) tetapi *doping* Cu dapat memperkecil medan koersif.
- Perbedaan penggunaan substrat (Si dan Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si) untuk analisa medan koersif menunjukkan lapisan  $(Ba_{0.5}Sr_{0.5})_{1-x}Cu_xTiO_3$  yang ditumbuhkan di atas substrat Si menghasilkan medan koersif yang lebih besar dibandingkan dengan substrat Pt/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si.

#### 5.2 Saran

Untuk penelitian yang akan datang, perlu dilakukan perbaikan pada proses *annealing* meliputi waktu *annealing* dan kecepatan *annealing*, hingga didapatkan lapisan BST yang halus. Sehingga nilai polarisasi dan medan koersif dari material dapat lebih baik. Perlu ditambahkan karakterisasi sifat listrik untuk pengukuran *leakage current* dan dielektrik, karakterisasi ini dipergunakan untuk aplikasi BST sebagai DRAM.

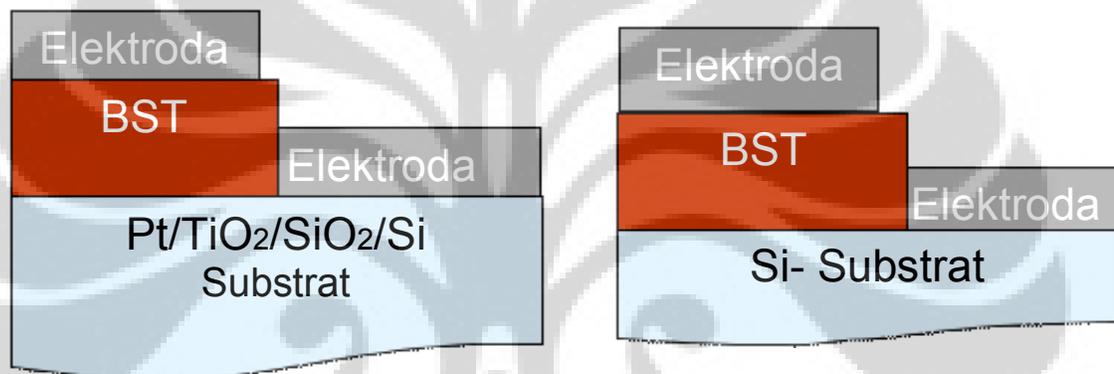
### Daftar Pustaka

- Adem, 2003, "Preparation Of  $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$  Thin Film By Chemical Solution Deposition and Their Electrical Characterization", Thesis, Ankara Turkey :Middle East Technical University
- Darmawan, A., 2007, "Karakteristik sifat Ferroelektrik Lapisan Tipis  $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$  doping  $In_2O_3$ " Thesis : Jakarta : Universitas Indonesia
- Evans, T. Joe., 2007, "Application Note AN0701-RTI Measuring Ferroelectric Hysteresis using Sawyer-Tower Circuit", Radiant Technologies, Inc ([www.ferrodevice.com](http://www.ferrodevice.com))
- Fan, W., 2003, "Materials Science and integration bases for fabrication of  $(Ba_xSr_{1-x})TiO_3$  thin film capacitor with layered cu-based electrodes" Journal of Applied Science volume 4, number 9
- Fu, Xinghua, "Progress of  $(Sr,Ba)TiO_3$  ferroelectric thin film and tunability", Indian Academy of Science, Bull Mater. Sci, Vol 27, No 5, October 2004, pp 433-439
- Hikam, M; B.Soegiyono, Y. Iriani, A.Jamaludin, N.Sueta, "The influence of Mg Doping on Micro Structure and Grain Size of Barium Strontium Titanate Thin Films", presented in International Conference for Young Chemist, 18-20 June 2008
- Iriani, Y. ; M. Hikam, A. Darmawan, A.S. Aziz and T. Yogaraksa, "Crystallographic Study of Barium Strontium Titanate ( $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ ) Thin Films Prepared by Sol-Gel Method", presented by Y. Iriani in the International Conference on Materials for Advanced Technology, 1-6 Juli 2007, Singapore
- Iriani Y, M. Hikam, B.Soegiyono, N.Sueta, dan I. Mudzakir, "Sifat Ferroelektrik BST dan BST yang didadah Mg yang Dibuat dengan metode Chemical Solution Deposition", Seminar Nasional Fisika UNM, 7 Agustus 2008
- Iriani Y, M. Hikam, B. Soegijono, I. Mudzakir, "The influence of heating rate and film number to the electrical properties (hysteresis curve) on Barium Strontium Titanate thin films", Pertemuan Ilmiah Iptek Bahan, 4 November 2008, BATAN-Serpong.
- Jamaluddin A, M. Hikam, B.Soegiyono, dan Y. Iriani, "Pembuatan Lapisan  $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$  yang Didoping Cu Dengan Metode Spin Coating dan Karakterisasinya", Seminar Nasional Material & Metalurgi II, 20-21 Agustus 2008, ITB, Bandung
- Jona, F., 1993, "Ferroelectric Crystal", New York : Dover Publication Inc.
- Lines, M.E and Glass, A.M., 1979 "Principles and Applications of Ferroelectrics and Related Materials", Oxford : Oxford University Pers
- Ornelas, G., 1998, "A New Modification to the Sawyer-Tower Ferroelectric Hysteresis Loop Tracer", Journal Of Korean Physical Society, Vol. 32 February 1998, pp. S380~S381
- Puri, R.K and Babbar V.K, 1997, "Solid State Physics and Electronics", New Delhi : S.Chand & Company Ltd
- Roy, Somnath C, 2004 "Effect of pre-sintering temperature on the structural and dielectric properties of  $(Ba_{0.5}Sr_{0.5})TiO_3$  Thin Films deposited by sol-gel technique", Ceramic International Article in Press

- Saha Sanjib, 2000 “*Study of pulsed laser ablated Barium Strontium Titanate Thin films for dynamic Random Access Memory Application*”, Thesis, Material Research Centre, Indian Institute of Science, Bangalore India, August 200
- Sandip Halder, 2006, “*Preparation and characterization of barium-based perovskite dielectric on different bottom electrodes by chemical solution Deposition*” Dissertation Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
- Schwartz, Robert W, 1997 “*Chemical Solution Deposition of Perovskite Thin Film*”, Chem. Mater, 2325-2340
- Suryanaryana, C., and Norton G.M., *X-Ray Diffraction: A Practical Approach*, Plenum Press, New York, 1998.
- Sun, Xiao, H., 2006 “*Dielectric and Tunable Properties of K-Doped Ba<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>TiO<sub>3</sub> Thin Film Fabricated by Sol-Gel Method*”, Journal Of Applied Physic 99, 084103
- Tae Gon Ha, 2006 “*Cu-Doping Effect on the Dielectric and Insulation Properties of Sol-Gel Derived Ba<sub>0.7</sub>Sr<sub>0.3</sub>TiO<sub>3</sub> Thin Film*”, Journal of Korean Physical Society, Vol 49, December 2006, pp.S571–S574
- Uchino, 2000, “*Ferroelectric Devices*”, New York : Marcel Dekker Inc
- Van Vlack, 1970, “*Materials Science for Engineers*”, Addison-Wesley Publishing Company
- Xu, Yuhuan. 1991, “*Ferroelectric Materials and Their Application*”, Los Angeles : University of California

LAMPIRAN 1  
Disain Lapisan BST

Pada proses karakterisasi listrik material BST yang telah di tumbuhkan diatas permukaan substrat harus disambung dengan elektroda, yang selanjut akan disambungkan dengan sumber tegangan untuk dialirkan arus listrik. Jenis elektroda yang dipilih berupa Cu. Susunan ini dinamakan MIM (*Metal Insulator Metal*), Susunan lapisan substrat BST dan elektroda terlihat pada gambar berikut :

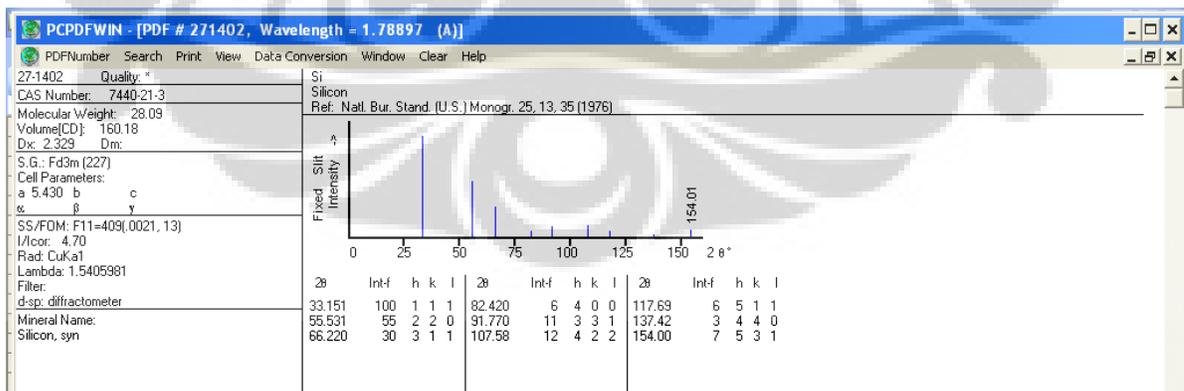
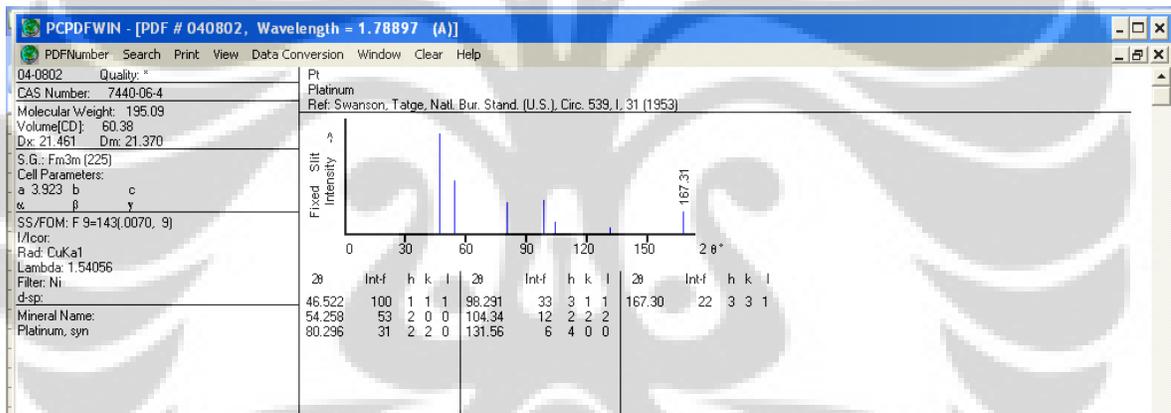
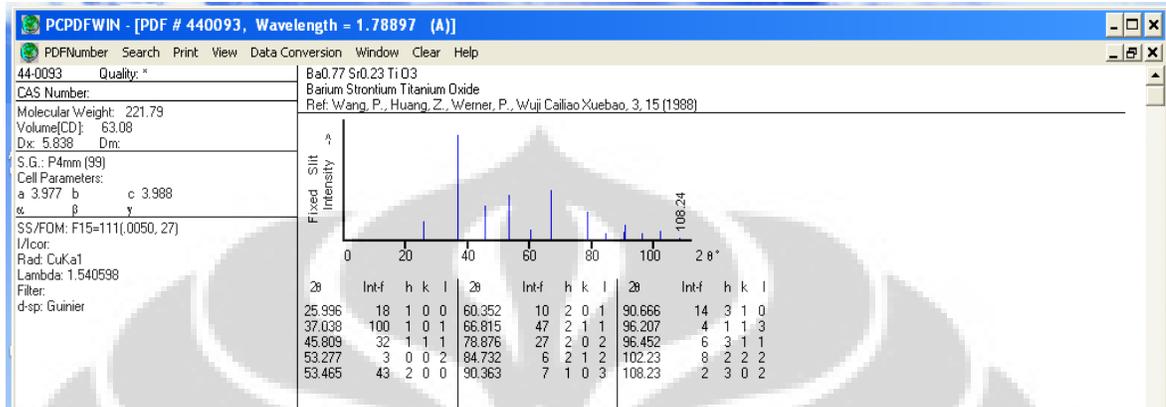


Gambar Susunan Substrat, BST dan elektroda (tampak dari samping)



Gambar Susunan Substrat, BST dan elektroda (tampak dari atas)

Lampiran 2  
Database ICDD BST, Si, Pt



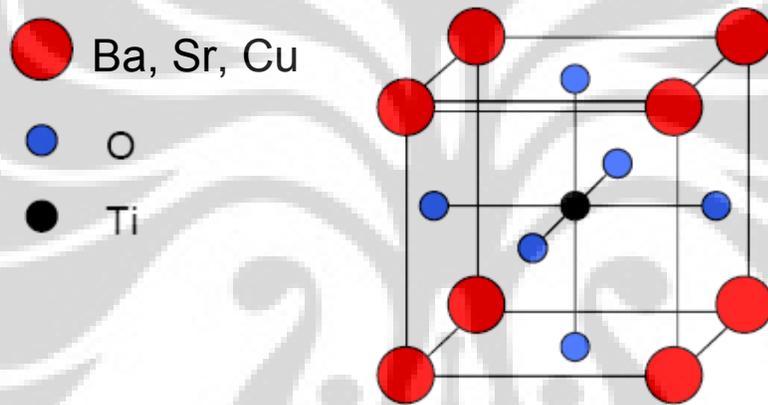
Lampiran 3  
 Hasil Pencocokan  
 Data Eksperimen Vs *database* ICDD

Substrat Pt	Data Eksperimen	Data Base ICDD		Substrat Pt	Data Eksperimen	Data Base ICDD		
Sampel	$2\theta (^{\circ})$	h k l	Material	Sampel	$2\theta (^{\circ})$	h k l	Material	
BST Murni	36.595	110	BST	BST Murni	37	110	BST	
	45.36	111	BST		46.425	111	Pt	
	53.035	200	BST		53.47	200	BST	
	66.865	211	BST		67.1	211	BST	
	78.86	220	BST		79.51	220	BST	
BST <i>doping</i> Cu 1%	37.125	110	BST	BST <i>doping</i> Cu 1%	36.96	110	BST	
	45.905	111	BST		46.285	111	Pt	
	53.71	200	BST		53.96	200	BST	
	60.365	210	BST		60.755	210	BST	
	67.025	211	BST		66.965	211	BST	
	74.895	220	BST		79.34	220	BST	
	79.565	220	BST		BST <i>doping</i> Cu 2%	37.065	110	BST
	81.975	400	Si			46.34	111	Pt
BST <i>doping</i> Cu 2%	37.93	110	BST	BST <i>doping</i> Cu 2%	54.28	200	BST	
	45.92	111	BST		67.155	211	BST	
	53.66	200	BST		79.39	220	BST	
	60.59	210	BST		BST <i>doping</i> Cu 4%	36.915	110	BST
	67.175	211	BST			46.355	111	Pt
	79.31	220	BST			53.47	200	BST
	81.96	400	Si			67.275	211	BST
BST <i>doping</i> Cu 4%	32.315	111	Si	BST <i>doping</i> Cu 4%	79.2	220	BST	
	36.775	110	BST					
	45.675	111	BST					
	53.245	200	BST					
	60.445	210	BST					
	66.77	211	BST					
	79.11	220	BST					

Lampiran 4  
Perhitungan stabilitas *Doping*

Tabel jari-jari Ion :

Unsur	Atomic (Wt)	Valensi	Jari-Jari Ion (Å)
Ba	137.3	2+	1.43
Sr	87.62	2+	1.27
Ti	47.9	4+	0.64
Cu	63.54	+	0.96
		2+	0.87
O	15.9994	2-	1.32



Berdasarkan persamaan 2.8 maka besarnya faktor toleransi, untuk BST yang di-*doping* dengan Cu adalah :

$$T = (R_A + R_O) / (2)^{0.5} (R_B + R_O)$$

Dimana  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_O$  adalah : Jari-jari Ion  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$  dan  $\text{O}^{2-}$

$$= (0.87 + 1.32) / (0.64 + 1.32) \cdot 1.414$$

$$= 2.19 / (1.96 \cdot 1.414)$$

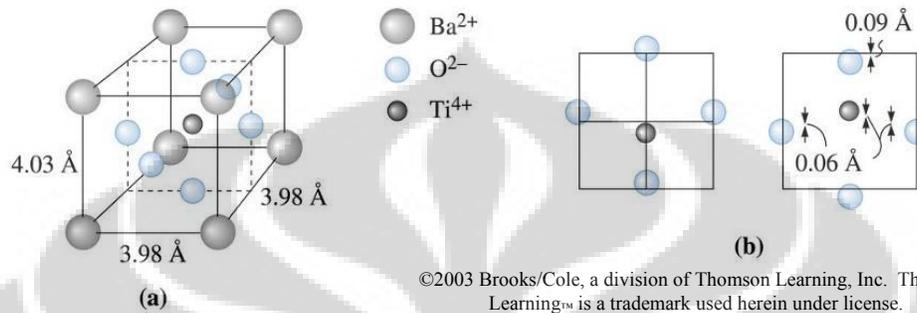
$$= 2.28 / 2.77$$

$$= 0.791$$

Faktor toleransi pada range  $0.777 < t < 1.10$ , Sehingga penggunaan *doping* Cu pada BST cukup stabil.

## Lampiran 5 Perhitungan Polarisasi

Berdasarkan pendekatan bahwa interaksi antar atom yang terjadi pada pembentukan polarisasi untuk Barium Titanate adalah :



Dimana hanya terjadi interaksi antara ion  $\text{Ti}^{4+}$  dengan ion  $\text{O}^{2-}$  (posisi atas-bawah, depan-belakang, kanan-kiri). Pergeseran ion adalah 0.06Å, 0.09 dan 0.06.

Dengan mengadopsi pengertian diatas, untuk material BST dengan doping Cu, maka dengan mengabaikan interaksi ion Ba, Sr dan Cu terhadap pergeseran ion Ti maka perhitungan polarisasi yang terjadi hanya dipengaruhi oleh interaksi ion  $\text{Ti}^{4+}$  dan  $\text{O}^{2-}$  adalah :

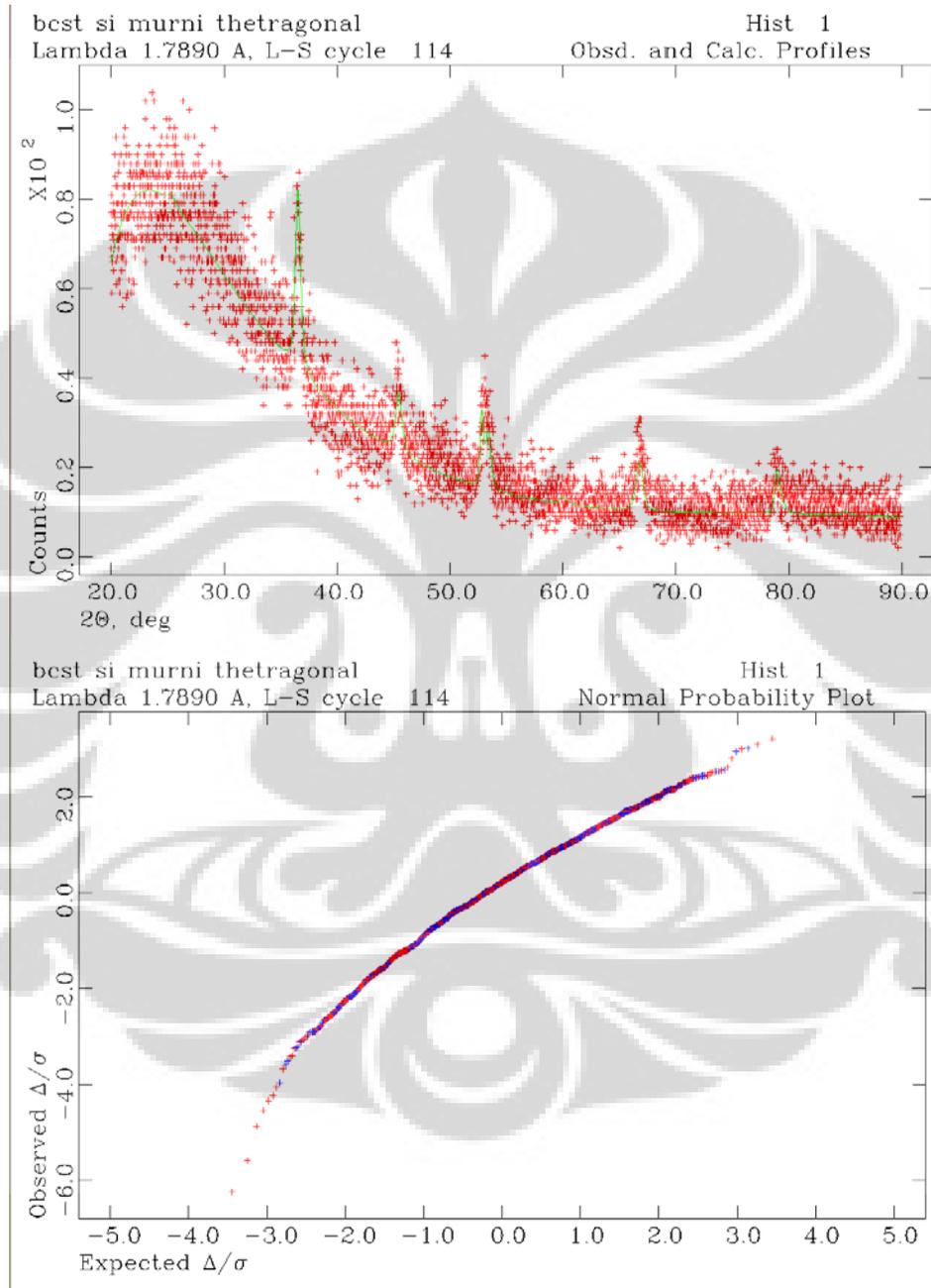
- $\text{Ti}^{4+}$  :  $(1.6 \times 10^{-19})$  (4 Electron/ion)  $(0.06 \times 10^{-6})$   
0.384 x 10-27 C. cm/ion
- $\text{O}^{2-}$  :  $(1.6 \times 10^{-19})$  (2 Electron/ion)  $(0.09 \times 10^{-6})$   
0.288 x 10-27 C. cm/ion
- $\text{O}^{2-}$  :  $(1.6 \times 10^{-19})$  (2 Electron/ion)  $(0.06 \times 10^{-6})$   
0.192 x 10-27 C. cm/ion

$$\begin{aligned} \text{Momen dipol} &= (1 \text{ ion } \text{Ti}^{4+} / \text{cell})(0.384 \times 10^{-27}) + \\ &\quad (1 \text{ ion } \text{O}^{2-} / \text{cell})(0.288 \times 10^{-27}) + (2 \text{ ion } \text{O}^{2-*} / \text{cell})(0.192 \times 10^{-27}) \\ &= 1.056 \times 10^{-27} \text{ C. cm/cell} \end{aligned}$$

Polarisasi = Momen dipol/ volume unit cell

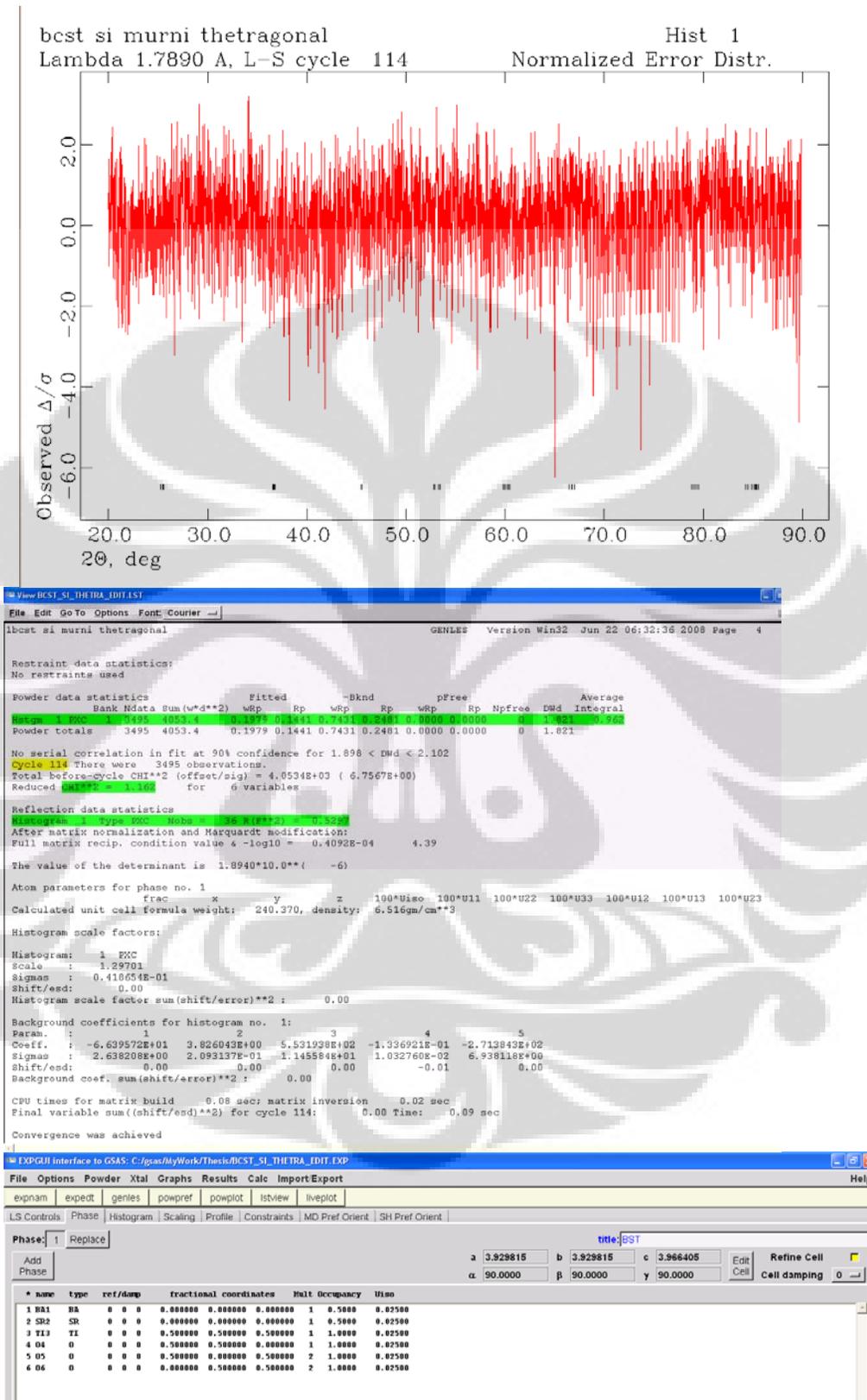
Volume cell, mengikuti hasil analisa rietveld menggunakan GSAS.

Lampiran 6  
Hasil GSAS  
BST Murni Substrat Si

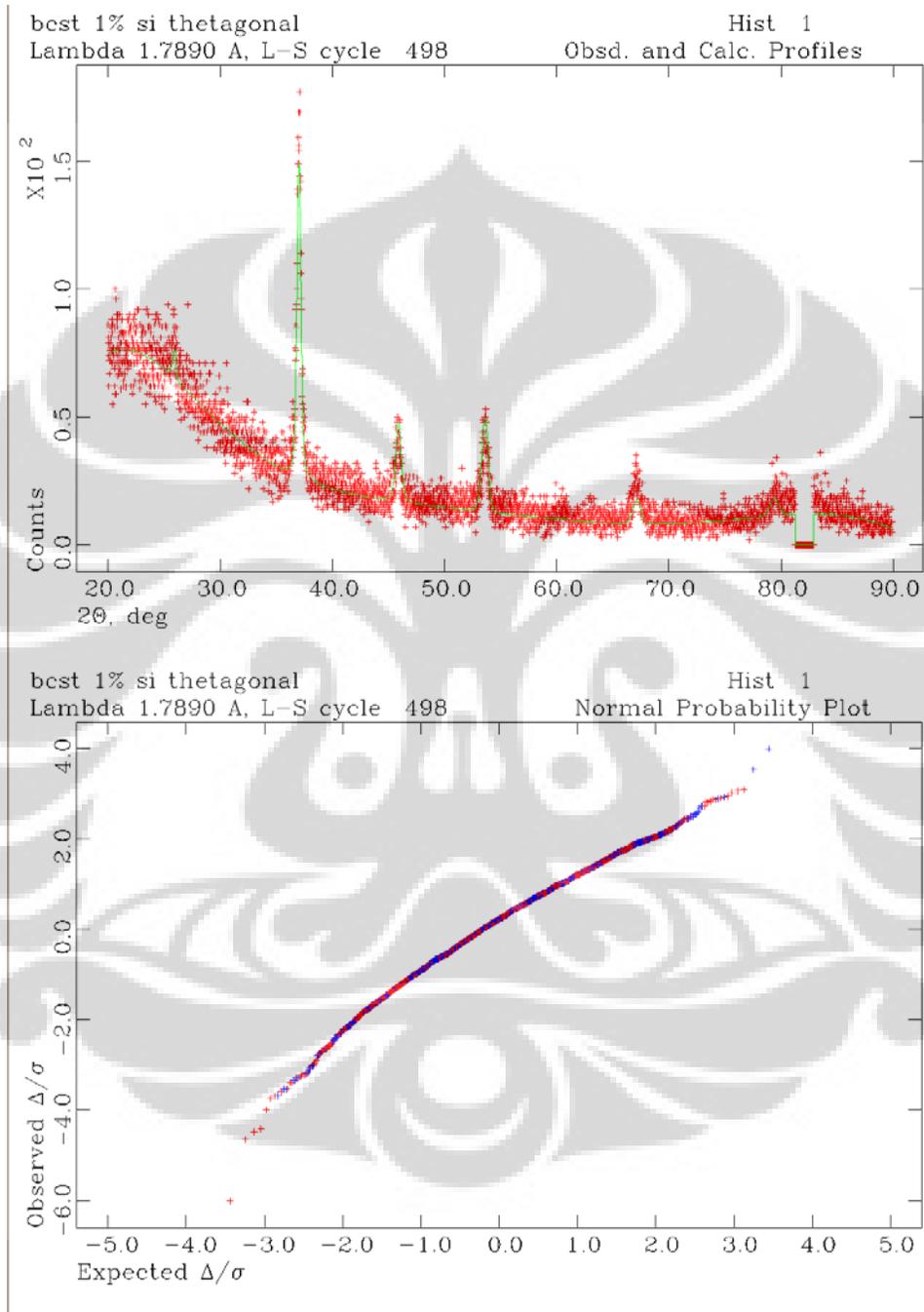


Bersambung..

Universitas Indonesia



Lampiran 7  
Hasil GSAS  
BST 1% Cu Substrat Si

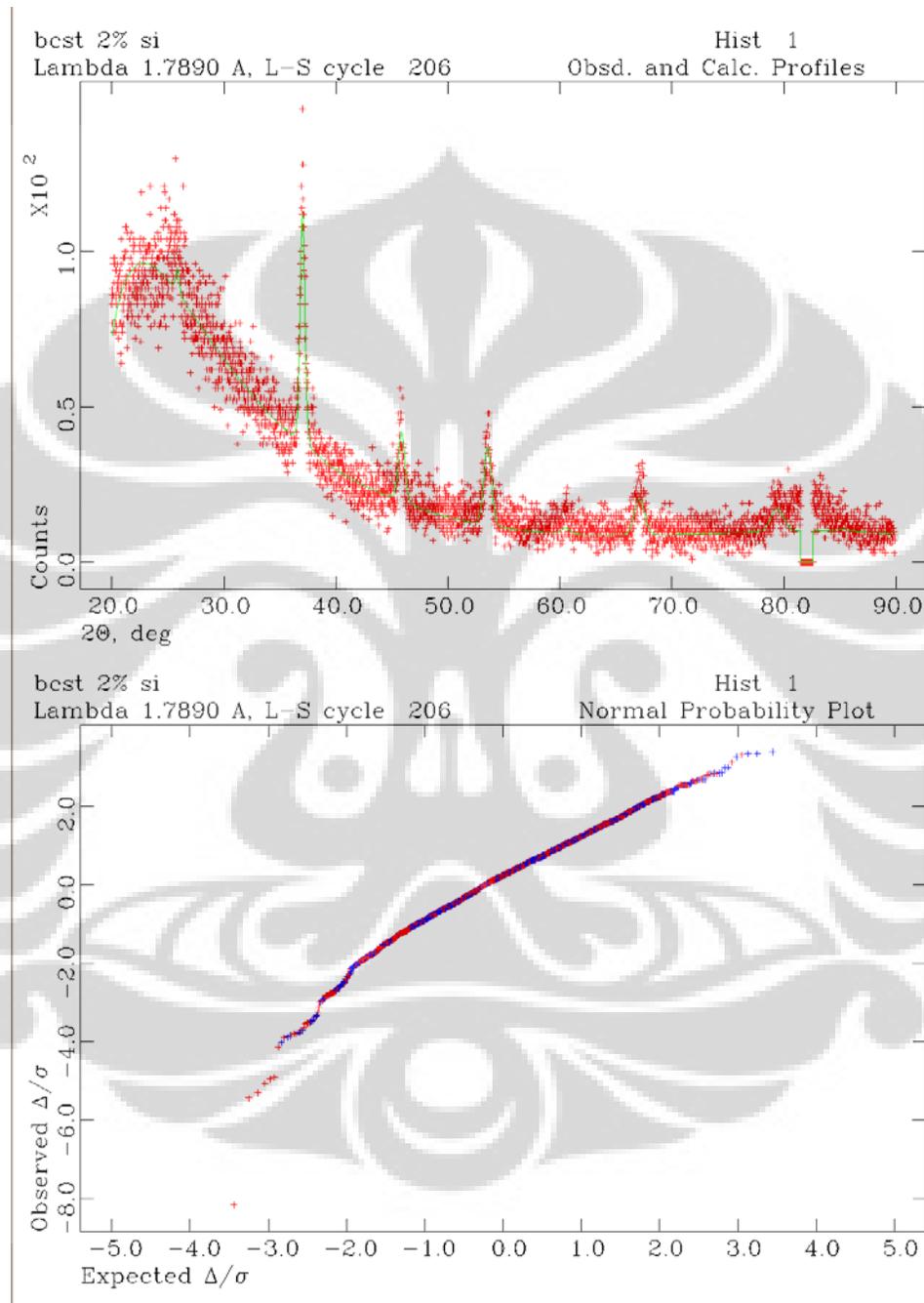


Bersambung..

Universitas Indonesia

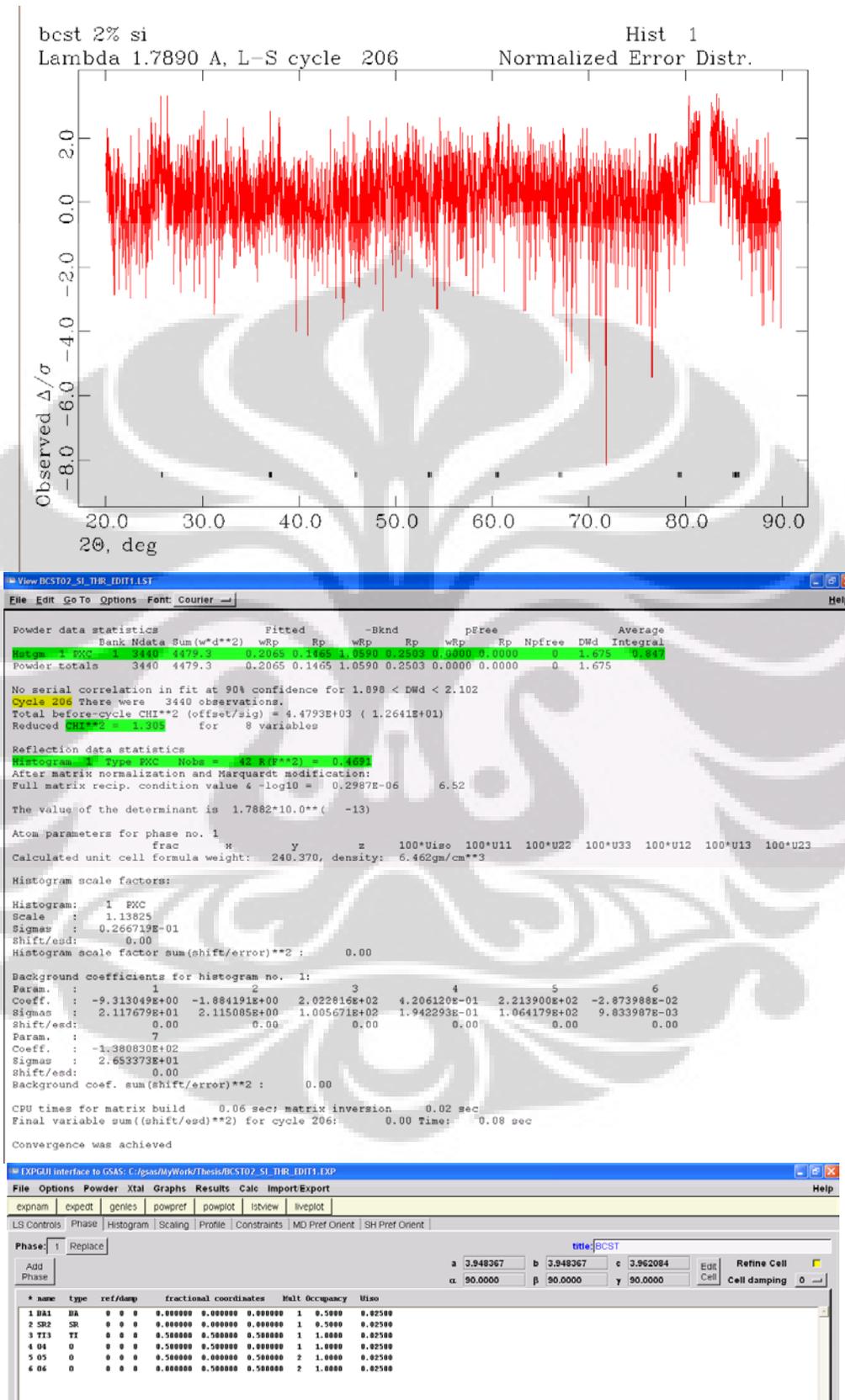


Lampiran 8  
Hasil GSAS  
BST 2% Cu Substrat Si

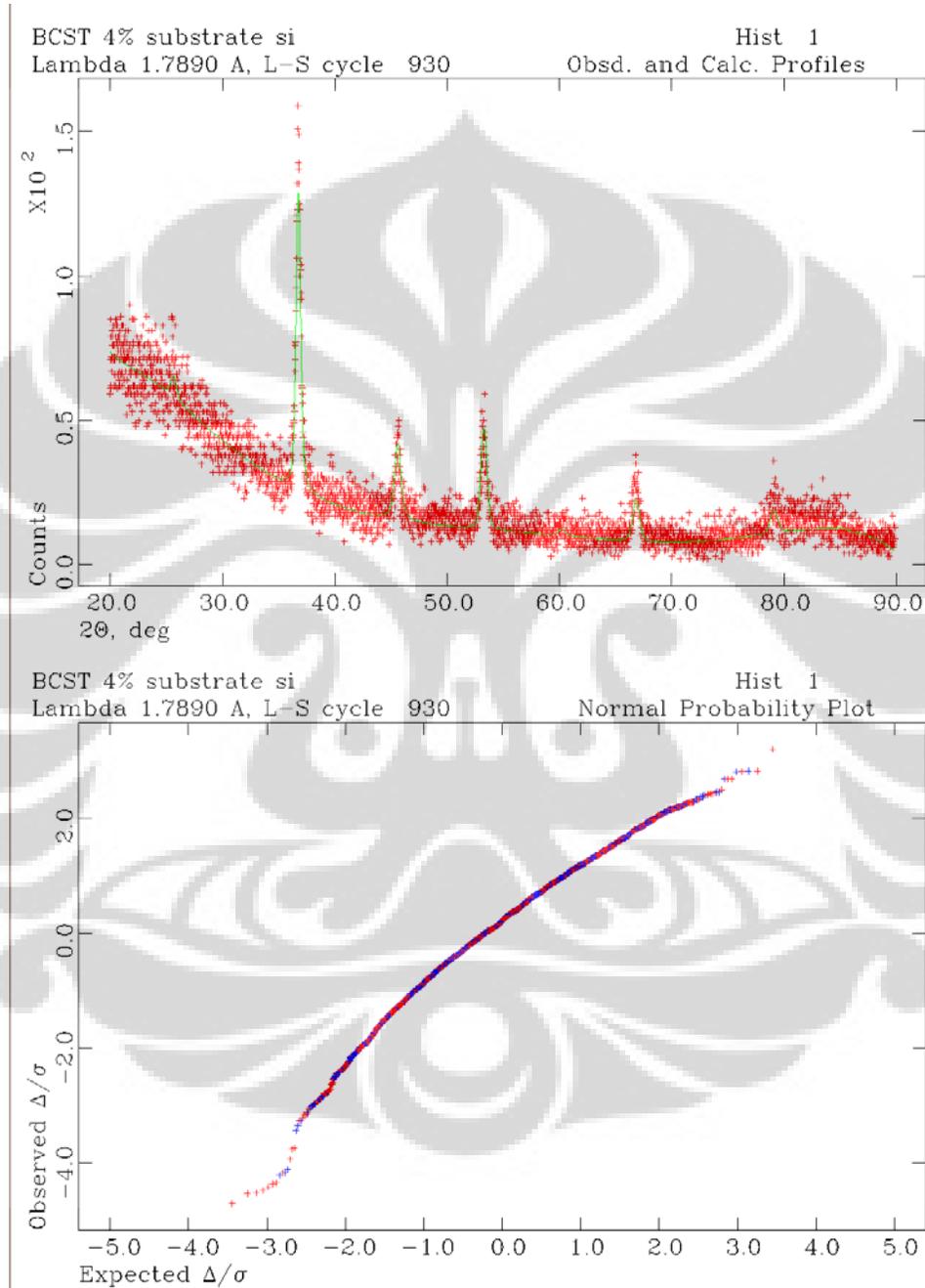


Bersambung..

Universitas Indonesia

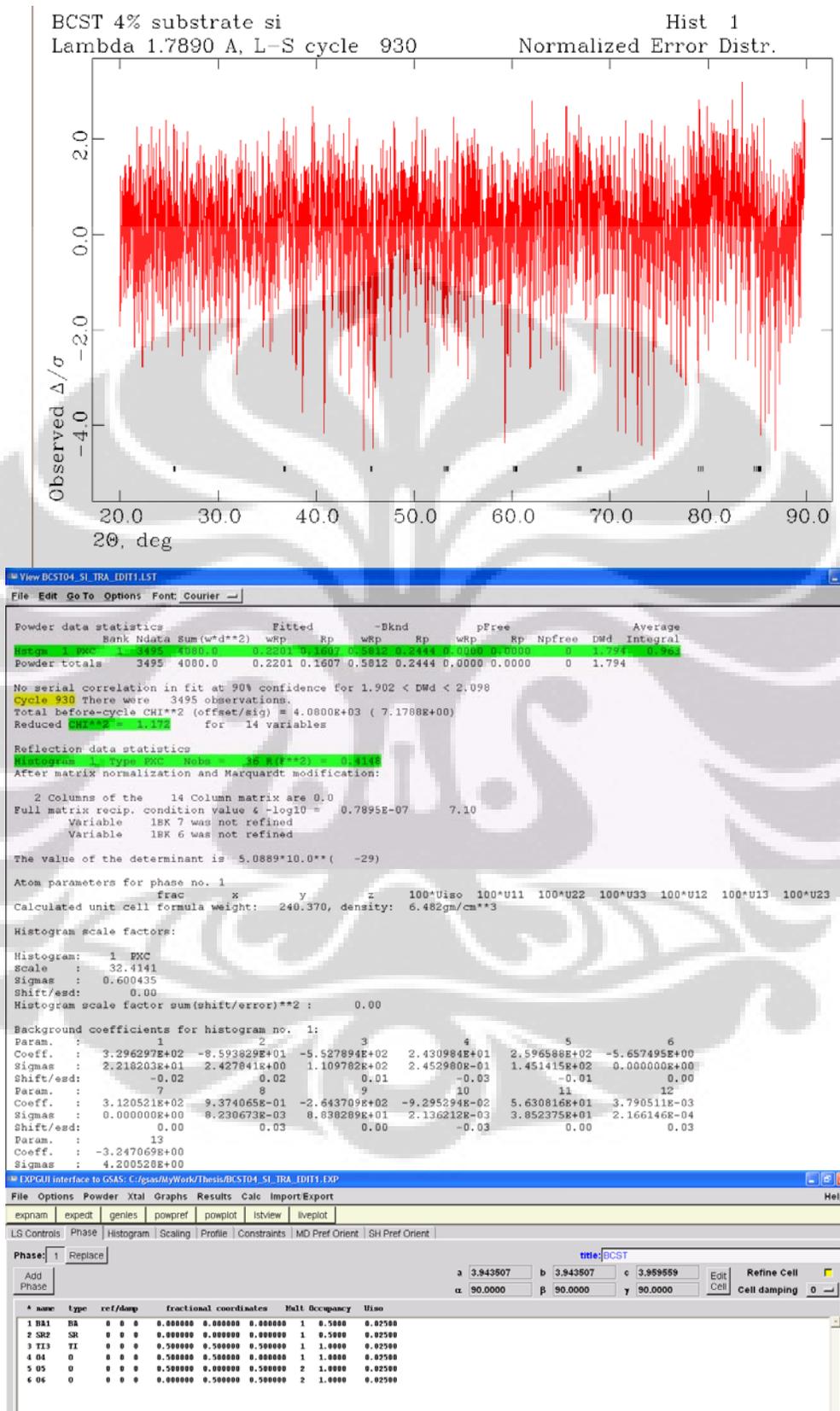


Lampiran 9  
Hasil GSAS  
BST 4% Cu Substrat Si

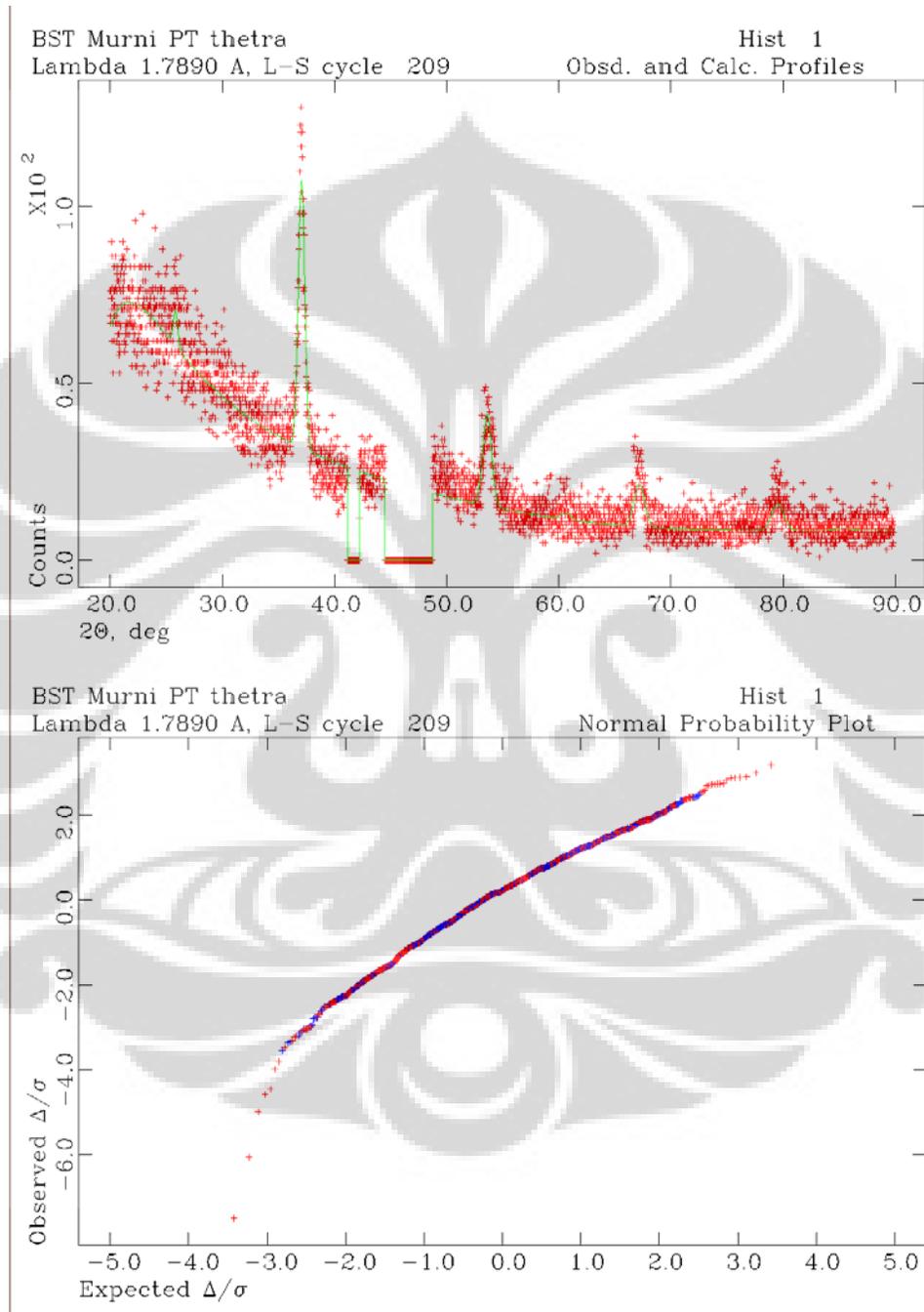


Bersambung..

Universitas Indonesia

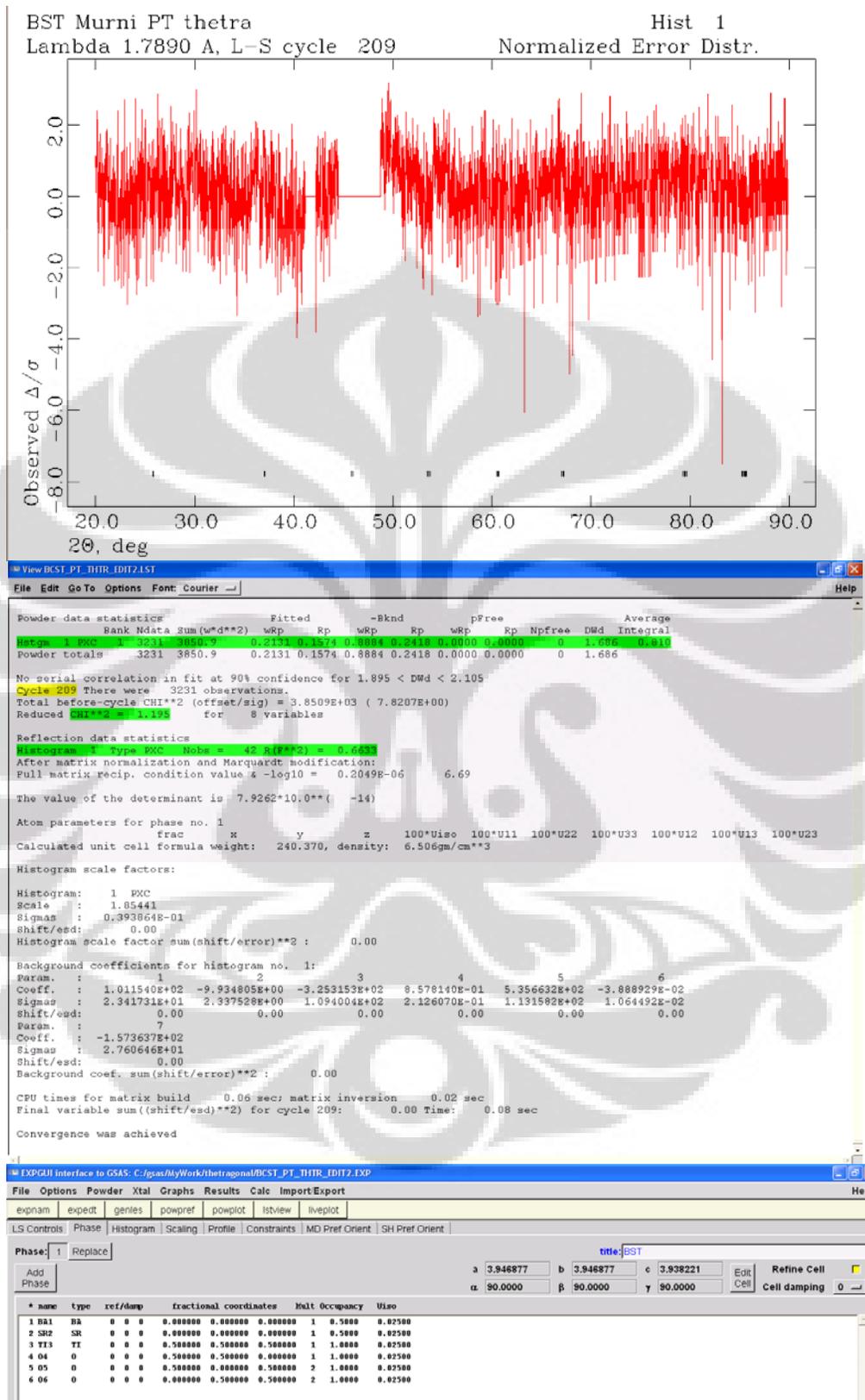


Lampiran 10  
Hasil GSAS  
BST Murni Substrat Pt

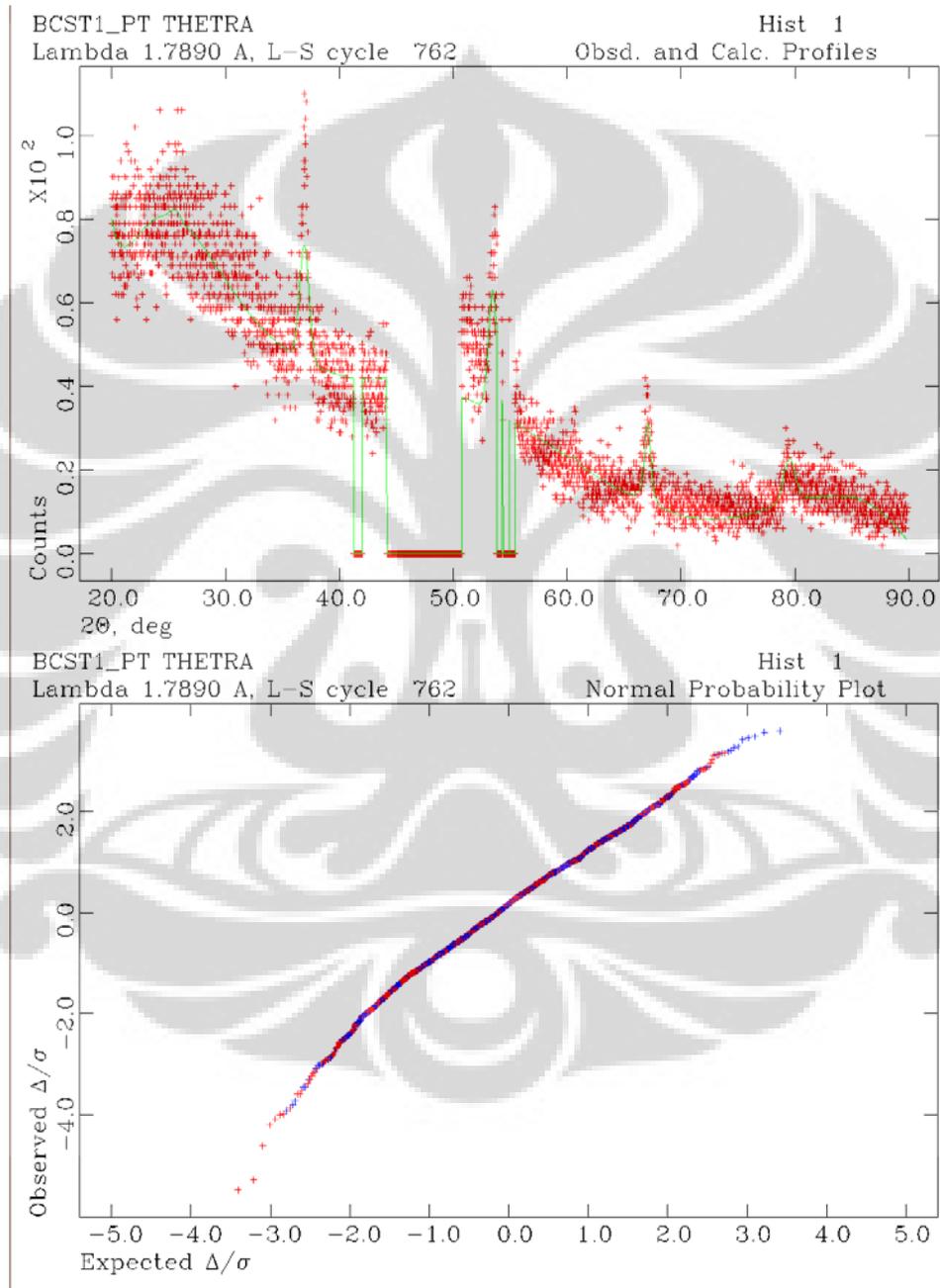


Bersambung..

Universitas Indonesia

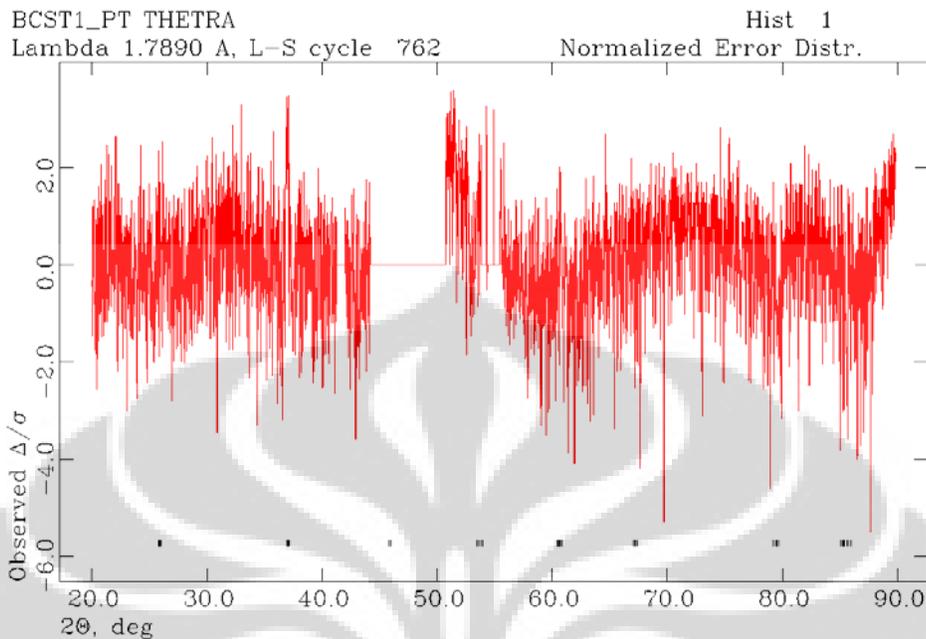


Lampiran 11  
Hasil GSAS  
BST 1% Cu Substrat Pt



Bersambung...

Universitas Indonesia



View BCST1\_PT\_THTR\_EDIT2451

File Edit Go To Options Font: Courier

Param. : 7 pn 8 pn 9 pn  
Coeff. : -0.39474E+03 0-0.23225E+00 0 0.14553E+03 0

BCST1\_PT THETRA GENLES Version Win32 Jun 22 13:37:43 2008 Page 4

The constraint matrix has 1 terms  
BCST1\_PT THETRA GENLES Version Win32 Jun 22 13:37:43 2008 Page 5

Restraint data statistics:  
No restraints used

Powder data statistics

	Bank	Ndata	Sum(w*d**2)	wRp	Rp	wRf	Rp	wRf	Rp	Npfree	DWd	Integral
Target 1 PXC	3058	4077.6	0.1936	0.1430	0.6057	0.2367	0.0000	0.0000	0.0000	0	1.480	0.783
Powder totals	3058	4077.6	0.1936	0.1430	0.6057	0.2367	0.0000	0.0000	0.0000	0	1.480	

No serial correlation in fit at 90% confidence for 1.888 < DWd < 2.112  
Cycle 762 There were 3058 observations.  
Total before-cycle CHI\*\*2 (offset/sig) = 4.0776E+03 ( 1.3053E+01)  
Reduced CHI\*\*2 = 1.33 for 1 variables

Reflection data statistics  
Rint = 0.0188  
Rsigma = 0.0120  
After matrix normalization and Marquardt modification:  
Full matrix recip. condition value 4 -log10 = 1.000 0.00  
The value of the determinant is 1.0000\*10.0\*\* ( 0)

Atom parameters for phase no. 1

frac	x	y	z	100*Uiso	100*U11	100*U22	100*U33	100*U12	100*U13	100*U23
Calculated unit cell formula weight:	240.370,	density:	6.500gm/cm**3							

Histogram scale factors:  
Histogram: 1 PXC  
Scale : 1.22143  
Sigmas : 0.357323E-01  
Shift/esd: 0.00  
Histogram scale factor sum(shift/error)\*\*2 : 0.00

CPU times for matrix build 0.14 sec; matrix inversion 0.00 sec  
Final variable sum((shift/esd)\*\*2) for cycle 762: 0.00 Time: 0.14 sec  
Convergence was achieved

EXPGUI interface to GSAS: C:\gsas\MyWork\thetragonal\BCST1\_PT\_THTR\_EDIT2.EXP

File Options Powder Xtal Graphs Results Calc Import/Export Help

expnam expdet genies powpref powplot lview liveplot

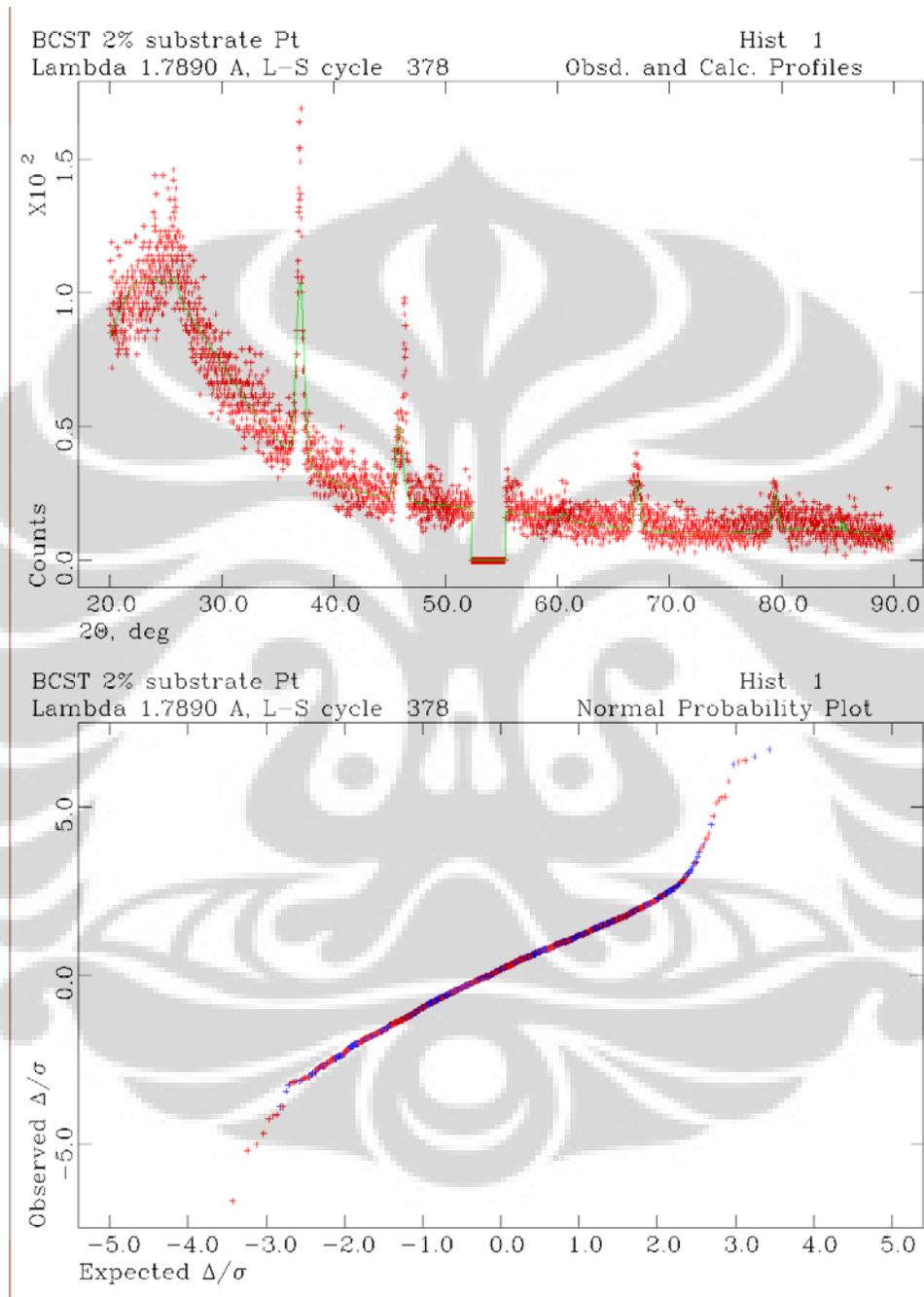
LS Controls Phase Histogram Scaling Profile Constraints MD Pref Orient SH Pref Orient

Phase: 1 Replace title: DST

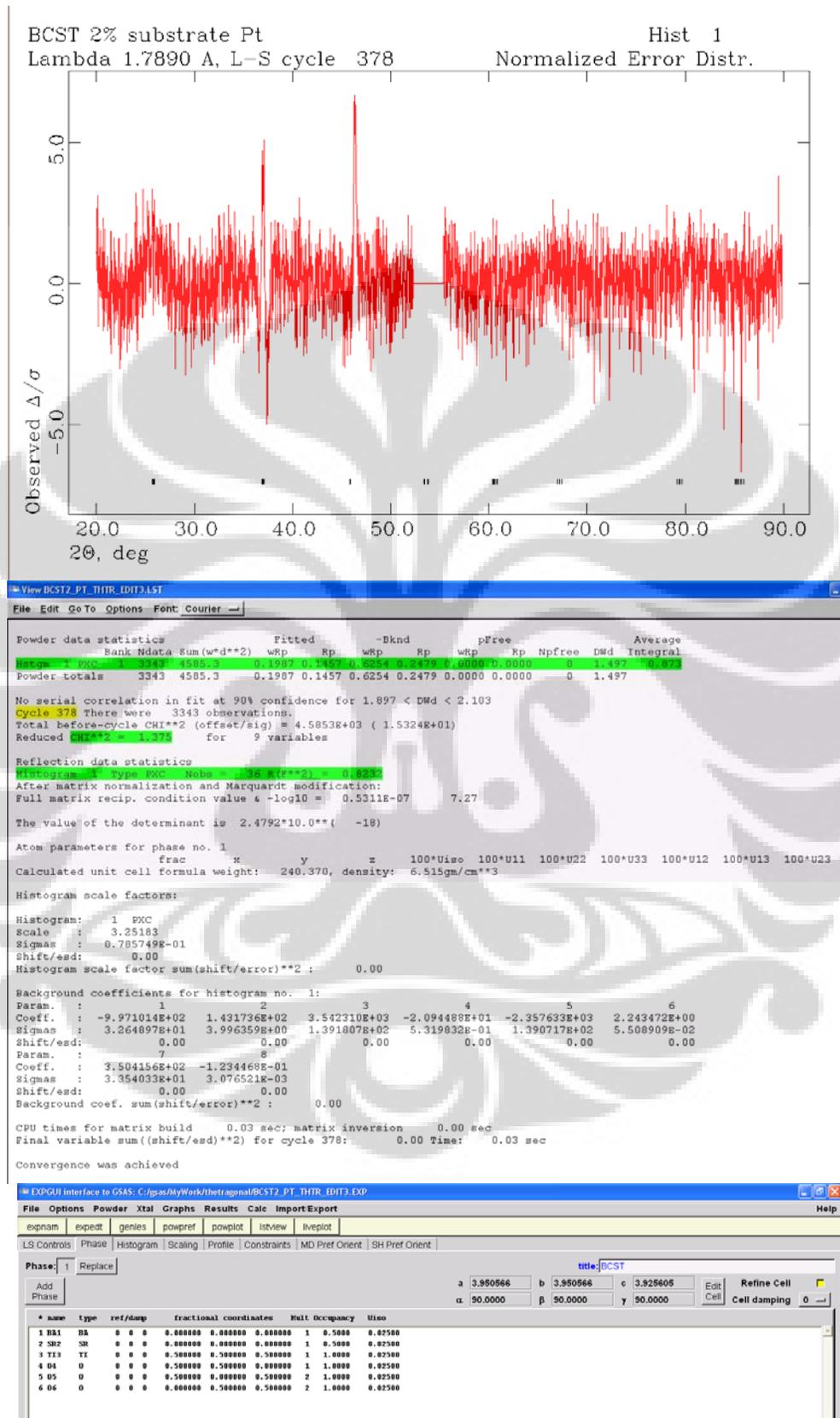
Add Phase	a	b	c	Edit Cell	Refine Cell
	3.963215	3.963215	3.929566		<input type="checkbox"/>
	α 90.0000	β 90.0000	γ 90.0000	Cell damping	0

#	name	type	ref/damp	fractional coordinates	Mult	Occupancy	Uiso
1	Ba	0	0	0.000000 0.000000 0.000000	1	0.5000	0.07619
2	Sr2	SR	0	0.000000 0.000000 0.000000	1	0.5000	0.02500
3	Te	0	0	0.500000 0.500000 0.500000	1	1.0000	0.02500
4	O4	0	0	0.500000 0.500000 0.000000	1	1.0000	0.02500
5	O5	0	0	0.500000 0.000000 0.500000	2	1.0000	0.02500
6	O6	0	0	0.000000 0.500000 0.500000	2	1.0000	0.02500

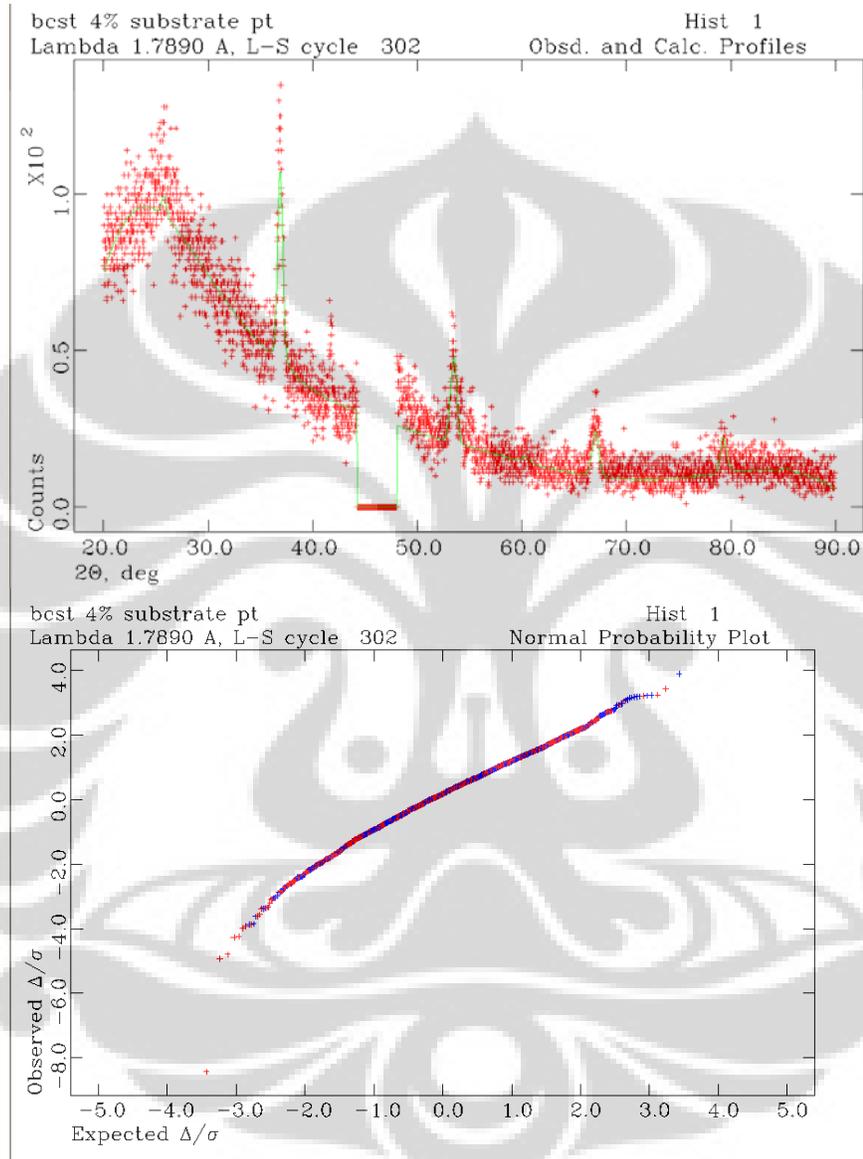
Lampiran 12  
Hasil GSAS  
BST 2% Cu Substrat Pt



Bersambung..



Lampiran 13  
Hasil GSAS  
BST 4% Cu Substrat Pt



Bersambung...

