



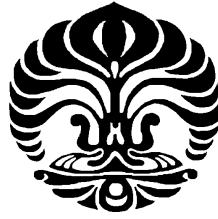
UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI SPEKTROSKOPI IMPEDANSI BAHAN *PEROVSKITE*
(Ba,Sr)TiO₃ PADA TEMPERATUR TINGGI**

TESIS

**T U K I M I N
1006786966**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
JAKARTA
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI SPEKTROSKOPI IMPEDANSI BAHAN *PEROVSKITE*
(Ba,Sr)TiO₃ PADA TEMPERATUR TINGGI**

TESIS

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

**T U K I M I N
1006786966**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
JAKARTA
JUNI 2012**

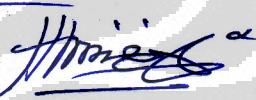
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Tukimin

NPM : 1006786966

Tanda Tangan :



Tanggal : 21 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Tukimin
NPM : 1006786966
Program Studi : Fisika Murni dan Terapan
Judul Tesis : Studi Spektroskopi Impedansi Bahan *Perovskite*
 $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ pada Temperatur Tinggi.

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

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang : Dr. Muhammad Aziz Majidi

Pembimbing : Dr. techn. Djoko Triyono

Penguji : Prof. Dr. Rosari Saleh

Penguji : Dr. Cuk Imawan

Penguji : Dr. Muhammad Aziz Majidi

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 21 Juni 2012

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

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

Nama : Tukimin
NPM : 1006786966
Program Studi : Fisika Murni dan Terapan
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 yang berjudul :

**STUDI SPEKTROSKOPI IMPEDANSI BAHAN *PEROVSKITE*
(Ba,Sr)TiO₃ PADA TEMPERATUR TINGGI**

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: 21 Juni 2012
Yang menyatakan



(Tukimin)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur bagi Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umatnya menuju zaman ilmu pengetahuan dan teknologi. Tesis yang diberi judul Studi Spektroskopi Impedansi Bahan *Perovskite* (Ba,Sr)TiO₃ pada Temperatur Tinggi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Fisika pada program Pascasarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan rasa terima kasih kepada :

1. Dr. techn. Djoko Triyono, selaku dosen pembimbing tesis ini.
2. Prof. Dr. Terry Mart, pembimbing akademik Program S2 Fisika TA. 2010.
3. Dr. Yunus Daud, ketua Program S2 Fisika FMIPA UI.
4. Dr. Santoso Soekirno, ketua Departemen Fisika FMIPA UI.
5. Dr. Adi Basukriadi, dekan FMIPA UI.
6. Seluruh Staf Sekretariat Program S2 Fisika FMIPA UI.
7. Seluruh Staf UPPIPD UI yang telah membantu pelaksanaan eksperimen.
8. Pemprov Jambi yang telah memberikan segala dukungan bagi penulis.
9. Teman-teman seperjuangan selama perkuliahan khususnya angkatan 2010.
10. Tusnita, Tika Asna Milenia, Ibu, Ayah, dan keluarga tercinta yang selalu memberikan *support* dan mendoakan penulis agar selalu sukses.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, karena itu penulis akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun. Penulis akan merasa berbesar hati jika tesis ini dapat dimanfaatkan oleh pembaca sebagai kontribusi dalam mengembangkan sains dan teknologi.

Jakarta, 21 Juni 2012

Tukimin

ABSTRAK

Nama : Tukimin
Program Studi : Fisika Murni dan Terapan
Judul Tesis : Studi Spektroskopi Impedansi Bahan *Perovskite*
(Ba,Sr)TiO₃ pada Temperatur Tinggi

Telah dilakukan suatu penelitian melalui spektroskopi impedansi untuk mengetahui sifat-sifat listrik bahan *perovskite* (Ba,Sr)TiO₃ pada temperatur tinggi pada kisaran 25 hingga 425 °C. Sampel bahan *perovskite* (Ba,Sr)TiO₃ berupa *pellet* terdiri dari enam buah. Tiga buah sampel disinter 1200 °C masing-masing selama 1, 2, dan 3 jam. Tiga buah sampel yang lain disinter 1200 °C selama 2 jam kemudian dianil 900 °C masing-masing selama 1, 2 dan 4 jam. Data impedansi disajikan dalam bentuk *Nyquist plot* dan *Bode plot* yang digunakan untuk mengidentifikasi parameter rangkaian ekuivalen. Parameter penting rangkaian ekuivalen seperti resistansi dan kapasitansi dihitung sebagai fungsi dari temperatur. Sifat listrik bahan *perovskite* (Ba,Sr)TiO₃ dapat dideskripsikan dengan rangkaian R, RC paralel maupun kombinasi dari keduanya yang menunjukkan adanya kontribusi dari *grain*, *grain boundary*, *interface* dan kontak. Hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin lama waktu *sintering* dan *annealing* menyebabkan bergesernya temperatur transisi dari feroelektrik menjadi paraelektrik menuju temperatur yang lebih tinggi. Perbedaan lama waktu *sintering* dan *annealing* tidak menyebabkan perubahan nilai resistansi dan kapasitansi yang signifikan. Perbandingan nilai resistansi bahan *perovskite* (Ba,Sr)TiO₃ baik yang disinter 1200 °C masing-masing selama 1, 2, dan 3 jam maupun dianil 900 °C masing-masing selama 1, 2 dan 4 jam hasil pengukuran pada temperatur kamar dan 100 °C dengan pengukuran pada temperatur 400 °C sebesar dua orde. Energi aktivasi hasil percobaan pada rentang temperatur 325 °C hingga 425 °C adalah 0.52 eV.

Kata kunci:
(Ba,Sr)TiO₃, spektroskopi impedansi, *Nyquist plot*, *Bode plot*, waktu *sintering*, waktu *annealing*, energi aktivasi.

ABSTRACT

Name : Tukimin
Study Program : Pure and Applied Physics
Title : Impedance Spectroscopy Study of (Ba,Sr)TiO₃ Perovskite Material at High Temperature

The electrical properties of (Ba,Sr)TiO₃ perovskite materials are investigated by impedance spectroscopy in the temperature range 25 to 450 °C. There are six pellets of (Ba,Sr)TiO₃ *perovskite* materials. Three samples are sintered at 1200 °C for 1, 2 and 3 hours. The rest were sintered at 1200 °C for 2 hours then annealed at 900 °C for 1, 2 and 4 hours. Impedance data are presented in the Nyquist plot which is used to identify an equivalent circuit. The fundamental circuit parameters such as resistance and capacitance are determined at different temperatures. The electrical properties of (Ba,Sr)TiO₃ perovskite materials may also be described by R, parallel RC, or both combinations that seem to be a grain, grain boundary, interface and contact contributions. The results of the experiment show that with longer sintering and annealing times consequently shifted the transition phase range from ferroelectric to paraelectric to the high temperatures. There are no significant values of both resistance and capacitance of the sintering or annealing times of the samples measurements, however resistance decreases two orders at increasing temperature measurements. The activation energy at temperature range 325 °C to 425 °C of the experiment is 0.52 eV.

Keyword:

(Ba,Sr)TiO₃, impedance spectroscopy, Nyquist plot, Bode plot, sintering time, annealing time, activation energy.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Batasan masalah	2
1.3 Tujuan penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 STUDI LITERATUR	4
2.1 Barium Stronsium Titanat (BST)	5
2.2 Aplikasi Barium Stronsium Titanat (BST)	6
2.2.1 Kapasitor Multilapis (MLCs)	7
2.2.1 Efek <i>Positive Temperature Coefficient (PTC) Thermistor</i> ...	7
2.3 Pengaruh Temperatur terhadap Bahan Perovskite $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$..	8
2.4 Sifat Listrik Bahan Dielektrik $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$	10
2.5 Jenis-jenis Polarisasi	11
2.6 Hasil Penelitian Terdahulu	12
2.7 Spektroskopi Impedansi	14
2.7.1 Formalisme Impedansi Kompleks	16
BAB 3 METODE PENELITIAN	18
3.1. Diagram alur penelitian	18
3.2. Alat dan Bahan	19
3.3. Prosedur Percobaan	19
3.3.1 Persiapan Alat dan Bahan	19
3.3.2 Kalibrasi RLC Meter	22
3.4 Karakterisasi	24
3.4.1 RLC Meter	24
3.4.1.1 Pengukuran secara Manual	24
3.4.1.2 Pengukuran secara Auto	25
3.4.2 Program Origin 8	26

3.4.3 Program ZsimpWin 3.10.....	27
BAB 4 HASIL PERCOBAAN.....	28
4.1 Sampel A ($Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ <i>Sintering</i> 1200°C selama 1 Jam).....	28
4.1.1 Pengaruh Temperatur terhadap Impedansi.....	28
4.1.2 <i>Nyquist Plot</i> Sampel A.....	30
4.1.3 <i>Bode Plot</i> Sampel A.....	32
4.2 Sampel B ($Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ <i>Sintering</i> 1200°C selama 2 Jam).....	34
4.2.1 Pengaruh Temperatur terhadap Impedansi.....	34
4.2.2 <i>Nyquist Plot</i> Sampel B.....	36
4.2.3 <i>Bode Plot</i> Sampel B.....	38
4.3 Sampel C ($Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ <i>Sintering</i> 1200°C selama 3 Jam).....	40
4.3.1 Pengaruh Temperatur terhadap Impedansi.....	40
4.3.2 <i>Nyquist Plot</i> Sampel C.....	41
4.3.3 <i>Bode Plot</i> Sampel C.....	43
4.4 Sampel B1 ($Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ <i>Annealing</i> 900°C selama 1 Jam).....	45
4.4.1 Pengaruh Temperatur terhadap Impedansi.....	45
4.4.2 <i>Nyquist Plot</i> Sampel B1.....	47
4.4.3 <i>Bode Plot</i> Sampel B1.....	49
4.5 Sampel B2 ($Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ <i>Sintering</i> 900°C selama 2 Jam).....	51
4.5.1 Pengaruh Temperatur terhadap Impedansi.....	51
4.5.2 <i>Nyquist Plot</i> Sampel B2.....	52
4.5.3 <i>Bode Plot</i> Sampel B2.....	54
4.6 Sampel B3 ($Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ <i>Sintering</i> 1200°C selama 4 Jam).....	56
4.6.1 Pengaruh Temperatur terhadap Impedansi.....	56
4.6.2 <i>Nyquist Plot</i> Sampel B3.....	57
4.6.3 <i>Bode Plot</i> Sampel B3.....	60
BAB 5 PEMBAHASAN.....	62
5.1 Pengaruh Temperatur terhadap Impedansi.....	62
5.1.1 $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ <i>Sintering</i> 1200°C selama 1, 2 dan 3 Jam.....	62
5.1.2 $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ <i>Annealing</i> 1200°C selama 1, 2 dan 4 jam.....	65
5.2 Nilai Resistansi dan Kapasitansi.....	67
5.3 Uji Sampel dengan Beberapa Parameter.....	73
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN.....	83
6.1 Kesimpulan.....	83
6.2 Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA.....	85
LAMPIRAN.....	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan antara Empat Dasar Fungsi Imitansi	16
Tabel 3.1 Format Data Percobaan secara Manual.....	25
Tabel 3.2 Format Data Percobaan secara Auto.....	26
Tabel 4.1 Kode Sampel Berdasarkan Proses Perlakuan Termal	28
Tabel 5.1 Nilai Resistansi dan Kapasitansi Sampel A,B,C pada T-kamar .	70
Tabel 5.2 Nilai Resistansi dan Kapasitansi Sampel A,B,C pada T-100 °C	69
Tabel 5.3 Nilai Resistansi dan Kapasitansi Sampel A,B,C pada T-400 °C	69
Tabel 5.4 Nilai Resistansi dan Kapasitansi Sampel B1,2,3 pada T-kamar .	71
Tabel 5.5 Nilai Resistansi dan Kapasitansi Sampel B1,2,3 pada T-100 °C	71
Tabel 5.6 Nilai Resistansi dan Kapasitansi Sampel B1,2,3 pada T-400 °C	71
Tabel 5.7 Energi Aktivasi Sampel B Berbagai Frekuensi.....	76
Tabel 5.8 Waktu Relaksasi Sampel B Berbagai Temperatur.....	78



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Perovskite $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$	5
Gambar 2.2 Skema Kapasitor Multilapis (MLCs)	6
Gambar 2.3 Resistivitas vs Temperatur	7
Gambar 2.4 Temperatur Transisi sebagai Fungsi Rasio Ba/Sr	8
Gambar 2.5 Kebergantungan Konstanta Dielektrik terhadap Temperatur pada Ukuran Grain	9
Gambar 2.6 Variasi Komposisi terhadap Konstanta Dielektrik	9
Gambar 2.7 Pergeseran Muatan Listrik	10
Gambar 2.8 Polarisasi Muatan pada Bahan Dielektrik	11
Gambar 2.9 <i>Nyquist Plot</i> dan Rangkaian Ekuivalen Sederhana	14
Gambar 2.10 Tampilan <i>Bode plot</i>	15
Gambar 3.1 Mesin Pompa Vakum	20
Gambar 3.2 Sampel $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$	21
Gambar 3.3 Tabung Vakum berisi Heater, Termokopel dan Sampel	21
Gambar 3.4 Mikrokontroler	22
Gambar 3.5 RLC Meter Fluke PM 6306	23
Gambar 3.6 Tampilan Pengukuran secara Manual	24
Gambar 4.1 Grafik Z_{re} , Z_{im} , dan Z terhadap Temperatur Sampel A	29
Gambar 4.2 <i>Nyquist plot</i> Sampel A pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	31
Gambar 4.3 <i>Nyquist plot</i> Gab. A pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	32
Gambar 4.4 <i>Bode plot</i> Sampel A pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	33
Gambar 4.5 <i>Bode plot</i> Gab. A pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	33
Gambar 4.6 Grafik Z_{re} , Z_{im} , dan Z terhadap Temperatur Sampel B	34
Gambar 4.7 <i>Nyquist plot</i> Sampel B pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	36
Gambar 4.8 <i>Nyquist plot</i> Gab. B pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	37
Gambar 4.9 <i>Bode plot</i> Sampel B pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	38
Gambar 4.10 <i>Bode plot</i> Gab. B pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	39
Gambar 4.11 Grafik Z_{re} , Z_{im} , dan Z terhadap Temperatur Sampel C	40
Gambar 4.12 <i>Nyquist plot</i> Sampel B pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	42
Gambar 4.13 <i>Nyquist plot</i> Gab. C pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	43
Gambar 4.14 <i>Bode plot</i> Sampel C pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	44
Gambar 4.15 <i>Bode plot</i> Gab. B pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	44
Gambar 4.16 Grafik Z_{re} , Z_{im} , dan Z terhadap Temperatur Sampel B1	45
Gambar 4.17 <i>Nyquist plot</i> Sampel B1 pada T-kamar, 100 °C dan 400 °C	47
Gambar 4.18 <i>Nyquist plot</i> Gab. B1 pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	48
Gambar 4.19 <i>Bode plot</i> Sampel B1 pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	49
Gambar 4.20 <i>Bode plot</i> Gab. B1 pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	50
Gambar 4.21 Grafik Z_{re} , Z_{im} , dan Z terhadap Temperatur Sampel B2	51
Gambar 4.22 <i>Nyquist plot</i> Sampel B2 pada T-kamar, 100 °C dan 400 °C	53
Gambar 4.23 <i>Nyquist plot</i> Gab. B2 pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	53

Gambar 4.24 <i>Bode plot</i> Sampel B2 pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	54
Gambar 4.25 <i>Bode plot</i> Gab. B2 pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C.....	55
Gambar 4.26 Grafik Zre, Zim, dan Z vs Temperatur Sampel B3	56
Gambar 4.27 <i>Nyquist plot</i> Sampel B3 pada T-kamar, 100 °C dan 400°C ...	58
Gambar 4.28 <i>Nyquist plot</i> Gab. B3 pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C.....	59
Gambar 4.29 <i>Bode plot</i> Sampel B3 pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C	60
Gambar 4.30 <i>Bode plot</i> Gab. B3 pada T-kamar, 100 °C, dan 400 °C.....	61
Gambar 5.1 Grafik Zre, Zim, dan Z vs Temperatur Sampel A.....	62
Gambar 5.2 Grafik Impedansi Total vs Temperatur Sampel A, B, C	63
Gambar 5.3 Grafik Resistansi vs Temperatur Sampel A, B, C.....	64
Gambar 5.4 Grafik Impedansi Total vs Temperatur Sampel B1, B2, B3 ...	65
Gambar 5.5 Grafik Resistansi vs Temperatur Sampel B1, B2, B3	66
Gambar 5.6 Rangkaian Listrik ekuivalen.....	68
Gambar 5.7 Perbandingan Data Hasil Fitting Sampel B	69
Gambar 5.8 Perbandingan Data Hasil Fitting Sampel B3.....	72
Gambar 5.9 Grafik Hubungan Zre vs terhadap Temperatur Sampel B.....	74
Gambar 5.10 Grafik Zre vs Frekuensi Sampel B.....	74
Gambar 5.11 Grafik Zim vs Frekuensi Sampel B.....	75
Gambar 5.12 Perbandingan <i>Nyquist plot</i> Sampel B.....	76
Gambar 5.13 Perbandingan log Konduktivitas vs 1000/T Sampel B	77
Gambar 5.14 Grafik Hubungan Waktu relaksasi vs 1000/T Sampel B	79

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto T-Kamar A	87
Lampiran 2 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto T-Kamar B	88
Lampiran 3 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto T-Kamar C	89
Lampiran 4 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto 100 A.....	90
Lampiran 5 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto 100 B	91
Lampiran 6 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto 100 C	92
Lampiran 7 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto 400 A.....	93
Lampiran 8 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto 400 B	94
Lampiran 9 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto 400 C	95
Lampiran 10 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto T-Kamar B1.....	96
Lampiran 11 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto T-Kamar B2	97
Lampiran 12 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto T-Kamar B3	98
Lampiran 13 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto 100 B1	99
Lampiran 14 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto 100 B2	100
Lampiran 15 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto 100 B3	101
Lampiran 16 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto 400 B1	102
Lampiran 17 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto 400 B2	103
Lampiran 18 Data dan Grafik Hasil <i>Fitting</i> dengan Program ZSimpWin Auto 400 B3	104

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perovskite jenis oksida telah dipelajari secara ekstensif karena potensi aplikasi mereka untuk berbagai perangkat mikroelektronik. Barium Stronsium Titanat (BaSrTiO_3) yang biasanya dikenal dengan BST menarik para peneliti karena memiliki konstanta dielektrik tinggi pada suhu kamar dan sangat berpotensi dalam aplikasi dielektrik diantaranya sebagai dielektrik pada *Dynamic Random Access Memory* (DRAM), filter frekuensi-tangkas, osilator pengendali tegangan, fasa *shifter* dan antena.

Pada umumnya *perovskite* seperti BST memiliki relaksasi dielektrik yang signifikan dan fenomena ini mempengaruhi sifat listrik dari kapasitor yang dibuat dengan bahan dielektrik. Oleh karena itu, penting untuk meneliti sumber relaksasi dielektrik dan mempelajari distribusi dari waktu relaksasi berdasarkan temperatur. Selain itu, karakteristik listrik polikristalin Barium Strontium Titanat (BST) sangat bergantung pada mikrostrukturnya. Jadi, *grain* dan *grain boundary* memainkan peran signifikan dalam sifat listrik (Ahmad Rouahi, 2012) [1].

Pendopongan BaTiO_3 dengan atom tertentu seperti La, Sc, Y, Sb, Nb, Ta sudah diteliti oleh banyak ilmuwan. Penulis tertarik untuk mempelajari doping atom Stronsium (Sr) pada BaTiO_3 karena berdasarkan hasil penelitian yang dilaporkan oleh Moulson (1990) bahwa pemberian *doping* Sr^{2+} pada kristal *perovskite* Barium Titanat akan berpengaruh pada sifat fisis bahan, seperti berubahnya temperatur Curie, permitivitas dan resistansi, sehingga puncak permitivitas dapat bergeser dari posisi semula. Dengan demikian peneliti dapat mempelajari transisi fasa bahan *perovskite* $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$.

Bahan *perovskite* yang digunakan pada penelitian ini adalah $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ dimana nilai $x=0.5$, sehingga formulanya menjadi $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$. Bahan ini telah diteliti oleh peneliti sebelumnya. Teknik pembuatannya menggunakan metode *mechanosynthesis powder* yaitu dengan mencampurkan bubuk BaCO_3 , SrCO_3 dan TiO_2 . Campuran tersebut kemudian diberikan proses berikutnya yaitu *milling*,

kalsinasi, kompaksi, *sintering* dan *annealing*. Hasil dari proses tersebut berbentuk *pellet* dengan diameter 0.88 cm dan tebal 0.16 cm. Sampel $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ kemudian dikarakterisasi dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi, ukuran dan distribusi *grain*, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal dan *Resistance Capacitance Inductance* (RCL) meter untuk spektroskopi impedansi. Hasil yang telah diperoleh dari penelitian sebelumnya menyatakan bahwa bahan perovskite $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ memiliki fasa tunggal. Waktu *sintering* dan *annealing* berpengaruh terhadap ukuran *grain*, perubahan nilai resistansi dan kapasitansi dari *grain* dan *grain boundary*.

Pada penelitian ini penulis ingin melanjutkan apa yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu untuk mengeksplor lebih dalam tentang sifat listrik bahan perovskite $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$. Kalau pada peneliti terdahulu pengukuran dilakukan pada temperatur kamar, namun kali ini pengukuran dilakukan pada temperatur tinggi dengan kisaran antara 25 °C sampai dengan 425 °C. Dengan rentang temperatur yang cukup lebar, peneliti berharap dapat mengamati transisi fasa pada bahan perovskite $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$. Selanjutnya akan dipelajari bagaimana pengaruh temperatur maupun frekuensi terhadap nilai impedansi, kapasitansi, resistansi dari bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$.

1.2 Batasan Masalah

Pengukuran pada temperatur tinggi dalam penelitian ini dibatasi pada temperatur kamar (25 °C) sampai dengan 400 °C. Didalam penelitian ini penulis mempelajari sifat kelitrikan bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ melalui metode spektroskopi impedansi (SI). Teknik ini tidak menyebabkan perubahan morfologi pada bahan saat dilakukan pengukuran, sehingga hasil yang diperoleh dapat merepresentasikan sifat listrik yang sebenarnya. Selanjutnya metode ini juga dapat meneliti sifat-sifat sifat *bulk*, seperti konduktivitas, sifat antarmuka (*interface properties*) dan sifat batas *grain* (*grain boundary*). Hasil pengukuran impedansi direpresentasikan kedalam *Nyquist plot* dan *Bode plot* kemudian diolah dengan menggunakan program ZSimpWin 3.10 guna mendapatkan rangkaian listrik ekuivalen yang cocok dari sampel uji.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mempelajari pengaruh temperatur terhadap nilai resistansi, kapasitansi, dan impedansi pada bahan $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$.
2. Mempelajari pengaruh frekuensi terhadap nilai resistansi, kapasitansi, dan impedansi pada bahan *perovskite* $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$.
3. Mempelajari pengaruh temperatur terhadap perubahan fasa bahan *perovskite* $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$.
4. Mempelajari perilaku konduktivitas listrik pada bahan *perovskite* $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$.
5. Menentukan frekuensi relaksasi, waktu relaksasi bahan *perovskite* $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ dari *Nyquist plot* untuk menghitung besarnya energi aktivasi bahan *perovskite* $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat terutama:

1. Bagi Peneliti, memperoleh pengalaman dalam melakukan eksperimen, mengenal dan menjalankan program pengolahan data dan pembuatan grafik melalui *software* seperti Gnuplot, Origin dan Zsimpwin. Menambah wawasan berfikir ilmiah dalam cara memperoleh, mengolah dan menganalisis data serta mempresentasikan hasil.
2. Bagi Para Mahasiswa, dapat digunakan sebagai jembatan untuk penelitian lanjutan dengan penemuan dan pengembangan bahan (material) baru demi menyokong perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek).
3. Bagi Almamater, sebagai salah satu wahana dalam mempertahankan dan mengembangkan budaya meneliti sebagai bagian dari Tridarma Perguruan Tinggi.

BAB 2 STUDI LITERATUR

Perkembangan material *perovskite* diawali ketika Gustav Rose menemukan CaTiO_3 di Pegunungan Ural pada 1839 dan kemudian dinamakan *perovskite* oleh ahli mineralogi Rusia terkenal, Count Lev Alexevich Von Perovski. Salah satu bahan *perovskite* yang terkenal saat ini adalah Barium Stronsium Titanat (BaSrTiO_3) yang dikenal dengan BST. BaSrTiO_3 merupakan material *perovskite* yang berbasis Barium Titanat (BaTiO_3).

2.1 Barium Stronsium Titanat (BST)

Barium Titanat merupakan material yang bersifat ferroelektrik dan mempunyai struktur *perovskite* dengan rumus umum $(A_1 \dots A_n)(B_1 \dots B_n)\text{O}_3$ dimana A adalah kation valensi 1 s.d 2 dan B adalah kation valensi 3 s.d 7 dengan A dan B adalah kation yang mempunyai ukuran berbeda (Paramanik, 2004) [2]. Struktur tersebut dianggap sebagai struktur turunan FCC yang mempunyai kation A dan oksigen bersama-sama membentuk kisi FCC, sementara kation B yang ukurnya lebih kecil menyisip di tengah oktahedral dalam kisi FCC.

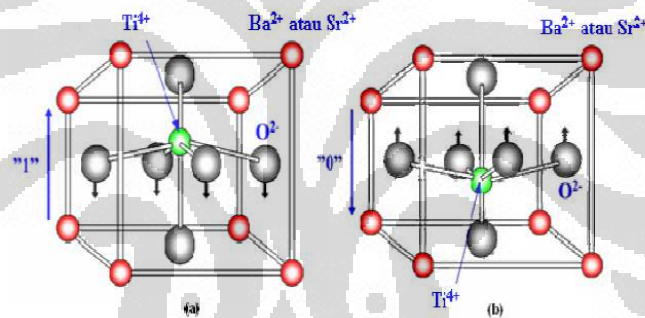
Pendopingan pada Barium Titanat dapat ditentukan dengan mengacu formula umum dari struktur *perovskite*, yaitu unsur yang berasal dari golongan 1s.d 2 untuk kation A atau unsur yan berasal dari golongan 3 s.d 7 untuk kation B. *Perovskite* Barium Titanat dapat didoping dengan atom tertentu yaitu dengan mensubstitusi kation-kationnya dengan ion-ion trivalent (La^{3+} , Sb^{3+} , Y^{3+} , Bi^{3+}) yang dapat mensubstitusi Ba^{2+} , atau ion-ion pentavalen (Nb^{5+} , Ta^{5+} , Sb^{5+}) yang mensubstitusi Ti^{4+} yang akan memberikan elektron donor (*space charge*) yang mudah dipengaruhi oleh medan listrik luar dan akan memberikan kontribusi pada polarisasi (Erna Hastuti dan Suasmoro, 2006) [3].

Pemberian *doping* Sr^{2+} pada kristal *perovskite* Barium Titanat juga akan berpengaruh pada sifat fisis yang ditimbulkannya. Dengan cara ini akan dapat mengubah temperatur Curie, permitivitas dan resistansi. Menurut Moulson (1990) akibat penambahan maupun penggantian pada posisi Ba^{2+} dan Ti^{4+} sebagian atau

seluruhnya dengan ion-ion lain dapat menyebabkan perubahan temperatur Curie, puncak permitivitas dapat bergeser dari posisi semula. Penggantian Sr^{2+} pada posisi Ba^{2+} akan menurunkan temperature Curie, sedangkan penggantian dengan Pb^{2+} akan meningkatkan temperatur Curie (Erna Hastuti, 2011) [4].

$\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ pada penelitian ini merupakan bahan *perovskite* turunan dari BaTiO_3 yang diperoleh dengan mendoping Sr pada Barium Titanat. Formulasi yang dipakai dalam penelitian ini adalah $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ dengan nilai x adalah 0.5 yang memiliki sifat feroelektrik.

Jika pada material feroelektrik $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ dikenakan medan listrik, maka atom-atom tertentu mengalami pergeseran dan menimbulkan momen dipol listrik. Momen dipol ini yang menyebabkan polarisasi. Fenomena tersebut dapat ditampilkan seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.1 Struktur Perovskite $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$: (a) Polarisasi ke Atas (b) Polarisasi ke Bawah (R. Aam Hamdani. dkk) [5].

Berdasarkan ICDD (*International Center for Diffraction Data*), parameter kisi Barium Stronsium Titanat ($\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$) yaitu $a = 3.947 \text{ \AA}$. Untuk konsentrasi Stronsium 0.5 % memiliki parameter kisi 3.965 \AA dengan struktur kristal kubik. Dengan demikian material $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ merupakan keadaan paraelektrik pada temperatur kamar (T. Sumardi, dkk) [6].

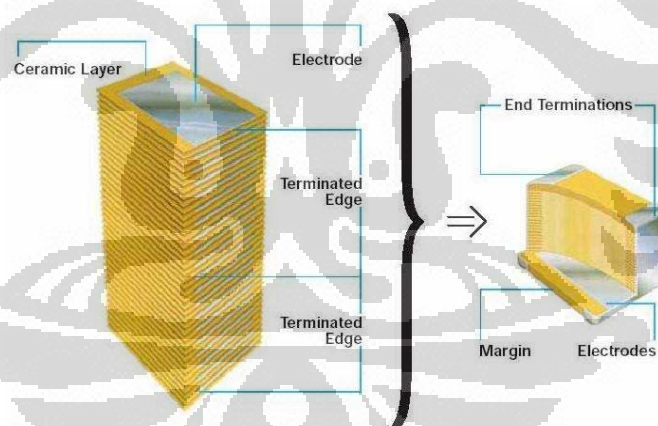
Adanya fenomena penyimpangan oktahedra yang terkopel bersama pada bahan *perovskite* $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$, menyebabkan terjadinya polarisasi spontan yang sangat besar, sehingga memberikan konstanta dielektrik yang tinggi.

2.2 Aplikasi Barium Stronsium Titanat (BST)

Barium Strontium Titanat dengan konstanta dielektrik yang tinggi sekitar 15000, sangat baik untuk bahan pembuat kapasitor. Aplikasi lain dari BST yaitu sebagai komponen dan peralatan mikroelektronik seperti; sensor inframerah, *thermal images*, *Dynamics Random Access Memory (DRAM)*, dan *tunable microwaves* (Zhou Xiaoyuan, 2008) [7]. Barium Stronsium Titanat (BST) dapat juga diterapkan sebagai; filter frekuensi, osilator pengendali tegangan, *phase shifter*, dan antena (A. Rouahi, dkk.,2012) [1].

2.2.1 Kapasitor Multilapis (*Multilayer Capacitors, MLCs*)

Kapasitor ini tersusun dari lapisan-lapisan bahan dielektrik dan logam sebagai elektroda. Antara elektroda dan dielektrik disusun silih berganti sehingga membentuk kapasitor gabungan yang sangat banyak namun dengan ukuran yang kecil. Skema Kapasitor Multilapis (MLCs) dapat dilihat seperti pada gambar 2.2.

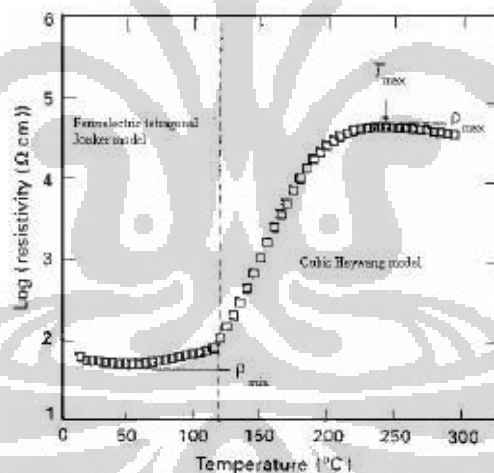


Gambar 2.2 Skema Kapasitor Multilapis konvensional (M. M. Vijatović) [8].

Kapasitansi dirumuskan seperti pada persamaan 2.1, oleh sebab itu nilai kapasitansi akan bertambah dengan bertambahnya luas dan berkurangnya ketebalan. Ukuran MLCs biasanya dengan ketebalan bahan dielektriknya 10-35 μm dan jumlah lapisan adalah 100 lembar. Bahan dielektrik yang digunakan didalam kapasitor multilapis harus memiliki beberapa syarat sifat listrik yang baik yaitu permitivitas dielektrik yang tinggi dengan kebergantungan temperatur yang rendah, dengan tujuan agar dapat berlaku pada jangkauan temperatur yang lebar.

2.2.2 Efek *Positive Temperature Coefficient (PTC) Thermistor*

Sebelum didoping, Batrium Titanat bersifat sebagai isolator. Pendopingan ion Sr^{2+} pada Barium Titanat akan mengisi kekosongan ion Ba^{2+} dan menyebabkan meningkatnya resistansi pada *grain boundary*, sehingga bahan *perovskite* $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ menjadi bersifat semikonduktor. Fenomena ini menyebabkan adanya perilaku *Positive Temperature Coefficient Resistance (PTCR)* pada *grain boundary* (Yuh-Yih Lu, Tseung-Yuen Tseng, 1997) [9]. PTCR yang sensitif terhadap temperatur dinamakan PTCR Termistor, nilai resistansinya meningkat dengan tajam pada nilai temperatur tertentu, setelah temperatur dinaikkan. Sifat ini cocok untuk aplikasi sensor temperatur. Selain itu sifat PTCR juga berguna untuk aplikasi berbagai jenis rangkaian elektronik seperti saklar atau pemanas temperatur konstan. Gambaran skema dari fenomena PTCR ini ditunjukkan oleh Gambar 2.3.



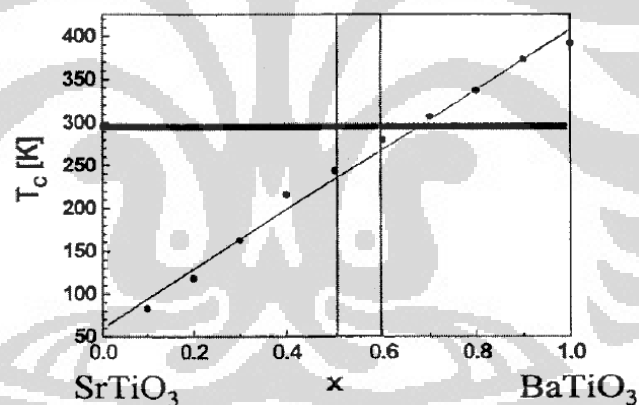
Gambar 2.3 Resistivias vs Temperatur (Hsiao-Lin, Wang) [10].

Didalam aplikasinya, efek PTC digunakan pada *Positive Temperatur Coefficient of Resistance (PTCR)* dapat diklasifikasikan sebagai resistor temperatur kritis karena koefisien positif yang terkait dengan titik Curie ferroelektrik. Bahan PTCR dapat diklasifikasikan kedalam empat golongan yaitu; komposit polimer, komposit keramik, senyawa V_2O_3 dan senyawa berbasis BaTiO_3 (BaSrTiO_3 , BaPbTiO_3). Dalam kehidupan sehari-hari bahan PTCR dapat

diterapkan sebagai pembatas arus listrik, *heater* berbagai *device* elektronik dan sensor panas [10].

2.3 Pengaruh Temperatur terhadap Bahan *Perovskite* $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$

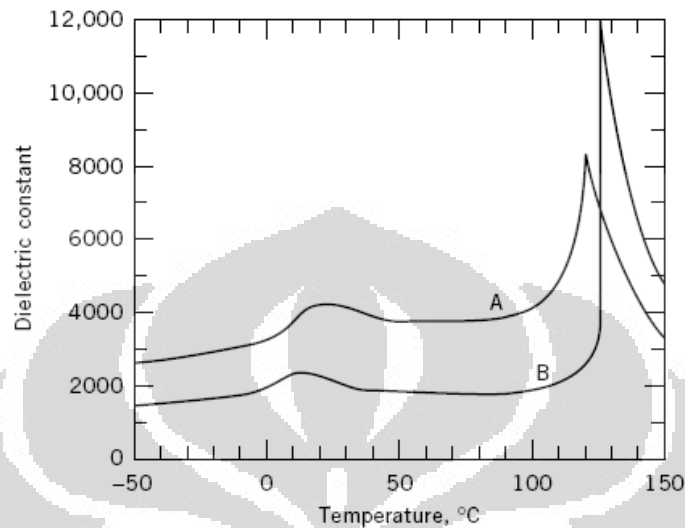
Bahan *perovskite* $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ memperlihatkan permitivitas dielektrik yang tinggi, akan tetapi konstanta dielektriknya memiliki kebergantungan terhadap temperatur dan mencapai maksimum pada titik Curie. Temperatur curie Barium Titanat (BT) murni sebesar 130 °C. Dengan penambahan Stronsium ke dalam Barium Titanat menyebabkan temperatur Curie BST menurun dari 130 °C menjadi suhu kamar (25 °C), sifat ini cocok untuk spesifikasi alat sensor [5]. Studi komposisi digunakan untuk meneliti pergeseran temperatur transisi fasa. Telah diketahui bahwa melalui pengendalian konsentrasi dan distribusi komposisi, ketergantungan temperatur dan variasi sifat dielektrik dapat direkayasa untuk area aplikasi yang berbeda (C.A. Randall, R.E. Newnham, dan L.E. Cross) [11].



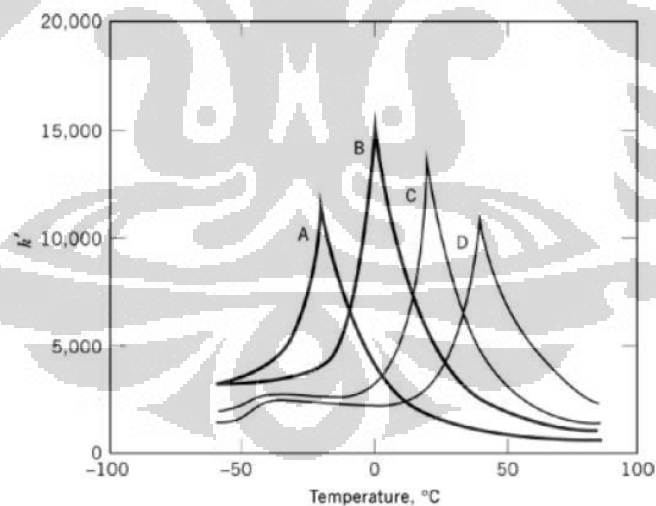
Gambar 2.4 Struktur Temperatur Transisi sebagai Fungsi rasio Ba/Sr dalam Bulk BST (Zhou Xiaoyuan, 2008) [6].

Landolt (1981) berpendapat bahwa temperatur Curie feroelektrik sesuai dengan fungsi linear perbandingan antara Ba dengan Sr. Penambahan Sr pada $BaTiO_3$ (BTO) akan menyebabkan temperatur transisi menurun ke $SrTiO_3$ (STO) mendekati temperatur kamar [6]. Meskipun titik Curie dapat digeser hingga ke temperatur kamar melalui substitusi parsial dari Ba atau Ti, konstanta dielektrik keramik juga bergantung pada ukuran *grain* material. Gambar 2.5 menunjukkan

kebergantungan nilai konstanta dielektrik bahan *perovskite* terhadap temperatur dengan ukuran *grain* yang berbeda.



Gambar 2.5 Kebergantungan Konstanta dielektrik (1 kHz) BaTiO_3 terhadap temperatur pada A (ukuran grain 1 mikrometer) dan B (ukuran grain 50 mikrometer) (Kirk-Othmer) [12].



Gambar 2.6 Efek Variasi Komposisi terhadap Konstanta Dielektik Barium Stronsium Titanat; (A) $\text{Ba}_{0.61}\text{Sr}_{0.39}\text{TiO}_3$, (B) $\text{Ba}_{0.68}\text{Sr}_{0.32}\text{TiO}_3$, (C) $\text{Ba}_{0.74}\text{Sr}_{0.26}\text{TiO}_3$, dan (D) $\text{Ba}_{0.79}\text{Sr}_{0.21}\text{TiO}_3$ [11].

Komposisi pada Barium Stronsium Titanat juga dapat berpengaruh terhadap nilai konstanta dielektriknya. Oleh karena itu dengan variasi komposisi penyusun Barium Stronsium Titanat akan berpengaruh terhadap pergeseran temperatur Curiannya. Gambar 2.7 menunjukkan kebergantungan nilai konstanta dielektrik

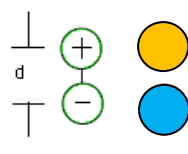
bahan *perovskite* Barium Sronsium Titanat terhadap konsentrasi seiring dengan kenaikan temperatur.

Semua bahan feroelektrik memiliki temperatur transisi yang disebut titik Curie (T_c). Pada suhu $T > T_c$ kristal tidak menunjukkan sifat feroelektrik, sementara untuk $T < T_c$ bahan bersifat feroelektrik. Pada penurunan suhu melalui titik Curie, kristal feroelektrik mengalami transisi fase dari fase non-feroelektrik ke fase feroelektrik. Jika ada lebih dari satu fase feroelektrik, suhu di mana kristal mengubah dari satu fase feroelektrik yang lain disebut temperatur transisi (Ahmad Safari, dkk., 2004) [13].

2.4 Sifat Listrik Bahan Dielektrik $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$

Berbeda dari konduktor, dielektrik tidak memiliki elektron bebas yang dapat bergerak dengan mudah didalam material, elektron di dalam dielektrik merupakan elektron terikat sehingga tidak menghantarkan arus listrik (Sudaryatno S., Ning Utari) [14]. Namun demikian, material-material tersebut tidak sepenuhnya inert terhadap medan listrik. Elektron dan nukleus atom akan bergeser posisinya sebagai respon ketika diberikan medan listrik. Posisi elektron akan berada lebih dekat kepada elektroda positif, sedangkan nukleus akan sedikit bergeser ke arah elektroda negatif (Gambar 2.7).

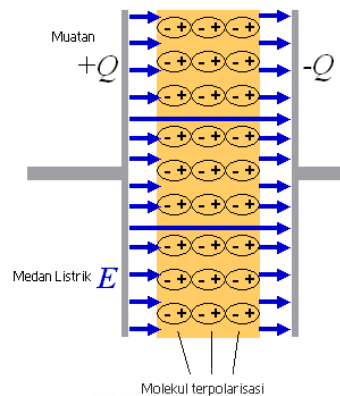
Satu sistem muatan positif dan muatan negatif yang saling bergeser ini disebut sebagai momen dipol listrik. Jumlah momen dipole tiap satuan volume disebut sebagai polarisasi. Jika diberikan medan luar listrik bolak-balik, maka muatan-muatan internal ini akan bergeser maju-mundur selaras dengan frekuensi medan listrik yang diberikan.



$$\text{Momen dipole listrik, } \mu = Qd \quad (2.1)$$

$$\text{Polarisasi, } P = \frac{\sum Qd}{V} \quad (2.2)$$

Gambar 2.7 Muatan positif dan muatan negatif yang saling bergeser membentuk sistem momen dipole listrik



Gambar 2.8 Polarisasi molekul didalam bahan dielektrik yang diberi medan listrik. Elektron elektron didalam molekul bergeser kearah muatan positif plat (wikipedia) [15].

Konstanta dielektrik diukur oleh k , melalui hubungan $C = kC_0$, yang merupakan ukuran kemampuan suatu bahan untuk dapat mengumpulkan flux elektrostatis (garis-garis medan elektrostatis). Konstanta dielektrik ini juga dikenal sebagai permitivitas relatif. Dengan meletakkan bahan dielektrik (Gambar 2.14) diantara plat sejajar kapasitor akan menyebabkan adanya penambahan kapasitansi yang sebanding dengan k yang dalam perumusannya dinyatakan sebagai:

$$C = \frac{k\epsilon_0 A}{d} \quad (2.3)$$

ϵ_0 merupakan permitivitas ruang hampa ($\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$), A adalah luasan yang diliputi oleh plat kapasitor, dan d adalah jarak diantara plat-plat kapasitor. Penambahan kapasitansi pada kapasitor disebabkan oleh polarisasi muatan bahan dielektrik yang dipengaruhi oleh medan listrik, hal ini menghasilkan konsentrasi muatan di permukaan kapasitor sehingga menciptakan medan listrik yang berlawanan dengan medan listrik luar yang berakibat meningkatnya nilai kapasitansi pada kapasitor.

2.5 Jenis-jenis Polarisasi

Peristiwa pergerakan elektron, ion, dan molekul-molekul polar di dalam dielektrik yang diakibatkan oleh adanya medan listrik disebut peristiwa polarisasi. Peristiwa polarisasi pada kapasitor yang disisipi bahan dielektrik akan menyebabkan kenaikan nilai kapasitansi. Polarisasi dibedakan menjadi empat

jenis yaitu; polarisasi elektronik, polarisasi ionik, polarisasi muatan ruang dan polarisasi orientasi.

Polarisasi elektronik terjadi pada semua jenis dielektrik. Polarisasi ini terjadi karena pergeseran elektron pada atom atau molekul karena adanya medan listrik. Muatan listrik positif dan negatif yang semula berimpit menjadi terpisah sehingga terbentuk dipole. Pemisahan muatan ini berlangsung sampai terjadi keseimbangan dengan medan listrik yang menyebabkannya. Polarisasi ionik hanya teramati pada bahan dengan ikatan ion. Polarisasi ion terjadi karena pergeseran ion-ion yang berlawanan muatan oleh pengaruh medan listrik. Namun polarisasi ion terjadi lebih lambat dari polarisasi elektronik. Polarisasi muatan ruang terjadi karena pemisahan muatan-muatan ruang, yang merupakan muatan-muatan bebas dalam ruang dielektrik. Polarisasi akan lebih mudah terjadi jika pada temperatur yang agak tinggi sekitar 200 °C. Polarisasi orientasi terjadi pada material yang memiliki molekul asimetris yang membentuk momen dipole permanen. Pada umumnya dipole permanen ini membentuk sudut dengan arah medan. Oleh karena itu waktu yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan juga cukup lama [14].

2.6 Hasil Penelitian terdahulu

Penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu adalah pembuatan bahan perovskite $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ dengan metode *mechanosynthesis powder* yaitu pencampuran bubuk $BaCO_3$, $SrCO_3$ dan TiO_2 dengan persamaan reaksi:



Campuran tersebut kemudian diberikan proses berikutnya yaitu *milling*, kalsinasi, kompaksi, *sintering* dan *annealing*. Hasil dari proses tersebut berbentuk *pellet* dengan diameter 0.88 cm dan tebal 0.16 cm. Sampel kemudian dikarakterisasi dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi, ukuran dan distribusi *grain*, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal dan *Resistance Capacitance Inductance* (RCL) meter untuk spektroskopi impedansi.

Sintering merupakan perlakuan pemanasan dengan tujuan agar partikel-partikel halus mengalami penggumpalan (aglomerasi) menjadi bahan yang padat.

Universitas Indonesia

Ketika proses *sintering* berlangsung, *grain boundary* saling menempel, beberapa *grain* beraglomerasi disertai terbentuk *pore*. Di akhir *sintering*, daerah kontak yang semula adalah *grain boundary* menjadi semakin luas dan akhirnya *pore* yang terbentuk menjadi semakin kecil.

Annealing merupakan proses pemanasan setelah sampel disintering. Proses pemanasan dilakukan perlahan-lahan pada temperatur tertentu dan ditahan dalam waktu tertentu kemudian diikuti pendinginan perlahan-lahan sampai temperatur kamar. Pada proses *annealing* sampel uji diletakkan di dalam tungku pemanas (*furnace*). Selama proses *annealing*, sampel uji akan mengalami tiga tahapan peristiwa yaitu: *recovery* (pemulihan), rekristalisasi dan pertumbuhan *grain*. Penentuan temperatur *annealing* adalah 0,3 s.d 0,6 dari titik leleh bahan tersebut. Jika diketahui titik leleh BST adalah 1625 °C, maka temperatur *annealing* BST berkisar antara 488 °C s.d 975 °C. Dalam penelitian ini temperatur *annealing* yang digunakan adalah sebesar 900 °C. Fungsi dari *annealing* terhadap material diantaranya adalah: melepas tegangan sisa (*internal stress/thermal stress*), memperbaiki sifat-sifat fisik bahan seperti keuletan (*ductility*), kekerasan (*toughness*) dan kelembutan (*softness*).

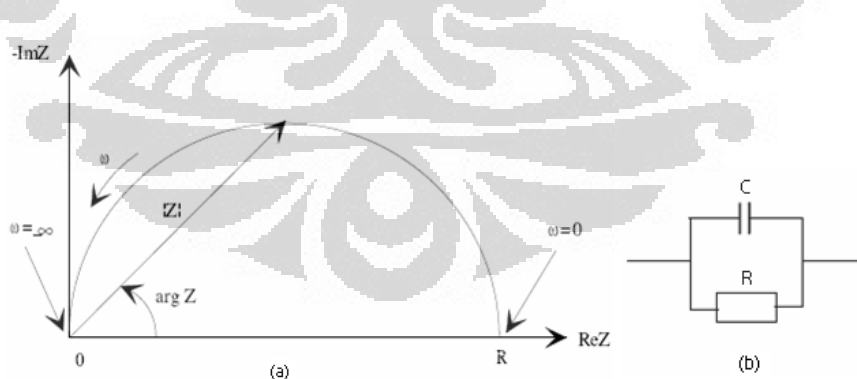
Hasil Foto SEM pada permukaan sampel $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ membuktikan bahwa dengan proses *sintering*, ukuran *grain* menjadi lebih besar dan disertai adanya porositas. Pada *sintering* 1200 °C selama 1, 2 dan 3 jam, ukuran *grain* belum homogen, distribusinya belum merata ke seluruh bagian *bulk*. Melalui proses *annealing* akan dihasilkan ukuran *grain* yang lebih kecil, lebih homogen, sedikit *crack* dan hilangnya porositas, namun distribusinya belum merata.

Berdasarkan pengukuran dengan metode difraksi sinar-X, dan hasilnya dicocokkan dengan JCPDS-ICDD (*Joint Committee on Powder Diffraction Standard-International Centre for Diffraction Data*) diperoleh nilai parameter kisi pada sampel $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *sintering* 1200°C selama 1, 2 dan 3 jam berturut-turut adalah 3.98 Å, 3,98 Å dan 3.99 Å. Sedangkan pada sampel $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *annealing* 900 °C selama 1, 2 dan 4 jam berturut-turut adalah 3.93 Å, 3.93 Å dan 3.95 Å. Nilai parameter kisi bubuk $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ adalah 3.947 Å berupa kubus sederhana. Jadi dapat dikatakan bahwa perlakuan termal baik *sintering* maupun *annealing* tidak mengubah fasa bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$. (Rositawati, 2008) [16].

2.7 Spektroskopi Impedansi

Impedansi merupakan sebuah konsep yang lebih umum dari resistansi, karena diperhitungkan juga mengenai perbedaan fase antara arus dan tegangan. Oleh karena itu, impedansi dapat didefinisikan sebagai nilai resistansi kompleks dari suatu rangkaian listrik sebagai respon terhadap tegangan listrik AC yang diberikan pada rangkaian tersebut. Spektroskopi impedansi merupakan peralatan analitik yang populer didalam penelitian dan pengembangan ilmu material, karena alat ini memberikan pengukuran listrik yang relatif sederhana secara otomatis dan hasilnya sering kali dihubungkan dengan banyak variabel-variabel material yang kompleks seperti; transport massa, laju reaksi kimia, korosi, sifat dielektrik, cacat mikrostruktur dan pengaruh komposisi terhadap sifat konduktansi dalam zat padat (Macdonald,1987) [17]:

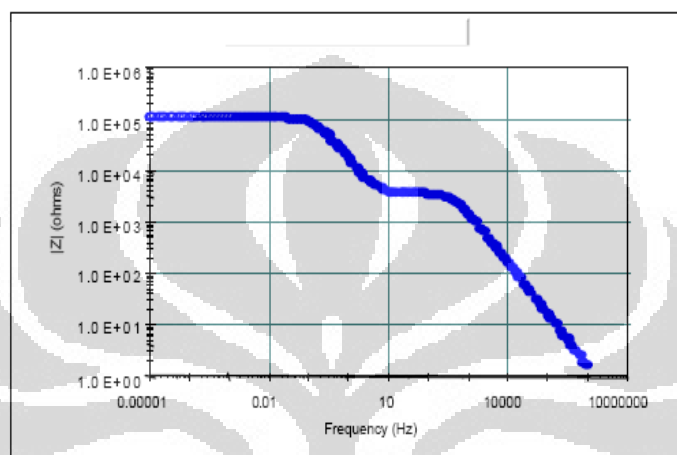
Hasil spektroskopi impedansi pada umumnya ditampilkan ke dalam *Nyquist plot* dan *Bode Plot*. *Nyquist plot* merupakan grafik yang menampilkan hubungan antara impedansi real dan impedansi imajiner. Impedansi real diplot pada absis (sumbu-x), sedangkan impedansi imajiner diplot pada ordinat (sumbu-y). *Nyquist plot* juga sering disebut dengan Cole-cole plot. *Nyquist plot* sederhana dapat digambarkan berupa lengkungan yang membentuk *semicircle* seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 (a) *Nyquist plot* yang diperoleh dari data impedansi. Setengah lingkaran merupakan ciri dari “konstanta waktu” tunggal. (b) Rangkaian ekivalen sederhana yang diperoleh dari gambar (a) (www.gamry.com) [18].

Bode plot merupakan grafik yang menampilkan hubungan antara impedansi total dan frekuensi. Frekuensi diplot pada absis (sumbu-x), sedangkan

impedansi total diplot pada ordinat (sumbu-y). *Bode plot* memudahkan untuk menyelidiki nilai impedansi total dan pergeseran fasa, yang merupakan suatu gejala impedansi sebagai fungsi dari frekuensi. Fenomena ini menunjukkan pengaruh impedansi bergantung pada frekuensi sehingga dapat digunakan untuk menyelidiki sifat kapasitor bahan. Grafik *Bode plot* dapat dilihat seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Grafik Tampilan *Bode plot* (Basic EIS Princeton) [19].

Ketika spektroskopi impedansi diaplikasikan pada bahan *perovskite*, teknik ini mampu memisahkan sifat listrik dan dielektrik dari *grain*, daerah batas *grain*, dan daerah antara kontak dengan sampel (*interface*). Pengukuran parameter impedansi membantu mengidentifikasi proses fisis dan penentuan jenis parameter listrik yang mewakili sistem yang sedang dipelajari. Dalam menganalisa dan menginterpretasikan data penelitian penting untuk mempunyai model ekivalen yang memberikan sifat listrik yang representatif dengan keadaan sebenarnya. Sifat listrik sampel ditentukan dengan kombinasi seri antara *grain* dan daerah batas *grain*, di mana masing-masing diwakili dengan elemen paralel RC (K. Prabakar, dkk., 2002) [20].

Rangkaian ekivalen terdiri dari resistor-resistor ideal, kapasitor ideal dan kemungkinan terjadi variasi distribusi rangkaian. Di dalam sebuah rangkaian, resistansi menyatakan aliran konduktif dan resistor di dalamnya yang dapat dianggap sebagai konduktivitas *bulk* dari material atau mekanisme yang terkait dengan suatu elektroda. Begitu pula halnya dengan kapasitansi yang secara umum

terkait dengan daerah-daerah polarisasi ruang dan proses absorpsi serta elektrolisis khusus pada suatu elektroda.

Selain memiliki kelebihan, metode spektroskopi impedansi juga memiliki kekurangan terutama yang berkaitan dengan analisa berdasarkan rangkaian ekuivalen pada rangkaian ideal yang menggambarkan sifat konstanta yang tak diinginkan. Dengan demikian elemen-elemen rangkaian ideal dimana cukup untuk menggambarkan suatu respon listrik. Untuk mengatasi kesulitan tersebut, maka digunakan elemen-elemen impedansi terdistribusi yang dikenal dengan *Constant-Phase Elements* (CPEs) didalam rangkaian ekuivalen, sehingga diperoleh fitting data impedansi yang lebih baik.

2.7.1 Formalisme Impedansi Kompleks

Beberapa parameter dalam spektrokopi impedansi dapat dirangkum dalam tabel empat dasar fungsi imitansi berikut:

Tabel 2.1 Hubungan antara Empat Dasar Fungsi Imitansi

	M	Z	Y	ϵ
M	M	μZ	μY^{-1}	ϵ^{-1}
Z	$\mu^{-1} M$	Z	Y^{-1}	$\mu^{-1} \epsilon^{-1}$
Y	μM^{-1}	Z^{-1}	Y	$\mu \epsilon$
ϵ	M^{-1}	$\mu^{-1} Z^{-1}$	$\mu^{-1} Y$	ϵ

^a $\mu \equiv j\omega C_0$, where C_0 is the capacitance of the empty cell.

M = modulus listrik, Z = impedansi, Y = admitansi, ϵ = permitivitas [15].

Data spektroskopi impedasi dapat dianalisis kedalam empat formalisme kompleks, diantaranya: impedansi (Z), modulus listrik (M), admitansi (Y), dan permitivitas ϵ . Keempat formalisme diatas dapat dijabarkan dengan persamaan-persamaan (Srinivas, dkk.) [21]:

$$M = M_{re} - jM_{im} = j\omega C_0 Z \quad (2.7)$$

$$\epsilon = \epsilon_{re} - \epsilon_{im} = (M)^{-1} = \frac{1}{j\omega C_0 Z} \quad (2.8)$$

$$Y = (Z)^{-1} = j\omega C_0 \epsilon \quad (2.9)$$

$$Z = Z_{rs} - Z_{im} = R - \frac{1}{j\omega C} \quad (2.10)$$

$$\tan\delta = \frac{E_{im}}{E_{rs}} \quad (2.11)$$

Pada *Nyquist Plot*, rangkaian ekuivalen dapat diwakili oleh model-model yang ditampilkan dalam inset angka-angka. Setiap *semicircle* diwakili oleh rangkaian paralel RC yang ekuivalen dengan komponen individu dari material *bulk* dan *grain boundary*. Resistansi dari tiap-tiap elemen langsung dihasilkan dari titik potong dengan sumbu x yaitu bagian real dari impedansi. Kapasitansi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\omega\tau = 1 \quad (2.12)$$

$$\tau = RC \quad (2.13)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (2.14)$$

$$\omega RC = 1 \quad (2.15)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f R} \quad (2.16)$$

dengan f adalah frekuensi puncak atau frekuensi relaksasi, dan τ adalah waktu relaksasi.

Energi aktivasi bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ dapat ditentukan dengan persamaan Arrhenius:

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-E_a / K_B T) \quad (2.17)$$

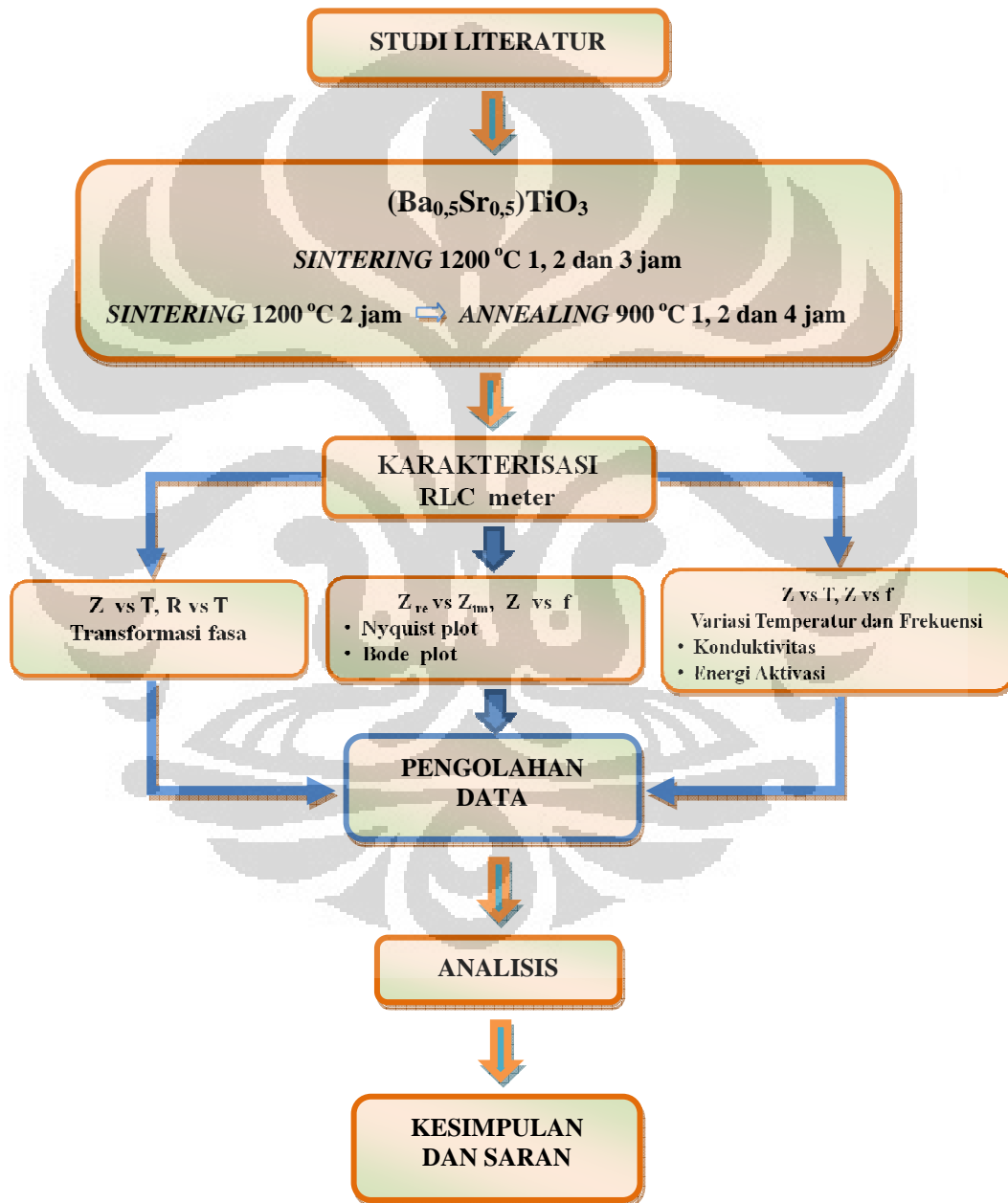
$$\tau = \tau_0 \exp(-E_a / K_B T) \quad (2.18)$$

dengan σ adalah konduktivitas, τ adalah waktu relaksasi, E_a adalah energi aktivasi, K_B adalah konstanta Boltzman (1.38×10^{-23} J/K) dan T adalah temperatur mutlak [2].

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alur Penelitian

Diagram alur yang ditempuh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



3.2 Alat dan Bahan

Bahan dan alat yang digunakan pada percobaan ini antara lain:

- 1) Satu set komputer merk *Lenovo/ThinkCentre*
- 2) Satu set RLC meter merk *Fluke PM 6306*
- 3) Satu set mikrokontroler
- 4) Satu buah pompa vakum merk *TRIVAC*
- 5) *Power Suplay*
- 6) Tungku pemanas (*Electric Stove*) merk *Maspion S-301*
- 7) Lem perak merk *Leicht, entzündlich, Enthalt: n-Butylacetat*
- 8) Amplas halus merk *Eagle Brand no. 400 CW*
- 9) Enam keping sampel $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ dengan perincian sebagai berikut: 3 keping masing-masing $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ dengan *sintering* 1200 °C selama 1, 2 dan 3 jam dan 3 keping masing-masing $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ dengan *annealing* 900°C selama 1, 2 dan 4 jam.

3.3 Prosedur Percobaan

Langkah-langkah yang dilakukan pada percobaan ini adalah sebagai berikut :

3.3.1 Persiapan Alat dan Bahan

Sebelum percobaan dimulai alat dan bahan perlu dipersiapkan terlebih dahulu. Pertama dicek mesin pompa vakum terutama melihat pelumas dan tingkat kebersihannya. Apakah masih mencukupi untuk mesin bekerja. Jika pelumas mesin vakum berkurang akibat pemakaian, perlu ditambah kembali. Ukuran banyaknya pelumas pada mesin pompa vakum adalah sesuai yang terlihat pada sensor penunjuk yang terdapat pada mesin, yaitu di antara dua garis horizontal.



Gambar 3.1 Mesin Pompa Vakum
(Lab. UPPIPD FMIPA UI, 2012)

Pemberian lem perak pada sampel, merupakan hal yang sangat penting sebelum sampel dilakukan pengukuran. Karena lem perak sendiri berfungsi sebagai elektroda. Mula-mula sampel dibersihkan terlebih dahulu dengan diampelas dengan ampelas halus merk *Eagle Brand* no. 400 CW, kemudian dibersihkan dengan etanol secukupnya dan dilap dengan tisu. Lem perak yang digunakan pada percobaan ini adalah merk *Licht, enzundlich, Entalt: n-Butylacetat* buatan Jerman. Botol lem perak dikocok terlebih dahulu sebelum lem perak digunakan agar larutan lem perak tercampur merata.

Sebelum sampel diberi lem perak terlebih dahulu masing-masing sampel diberi tanda agar tidak tertukar antara satu dengan yang lain. Sampel diberi lem perak dengan dengan menempelkan bulatan bawah dari tutup botol lem perak tersebut pada sisi sampel. Kemudian sampel yang sudah diberi lem perak diletakkan di atas tungku pemanas (*Electric Stove*) merk Maspion S-301. Sampel $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ berbentuk *pellet* sebanyak 6 buah dengan ukuran masing-masing adalah diameter 0.88 cm, dan tebal 0.16 cm. Jika dihitung maka luas permukaan salah satu sisinya adalah 0.609 cm^2 .



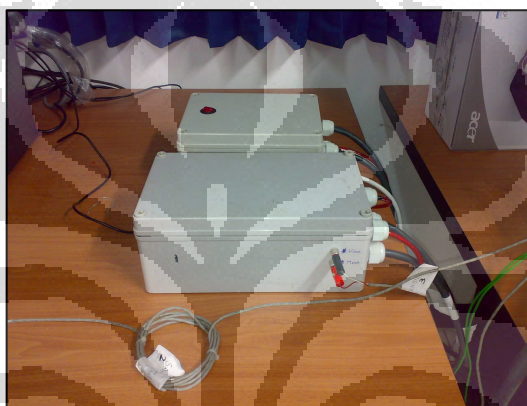
Gambar 3.2 Sampel $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ dengan (a) *Sintering* 1200°C selama 1, 2 dan 3 jam dan (b) *annealing* 900°C selama 1, 2 dan 4 jam (Lab. UPPIPD FMIPA UI, 2012)

Tungku pemanas dihidupkan dengan memutar tombol untuk memilih tingkat pemanasan yang diinginkan. Setelah lem perak kering, kemudian sampel diambil untuk diberikan lem perak pada sisi yang lain, selanjutnya dipanaskan kembali dengan temperatur sekitar 100 °C selama kurang lebih satu jam agar kandungan H_2O pada sampel benar-benar hilang.



Gambar 3.3 Tabung Vakum berisi *Heater*, Termokopel dan Sampel Uji (Lab. UPPIPD FMIPA UI, 2012)

Pemasangan sampel dilakukan dengan memutar *probe* ke kiri, maka *probe* akan merenggang. Pemasangan sampel diusahakan agar sampel berada ditengah dan membentuk garis lurus antara kedua *probe*. Kemudian *probe* diputar ke kanan kembali agar sampel terjepit pada *probe* dan tidak perlu terlalu kuat karena dapat merusak lem perak yang sudah menempel pada sampel. Setelah sampel benar benar stabil, kemudian tutup tabung vakum dipasang dengan pelan-pelan agar sampel yang berada di dalamnya tidak mengalami pergeseran, kemudian dibaut.



Gambar 3.4 Mikrokontroler
(Lab. UPPIPD FMIPA UI, 2012)

Sebelum alat dioperasikan, seluruh rangkaian peralatan dicek kembali seperti pemasangan selang pembuangan pada mesin pompa vakum dikeluarkan dari ruangan. Kabel-kabel yang menghubungkan tiap bagian sistem seperti antara *power suplay* dengan mikrokontroler, antara komputer dengan mikrokontroler, dan antara *heater* dengan mikrokontroler benar-benar terhubung.

Sampel yang akan diukur diletakkan pada ruang vakum dengan tujuan agar tidak terjadi kontak antara sampel dengan udara luar. Untuk itu sebelum proses pengukuran, pompa vakum dihidupkan kurang lebih setengah jam. Selama proses pengukuran mesin pompa vakum tetap daalam keadaan hidup (*on*).

3.3.2 Kalibrasi RLC Meter

Sebelum RLC Meter digunakan untuk mengukur, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi. Adapun langkah-langkah dalam mengkalibrasi RLC Meter antara lain:



Gambar 3.5 RLC Meter Fluke PM 6306
(Lab. UPPIPD FMIPA UI, 2012)

- 1) Tekan tombol on untuk menghidupkan RLC Meter.
- 2) Tekan tombol **FREQ** sampai tampilan frekuensi kedip-kedip dilanjutkan dengan memutar ke kiri tombol pemutar pilih sampai frekuensi terkecil (50 Hz) secepatnya tekan kembali tombol **FREQ** untuk menghentikannya.
- 3) Tekan tombol **FIXTURE SET**, putar tombol pemutar ke angka 0 (nol) dan tekan kembali tombol **FIXTURE SET** untuk menghentikannya.
- 4) Tekan tombol **ZERO TRIM**, putar tombol pemutar dan pilih nilai pada monitor menampilkan **TRI 1** dan tekan kembali tombol **ZERO TRIM** untuk menghentikannya.
- 5) Tekan kembali tombol **ZERO TRIM** sampai muncul tampilan pada monitor **BUSY OCT**, tekan kembali **ZERO TRIM** hingga muncul tampilan **BUSY SCT**. Ketika muncul tampilan **BUSY SCT**, secepatnya kedua penjepit milik RLC Meter dijepitkan satu sama lain. Tekan kembali tombol **ZERO TRIM** sampai muncul tampilan pada monitor **PASS**. Dengan demikian RLC Meter

Universitas Indonesia

siap digunakan untuk melakukan pengukuran. Jika tampilan pada monitor adalah FAIL, maka ulangi kembali langkah no. 2 sampai dengan 5.

3.4 Karakterisasi

3.4.1 RLC Meter (*Resistance, Induktance, Capacitance*)

Sistem pengukuran yang digunakan pada penelitian ini menggunakan dua cara yaitu pengukuran secara manual dan pengukuran secara auto.

3.4.1.1 Pengukuran Secara Manual

Pengukuran secara manual artinya mengukur impedansi listrik sebagai fungsi temperatur. Dalam hal ini frekuensi dibuat konstan. Cara pengukuran secara manual adalah sebagai berikut. Setelah komputer dihidupkan, pilih menu sistem pengukuran kendali temperatur, maka muncul pada monitor tampilan seperti pada gambar:



Gambar 3.6 Tampilan Pengukuran secara Manual
(Lab. UPPIPD FMIPA UI, 2012)

Setelah tombol on pada mikrokontroler ditekan, dilanjutkan dengan klik RUN pada monitor. Pilih MANUAL dengan mengklik menu AUTO/MANUAL. Ketik angka 1000 pada set MS. Geser secara horizontal tombol SET MV pilih

Universitas Indonesia

angka 60 %, kemudian klik *START* maka sistem akan bekerja. Data dicatat untuk kenaikan temperatur setiap 5 °C dimulai dari temperatur kamar sekitar 25 °C sampai dengan 425 °C. Format pencatatan data adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Format Data Percobaan secara Manual

Temperatur (°C)	Kapasitansi (pF)	Resistansi (kOhm)	Impedansi (kOhm)	Sudut fasa (°)
25				
30				
·				
·				
·				
·				
425				

Sebelum pengambilan data melalui RLC Meter, terlebih dahulu set frekuensi pada 1000 kHz, kemudian tekan tombol *AUTO* maka monitor pada RLC Meter akan menunjukkan nilai kapasitansi biasanya dalam satuan pF, dan resistansi biasanya dalam satuan kΩ. Untuk mengetahui nilai impedansi dan sudut fasa tekan tombol *Z/θ* pada RLC Meter. Dengan demikian data sudah dapat dicatat di dalam tabel di atas.

3.4.1.2 Pengukuran secara Auto

Pengukuran secara auto artinya mengukur impedansi listrik sebagai fungsi frekuensi. Dalam hal ini temperatur dibuat konstan. Cara pengukuran secara auto adalah sebagai berikut. Setelah komputer dihidupkan, pilih menu sistem pengukuran kendali temperatur, maka muncul pada monitor tampilan seperti pada gambar 3.6 di atas. Setelah tombol *on* pada mikrokontroler ditekan, dilanjutkan dengan klik *RUN* pada monitor. Pilih menu *AUTO* pada menu *AUTO/MANUAL*. Ketik angka 1000 pada set *MS*. Geser secara horizontal tombol *SET TEMP* pilih

Universitas Indonesia

angka misalnya 100 °C kemudian klik START maka sistem akan bekerja.

Data dicatat berdasarkan perubahan frekuensi dengan menurun dari 1 MHz sampai dengan 50 Hz. *Range* antara 1 MHz sampai 100 kHz adalah 100 kHz. *Range* antara 100 kHz dengan 10 kHz adalah 10 kHz. *Range* antara 10 kHz dengan 1 kHz adalah 1 kHz. *Range* antara 1 kHz dengan 100 Hz adalah 100 Hz kemudian turun ke 60 Hz dan terakhir 50 Hz. Dipilih dari frekuensi yang tertinggi dikarenakan pada frekuensi ini nilai yang ditampilkan oleh monitor lebih stabil. Format pencatatan data adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Format Data Percobaan secara Auto

Frekuensi (Hz)	Kapasitansi (pF)	Resistansi (kOhm)	Impedansi (kOhm)	Sudut fasa (°)
1000 000				
900 000				
.				
.				
.				
60				
50				

Sebelum pengambilan data melalui RLC Meter, tekan tombol AUTO maka monitor pada RLC Meter akan menunjukkan nilai kapasitansi biasanya dalam satuan pF, dan resistansi biasanya dalam satuan kΩ. Untuk mengetahui nilai impedansi dan sudut fasa tekan tombol Z/θ pada RLC Meter. Dengan demikian data sudah dapat dicatat di dalam tabel di atas.

3.4.2 Prgram ORIGIN 8

Data yang diperoleh dari percobaan kemudian dimasukkan kembali ke dalam komputer dengan program Excel untuk diolah lebih lanjut. Setelah data dalam Excel selesai diolah, maka data tersebut dapat *dicopy* ke dalam program

Universitas Indonesia

Origin untuk dapat dibuat grafik hubungan antar parameter hasil pengukuran. Origin mampu menampilkan grafik hubungan Z dengan temperatur, antara Z imajiner dengan Z real yang sering dikenal dengan *Nyquist plot*, Z dengan frekuensi yang sering dikenal dengan *Bode plot*. Selanjutnya hubungan antar parameter dapat juga dianalisis dengan tools yang tersedia di dalam origin.

3.4.3 Program ZSimpWin 3.10

Data yang akan diolah oleh program ZSimpWin adalah data dalam format ANSI. Untuk mendapatkan data dalam format ANSI maka data awal dari Excel dipindahkan terlebih dahulu ke *notepad*. Data yang diperlukan oleh program ZSimpWin adalah frekuensi, Z real, Z imajiner, dan sudut fasa yang sudah diubah ke dalam satuan radian. Data dari *notepad* kemudian disimpan dalam *file* dengan memilih format ANSI dan diberi nama sesuai dengan sampel yang diukur.

Rangkaian listrik ekuivalen diperoleh dari pengolahan data spektrum impedansi yang telah di plot kedalam *Nyquist plot*. *Software ZsimpWin 3.10* digunakan untuk mendapatkan rangkaian ekuivalen listrik yang sesuai dengan keadaan fisis dari sampel.

Dengan memberikan input data impedansi dan memilih rangkaian listrik yang diinginkan maka *software* secara otomatis akan mem*fitting* kurva impedansi hasil percobaan. Rangkaian ekuivalen yang dipilih bergantung pada karakter dari sampel yang terukur. Nilai-nilai tiap komponen listrik yang diperoleh mencirikan sifat kelistrikan dari sampel.

BAB 4 HASIL PERCOBAAN

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ (BST) yang dibuat dengan metode “*Mechanosynthesis powder*” [15]. Sebelum dilakukan pengukuran, terlebih dahulu dilakukan pengkodean pada sampel agar lebih memudahkan pekerjaan. Hasil pengkodean kemudian dimasukkan ke dalam tabel sebagai berikut:

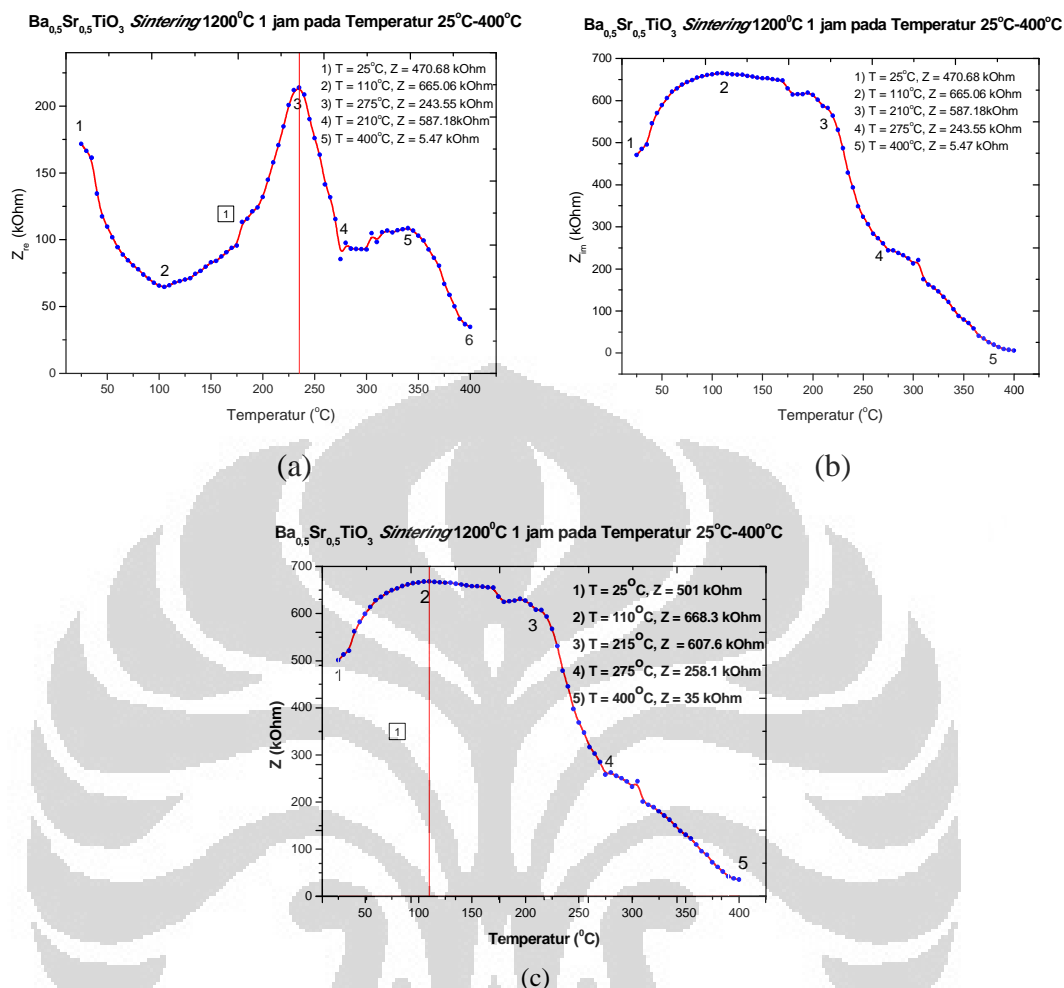
Tabel 4.1 Kode Sampel Berdasarkan Proses Perlakuan Termal.

<i>Kode Sampel</i>	<i>Keterangan</i>
A	$Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ <i>sintering</i> 1200 °C selama 1 jam
B	$Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ <i>sintering</i> 1200 °C selama 2 jam
C	$Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ <i>sintering</i> 1200 °C selama 3 jam
B1	$Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ <i>annealing</i> 900 °C selama 1 jam
B2	$Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ <i>annealing</i> 900 °C selama 2 jam
B3	$Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ <i>annealing</i> 900 °C selama 4 jam

4.1 Sampel A ($Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ *Sintering* 1200 °C selama 1 Jam)

4.1.1 Grafik Impedansi sebagai Fungsi Temperatur

Hubungan impedansi terhadap temperatur ditunjukkan oleh gambar 4.(a), (b) dan (c). Gambar 4.1(a) menunjukkan grafik perbandingan antara impedansi real terhadap temperatur. Gambar 4.1(b) menunjukkan grafik hubungan antara impedansi imajiner terhadap temperatur. Gambar 4.1(c) menunjukkan grafik hubungan antara impedansi total terhadap temperatur.



Gambar 4.1. Grafik Hubungan antara; (a) Impedansi Real (b) Impedansi Imajiner dan (c) Impedansi Total terhadap Temperatur $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ Sintering $1200^\circ C$ selama 1 jam

Dengan fasilitas Origin 8 nilai koordinat setiap titik pada grafik dapat diketahui. Gambar 4.1(a) merupakan grafik hubungan antara impedansi real dengan temperatur. Pada suhu kamar $25^\circ C$ nilai impedansi real adalah $171.64\text{ k}\Omega$, kemudian seiring dengan kenaikan temperatur nilainya menurun hingga mencapai titik minimum pertama sebesar $64,48\text{ k}\Omega$. Nilai Z real naik kembali hingga mencapai puncak tertinggi $213.79\text{ k}\Omega$ pada temperatur $235^\circ C$. Kemudian turun secara drastis hingga mencapai titik minimum kedua sebesar $85.46\text{ k}\Omega$ pada temperatur $275^\circ C$ selanjutnya naik perlahan hingga mencapai titik puncak kedua $108.63\text{ k}\Omega$ pada temperatur $340^\circ C$, dan akhirnya menurun hingga mencapai $34.57\text{ k}\Omega$ pada temperatur $400^\circ C$.

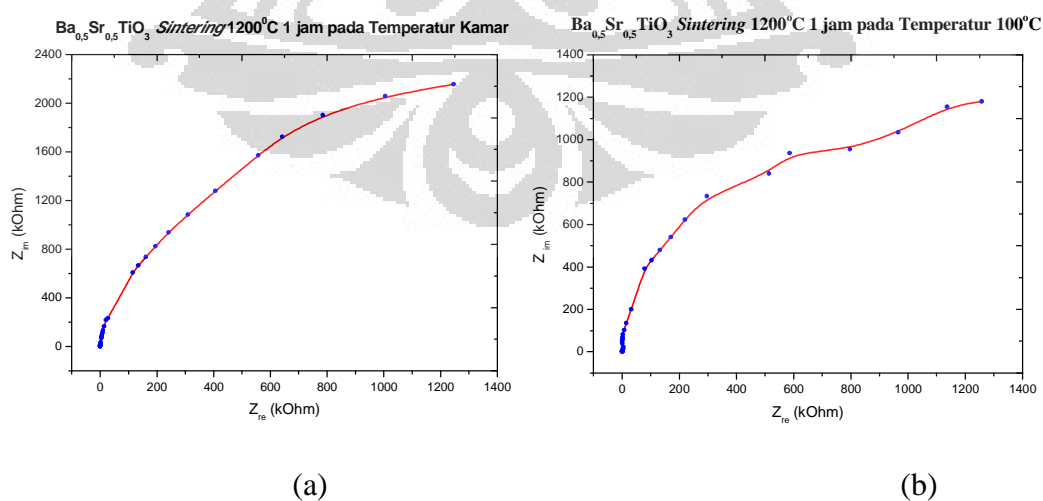
Gambar 4.1(b) menunjukkan hubungan antara impedansi imajiner terhadap temperatur. Dari plot diperoleh bahwa nilai impedansi imajiner naik dari 470.68 k Ω pada temperatur 25 °C menuju puncak dengan nilai 665.063 k Ω pada temperatur 110 °C. Kemudian nilai Z imajiner akan turun secara drastis menjadi 582.49 k Ω pada temperatur 215 °C. Selanjutnya nilai Z imajiner kembali turun perlahan pada nilai 243.59 k Ω dengan temperatur 275 °C, dan kembali turun hingga 5.47 k Ω pada temperatur 400 °C.

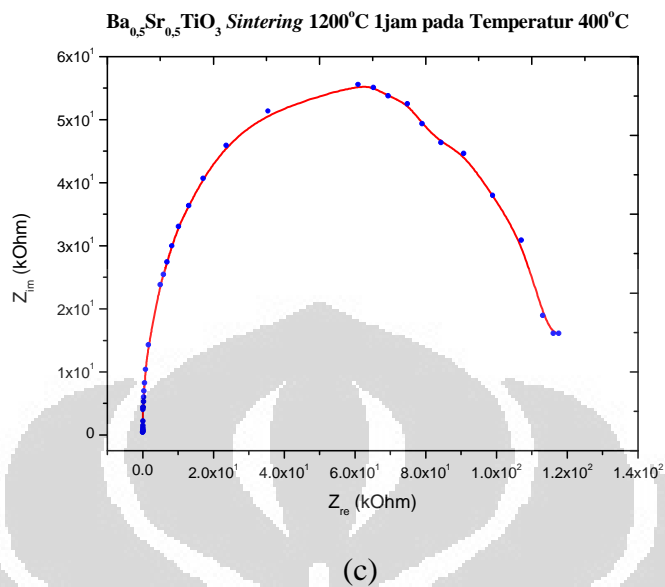
Pada gambar 4.1(c) diperoleh bahwa nilai impedansi total naik dari 501 k Ω pada temperatur 25 °C menuju puncak dengan nilai 668.3 k Ω pada temperatur 110 °C. Nilai Z kembali turun secara drastis pada 593.3 k Ω pada temperatur 220°C. Selanjutnya nilai Z akan turun kembali hingga 35 k Ω pada temperatur 400 °C.

Dari ketiga grafik di atas terlihat bahwa kurva impedansi imajiner mirip dengan kurva impedansi total. Tentunya ada sifat dari impedansi imajiner yang menyerupai impedansi total.

4.1.2 Nyquist Plot Sampel A

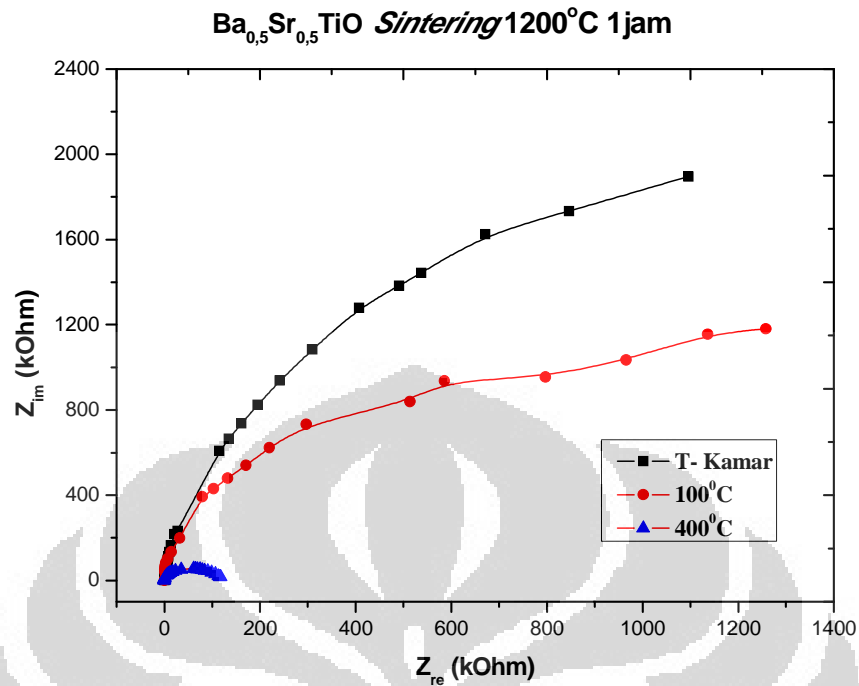
Hubungan antara impedansi imajiner terhadap impedansi real (*Nyquist plot*) dapat dilihat pada grafik di bawah ini:





Gambar 4.2. Grafik Hubungan antara Impedansi Imajiner terhadap Impedansi Real Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Sintering 1200 °C selama 1 jam; (a) Temperatur Kamar, (b) Temperatur 100 °C, dan (c) Temperatur 400 °C

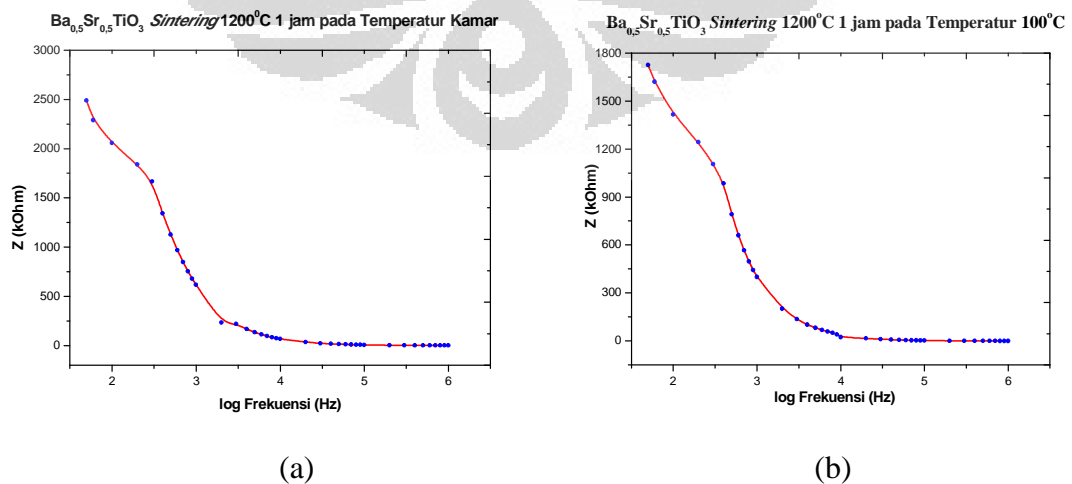
Pada gambar 4.2(a) menunjukkan hubungan antara impedansi imajiner terhadap impedansi real. Nilai impedansi imajiner naik membentuk garis lengkung mendekati seperempat lingkaran pada temperatur kamar 25 °C. Untuk pengukuran pada temperatur 100 °C, terlihat kurva semakin membesar membentuk seperempat lingkaran seperti gambar 4.2(b). Pada pengukuran 400 °C bentuk kurva berubah menjadi bentuk hampir setengah lingkaran.

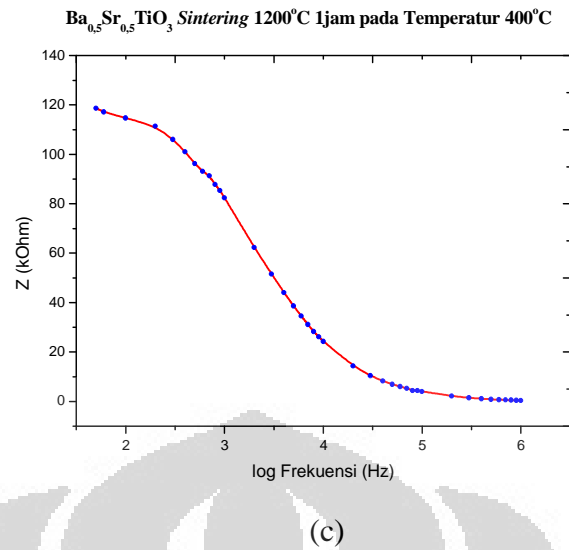


Gambar 4.3 Grafik Perbandingan antara Impedansi Imajiner terhadap Impedansi Real Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Sintering 1200 °C selama 1 jam

Dari gambar 4.3 di atas terlihat bahwa kurva *Nyquist plot* berubah berturut-turut dari besar menjadi semakin mengecil ketika diukur pada temperatur kamar, temperatur 100 °C dan 400 °C.

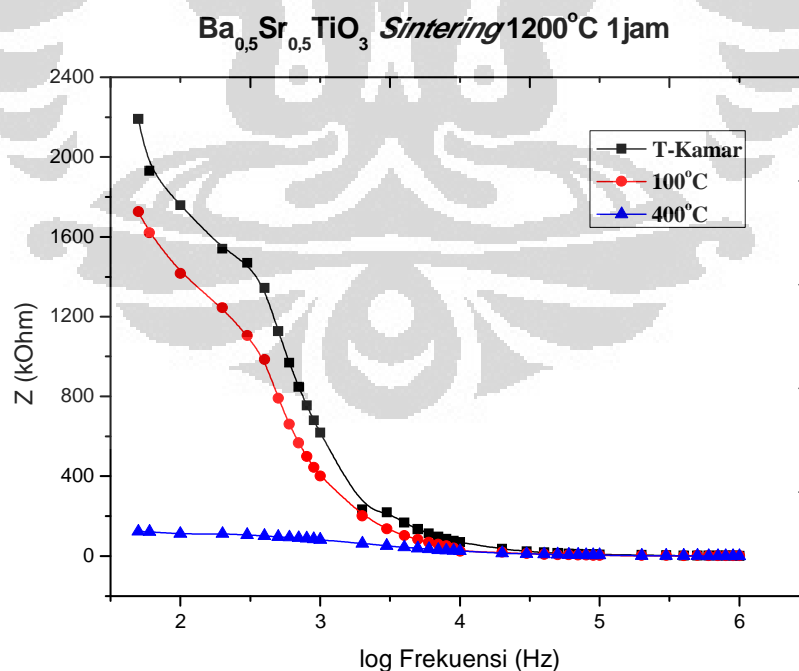
4.1.3 Bode Plot Sampel A





Gambar 4.4 Grafik Hubungan antara Impedansi Total terhadap Frekuensi Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Sintering 1200 °C selama 1 jam (a) Temperatur Kamar, (b) Temperatur 100 °C, dan (c) Temperatur 400 °C

Gambar 4.4 (a), (b) dan (c) menunjukkan grafik hubungan antara impedansi total terhadap log frekuensi. Dari ketiga grafik menunjukkan kemiripan bentuk kurva. Untuk masing-masing kurva menunjukkan bahwa adanya penurunan nilai impedansi total seiring dengan kenaikan frekuensi.

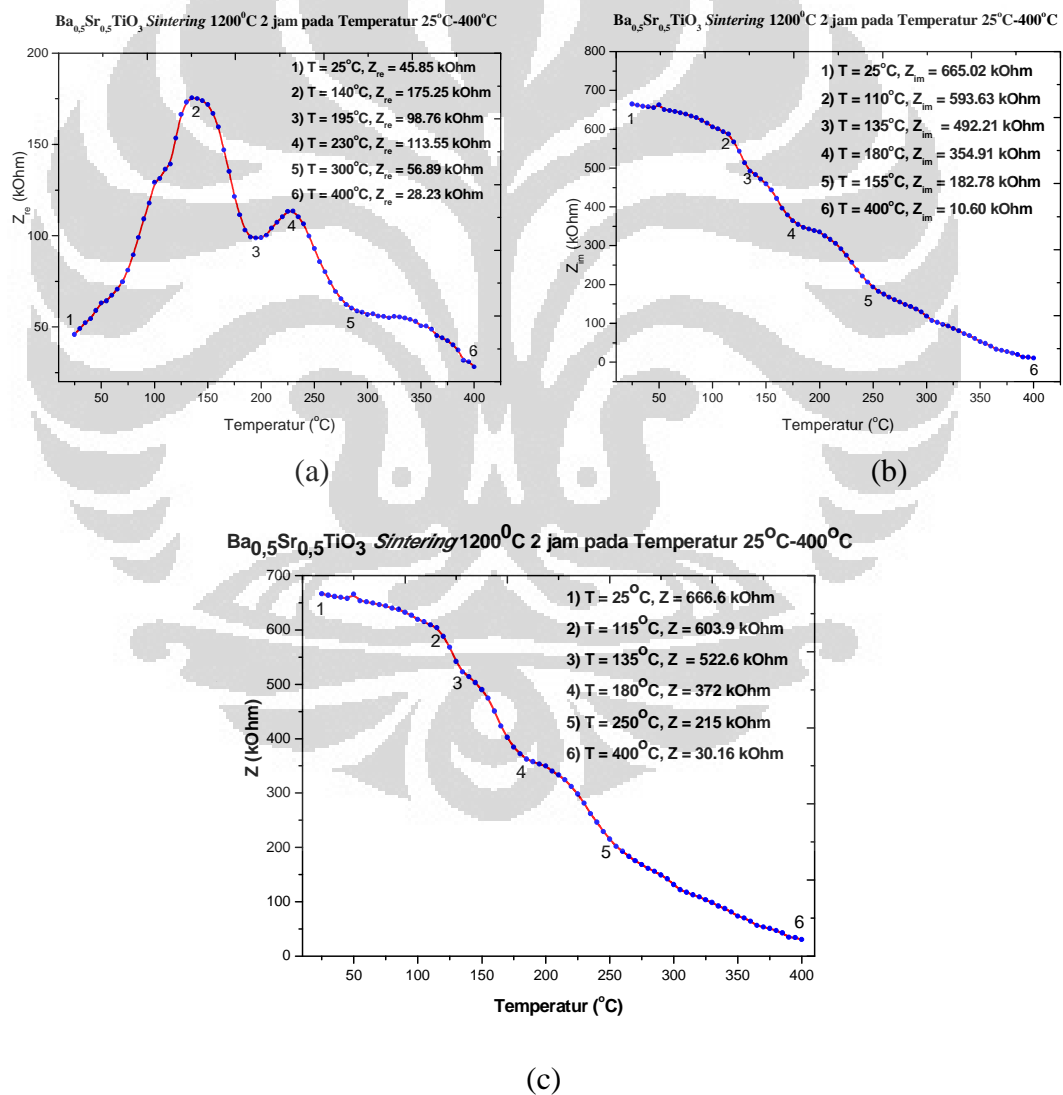


Gambar 4.5. Perbandingan antara Impedansi Total terhadap log Frekuensi bahan Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Sintering 1200 °C selama 1 jam

Bode plot di atas menunjukkan bahwa nilai impedansi mengalami penurunan seiring dengan kenaikan frekuensi untuk semua temperatur *sintering*. Pada frekuensi rendah plot masing-masing spektrum impedansi tampak menyebar, sedangkan pada frekuensi yang semakin tinggi spektrum impedansi akan menumpuk pada sumbu horizontal.

4.2 Sampel B ($Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ *Sintering* 1200°C selama 2 Jam)

4.2.1 Grafik Impedansi sebagai Fungsi Temperatur



Gambar 4.6 Grafik Hubungan antara; (a) Impedansi Real (b) Impedansi Imajiner dan (c) Impedansi Total terhadap Temperatur $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ *Sintering* 1200 °C selama 2 jam

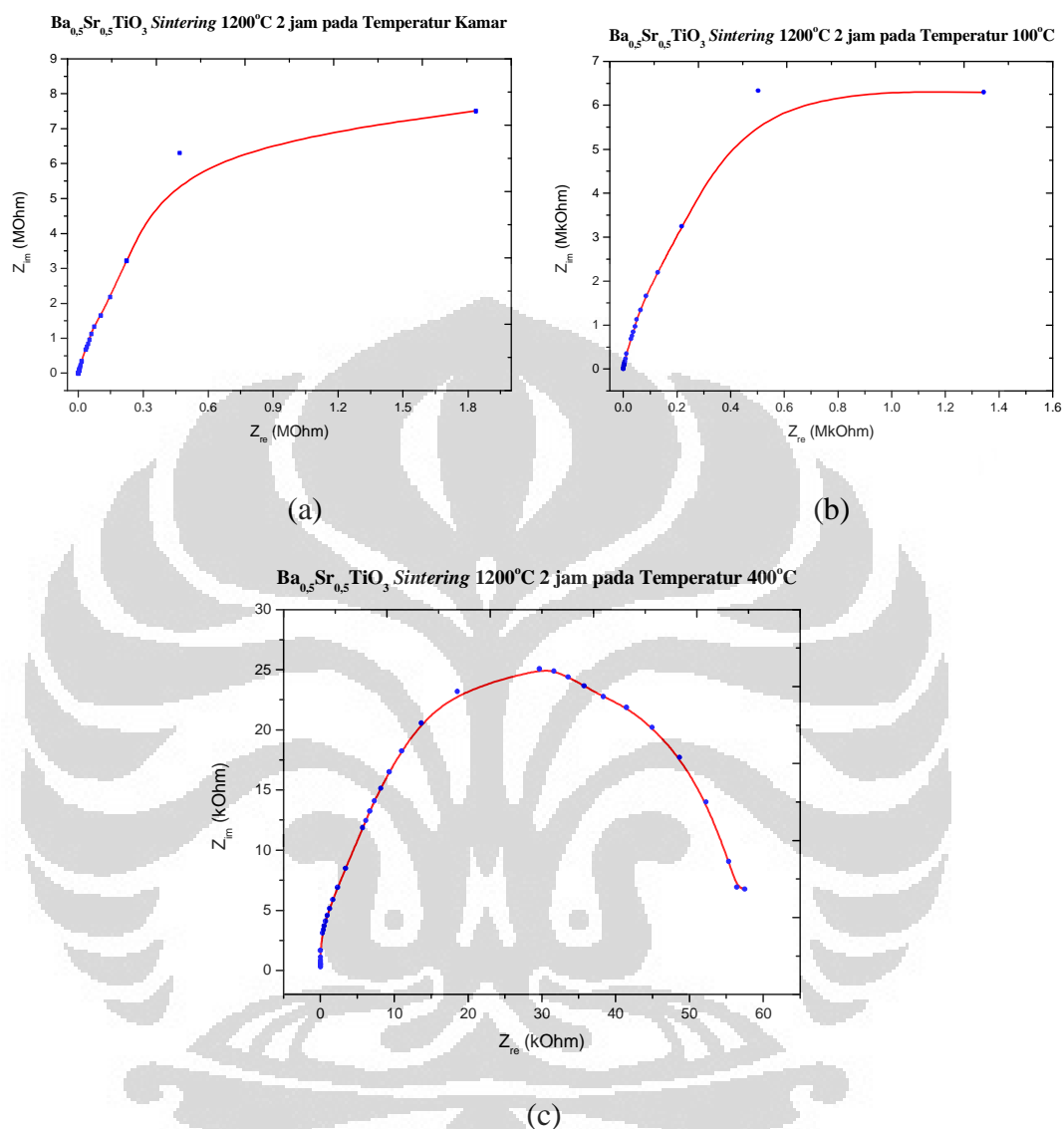
Gambar 4.6(a) merupakan grafik hubungan antara impedansi real dengan temperatur. Pada temperatur kamar 25 °C nilai impedansi real adalah 45.85 k Ω , kemudian seiring dengan kenaikan temperatur nilainya meningkat hingga mencapai titik maksimum pertama sebesar 175.25 k Ω pada temperatur 140 °C. Nilai Z real turun kembali hingga mencapai 98.76 k Ω pada temperatur 195 °C. Kemudian naik secara drastis hingga mencapai titik maksimum kedua sebesar 113.54 k Ω pada temperatur 230 °C selanjutnya turun perlahan hingga mencapai 56.89 k Ω pada temperatur 300 °C, dan akhirnya menurun hingga mencapai 28.23 k Ω pada temperatur 400 °C.

Gambar 4.1(b) menunjukkan hubungan antara impedansi imajiner terhadap temperatur. Dari plot diperoleh bahwa nilai impedansi imajiner turun secara perlahan dari 665.02 k Ω pada temperatur 25 °C sampai dengan nilai 593.63 k Ω pada temperatur 110 °C. Kemudian nilai Z imajiner kembali turun kembali menjadi 492.21 k Ω pada temperatur 135 °C. Selanjutnya nilai Z imajiner turun perlahan pada nilai 354.91 k Ω dengan temperatur 180 °C, dan kembali turun hingga 182.79 k Ω pada temperatur 255 °C. Lalu nilai Z imajiner turun kembali hingga mencapai 10.61 k Ω pada temperatur 400 °C.

Pada gambar 4.1(c) menunjukkan hubungan antara impedansi total terhadap temperatur. Dari plot diperoleh bahwa nilai impedansi total turun secara perlahan dari 666.6 k Ω pada temperatur 25 °C sampai dengan nilai 603.90 k Ω pada temperatur 115 °C. Kemudian nilai Z akan turun kembali menjadi 522.60 k Ω pada temperatur 135 °C. Selanjutnya nilai Z akan turun perlahan pada nilai 372.00 k Ω dengan temperatur 180 °C, dan kembali turun hingga 215.00 k Ω pada temperatur 250 °C. Lalu nilai Z_{im} turun kembali hingga mencapai 30.16 k Ω pada temperatur 400 °C.

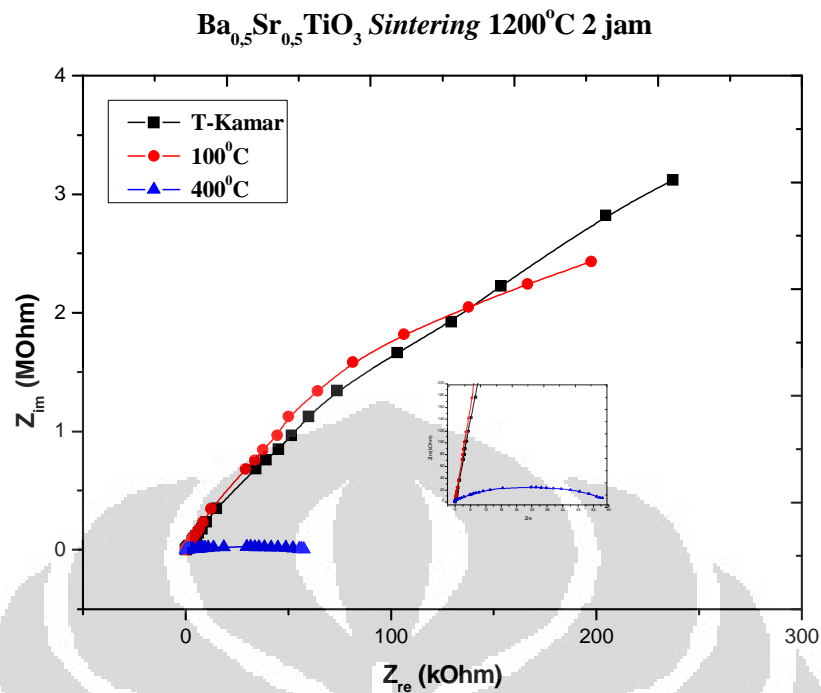
Dari ketiga grafik di atas terlihat bahwa kurva impedansi imajiner mirip dengan kurva impedansi total. Tentunya ada suatu kemiripan antar impedansi imajiner dan impedansi total yang perlu dibahas.

4.2.2 Nyquist Plot Sampel B



Gambar 4.7 Grafik Hubungan antara Impedansi Imajiner terhadap Impedansi Real $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ Sintering $1200^\circ C$ selama 2 jam; (a) Temperatur Kamar, (b) Temperatur $100^\circ C$ dan (c) Temperatur $400^\circ C$

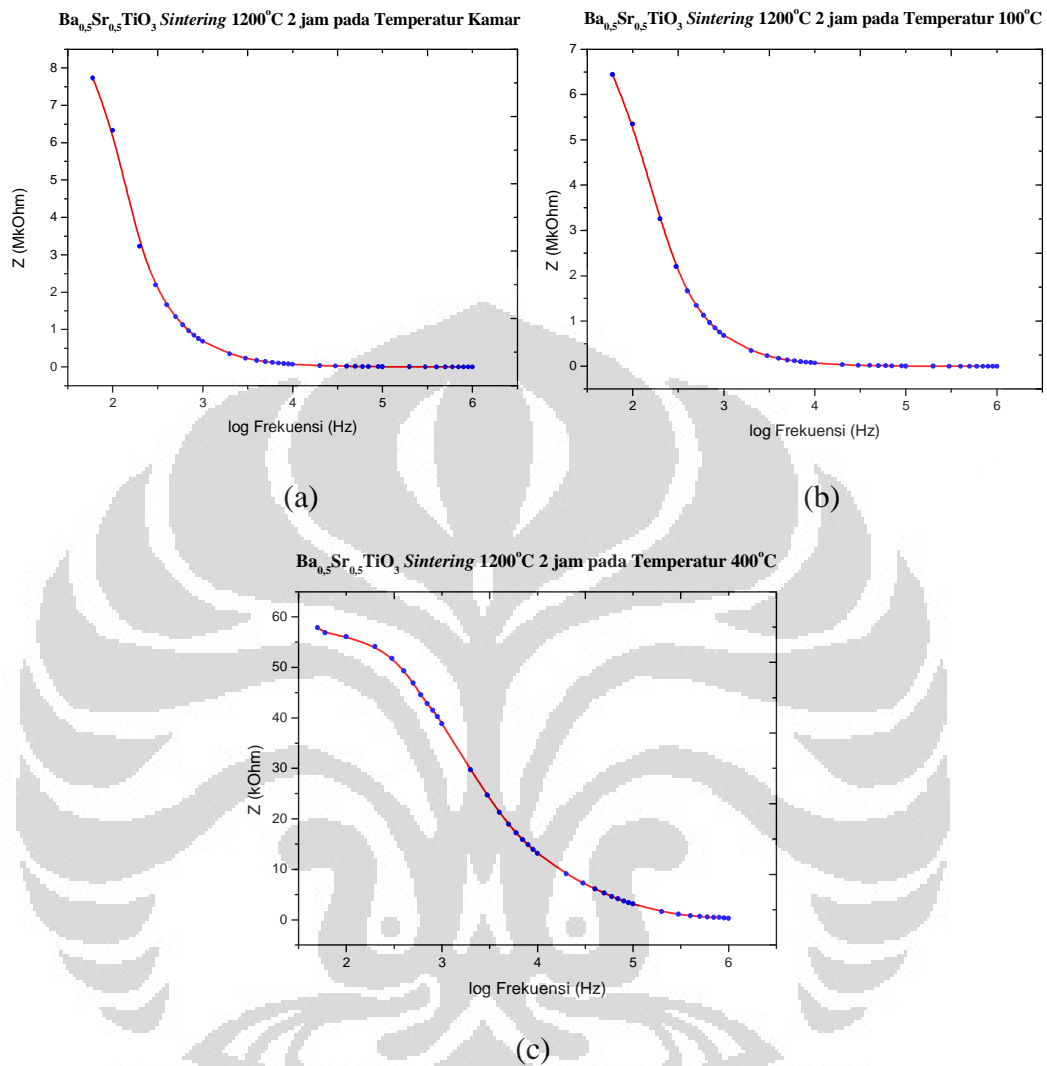
Pada gambar 4.7(a) menunjukkan hubungan antara impedansi imajiner terhadap impedansi real. Nilai impedansi imajiner naik membentuk garis lengkung mendekati seperempat lingkaran pada temperatur kamar $25^\circ C$. Untuk pengukuran pada temperatur $100^\circ C$, terlihat kurva semakin membesar membentuk seperempat lingkaran seperti gambar 4.7(b). Pada pengukuran $400^\circ C$ bentuk kurva berubah menjadi bentuk hampir setengah lingkaran.



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan antara Impedansi Imajiner terhadap Impedansi Real Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Sintering 1200°C selama 2 jam

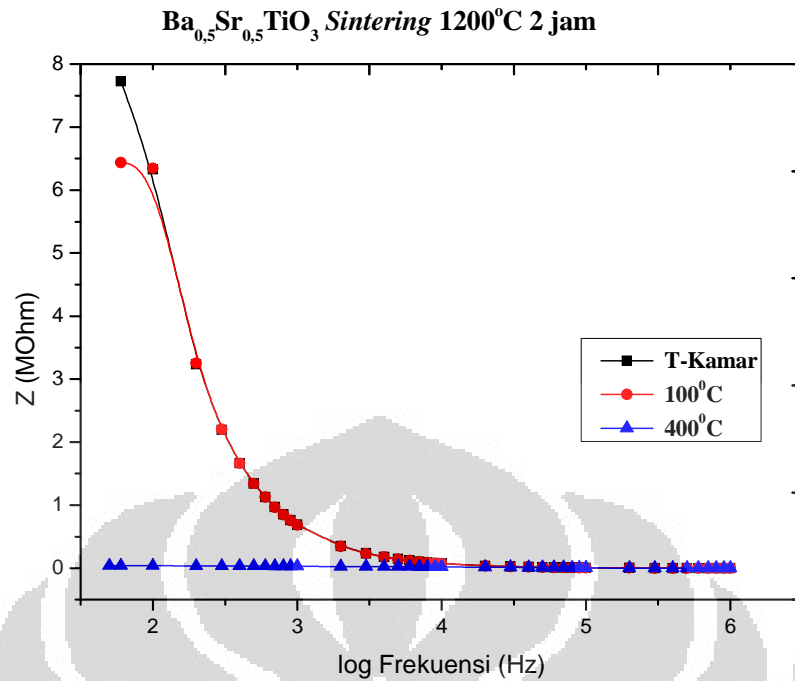
Dari gambar 4.8 di atas terlihat bahwa kurva *Nyquist plot* berubah berturut-turut dari besar menjadi semakin kecil ketika diukur pada temperatur kamar, temperatur 100 °C dan 400 °C. Bentuk kurva semakin pendek dan mengecil ketika diukur pada temperatur kamar, temperatur 100 °C dan 400 °C.

4.2.3 Bode Plot Sampel B



Gambar 4.9 Grafik Hubungan antara Impedansi Total terhadap Frekuensi $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ Sintering 1200°C selama 2 jam; (a) Temperatur Kamar, (b) Temperatur 100°C , dan (c) Temperatur 400°C

Gambar 4.9(a), (b) dan (c) menunjukkan grafik hubungan antara impedansi total terhadap log frekuensi. Dari ketiga grafik menunjukkan kemiripan bentuk kurva. Untuk masing-masing kurva menunjukkan bahwa adanya penurunan nilai impedansi total seiring dengan kenaikan frekuensi.

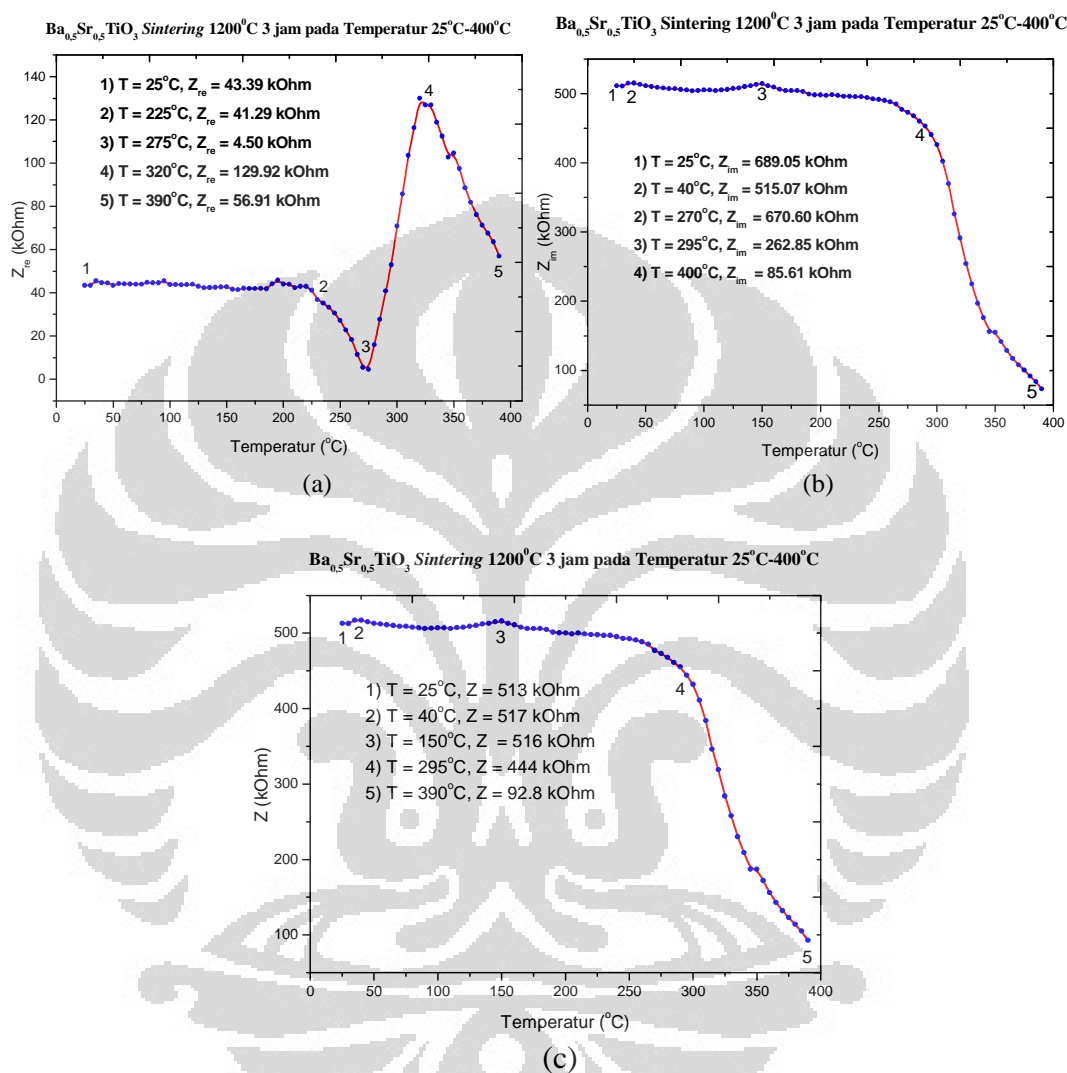


Gambar 4.10 Perbandingan antara Impedansi Total terhadap log Frekuensi bahan Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Sintering 1200 °C selama 2 jam

Bode plot gabungan di atas menunjukkan bahwa nilai impedansi mengalami penurunan seiring dengan kenaikan frekuensi untuk semua temperatur *sintering*. Pada frekuensi rendah plot masing-masing spektrum impedansi tampak menyebar, sedangkan pada frekuensi yang semakin tinggi spektrum impedansi menumpuk pada sumbu horizontal.

4.3 Sampel C ($\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ Sintering 1200°C selama 3 Jam)

4.3.1 Pengaruh Temperatur terhadap Impedansi



Gambar 4.11 Grafik Hubungan antara; (a) Impedansi Real, (b) Impedansi Imajiner, dan (c) Impedansi Total terhadap Temperatur $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ Sintering 1200°C Selama 3 jam

Gambar 4.11(a) merupakan grafik hubungan antara impedansi real dengan temperatur. Pada suhu kamar 25°C nilai impedansi real adalah $43.39\text{ k}\Omega$, kemudian seiring dengan kenaikan temperatur nilai Z_{re} turun secara perlahan hingga mencapai $41.24\text{ k}\Omega$ pada temperatur 275°C . Nilai Z_{re} turun sangat tajam hingga mencapai $4.50\text{ k}\Omega$ pada temperatur 195°C . Kemudian naik secara drastis

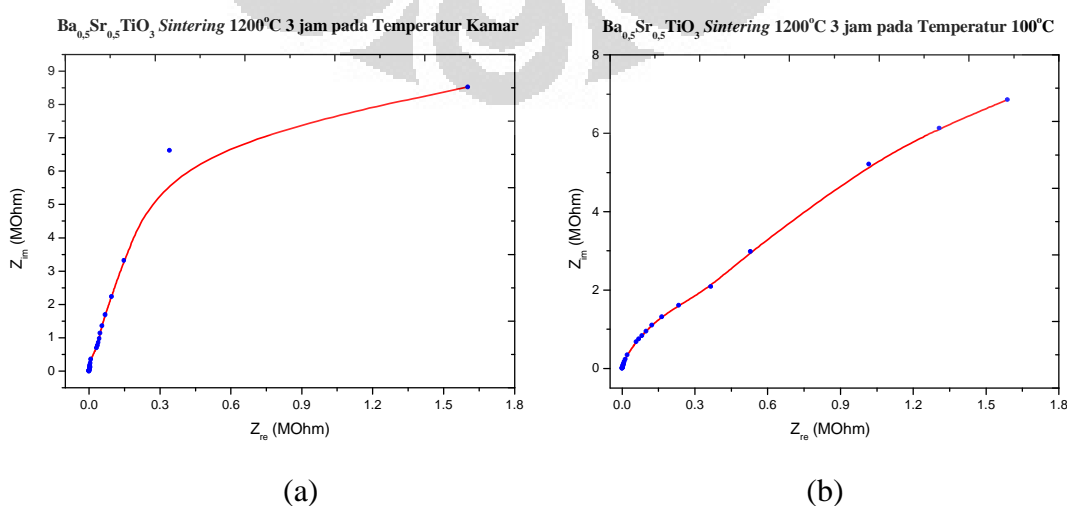
hingga mencapai titik maksimum sebesar 129.92 k Ω pada temperatur 320 $^{\circ}$ C selanjutnya turun agak curam hingga mencapai 56.91 k Ω pada temperatur 390 $^{\circ}$ C.

Gambar 4.11(b) menunjukkan hubungan antara impedansi imajiner terhadap temperatur. Dari plot diperoleh bahwa nilai impedansi imajiner sedikit naik dari 511.16 k Ω pada temperatur 25 $^{\circ}$ C sampai dengan nilai 515.07 k Ω pada temperatur 40 $^{\circ}$ C. Kemudian nilai Z imajiner kembali turun secara perlahan menjadi 514.22 k Ω pada temperatur 150 $^{\circ}$ C. Selanjutnya nilai Z imajiner akan turun secara perlahan menuju nilai 453.16 k Ω dengan temperatur 290 $^{\circ}$ C. Kemudian nilai Z imajiner turun secara drastis hingga mencapai 73.30 k Ω pada temperatur 400 $^{\circ}$ C.

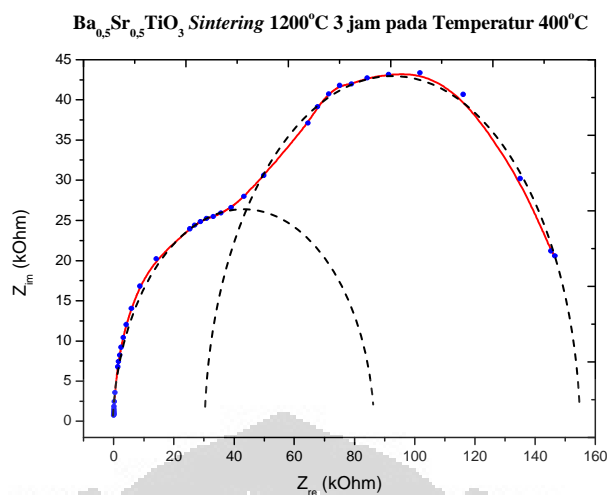
Pada gambar 4.11(c) menunjukkan hubungan antara impedansi total terhadap temperatur. Dari plot diperoleh bahwa nilai impedansi total sedikit naik dari 513.00 k Ω pada temperatur 25 $^{\circ}$ C sampai dengan nilai 517.00 k Ω pada temperatur 40 $^{\circ}$ C. Kemudian nilai Z imajiner akan turun secara perlahan menjadi 516.00 k Ω pada temperatur 150 $^{\circ}$ C. Selanjutnya nilai Z imajiner turun secara perlahan menuju nilai 444.00 k Ω dengan temperatur 295 $^{\circ}$ C. Kemudian nilai Z kembali turun secara drastis hingga mencapai 92.80 k Ω pada temperatur 400 $^{\circ}$ C.

Dari ketiga grafik di atas terlihat bahwa kurva impedansi imajiner mirip dengan kurva impedansi total. Tentunya ada suatu kemiripan antar impedansi imajiner dan impedansi total yang perlu dibahas.

4.3.2 Nyquist Plot Sampel C



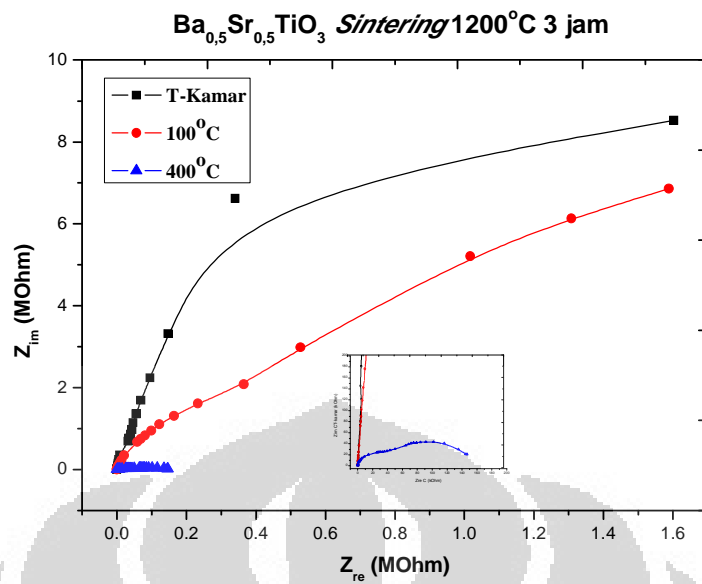
Universitas Indonesia



(c)

Gambar 4.12 Grafik Hubungan antara Impedansi Imajiner terhadap Impedansi Real Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO₃ Sintering 1200 °C selama 3 jam; (a) Temperatur Kamar, (b) Temperatur 100 °C, dan (c) Temperatur 400 °C

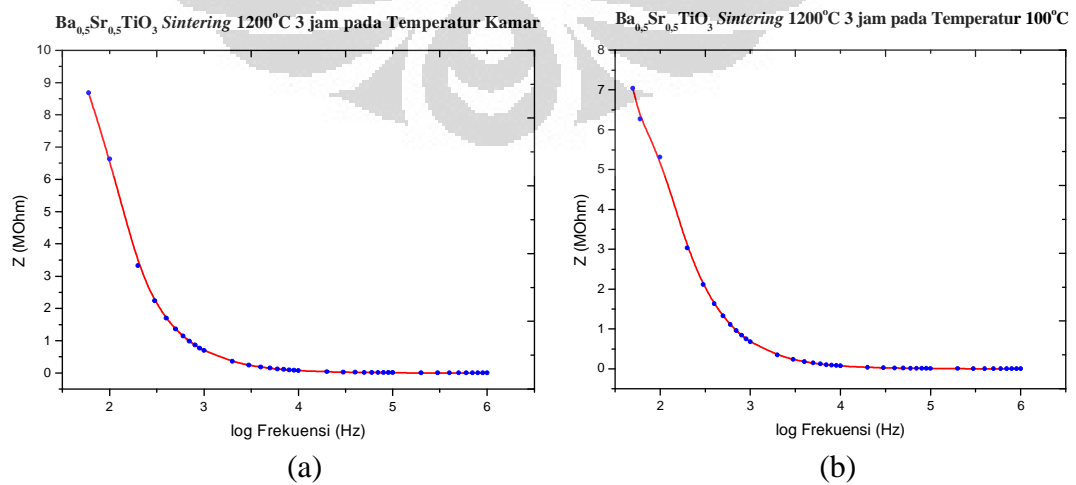
Pada gambar 4.12(a) menunjukkan hubungan antara impedansi imajiner terhadap impedansi real. Nilai impedansi imajiner naik membentuk garis lengkung mendekati seperempat lingkaran pada temperatur kamar 25 °C. Untuk pengukuran pada temperatur 100 °C, terlihat kurva semakin membesar membentuk seperempat lingkaran seperti gambar 4.12(b). Pada pengukuran 400 °C bentuk kurva berubah menjadi bentuk hampir dua buah setengah lingkaran (*semicircle*).

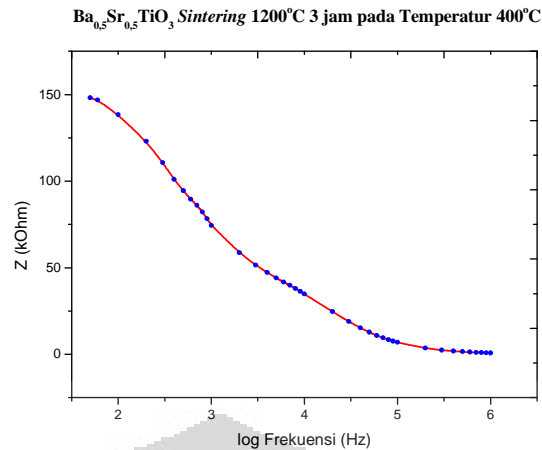


Gambar 4.13 Grafik Perbandingan antara Impedansi Imajiner terhadap Impedansi Real Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Sintering 1200 °C selama 3 jam

Dari gambar 4.13 di atas terlihat bahwa kurva *nyquist* plot berubah berturut-turut dari besar menjadi semakin kecil ketika diukur pada temperatur kamar, temperatur 100 °C dan 400 °C. Bentuk kurva semakin pendek dan mengecil ketika diukur pada temperatur kamar, temperatur 100 °C dan 400 °C.

4.3.3 Bode Plot Sampel C

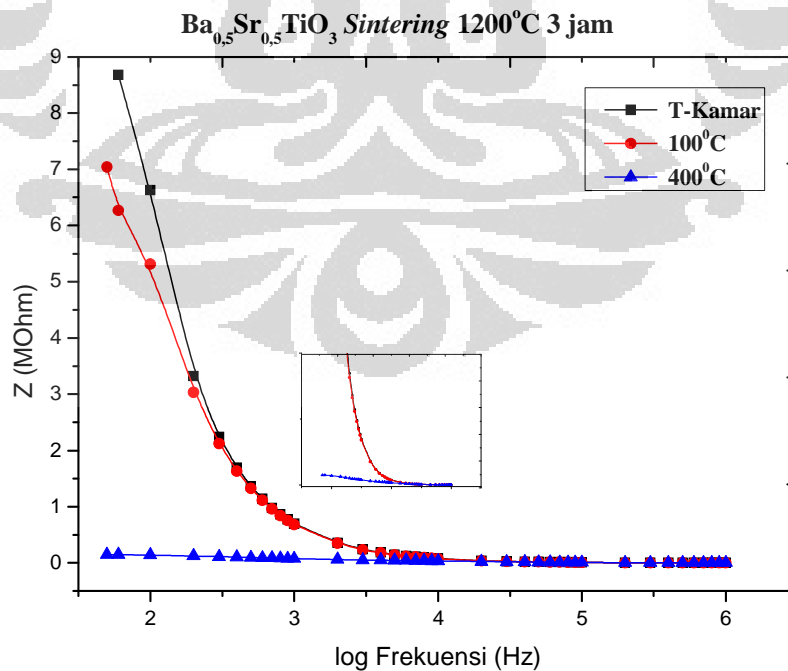




(c)

Gambar 4.14 Grafik Hubungan antara Impedansi Total terhadap Frekuensi $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ Sintering 1200 °C selama 1 jam (a) Temperatur Kamar, (b) Temperatur 100 °C, dan (c) Temperatur 400 °C

Gambar 4.14(a), (b) dan (c) menunjukkan grafik hubungan antara impedansi total terhadap log frekuensi. Dari ketiga grafik menunjukkan kemiripan bentuk kurva. Untuk masing-masing kurva menunjukkan bahwa adanya penurunan nilai impedansi total seiring dengan kenaikan frekuensi.

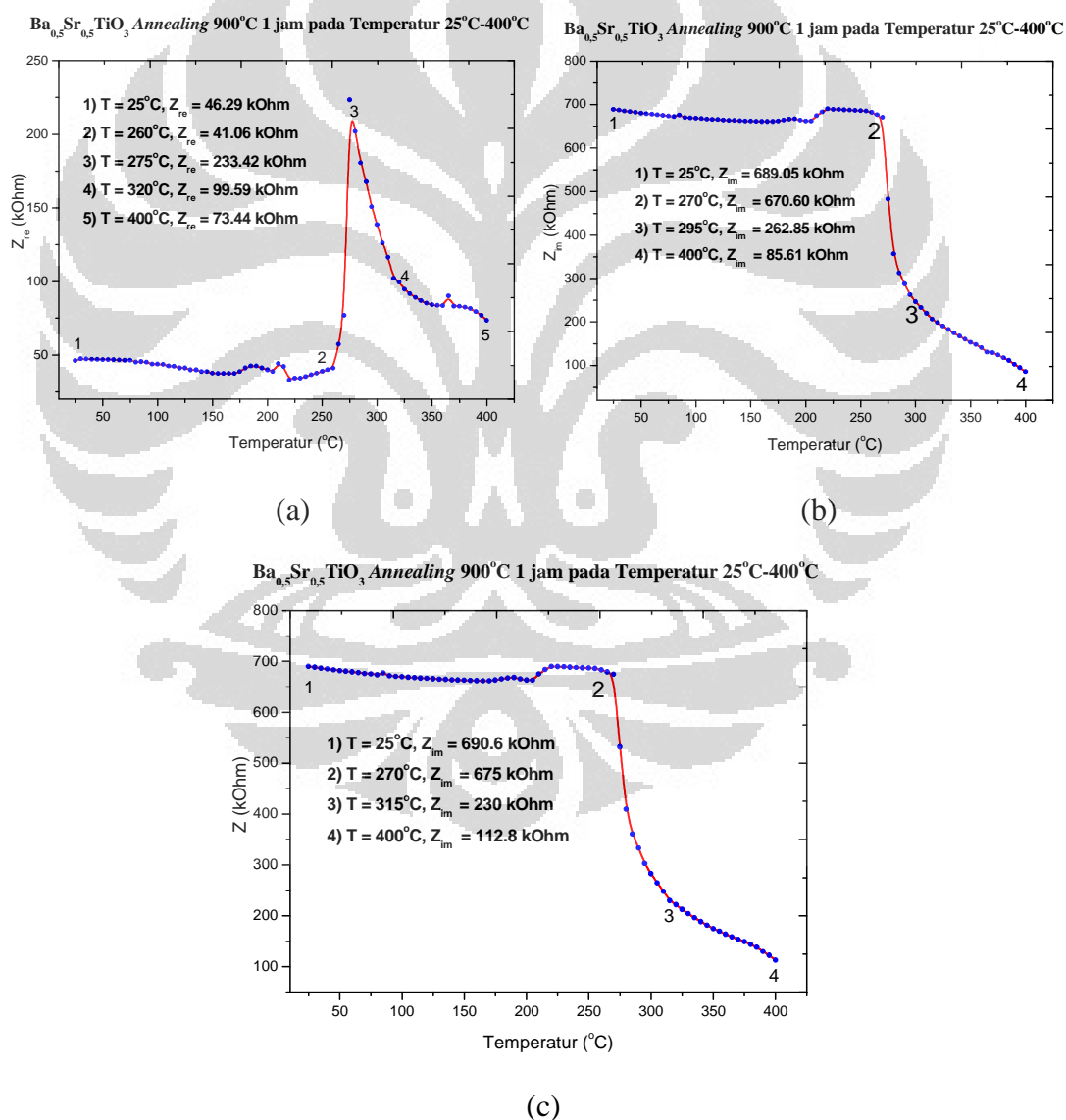


Gambar 4.15 Perbandingan antara Impedansi total terhadap log Frekuensi bahan $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ Sintering 1200 °C selama 3 jam

Bode plot di atas menunjukkan nilai impedansi mengalami penurunan seiring dengan kenaikan frekuensi untuk semua temperatur *sintering*. Pada frekuensi rendah plot masing-masing spektrum impedansi tampak menyebar, sedangkan pada frekuensi yang semakin tinggi spektrum impedansi akan menumpuk pada sumbu horizontal.

4.4 Sampel B1 ($\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ Annealing 900 °C selama 1 Jam)

4.4.1 Pengaruh Temperatur terhadap Impedansi



Gambar 4.16 Grafik Hubungan antara (a) Impedansi Real (b) Impedansi Imajiner dan (c) Impedansi Total terhadap Temperatur $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ Annealing 1200°C selama 1 jam

Gambar 4.16(a) merupakan grafik hubungan antara impedansi real dengan temperatur. Pada suhu kamar $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ nilai impedansi real adalah $46.29\text{ k}\Omega$, kemudian seiring dengan kenaikan temperatur nilai Z real turun secara perlahan hingga mencapai $41.06\text{ k}\Omega$ pada temperatur $260\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nilai Z real naik sangat tajam hingga mencapai $233.42\text{ k}\Omega$ pada temperatur $275\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kemudian turun secara drastis hingga mencapai nilai sebesar $99.59\text{ k}\Omega$ pada temperatur $320\text{ }^{\circ}\text{C}$ selanjutnya turun agak curam hingga mencapai $73.44\text{ k}\Omega$ pada temperatur $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

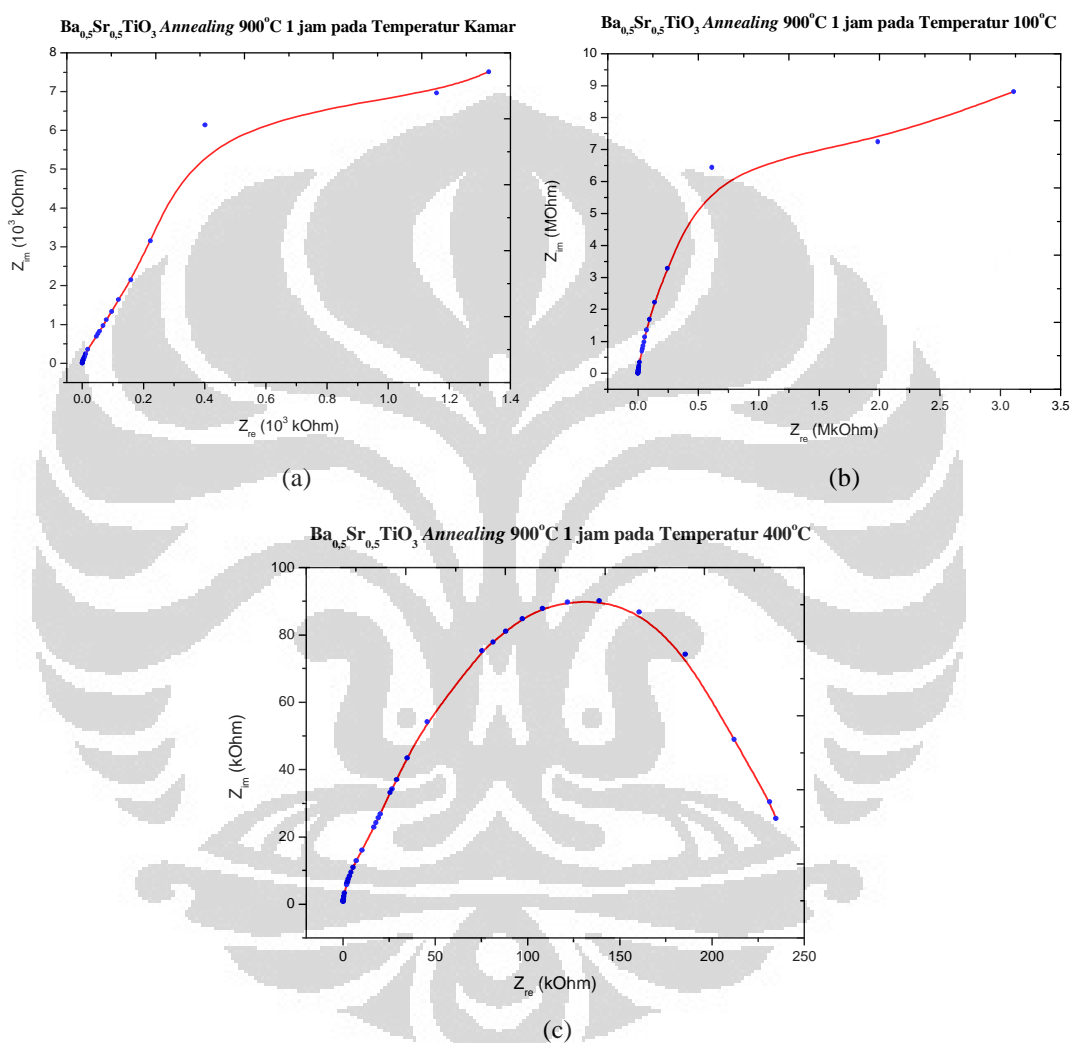
Gambar 4.16(b) menunjukkan hubungan antara impedansi imajiner terhadap temperatur. Dari plot diperoleh bahwa nilai impedansi imajiner sedikit turun kemudian naik perlahan dari $689.05\text{ k}\Omega$ pada temperatur $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai dengan nilai $670.60\text{ k}\Omega$ pada temperatur $270\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kemudian nilai Z imajiner turun secara drastis menjadi $262.85\text{ k}\Omega$ pada temperatur $295\text{ }^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya nilai Z imajiner kembali turun menuju nilai $85.61\text{ k}\Omega$ dengan temperatur $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pada gambar 4.16(c) menunjukkan hubungan antara impedansi total terhadap temperatur. Dari plot diperoleh bahwa nilai impedansi total sedikit turun kemudian naik kembali dari $690.60\text{ k}\Omega$ pada temperatur $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai dengan nilai $675.00\text{ k}\Omega$ pada temperatur $270\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kemudian nilai Z imajiner turun secara drastis menjadi $230.00\text{ k}\Omega$ pada temperatur $315\text{ }^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya nilai Z imajiner kembali turun menuju nilai $112.80\text{ k}\Omega$ dengan temperatur $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Dari ketiga grafik di atas terlihat bahwa kurva impedansi imajiner mirip dengan kurva impedansi total. Tentunya ada suatu kemiripan antar impedansi imajiner dan impedansi total yang perlu dibahas.

4.4.2 Nyquist Plot Sampel B1

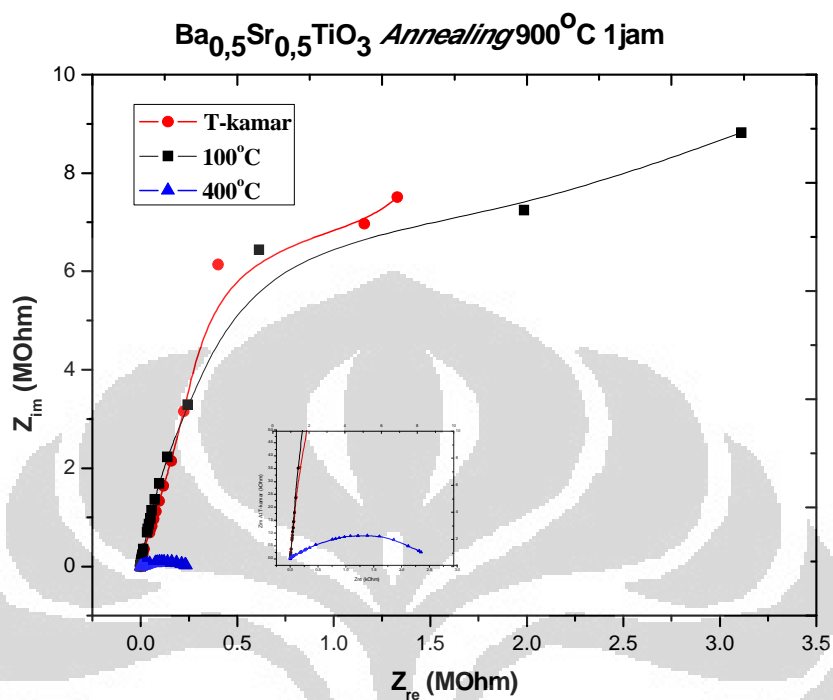
Hubungan antara impedansi imajiner terhadap impedansi real (*Nyquist plot*) dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Gambar 4.17 Grafik Hubungan antara Impedansi Imajiner terhadap Impedansi Real $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ Sintering $1200^\circ C$ selama 1 jam; (a) Temperatur Kamar, (b) Temperatur $100^\circ C$, dan (c) Temperatur $400^\circ C$

Pada gambar 4.17(a) menunjukkan hubungan antara impedansi imajiner terhadap impedansi real. Nilai impedansi imajiner naik membentuk garis lengkung mendekati seperempat lingkaran pada temperatur kamar $25^\circ C$. Untuk pengukuran pada temperatur $100^\circ C$, terlihat kurva semakin besar membentuk

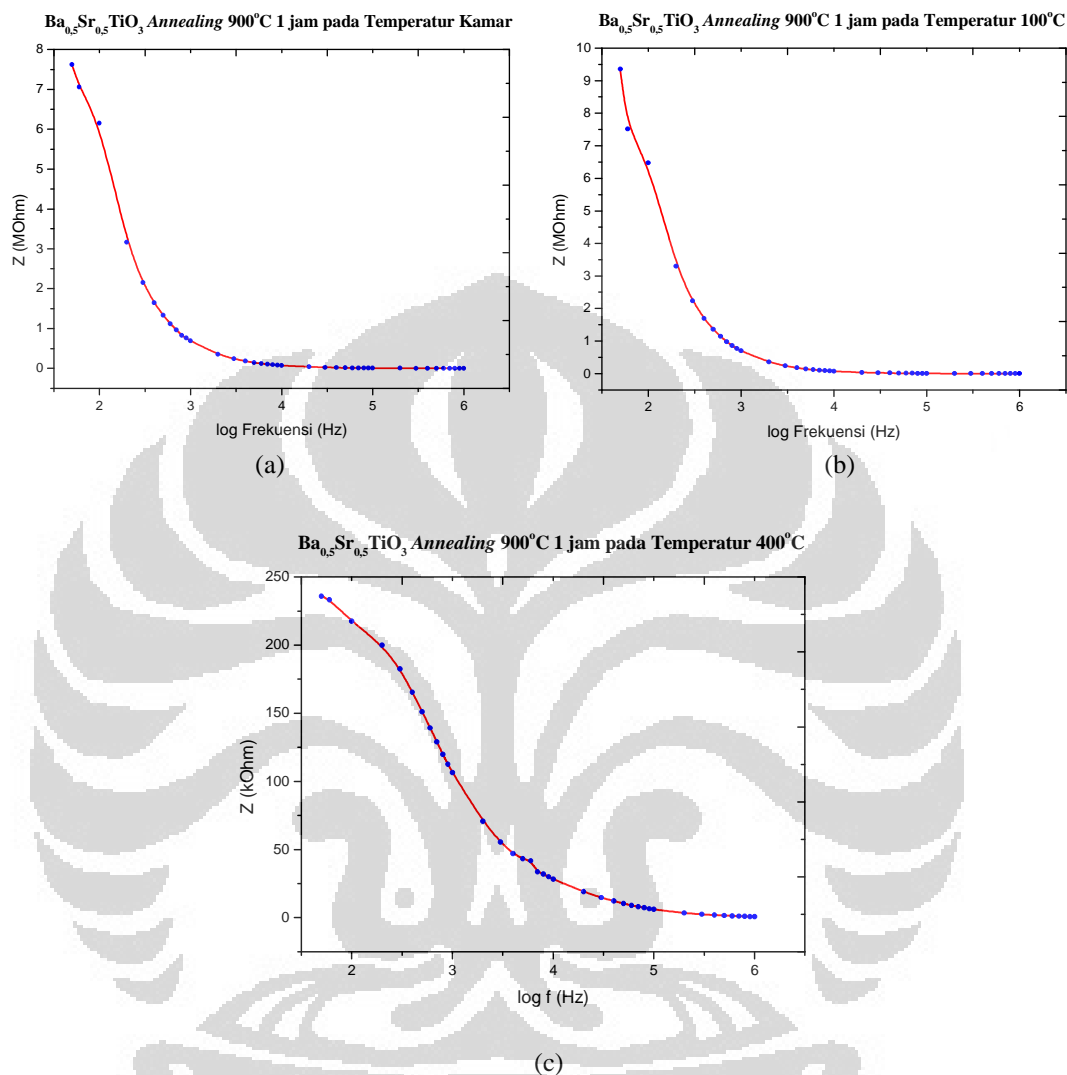
seperempat lingkaran seperti gambar 4.12(b). Pada pengukuran 400 °C bentuk kurva berubah menjadi bentuk hampir dua buah setengah lingkaran.



Gambar 4.18 Grafik Perbandingan antara Impedansi Imajiner terhadap Impedansi Real Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Annealing 900 °C selama 1 jam

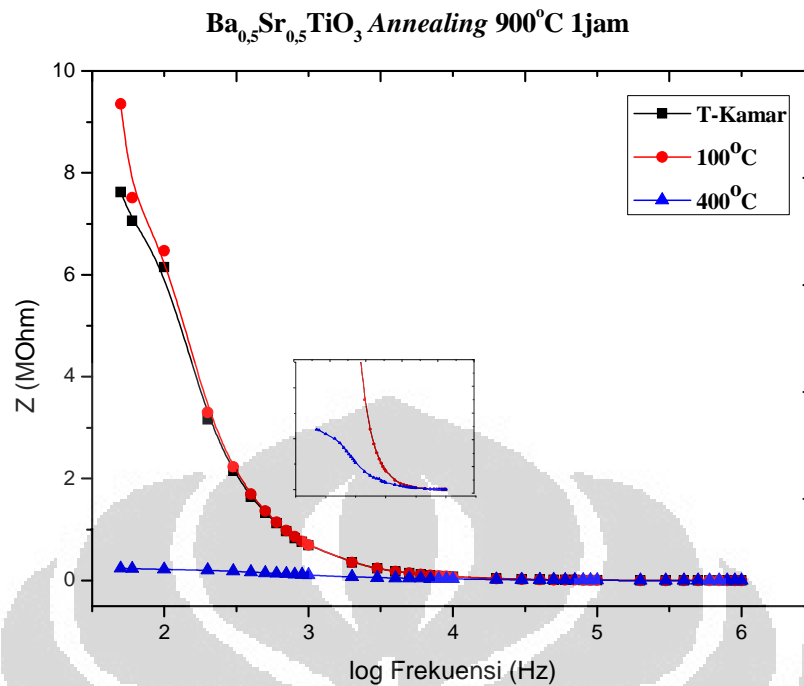
Dari gambar 4.18 di atas terlihat bahwa kurva *Nyquist plot* berubah berturut-turut dari besar menjadi semakin kecil ketika diukur pada temperatur kamar, temperatur 100 °C dan 400 °C. Bentuk kurva semakin pendek dan mengecil ketika diukur pada temperatur kamar, temperatur 100 °C dan 400 °C.

4.4.3 Bode Plot Sampel B1



Gambar 4.19 Grafik Hubungan antara Impedansi Total terhadap log Frekuensi $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ Annealing $1200^\circ C$ selama 1 jam; (a) Temperatur Kamar, (b) Temperatur $100^\circ C$, dan (c) Temperatur $400^\circ C$

Gambar 4.19(a), (b) dan (c) menunjukkan grafik hubungan antara impedansi total terhadap log frekuensi. Dari ketiga grafik menunjukkan kemiripan bentuk kurva. Untuk masing-masing kurva menunjukkan bahwa adanya penurunan nilai impedansi total seiring dengan kenaikan frekuensi.

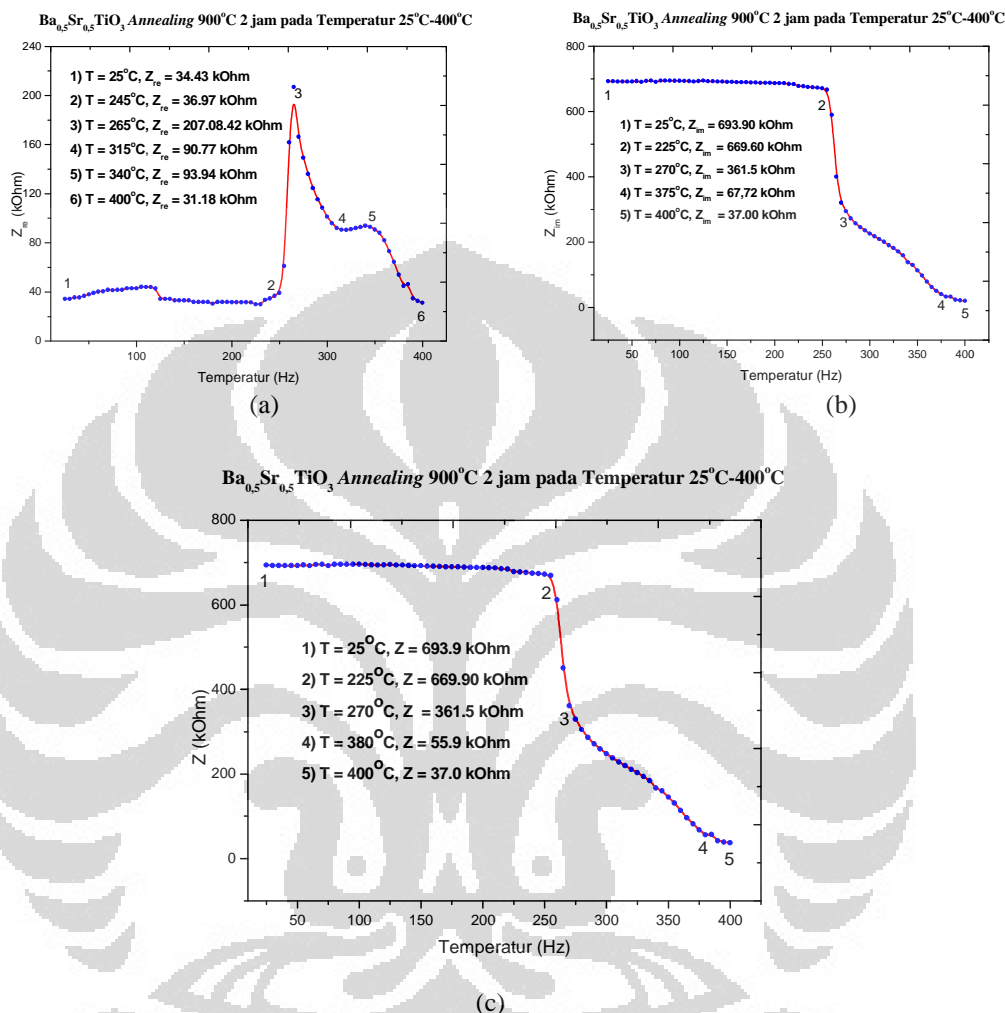


Gambar 4.20 Perbandingan antara Impedansi Total terhadap log Frekuensi bahan Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Annealing 900 °C selama 1 jam

Dari grafik *Bode plot* di atas, menunjukkan bahwa nilai impedansi mengalami penurunan seiring dengan kenaikan frekuensi untuk semua temperatur *sintering*. Pada frekuensi rendah kurva masing-masing spektrum impedansi tampak menyebar, sedangkan pada frekuensi yang semakin tinggi spektrum impedansi akan menumpuk pada sumbu horizontal.

4.5 Sampel B2 ($\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ Annealing 900°C selama 2 Jam)

4.5.1 Pengaruh Temperatur terhadap Impedansi



Gambar 4.21 Grafik Hubungan antara: (a) Impedansi Real (b) Impedansi Imajiner dan (c) Impedansi Total terhadap Temperatur $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ Annealing 1200°C selama 2 jam

Gambar 4.21(a) merupakan grafik hubungan antara impedansi real dengan temperatur. Pada temperatur kamar 25°C nilai impedansi real adalah $34.43\text{ k}\Omega$, kemudian seiring dengan kenaikan temperatur nilai Z real naik sangat perlahan hingga mencapai $36.97\text{ k}\Omega$ pada temperatur 245°C . Nilai Z real naik sangat tajam hingga mencapai $207.08\text{ k}\Omega$ pada temperatur 315°C . Kemudian naik perlahan hingga mencapai nilai sebesar $93.94\text{ k}\Omega$ pada temperatur 340°C selanjutnya turun perlahan hingga mencapai $31.18\text{ k}\Omega$ pada temperatur 400°C .

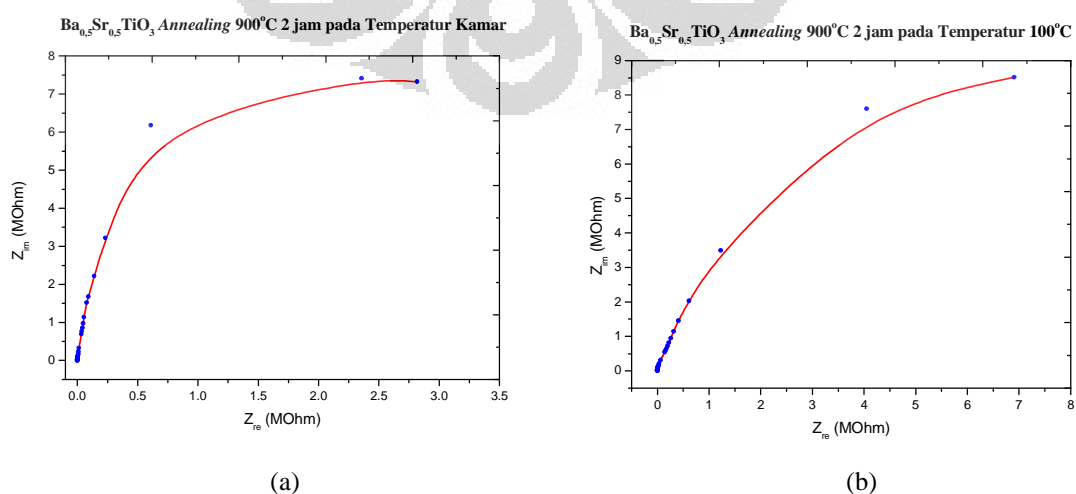
Gambar 4.21(b) menunjukkan hubungan antara impedansi imajiner terhadap temperatur. Dari plot diperoleh bahwa nilai impedansi imajiner sedikit turun perlahan dari 693.90 k Ω pada temperatur 25 °C sampai dengan nilai 669.60 k Ω pada temperatur 225 °C. Kemudian nilai Z imajiner turun secara drastis menjadi 361.50 k Ω pada temperatur 270 °C. Selanjutnya nilai Z imajiner kembali turun menuju nilai 67.72 k Ω dengan temperatur 375 °C dan turun secara perlahan hingga nilai 37.00 k Ω pada temperatur 400 °C.

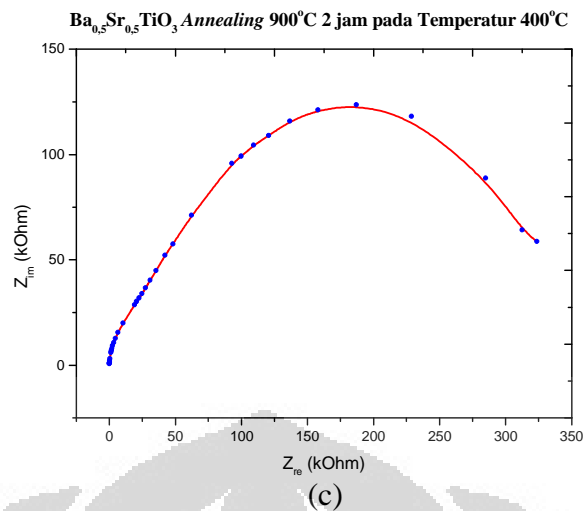
Pada gambar 4.21(c) menunjukkan hubungan antara impedansi total terhadap temperatur. Dari plot diperoleh bahwa nilai impedansi total turun perlahan kemudian naik perlahan dari 693.90 k Ω pada temperatur 25 °C sampai dengan nilai 669.90 k Ω pada temperatur 225 °C. Kemudian nilai Z turun secara drastis menjadi 361.50 k Ω pada temperatur 270 °C. Selanjutnya nilai Z kembali turun menuju nilai 55.90 k Ω dengan temperatur 380 °C dan turun secara perlahan menjadi 37.00 k Ω pada temperatur 400 °C.

Dari ketiga grafik di atas terlihat bahwa kurva impedansi imajiner mirip dengan kurva impedansi total. Tentunya ada suatu kemiripan antar impedansi imajiner dan impedansi total yang perlu dibahas.

4.5.2 Nyquist Plot Sampel B2

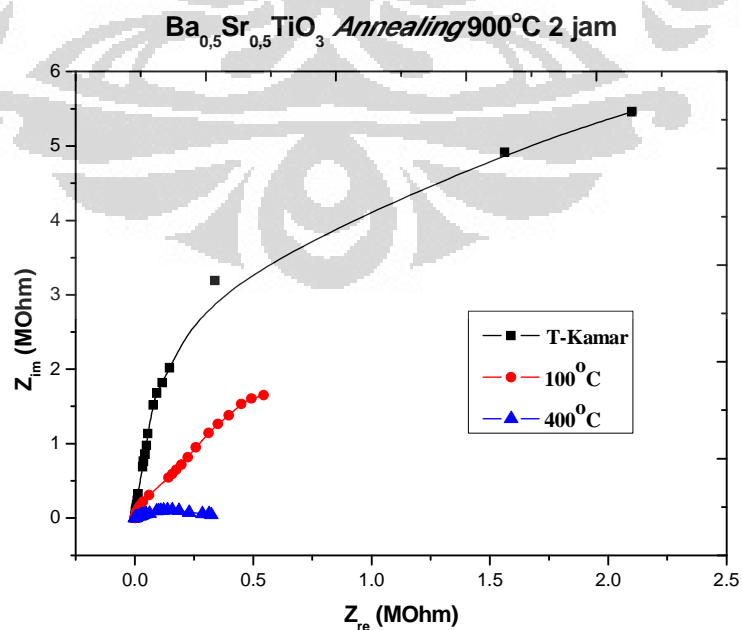
Hubungan antara impedansi imajiner terhadap impedansi real (*Nyquist plot*) dapat dilihat pada grafik di bawah ini:





Gambar 4.22 Grafik Hubungan antara Impedansi Imajiner terhadap Impedansi Real Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Annealing 900 °C selama 2 jam (a) Temperatur Kamar, (b) Temperatur 100 °C, dan (c) Temperatur 400 °C

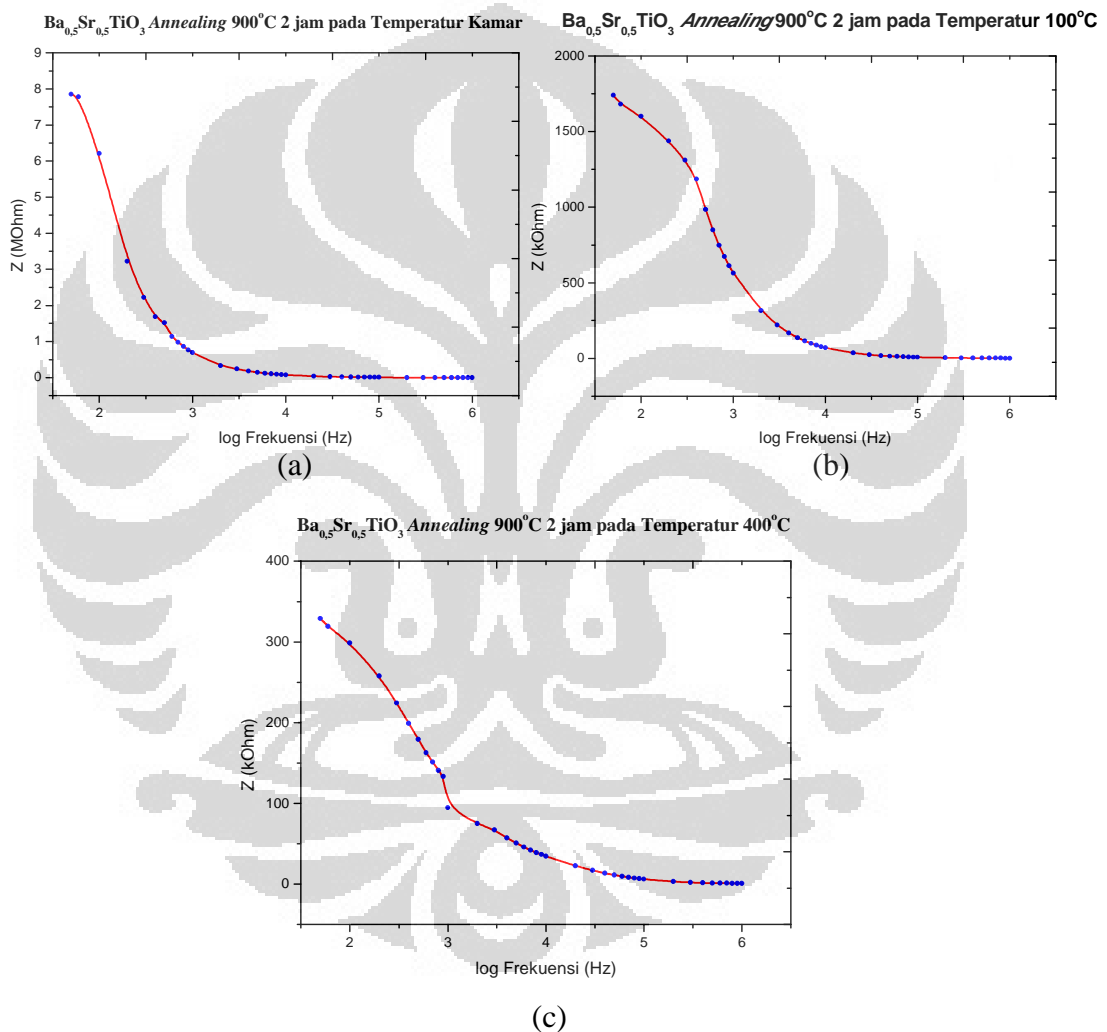
Pada gambar 4.22(a) menunjukkan hubungan antara impedansi imajiner terhadap impedansi real. Nilai impedansi imajiner naik membentuk garis lengkung mendekati seperempat lingkaran pada temperatur kamar 25 °C. Untuk pengukuran pada temperatur 100 °C, terlihat kurva semakin membesar membentuk seperempat lingkaran seperti gambar 4.22(b). Pada pengukuran 400 °C bentuk kurva berubah menjadi bentuk hampir dua buah setengah lingkaran, gambar 4.22(c).



Gambar 4.23 Grafik Perbandingan antara Impedansi Imajiner terhadap Impedansi Real Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Annealing 900 °C selama 2 jam

Gambar 4.23 memperlihatkan bahwa kurva *Nyquist plot* berubah berturut-turut dari besar menjadi semakin kecil ketika diukur pada temperatur kamar, temperatur 100 °C dan 400 °C. Bentuk kurva semakin pendek dan mengecil ketika diukur pada temperatur kamar, temperatur 100 °C dan 400 °C.

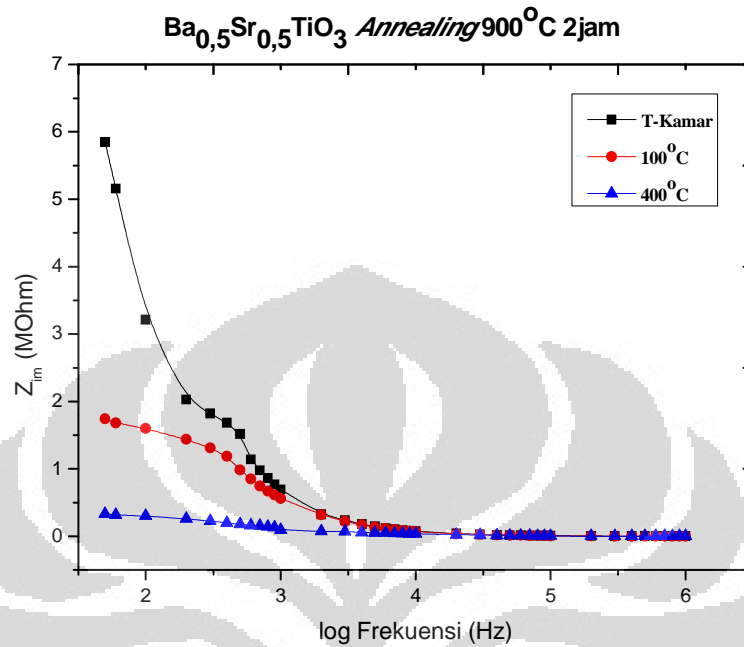
4.5.3 Bode Plot Sampel B2



Gambar 4.24 Grafik Hubungan antara Impedansi Total terhadap log Frekuensi $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ *Annearling* 900°C selama 2 jam; (a) Temperatur Kamar, (b) Temperatur 100°C , dan (c) Temperatur 400°C

Gambar 4.9(a), (b) dan (c) menunjukkan grafik hubungan antara impedansi total terhadap log frekuensi. Dari ketiga grafik menunjukkan kemiripan bentuk kurva.

Untuk masing-masing kurva menunjukkan bahwa adanya penurunan nilai impedansi total seiring dengan kenaikan frekuensi.

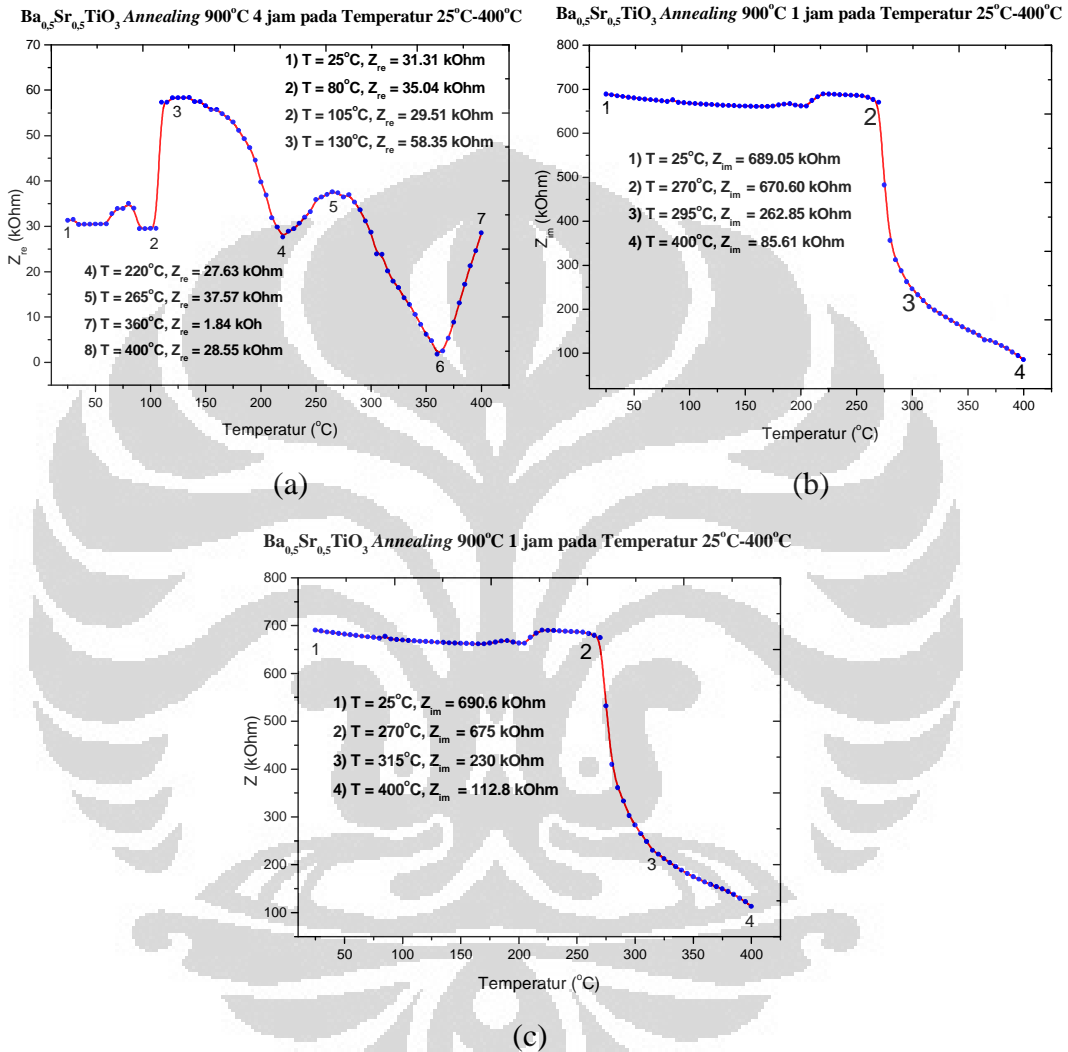


Gambar 4.25 Perbandingan antara Impedansi Total terhadap log Frekuensi bahan Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Annealing 900 °C selama 2 jam

Bode plot di atas menunjukkan nilai impedansi mengalami penurunan seiring dengan kenaikan frekuensi untuk semua temperatur *sintering*. Pada frekuensi rendah plot masing-masing spektrum impedansi tampak menyebar, sedangkan pada frekuensi yang semakin tinggi spektrum impedansi akan menumpuk pada sumbu horizontal.

4.6 Sampel A3 ($\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ Annealing 900°C selama 4 Jam)

4.6.1 Pengaruh Temperatur terhadap Impedansi



Gambar 4.26 Grafik Hubungan antara (a) Impedansi Real (b) Impedansi Imajiner dan (c) Impedansi Total terhadap Temperatur $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ Annealing 1200°C selama 4 jam

Gambar 4.24(a) merupakan grafik hubungan antara impedansi real dengan temperatur. Pada suhu kamar 25°C nilai impedansi real adalah $31.31\text{ k}\Omega$, kemudian seiring dengan kenaikan temperatur nilai Z_{re} naik membentuk puncak kecil pada $35.04\text{ k}\Omega$ pada temperatur 80°C , dan turun kembali mendekati posisi awal pada $29.51\text{ k}\Omega$. Nilai Z real naik sangat tajam hingga mencapai $58.35\text{ k}\Omega$ pada temperatur 130°C . Kemudian naik sedikit hingga mencapai nilai sebesar

93.94 k Ω pada temperatur 340 °C selanjutnya turun hingga mencapai 27.63 k Ω pada temperatur 220 °C. Nilai Z real naik membentuk puncak ketiga dengan nilai 37.57 k Ω pada temperatur 265 °C, selanjutnya turun agak tajam menuju titik minimum pada 1.84 k Ω pada temperatur 360 °C. Kemudian naik secara tajam hingga mencapai nilai 28.55 k Ω pada 400 °C.

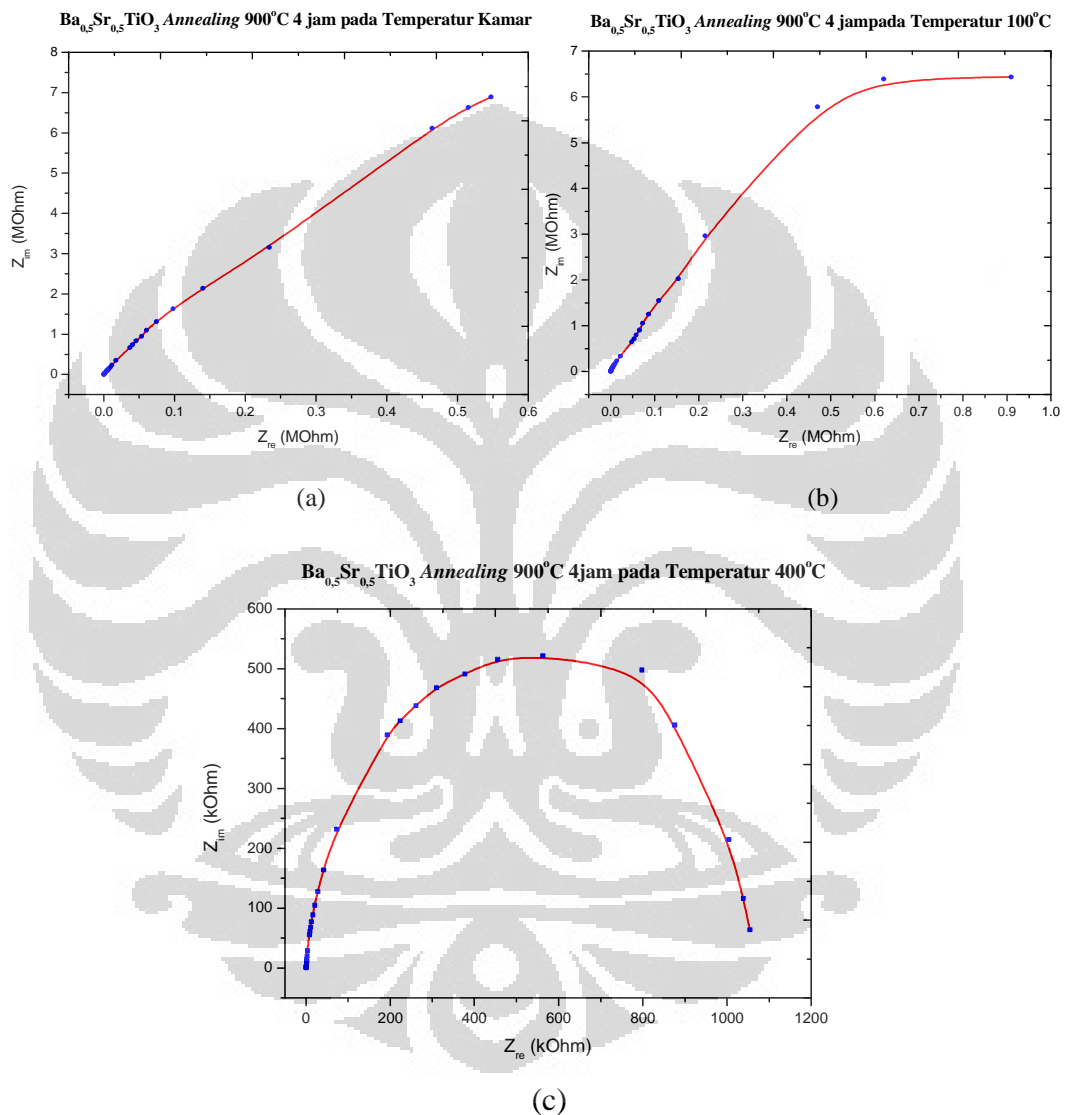
Gambar 4.24(b) menunjukkan hubungan antara impedansi imajiner terhadap temperatur. Dari plot diperoleh bahwa nilai impedansi imajiner sedikit mengalami kenaikan dari 653.25 k Ω pada temperatur 25 °C sampai dengan nilai 664.14 k Ω pada temperatur 105 °C. Kemudian nilai Z imajiner turun secara drastis menjadi 514.82 k Ω pada temperatur 270 °C. Selanjutnya nilai Z imajiner naik secara perlahan menuju nilai 516.68 k Ω dengan temperatur 180 °C dan kembali turun hingga mencapai nilai 394.07 k Ω pada temperatur 400 °C.

Pada gambar 4.26(c) menunjukkan hubungan antara impedansi total terhadap temperatur. Dari plot diperoleh bahwa nilai impedansi imajiner sedikit mengalami kenaikan dari 654.00 k Ω pada temperatur 25 °C sampai dengan nilai 664.80 k Ω pada temperatur 105 °C. Kemudian nilai Z imajiner akan turun secara drastis menjadi 518.00 k Ω pada temperatur 110 °C. Selanjutnya nilai Z imajiner akan naik perlahan menuju nilai 519.90 k Ω dengan temperatur 165 °C dan kembali turun hingga mencapai nilai 394.07 k Ω pada temperatur 400 °C.

Dari ketiga grafik di atas terlihat bahwa kurva impedansi imajiner mirip dengan kurva impedansi total. Tentunya ada suatu kemiripan antar impedansi imajiner dan impedansi total yang perlu dibahas.

4.6.2 Nyquist Plot Sampel B3

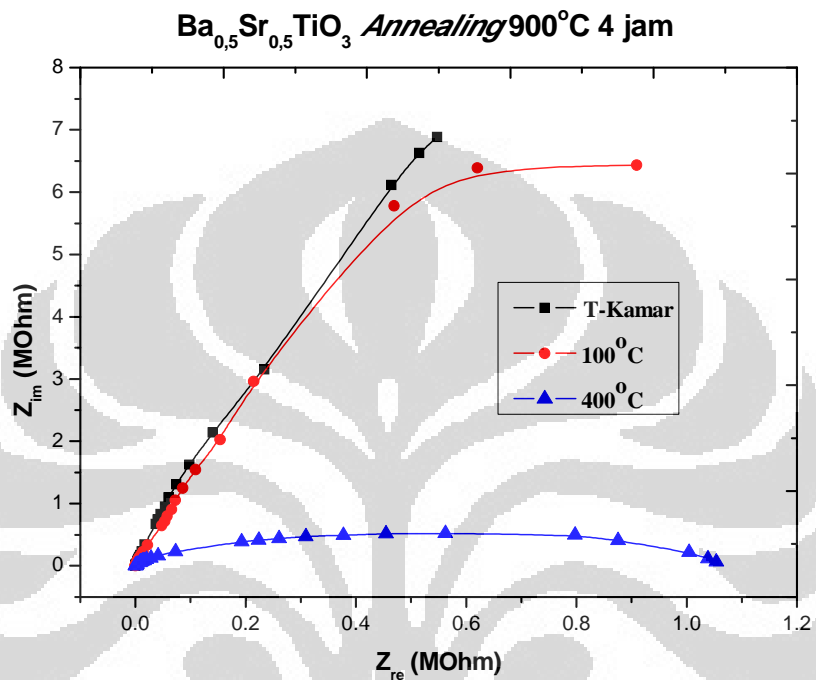
Hubungan antara impedansi imajiner terhadap impedansi real (*Nyquist plot*) dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Gambar 4.27 Grafik Hubungan antara Impedansi Imajiner terhadap Impedansi Real $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ Sintering $900^\circ C$ selama 4 jam; (a) Temperatur Kamar, (b) Temperatur $100^\circ C$, dan (c) Temperatur $400^\circ C$

Pada gambar 4.27(a) menunjukkan hubungan antara impedansi imajiner terhadap impedansi real. Nilai impedansi imajiner naik membentuk garis lengkung mendekati seperempat lingkaran pada temperatur kamar $25^\circ C$. Untuk

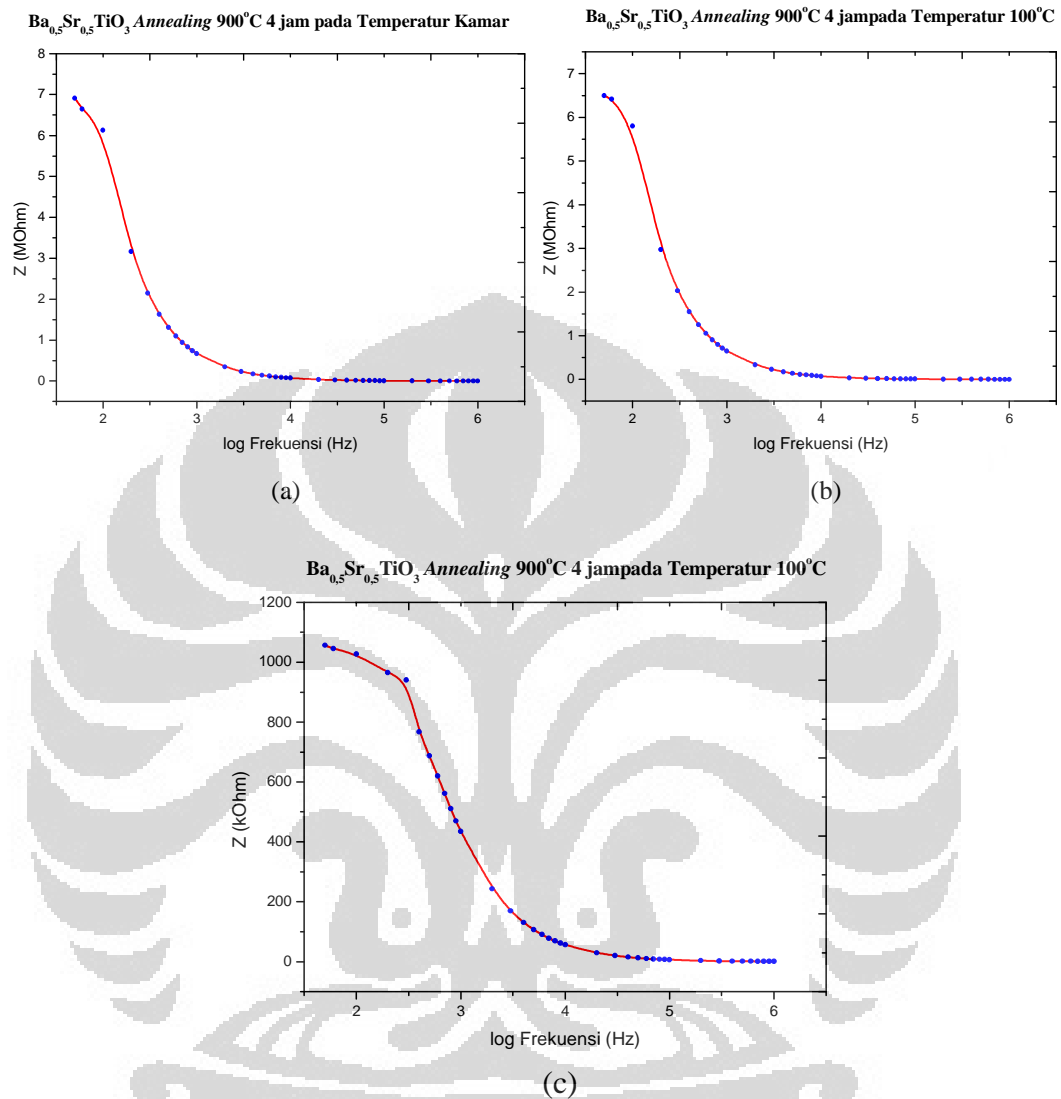
pengukuran pada temperatur 100 °C, terlihat kurva semakin membesar membentuk seperempat lingkaran seperti gambar 4.27(b). Pada pengukuran 400 °C bentuk kurva berubah menjadi bentuk hampir dua buah setengah lingkaran, gambar 27(c).



Gambar 4.28 Grafik Perbandingan antara Impedansi Imajiner terhadap Impedansi Real Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Annealing 900°C selama 4 jam

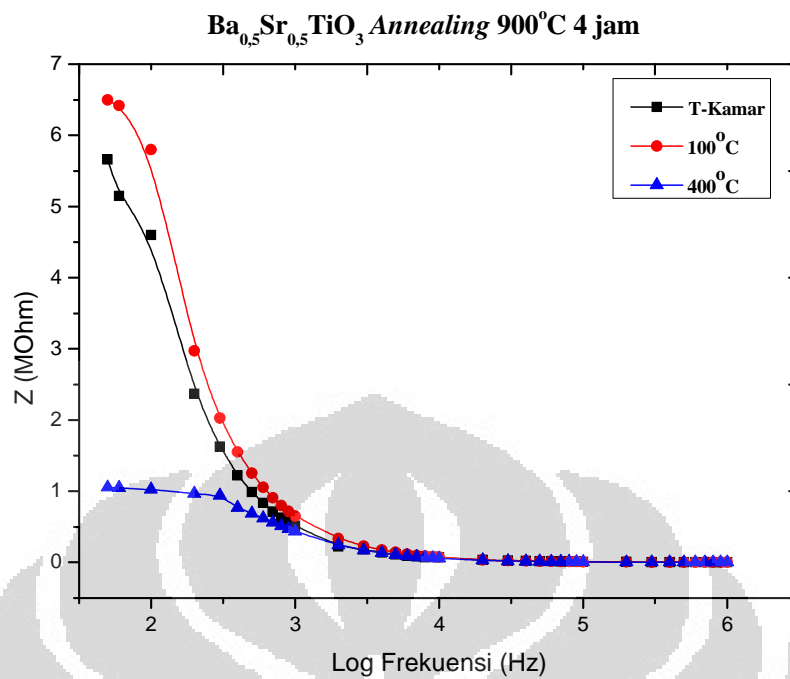
Dari gambar 4.28 di atas terlihat bahwa kurva *Nyquist plot* berubah berturut-turut dari besar menjadi semakin kecil ketika diukur pada temperatur kamar, temperatur 100 °C dan 400 °C. Bentuk kurva semakin pendek dan mengecil ketika diukur pada temperatur kamar, temperatur 100 °C dan 400 °C.

4.6.3 Bode Plot Sampel B3



Gambar 4.29 Grafik Hubungan antara Impedansi Total terhadap log Frekuensi $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ Annealing 900°C selama 4 jam; (a) Temperatur Kamar, (b) Temperatur 100°C , dan (c) Temperatur 400°C

Gambar 4.29(a), (b) dan (c) menunjukkan grafik hubungan antara impedansi total terhadap log frekuensi. Dari ketiga grafik menunjukkan kemiripan bentuk kurva. Untuk masing-masing kurva menunjukkan bahwa adanya penurunan nilai impedansi total seiring dengan kenaikan frekuensi.



Gambar 4.30 Perbandingan antara Impedansi Total terhadap log Frekuensi bahan Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Annealing 900°C selama 4 jam

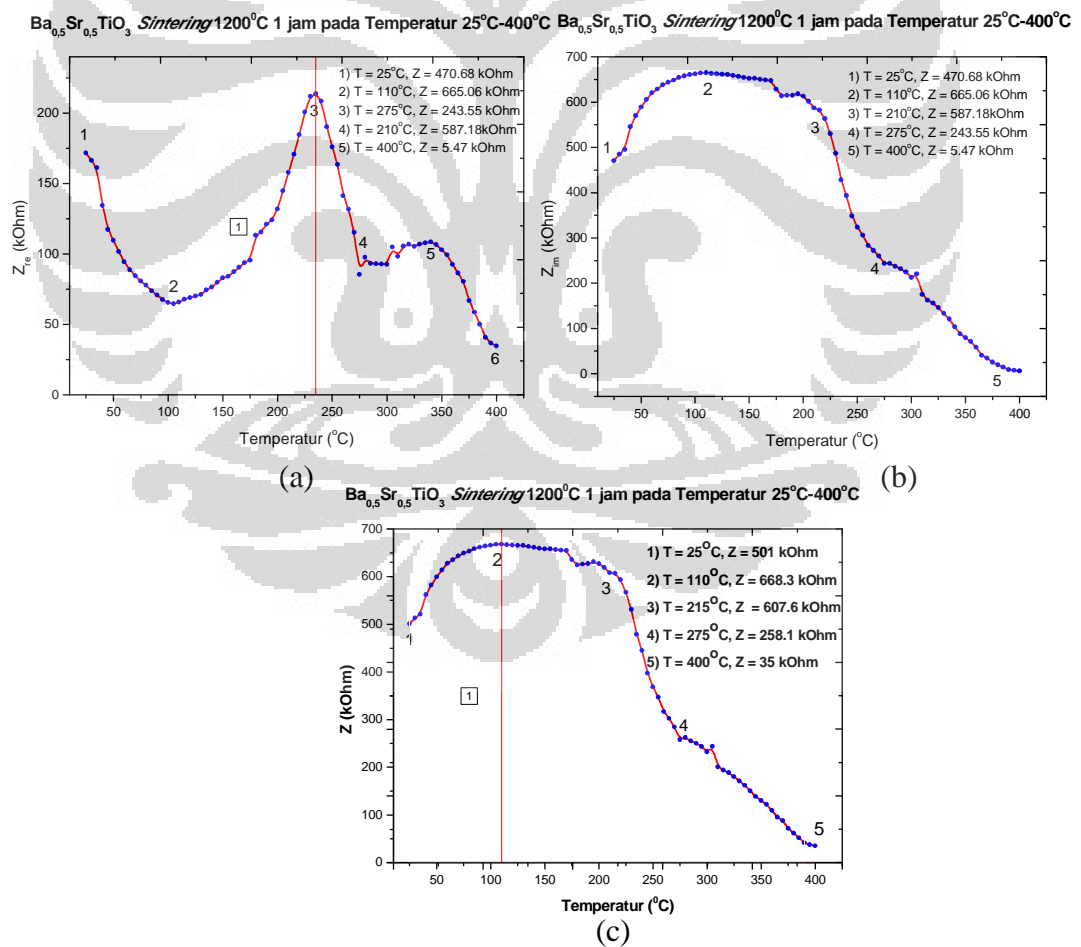
Bode plot di atas menunjukkan nilai impedansi mengalami penurunan seiring dengan kenaikan frekuensi untuk semua temperatur *sintering*. Pada frekuensi rendah plot masing-masing spektrum impedansi tampak menyebar, sedangkan pada frekuensi yang semakin tinggi spektrum impedansi akan menumpuk berupa garis horizontal.

BAB 5 PEMBAHASAN

5.1 Pengaruh Temperatur, Waktu *Sintering* dan *Annealing* terhadap Nilai Impedansi, Resistansi dan Kapasitansi

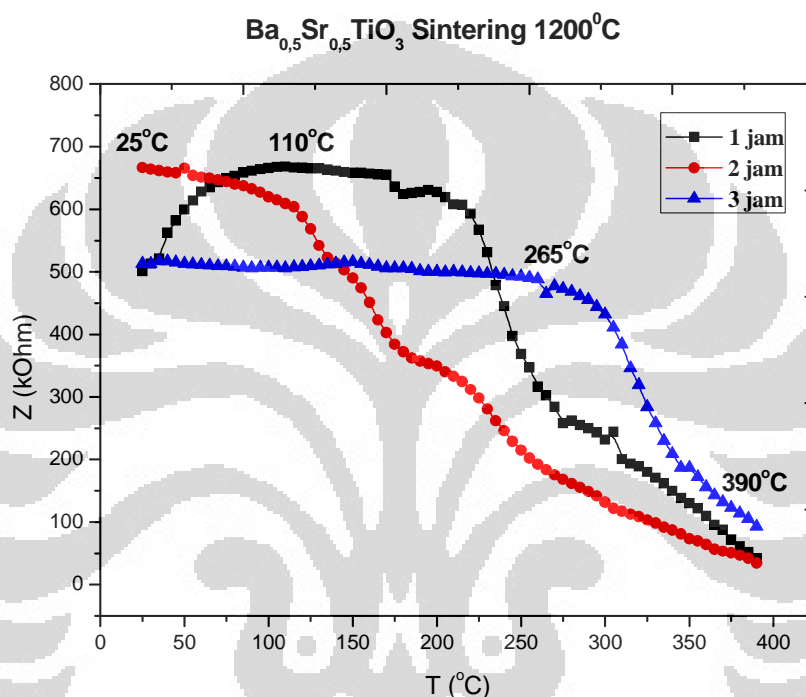
5.1.1 $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ *Sintering* 1200 °C selama 1, 2 dan 3 jam

Hasil percobaan pengukuran nilai impedansi real, impedansi imajiner dan impedansi bahan $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ *sintering* 1200 °C selama 1, 2 dan 3 jam menunjukkan adanya kemiripan bentuk grafik antara impedansi imajiner dan impedansi total. Gambar 5.1 menunjukkan salah satu contoh pengukuran bahan $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ *sintering* 1200 °C selama 1 jam.



Gambar 5.1. Grafik Hubungan antara; (a) Impedansi Real (b) Impedansi Imajiner dan (c) Impedansi Total terhadap Temperatur $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ *Sintering* 1200°C selama 1 jam

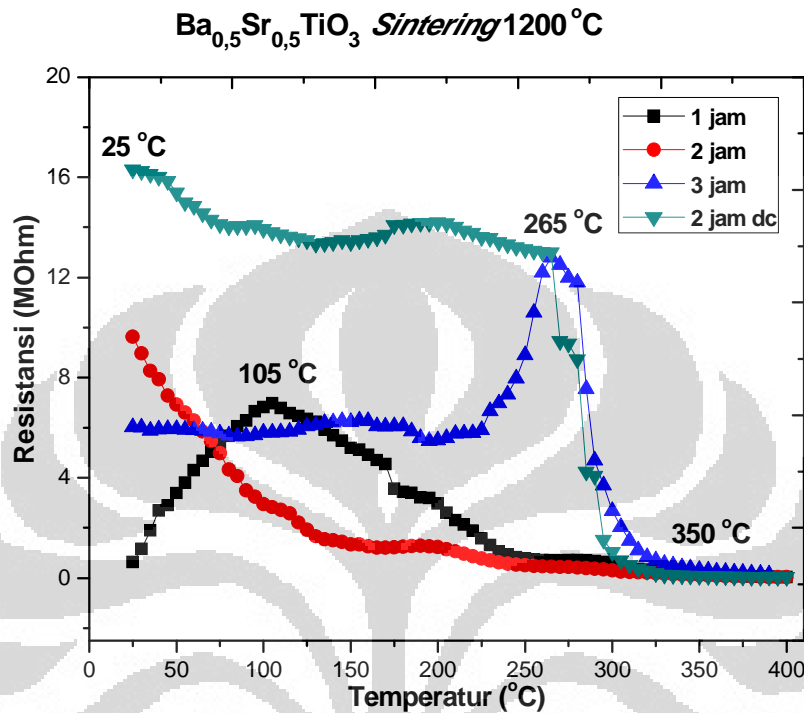
Dari gambar di atas terlihat bahwa kurva impedansi imajiner memiliki kemiripan dengan impedansi total. Nilai impedansi real berkaitan dengan nilai resistansi, sedangkan nilai impedansi imajiner berkaitan dengan dengan nilai kapasitansi. Hal ini dapat dikatakan bahwa bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *sintering* 1200°C selama 1, 2 dan 3 jam lebih bersifat kapasitif. Nilai kapasitansi akan dibahas pada program ZSimpWin bagian selanjutnya.



Gambar 5.2 Perbandingan Impedansi Total terhadap Temperatur $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ Sintering 1200°C selama 1, 2 dan 3 jam

Gambar 5.2 menunjukkan hubungan antara impedansi total terhadap temperatur bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *sintering* 1200°C selama 1, 2 dan 3 jam. Dari grafik tersebut terlihat bahwa pada bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *sintering* 1200°C selama 1, dan 2 jam sudah mengalami pembelokan, namun belum begitu jelas. Hal ini dikarenakan berdasarkan hasil foto SEM bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *sintering* 1200°C selama 1, dan 2 jam pada penelitian sebelumnya, terdapat *grain-grain* yang belum homogen. Sedangkan pada bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *sintering* 1200°C selama 3 jam sudah mulai homogen jadi pembelokan pada grafik sudah terlihat jelas. Dari grafik di atas pembelokan terjadi pada temperatur 265°C . Peristiwa pembelokan

akan terlihat lebih jelas ditampilkan oleh grafik hubungan antara resistansi terhadap temperatur.



Gambar 5.3 Perbandingan Resistansi Total terhadap Temperatur Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Sintering 1200 °C selama 1, 2, 3 jam dan 2 jam dc

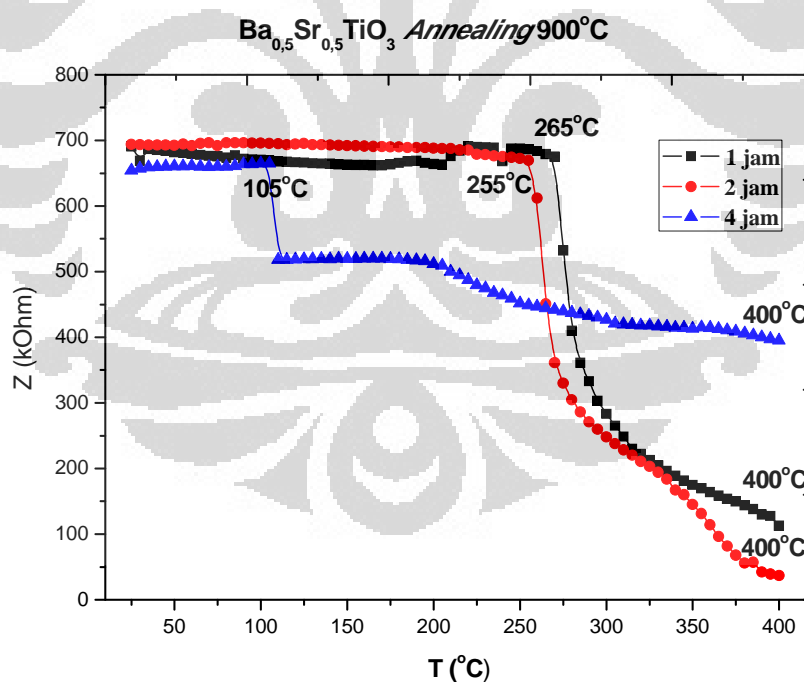
Gambar 5.3 menunjukkan hubungan antara resistansi terhadap temperatur bahan Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ sintering 1200 °C selama 1, 2 dan 3 jam. Dari grafik tersebut terlihat bahwa pada bahan Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ sintering 1200 °C selama 1, dan 2 jam pada temperatur kamar (25 °C) sudah mengalami pembelokan, berturut-turut untuk lama sintering 2 jam, 1 jam dan 3 jam. Hal ini dikarenakan pada bahan Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ sintering 1200 °C selama 1, dan 2 jam *grain-grain* belum homogen. Sedangkan bahan Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ sintering 1200 °C selama 3 jam sudah mulai homogen jadi pembelokan pada grafik sudah terlihat jelas. Dari grafik di atas peningkatan secara tajam dimulai ketika temperatur 200 °C dan mencapai puncaknya pada temperatur 265 °C. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa bahan Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ sintering 1200 °C selama 3 jam lebih lambat mengalami transisi fasa atau memerlukan temperatur yang lebih tinggi daripada bahan Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ sintering 1200 °C selama 1 dan 2 jam. Pengukuran resistansi

Universitas Indonesia

dengan tegangan dc menunjukkan bahwa pada temperatur kamar sedang mengalami transisi fasa, pada temperatur 265 °C terlihat jelas transisinya. Pada temperatur 350 °C terlihat mulai selesai mengalami transisi fasa, sehingga pada temperatur 350 °C telah berubah fasa dari feroelektrik menjadi paraelektrik.

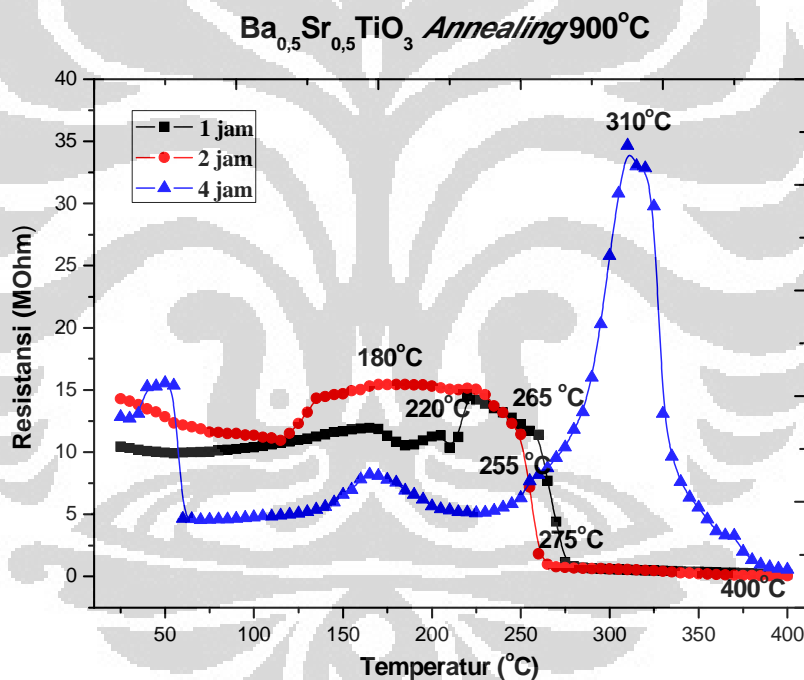
5.1.2 $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ Annealing 1200 °C selama 1, 2 dan 4 jam

Seperti halnya pada subbab 5.1.1 di atas, pengukuran pada bahan $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ annealing 1200 °C selama 1 jam, 2 jam dan 4 jam ternyata kurva impedansi imajiner dan impedansi total menunjukkan *tend* yang sama. Mengingat dari grafik terdapat kemiripan antara impedansi imajiner dengan impedansi total, maka dapat dikatakan sampel dengan perlakuan *annealing* adalah bersifat kapasitif. Nilai kapasitansi akan dibahas pada program ZSimpWin bagian selanjutnya.



Gambar 5.4 Perbandingan Impedansi Total terhadap Temperatur $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ Annealing 900 °C selama 1, 2, dan 4 jam .

Gambar 5.4 menunjukkan hubungan antara impedansi total terhadap temperatur bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *annealing* 900°C selama 1, 2 dan 4 jam. Dari grafik tersebut terlihat bahwa pada bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *annealing* 900°C selama 4 jam sudah mengalami pembelokan pada temperatur 105°C , namun belum begitu jelas karena tidak terlihat titik-titik penghubung pada grafik. Hal ini dimungkinkan adanya pergeseran pada sampel ketika dilakukan pengukuran. Pada bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *annealing* 900°C selama 1 dan 2 jam pembelokan terjadi pada temperatur berturut turut 265°C dan 255°C . Peristiwa pembelokan akan terlihat lebih jelas ditampilkan oleh grafik hubungan antara resistansi terhadap temperatur.



Gambar 5.5 Perbandingan Resistansi Total terhadap Temperatur $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *Annealing* 1200°C selama 1, 2 dan 4 jam

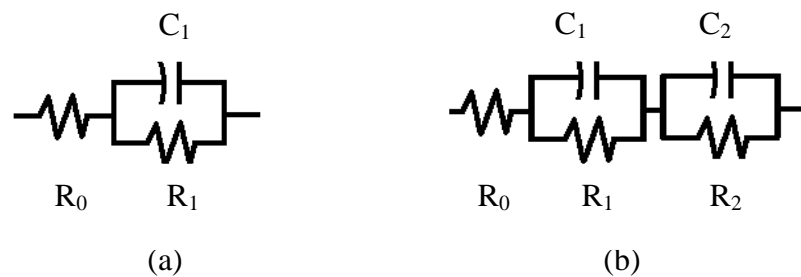
Gambar 5.5 menunjukkan hubungan antara resistansi terhadap temperatur bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *annealing* 900°C selama 1, 2 dan 4 jam. Dari grafik tersebut terlihat bahwa pada bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *annealing* 900°C selama 1, dan 2 jam pada temperatur kamar (25°C) sudah mengalami pembelokan pada temperatur

berturut turut 265 °C dan 255 °C, namun puncak belum jelas teramati. Hal ini dikarenakan pada bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *annealing* 900 °C selama 1 dan 2 jam distribusi *grain* belum merata. Sedangkan pada bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *annealing* 900 °C selama 4 jam pembelokan secara tajam terjadi pada temperatur 225 °C dan mencapai puncaknya pada temperatur 310 °C, kemudian kembali turun dan stabil pada temperatur 400 °C . Sehingga pada temperatur 400 °C telah berubah fasa dari feroelektrik menjadi paraelektrik.

Baik bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *sintering* 1200 °C selama 1, 2 dan 3 jam maupun *annealing* 900 °C selama 1, 2 dan 4 jam telah mengalami proses perubahan fasa dari temperatur kamar (25 °C). Bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *sintering* 1200 °C selama 1, 2 dan 3 jam telah mengalami perubahan fasa dari feroelektrik menjadi paraelektrik pada temperatur 350 °C, sedangkan bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *annealing* 900 °C selama 1, 2 dan 4 jam telah mengalami perubahan fasa dari feroelektrik menjadi paraelektrik pada temperatur 400 °C.

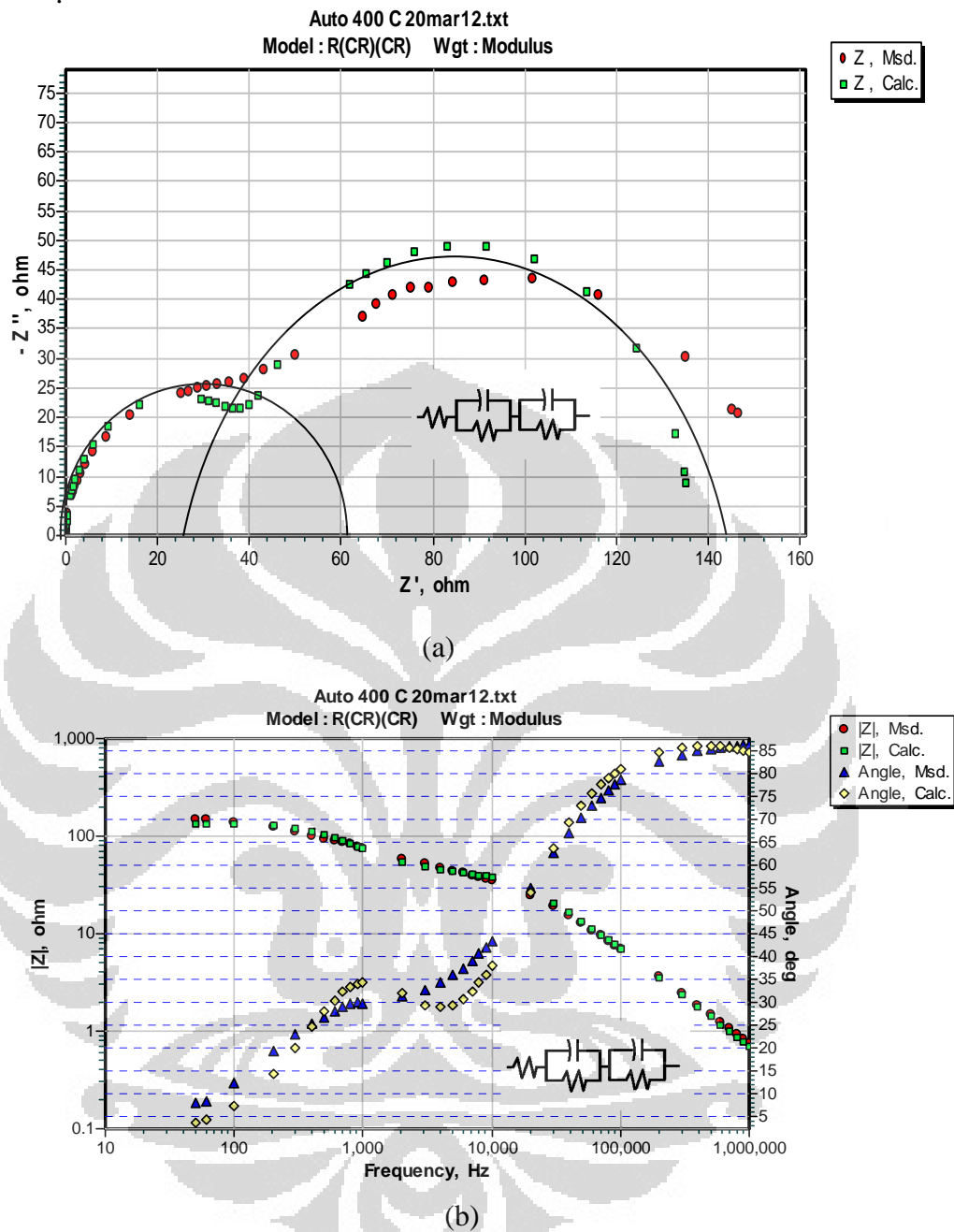
5.2 Nilai R (Resistansi) dan Kapasitansi (C)

Sifat kelistrikan dari sampel $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ dipengaruhi oleh nilai resistansi dan kapasitansi yang berasal dari butir (*grain*), batas butir (*grain boundary*), dan daerah antara sampel dan kontak (*interface*). Masing-masing elemen dimodelkan dengan rangkaian listrik yang dinamakan rangkaian ekuivalen. Pada rangkaian ekuivalen masing-masing elemen diwakili oleh resistansi (R), kapasitansi (C) atau kombinasi antara keduanya. Nilai elemen-elemen listrik tersebut dapat diperoleh dengan memodelkan rangkaian listrik dari *Nyquist plot* ataupun *Bode plot* dengan *fitting* menggunakan program ZSimpWin 3.10. *Fitting* tersebut dilakukan dengan memilih nilai *chi square* dan *prosen error* terkecil dari rangkaian ekuivalen yang dipilih. Setelah dilakukan *fitting* untuk beberapa rangkaian yang tersedia, dipilih rangkaian yang paling cocok dengan model rangkaian pada sampel yang diukur seperti rangkaian berikut:



Gambar 5.6 Rangkaian Listrik Ekvivalen hasil *Fitting* dengan program Zsimpwin 3.10
 R_0 = resistansi *interface*, R_1 dan C_1 = resistansi dan kapasitansi *grain*,
 R_2 dan C_2 = resistansi dan kapasitansi *grain boundary*.

Berdasarkan hasil foto SEM pada Barium Stronsium Titanat (BST) dengan perlakuan termal baik *sintering* maupun *annealing* memperlihatkan masih terdapat *grain* yang tidak homogen. Oleh karena itu dalam pemodelan rangkaian ekvivalen meliputi nilai resistansi dan kapasitansi *grain* (R_1 dan C_1) dan *grain boundary* (R_2 dan C_2). Sehingga dapat dikatakan bahwa sifat kelistrikan dari sampel uji ditentukan oleh kombinasi seri antara resistansi dan kapasitansi antara *grain* dan *grain boundary*. Masing-masing komponen tersebut diwakili oleh elemen paralel antara resistansi (R) dan kapasitansi (C). Secara keseluruhan rangkaian ekvivalen tersebut terdiri dari tiga rangkaian seri dari kombinasi *interface* dan dua rangkaian RC paralel. Rangkaian (a) digunakan untuk pengukuran pada temperatur kamar (25 °C) dan 100 °C, karena dari *Nyquist plot* menunjukkan kurva yang belum mencapai *semicircle*. R_1 dan C_1 menyatakan nilai resistansi dan kapasitansi dari *grain*. Sedangkan rangkaian (b) digunakan pada temperatur 400°C, karena dari *Nyquist plot* menunjukkan kurva yang sudah mencapai *semicircle*. R_1 dan C_1 menyatakan nilai resistansi dan kapasitansi dari *grain*, R_2 dan C_2 menyatakan nilai resistansi dan kapasitansi dari *grain boundary*.



Gambar 5.7 Perbandingan Data Hasil Pengukuran dengan Hasil *Fitting* untuk $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ Sintering 1200°C selama 3 jam pada Temperatur 400°C (a) *Nyquist Plot* , (b) *Bode Plot*

Gambar 5.7 Merupakan contoh *Nyquist plot* dan *Bode Plot* yang diperoleh dari program ZSimpWin untuk bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ sintering 1200°C 3 jam. Hasil seluruh pengukuran dapat dilihat pada lampiran.

Nilai resistans (R) dan kapasitansi (C) untuk bahan $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ *sintering* 1200 °C 1, 2 dan 3 jam yang diperoleh dari hasil *fitting* dengan program ZSimpWin ditunjukkan oleh tabel berikut:

Tabel 5.1 Nilai Resistansi dan Kapasitansi $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ *Sintering* 1200 °C pada Temperatur Kamar

Elemen Rangkaian	$Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ <i>Sintering</i> 1200 °C pada Temperatur Kamar		
	1 jam (A)	2 jam (B)	3 jam (C)
R_0 (Ω)	0.059	0.047	0.043
C_1 (μF)	0.23	0.22	0.21
R_1 ($k\Omega$)	4.76	29.55	56.54

Tabel di atas menunjukkan nilai resistansi *interface* (R_0) terlihat mengalami penurunan namun nilainya masih berkisar 0.5 Ω . Nilai resistansi *grain* (R_1) ketika diukur pada temperatur kamar naik seiring dengan bertambahnya waktu *sintering*. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin lama waktu *sintering* akan meningkatkan nilai resistansi bahan, namun pada percobaan ini perubahannya terlalu kecil masih sekitar satu orde.

Tabel 5.2 Nilai Resistansi dan Kapasitansi $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ *Sintering* 1200 °C pada Temperatur 100 °C

Elemen Rangkaian	$Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ <i>Sintering</i> 1200 °C pada Temperatur 100 °C		
	1 jam (A)	2 jam (B)	3 jam (C)
R_0 (Ω)	0.11	0.041	0.045
C_1 (μF)	0.41	0.22	0.22
R_1 ($k\Omega$)	2.12	40.94	24.37

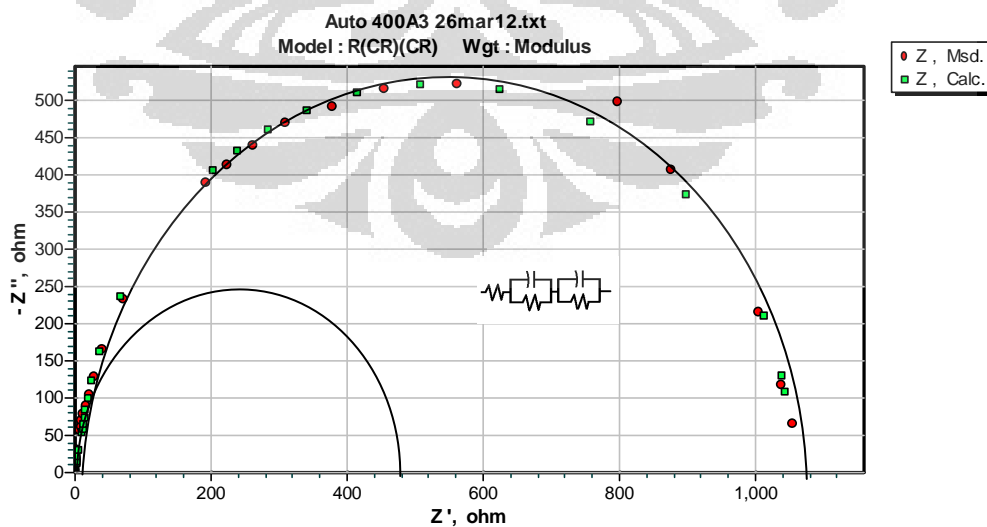
Tabel di atas menunjukkan nilai resistansi *interface* (R_0) terlihat sedikit mengalami penurunan namun hanya sekitar 0.6 Ω . Nilai resistansi *grain* (R_1) ketika diukur pada temperatur 100 °C naik kemudian mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu *sintering*. Nilai kapasitansi (C_1) mengalami sedikit penurunan, namun masih dalam orde yang sama. Jika dibandingkan pengukuran pada temperatur kamar dan pada remperatur 100 °C, nilai resistansi maupun kapasitansi masih cenderung tetap.

Tabel 5.3 Nilai Resistansi dan Kapasitansi $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ Sintering $1200^\circ C$ pada Temperatur $400^\circ C$

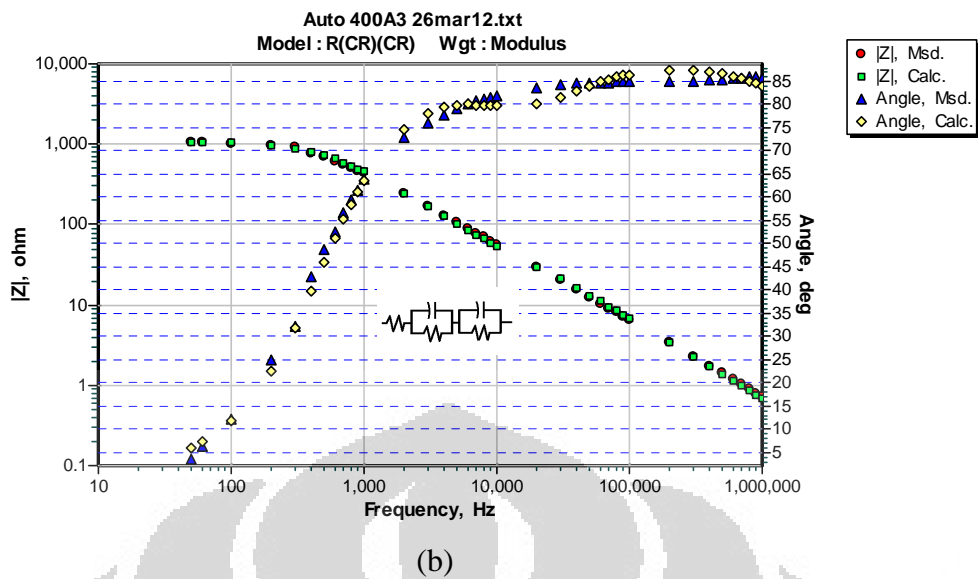
Elemen Rangkaian	$Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ Sintering $1200^\circ C$ pada Temperatur $400^\circ C$		
	1 jam (A)	2 jam (B)	3 jam (C)
R_0 (Ω)	0.04	0.007	0.05
C_1 (μF)	0.87	2.13	0.24
R_1 (Ω)	113.1	50.2	40.3
C_2 (μF)	0.77	0.68	3.09
R_2 (Ω)	8.27	7.92	95.6

Tabel 5.3 di atas menunjukkan nilai resistansi dan kapasitansi sampel yang diukur pada temperatur $400^\circ C$. Nilai resistansi *interface* (R_0) terlihat turun kemudian naik kembali, hal ini kemungkinan disebabkan oleh lem perak yang tidak rata menutupi permukaan sampel namun nilainya masih relatif kecil. Nilai resistansi *grain* (R_1) ketika diukur pada temperatur $400^\circ C$ menurun seiring dengan bertambahnya waktu *sintering* namun nilainya masih relatif kecil karena masih dalam satu orde. Demikian pula untuk nilai resistansi *grain boundary* (R_2) semakin kecil kemudian mengalami sedikit kenaikan.

Contoh data pengukuran dari hasil *fitting* untuk $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ *annealing* $900^\circ C$ selama 4 jam ditunjukkan oleh gambar 5.8. Data yang lengkap dapat dilihat pada lampiran.



(a)



Gambar 5.8 Perbandingan Data Hasil Pengukuran dengan Hasil Fitting untuk $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ Annealing $900\text{ }^{\circ}C$ 4 jam pada Temperatur $400\text{ }^{\circ}C$; (a) Nyquist Plot, (b) Bode Plot

Nilai resistansi (R) dan kapasitansi (C) untuk $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ annealing $900\text{ }^{\circ}C$ selama 1 jam, 2 jam dan 4 jam yang diperoleh dari hasil fitting dengan program ZSimpWin ditunjukkan oleh tabel berikut:

Tabel 5.4 Nilai Resistansi dan Kapasitansi $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ Annealing $900\text{ }^{\circ}C$ pada Temperatur Kamar

Elemen Rangkaian	$Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ Annealing $900\text{ }^{\circ}C$ pada Temperatur Kamar		
	1 jam (B1)	2 jam (B2)	4 jam (B3)
R_0 (Ω)	0.05	0.05	0.04
C_1 (μF)	0.22	0.22	0.22
R_1 ($k\Omega$)	43.9	28.1	64.1

Tabel 5.5 Nilai Resistansi dan Kapasitansi $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ Annealing $900\text{ }^{\circ}C$ pada Temperatur $100\text{ }^{\circ}C$

Elemen Rangkaian	$Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ Annealing $900\text{ }^{\circ}C$ pada Temperatur $100\text{ }^{\circ}C$		
	1 jam (B1)	2 jam (B2)	4 jam (B3)
R_0 (Ω)	0.05	0.06	0.04
C_1 (μF)	0.22	0.23	0.23
R_1 ($k\Omega$)	32.2	4.44	46.9

Tabel 5.6 Nilai Resistansi dan Kapasitansi $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ *Annealing* 900 °C pada Temperatur 400 °C

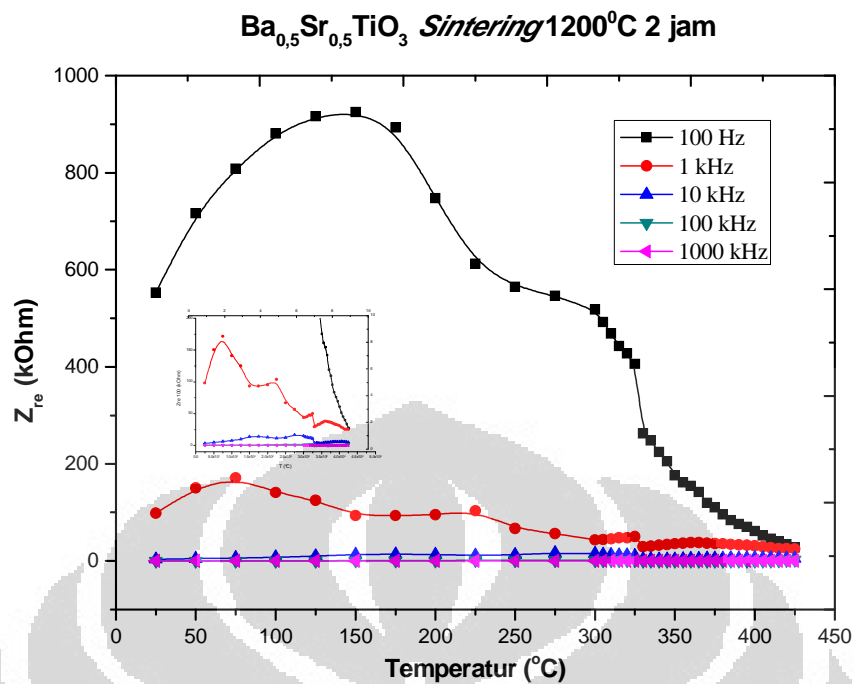
<i>Elemen Rangkaian</i>	<i>Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Annealing 900 °C pada Temperatur 400 °C</i>		
	<i>1 jam (B1)</i>	<i>2 jam (B2)</i>	<i>4 jam (B3)</i>
R_0 (Ω)	0.10	0.12	0.07
C_1 (μF)	1.42	0.31	0.87
R_1 (Ω)	189.4	34.5	9.46
C_2 (μF)	0.28	1.33	0.32
R_2 (Ω)	30.0	250.9	1046

Tabel di atas menunjukkan bahwa nilai resistansi kontak (R_0) sangat kecil dan perubahannya pun sangat kecil. Nilai resistansi *grain* (R_1) dan nilai resistansi *grain boundary* (R_2) sedikit mengalami penurunan, namun masih dalam orde yang sama. Hal ini dikarenakan perbedaan waktu *sintering* pada sampel. Demikian pula untuk nilai kapasitansi baik pada *grain* maupun *grain boundary* hanya mengalami sedikit perubahan, namun masih dalam orde yang sama.

Secara keseluruhan pengukuran bahan $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ *sintering* 1200 °C selama 1, 2 dan 3 jam maupun *annealing* 900 °C selama 1, 2 dan 4 jam pada temperatur yang sama tidak menyebabkan perubahan nilai resistansi dan kapasitansi yang signifikan. Hal ini terlihat dari data *fitting* bahwa nilai resistansi maupun kapasitansi baik pada sampel dengan perlakuan *sintering* maupun *annealing* cenderung konstan. Namun untuk pengukuran bahan $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ *sintering* 1200 °C selama 1, 2 dan 3 jam maupun *annealing* 900 °C selama 1, 2 dan 4 jam pada temperatur yang semakin tinggi menyebabkan nilai resistansi turun sebesar dua orde sedangkan nilai kapasitansi tidak mengalami perubahan yang signifikan.

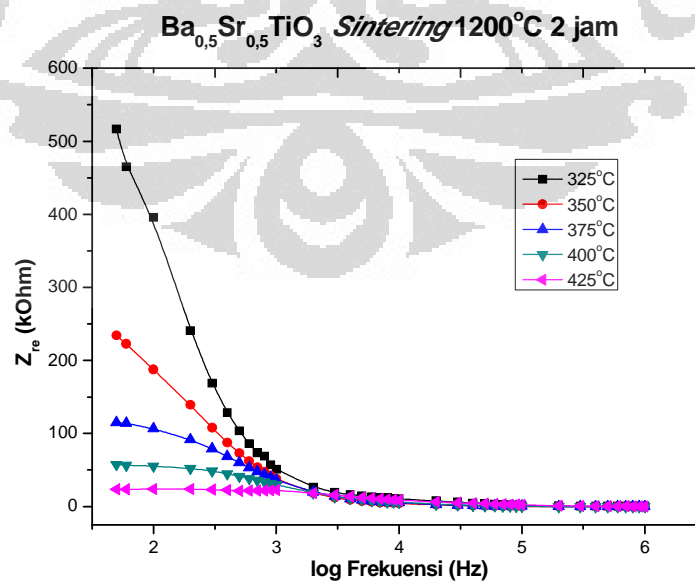
5.3 Uji Sampel dengan Berbagai Parameter

Dari beberapa sampel percobaan, penulis mengambil salah satu sampel untuk dianalisis guna mengetahui sifat-sifat kelistrikan bahan. Dalam hal ini dipilih sampel $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ *sintering* 1200 °C 2 jam.



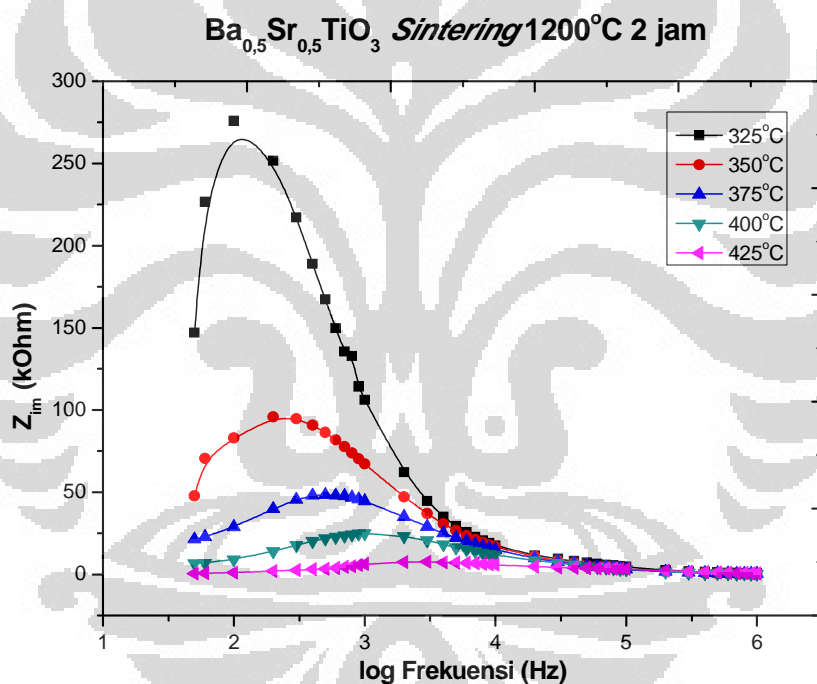
Gambar 5.9 Perbandingan Zreal terhadap Temperatur Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ sintering 1200 °C 2 jam

Gambar 5.9 menunjukkan hasil impedansi real terhadap temperatur pada frekuensi yang berbeda. Nilai impedansi imajiner bergeser temperatur yang lebih tinggi dengan bertambahnya frekuensi. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan waktu relaksasi pada sampel uji.



Gambar 5.10 Perbandingan Z real terhadap Frekuensi Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ sintering 1200 °C 2 jam

Gambar 5.10 menunjukkan hubungan antara Z real terhadap frekuensi pada sampel yang diukur pada temperatur yang berbeda-beda. Grafik di atas menunjukkan nilai impedansi real semakin menurun seiring dengan peningkatan frekuensi. Pada frekuensi tinggi seluruh kurva impedansi akan menumpuk pada sumbu horizontal dan nilainya mendekati nol. Hal ini mengindikasikan adanya peningkatan konduktivitas ac. Nilai Z real menumpuk untuk semua temperatur pada frekuensi tinggi, mengindikasikan adanya polarisasi ruang muatan [21]. Pada peristiwa ini pembawa muatan yang diakumulasi pada daerah *grain boundary* memiliki energi yang cukup untuk mengatasi penghalang dengan peningkatan temperatur, akibatnya terjadi peningkatan konduktivitas [1].



Gambar 5.11 Perbandingan Impedansi imajiner terhadap Frekuensi $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ Sintering $1200^\circ C$ 2 jam

Gambar 5.11 menunjukkan hubungan antara impedansi imajiner terhadap log frekuensi pada temperatur yang berbeda. Nilai impedansi mencapai puncak pada temperatur $325^\circ C$. Untuk temperatur di bawah $325^\circ C$, posisi puncak belum terlihat dalam jangkauan pengukuran.

Grafik ini cocok untuk mengevaluasi fenomena frekuensi relaksasi yang paling berkontribusi pada resistansi. Puncak Z imajiner bergeser ke frekuensi yang

lebih tinggi seiring dengan kenaikan temperatur, Hal ini menunjukkan adanya penurunan relaksasi dalam sistem. Waktu relaksasi dapat dihitung dari frekuensi dimana Z imajiner maksimum yang diamati. Frekuensi relaksasi dapat diperoleh dari grafik Z imajiner terhadap frekuensi. Proses relaksasi ini mungkin adalah berkaitan dengan kehadiran elektron/*immobile species* pada temperatur rendah dan menyeberang pada temperatur lebih tinggi [2]. Dengan menggunakan program Origin, frekuensi relaksasi masing-masing spektrum dapat diketahui. Data frekuensi kemudian dimasukkan ke dalam tabel 5.7.

Tabel 5.7 Waktu Relaksasi $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ Sintering $1200^\circ C$ selama 2 jam pada Berbagai Temperatur

Temperatur ($^\circ C$)	Temperatur (K)	$1000/T$ (K) ⁻¹	f Relaksasi (Hz)	τ (10^{-4} sec)	$\log \tau$ (sec)
325	598	1.67	100	15.9	-2.80
350	623	1.61	200	7.96	-3.10
375	648	1.54	500	3.18	-3.50
400	673	1.49	1000	1.59	-3.80
425	698	1.43	3000	0.53	-4.28

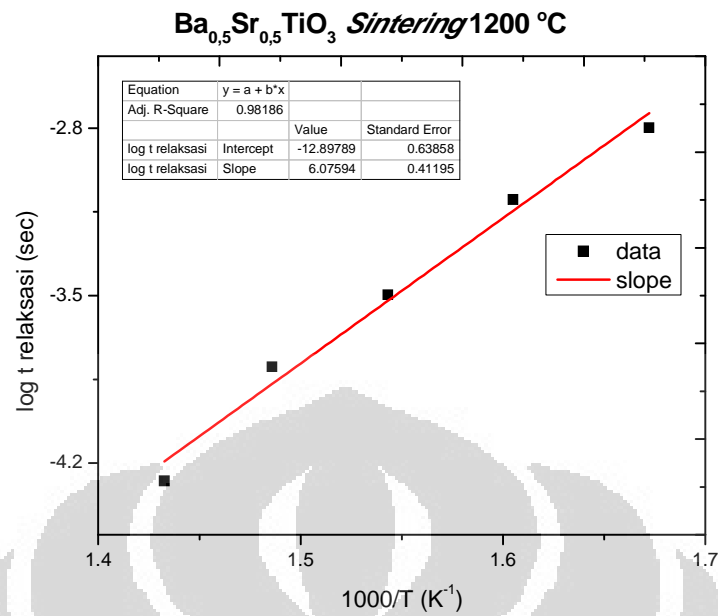
Persamaan (2.18) dapat diubah ke dalam persamaan linear menjadi:

$$Y = a + bX$$

$$\tau = \tau_0 \exp(-E_a/K_B T)$$

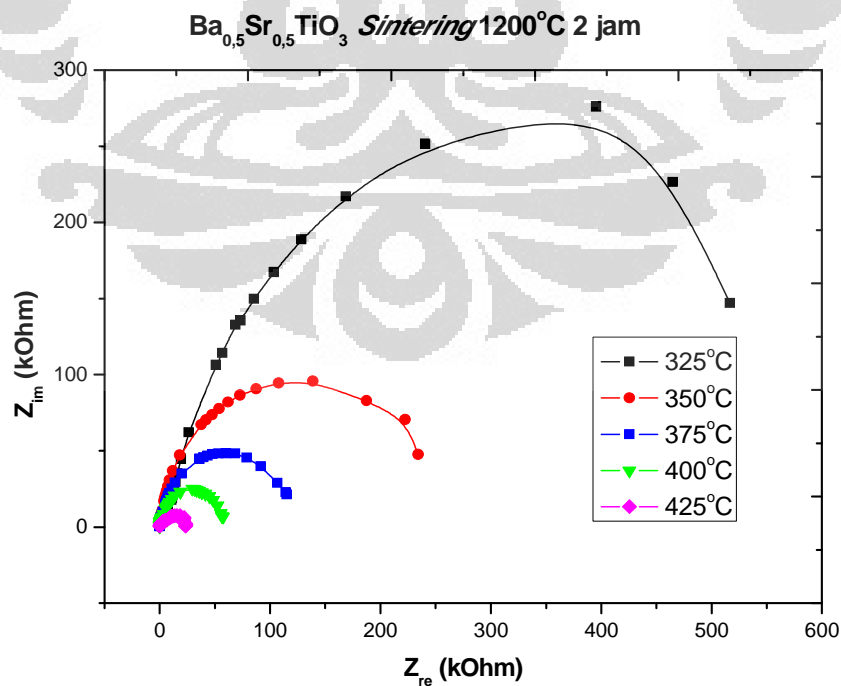
$$\log \tau_0 = \log \tau - \frac{E_a}{k_B} \frac{1}{T}$$

Persamaan di atas dapat digunakan untuk membuat grafik hubungan antara \log waktu relaksasi ($\log \tau$) dengan sepeperatur. \log waktu relaksasi ($\log \tau$) diplot pada sumbu-y, sedangkan sepeperatur diplot pada sumbu-x. τ_0 adalah waktu relaksasi bahan mula-mula, K_B adalah konstanta Boltzman dan $\frac{E_a}{K_B}$ merupakan *slope* yang digunakan untuk menentukan besarnya energi aktivasi. Hasil dari plot tabel 5.7 dapat ditampilkan oleh gambar 5.12 di bawah ini.



Gambar 5.12 Hubungan antara Waktu Relaksasi terhadap Temperatur Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Sintering 1200 °C 2 jam

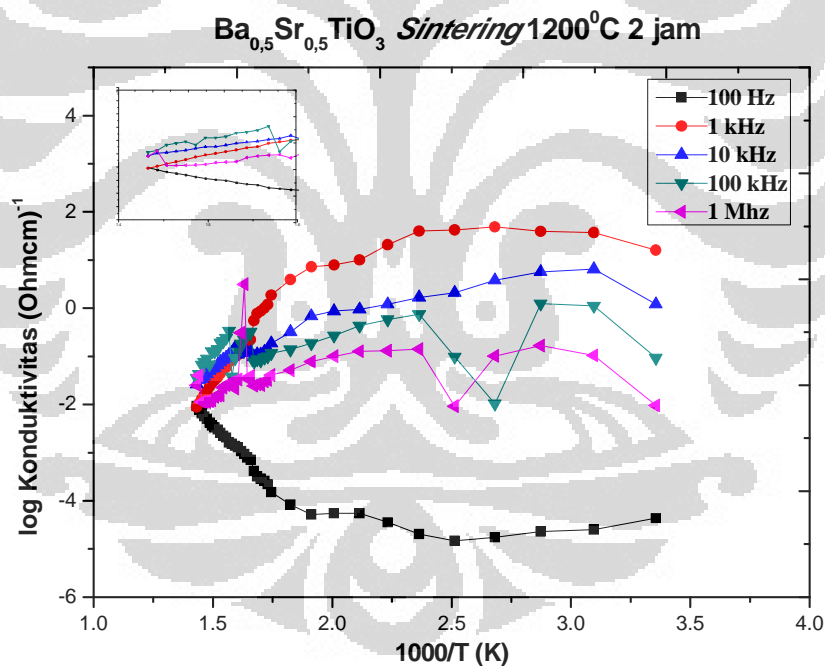
Besar energi aktivasi bahan Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ sintering 1200 °C selama 2 jam yang yang dihitung pada rentang temperatur 325 °C hingga 400 °C dalam percobaan ini adalah 0.52 eV.



Gambar 5.13 Perbandingan Nyquist plot Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Sintering 1200°C 2 jam

Universitas Indonesia

Gambar 5.13 menunjukkan hubungan antara impedansi imajiner terhadap impedansi real. Dari grafik tersebut terlihat bahwa kurva setengah lingkaran semakin besar pada temperatur yang rendah. Frekuensi maksimum bergeser dengan peningkatan temperatur. Bahan polikristalin pada umumnya menunjukkan pengaruh *grain* dan *grain boundary* dengan waktu relaksasi yang berbeda, mendorong ke arah dua setengah lingkaran berurutan. Dalam kasus ini, intersepsi kedua setengah lingkaran frekuensi tinggi berkaitan dengan sifat *grain*, dan frekuensi rendah setengah lingkaran berkaitan dengan sifat *grain boundary*. Dalam hal ini dianggap rangkaian ekuivalen terbentuk atas kontribusi RC untuk perilaku *grain*, *grain boundary* dan perilaku elektroda. Frekuensi relaksasi dapat dikaitkan dengan hubungan antara resistansi dan kapasitansi oleh persamaan 2.15 pada bab 2.



Gambar 5.14 Perbandingan log Konduktivitas terhadap Temperatur Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Sintering 1200 °C 2 jam

Gambar 5.14 menunjukkan hubungan antara konduktivitas terhadap 1000/T. Nilai resistansi *bulk* R_B dapat diperoleh dari *Nyquist plot* dan kemudian diubah menjadi konduktivitas σ oleh hubungan $\sigma = \frac{t}{AR_B}$, di mana t adalah ketebalan sampel dan A adalah luas sampel. Grafik di atas dapat digunakan untuk

Universitas Indonesia

menghitung besarnya energi aktivasi bahan pada frekuensi pengukuran yang berbeda-beda.

Dengan mengubah persamaan Arrhenius (2.17) ke dalam persamaan garis lurus diperoleh:

$$Y = \alpha + bX$$

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-E_a / K_B T)$$

$$\log \sigma = \log \sigma_0 - \frac{E_a}{K_B} \frac{1}{T}$$

Persamaan di atas dapat digunakan untuk membuat grafik hubungan antara log konduktivitas ($\log \sigma$) dengan sepeperatur. \log konduktivitas ($\log \sigma$) sebagai sumbu-y, sedangkan sepeperatur sebagai sumbu-x. σ_0 adalah konduktivitas bahan mula-mula, K_B adalah konstanta Boltzman dan $\frac{E_a}{K_B}$ merupakan *slope* yang yang digunakan untuk menentukan besarnya energi aktivasi.

Dengan memotong spektrum pada absis di nilai sekitar 1.6, maka *slope* tiap spektrum dapat diketahui. *Fitting* linier dengan program Origin menampilkan besarnya energi aktivasi seperti pada table berikut:

Tabel 5.7 Energi Aktivasi $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ Sintering 1200°C selama 2 jam pada Berbagai Frekuensi

Frekuensi Temperatur	Frekuensi				
	100 (Hz)	1 (kHz)	10 (kHz)	100 (kHz)	1 (MHz)
25 °C - 310 °C	0.05	0.08	0.08	0.02	0.0002
315 °C - 425 °C	0.44	0.58	0.20	0.22	0.27

Dengan menggunakan program ZSimpWin, frekuensi relaksasi masing-masing spektrum *Nyquist plot* (Gambar 5.12) dapat ditentukan. Karena frekuensi relaksasi diketahui maka nilai waktu relaksasi dapat dihitung. Data frekuensi kemudian dimasukkan ke dalam tabel 5.9 berikut:

Tabel 5.9 Waktu Relaksasi Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Sintering 1200°C selama 2 jam pada Berbagai Temperatur

Temperatur (°C)	Temperatur (K)	1000/T (K) ⁻¹	f Relaksasi (Hz)	τ (10 ⁻⁴ sec)	log τ (sec)
325	598	1.67	100	15.9	-2.80
350	623	1.61	200	7.96	-3.10
375	648	1.54	500	3.18	-3.50
400	673	1.49	1000	1.59	-3.80
425	698	1.43	3000	0.53	-4.28

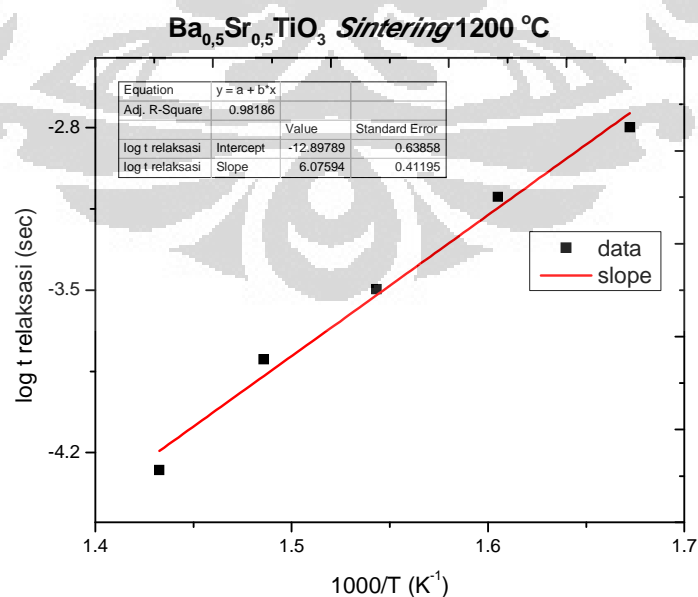
Persamaan (2.18) dapat diubah ke dalam persamaan linear menjadi:

$$Y = a + bX$$

$$\tau = \tau_0 \exp(-E_a/K_B T)$$

$$\log \tau_0 = \log \tau - \frac{E_a}{k_B} \frac{1}{T}$$

Persamaan di atas dapat digunakan untuk membuat grafik hubungan antara log waktu relaksasi (log τ) dengan sepele temperatur. log waktu relaksasi (log τ) diplot pada sumbu-y, sedangkan sepele temperatur diplot pada sumbu-x. τ₀ adalah waktu relaksasi bahan mula-mula, K_B adalah konstanta Boltzman dan $\frac{E_a}{K_B}$ merupakan slope yang digunakan untuk menentukan besarnya energi aktivasi. Hasil dari plot tabel 5.9 dapat ditampilkan oleh gambar 5.15 di bawah ini.



Gambar 5.15 Hubungan antara Waktu Relaksasi terhadap Temperatur Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ Sintering 1200 °C 2 jam

Besar energi aktivasi bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *sintering* 1200 °C selama 2 jam yang dihitung pada rentang temperatur 325 °C hingga 400 °C dalam percobaan ini adalah 0.52 eV. Jadi energi aktivasi bahan $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *sintering* 1200 °C selama 2 jam pada rentang temperatur 325 °C hingga 400 °C dapat diperoleh dari grafik hubungan Z_{im} vs f maupun *Nyquist plot*. *Fitting* keduanya dapat dilakukan dengan menggunakan program Origin maupun ZSimpwin yang memberikan hasil sama.



BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran, pengolahan data, analisa dan pembahasan dapat diperoleh beberapa kesimpulan penelitian, yakni :

1. Data hasil spektroskopi impedansi bahan *perovskite* $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ menunjukkan sebuah *semicircle* pada daerah frekuensi tinggi yang berkaitan dengan sifat *grain* dari bahan, sedangkan *semicircle* kedua berkaitan dengan sifat dari *grain boundary*. Sifat listrik bahan *perovskite* $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ dapat disajikan dengan rangkaian R, RC paralel maupun kombinasi dari keduanya yang menunjukkan adanya kontribusi dari *grain*, *grain boundary* maupun *interface*.
2. Waktu *sintering* dan *annealing* berpengaruh terhadap perubahan fasa bahan *perovskite* $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$, hal ini terlihat dari grafik hubungan antara R vs T, dimana semakin lama waktu *sintering* dan *annealing* menyebabkan bergesernya temperatur transisi menuju temperatur yang lebih tinggi.
3. Perbedaan lama waktu *sintering* dan *annealing* tidak menyebabkan perubahan nilai resistansi dan kapasitansi yang signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh data *fitting* bahwa nilai resistansi maupun kapasitansi baik pada sampel dengan perlakuan *sintering* maupun *annealing* cenderung konstan.
4. Perbandingan nilai resistansi bahan *perovskite* $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ baik yang disinter 1200 °C masing-masing selama 1, 2, dan 3 jam maupun dianil 900 °C masing-masing selama 1, 2 dan 4 jam hasil pengukuran pada temperatur kamar dan 100 °C dengan pengukuran pada temperatur 400 °C sebesar dua orde, sedangkan nilai kapasitansi tidak mengalami perubahan yang signifikan.

5. Energi aktivasi bahan *perovskite* $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ *sintering* $1200\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam pada rentang temperatur $325\text{ }^\circ\text{C}$ hingga $425\text{ }^\circ\text{C}$ dalam penelitian ini adalah sebesar 0.52 eV .

6.2 Saran

Adapun saran-saran yang perlu diperhatikan guna memperoleh hasil percobaan dan pemahaman yang lebih baik tentang sifat listrik bahan *perovskite* $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ adalah :

1. Proses pemberian lem perak hendaknya secara merata di kedua sisi sampel dan pemanasannya dilakukan dengan *heating rate* yang kecil karena akan mempengaruhi hasil percobaan.
2. Pembuatan kontak yang mantap dan sentral sangat penting, agar ketika dilakukan pengukuran pada temperatur yang tinggi sampel tidak bergeser.
3. Memperbaiki mikrokontroler dengan program dan rangkaian yang akurat sehingga diharapkan sedikit hambatan dalam pelaksanaan percobaan, serta dapat memperoleh data yang akurat.
4. Perlu dilakukan percobaan studi spektroskopi impedansi pada range temperatur yang lebar, dari temperatur $-100\text{ }^\circ\text{C}$ s.d $900\text{ }^\circ\text{C}$.

DAFTAR PUSTAKA

1. A. Rouahi dkk., *Impedance spectroscopic and dielectric analysis of $Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO_3$ Thin Films*. Grenoble Electrical Engineering Laboratory (G2E Lab), CNRS, University of Grenoble (UJF), 25 Rue des Martyrs, BP 166, 38042 Grenoble Cedex 9, France, Laboratory of Materials, Organization and Properties (LMOP), Campus Universities, El Manar, 2092 Tunis, Tunisia, 2012.
2. S. Sen, R. N. P. Choudhary and P. Pramanik. *Impedance spectroscopy of $Ba_{1-x}Sr_xSn_{0.15}Ti_{0.85}O_3$ ceramics*. Institute of Materials, Minerals and Mining. Published by Maney on behalf of the Institute, 2004.
3. Erna Hastuti dan Suasmoro. *Pengaruh Pendopongan Y_2O_3 terhadap Struktur dan Relaksasi Dipole $Ba_{0.95}Sr_{0.05}TiO_3$* . Jurusan Fisika FMIPA – ITS Kampus ITS Keputih, Sukolilo, Surabaya 6011, 2006.
4. Erna Hastuti. *Analisis Sifat dan Jenis Cacat Kristal pada Bahan Dielektrik $Ba_{0.95}Sr_{0.05}TiO_3$ dengan Doping Y_2O_3* . Jurnal Neutrino. No. 2, 2011.
5. Aam Hamdani, dkk. *Konduktivitas Listrik Film Tipis Feroelektrik $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ didadah Galium (BGST)*. Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FPTK UPI.
6. T. Sumardi, dkk., *Pembuatan dan Karakterisasi $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ Doping Ga_2O_3 (BGST)*. Jurnal Sains Materi Indonesia. Edisi Khusus Oktober 2006, hal : 225 – 231.
7. Zhou Xiaoyuan. *Dielectric Properties of Barium Strontium Titanate (BST) and Phase Shifter Based on BST Thin Films*. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of The Requirements for The Degree of Doctor of Philosophy. The Hong Kong University, 2007.
8. M. M. Vijatović, J. D. Bobić, B. D. Stojanović. *History and Challenges of Barium Titanate: Part II*. Belgrade, Serbia: Institute for Multidisciplinary Research, Kneza Višeslava 1.
9. Yuh-Yih Lu, Tseung-Yuen Tseng. *Electrical Characteristics Of (Pb,Sr) TiO_3 , Positive Temperature Coefficient Ceramics*. Departement of Electronics Engineering and Institute of Electronics, National University Chiao-Tung University, Hsinchu, Taiwan, 1997.
10. Hsiao-Lin, Wang. *Structure and Dielectric Properties of Perovskite –Barium Titanate ($BaTiO_3$)*. San Jose State University, 2002.

11. C.A.Randall, R.E.Newnham, L.E.Cross. *History of the First Ferroelectric Oxide, BaTiO₃*. Materials Research Institute, The Pennsylvania State University, University Park, PA 16802 USA.
12. Kirk-Othmer. *Encyclopedia of Chemical Technology. Ferroelectrics*. Vol-11.
13. Ahmad Safari, Rajesh K.Panda, Victor F. Jannes. *Ferroelectric Ceramics: Processing, Properties and Applications*. Rutgers University. Piscataway NJ 08855, USA, 2004. <http://www.rci.rutgers.edu>.
14. Sudaryatno S, Ning Utari, *Mengenal Sifat-Sifat Material (1)*. Darpublic: Bandung. msm-1010, 2010.
15. <http://en.wikipedia.org/wiki/Dielectric>.
16. Rositawati, Dwi Nugraheni. *Pengaruh Temperatur dan Waktu Sintering dan Annealing Terhadap Spektroskopi Impedansi Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃*. Tesis. Departemen Fisika, Universitas Indonesia: Jakarta, 2008.
17. J.R. Macdonald. *Impedance Spectroscopy*. John Wiley & Sons, inc. Hoboken: New Jersey, 2005.
18. <http://www.gamry.com>.
19. Basic of EIS Princeton. Princeton Applied Research.
20. Prabakar, Narayandass. *Impedance and Electric Modulus Analysis of Cd_{0,6}Zn_{0,4}Te Thin Film*. Cryst. Rest.Technol, 2002.
21. K. Srinivas, P. Sarah, S.V. Suryanarayana. *Impedance Spectroscopy Study Polycrystalline Bi₆Fe₂Ti₃O₁₈*. India: Departement of Physics, CVR college of Engineering, Mangalpali, RR (Dist.) 501 510, 2003.

Lampiran 1: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO T-KAMAR A

5/17/2012, 11:24:54 AM

...\par\Auto T-kamar A 20mar12 rev, R(CR).par

1 = detect the sign of Zim

1 = modulus weighting factor

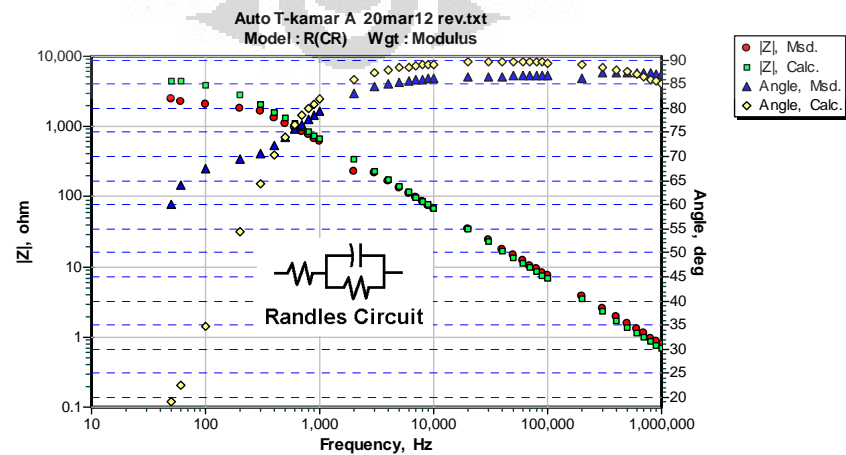
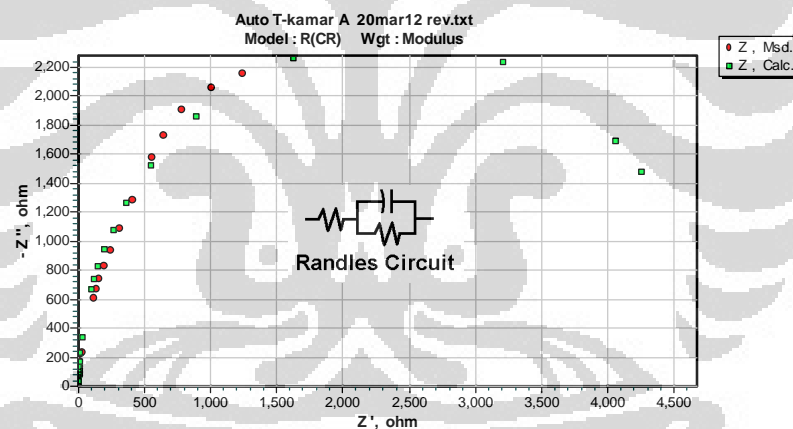
1.000 = sample area in square cm

R(CR)

5.709e-02 = chi squared

index fixed symbol start end % error

index	fixed	symbol	start	end	% error
1	0	R	0.05941	0.05941	140.4
2	0	C	2.321E-7	2.321E-7	4.002
3	0	R	4764	4764	13.11



Lampiran 2: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO T-KAMAR B

5/14/2012, 7:55:18 AM

...\par\Auto T-kamar B 20mar2012rev, R(CR).par

1 = detect the sign of Zim

1 = modulus weighting factor

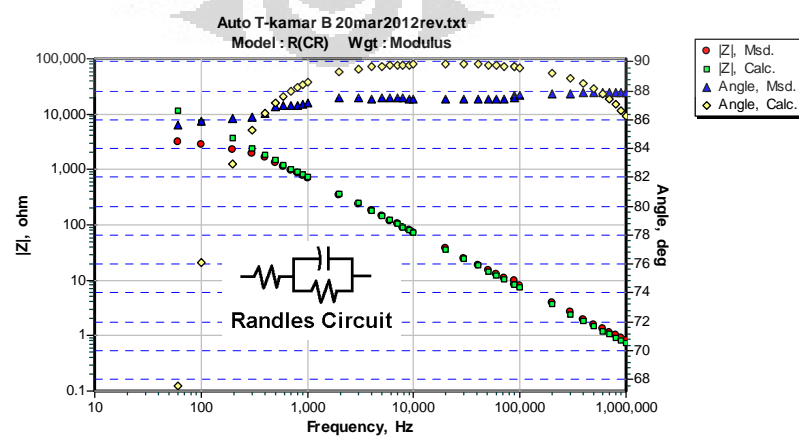
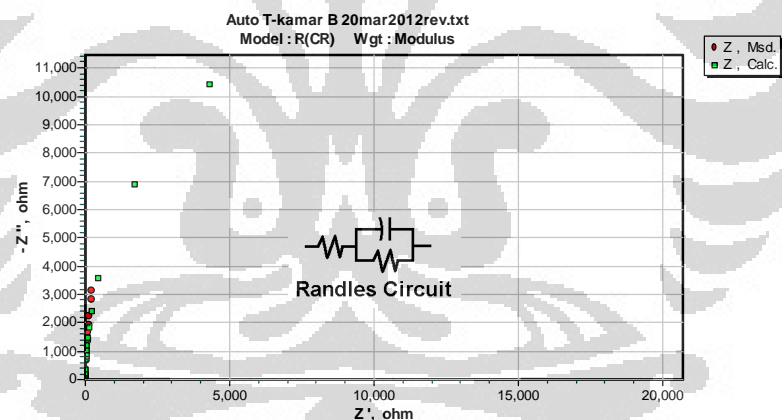
1.000 = sample area in square cm

R(CR)

3.874e-02 = chi squared

index fixed symbol start end % error

index	fixed	symbol	start	end	% error
1	0	R	0.04748	0.04746	154.3
2	0	C	2.175E-7	2.174E-7	3.203
3	0	R	29.54	2.955E4	40.41



Lampiran 3: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO T-KAMAR C

5/17/2012, 4:21:29 PM

...\par\Auto T-kamar C 20mar12, R(CR).par

1 = detect the sign of Zim

1 = modulus weighting factor

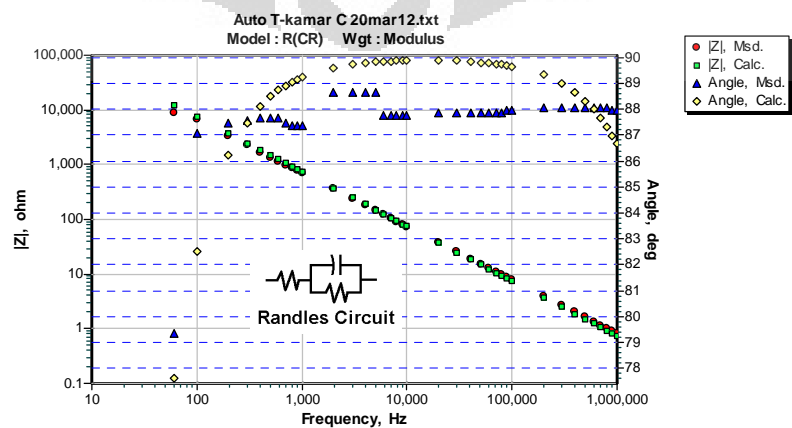
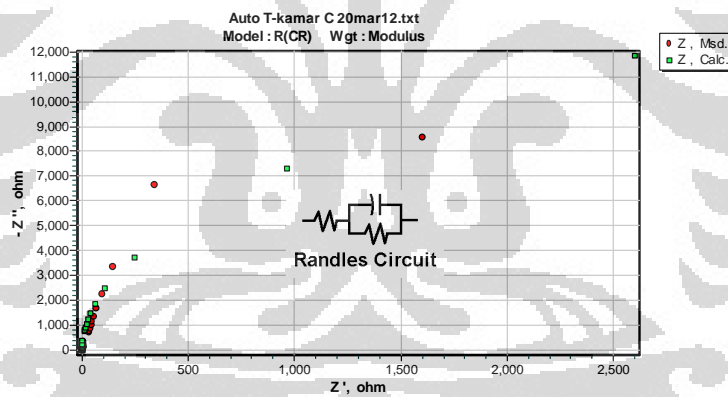
1.000 = sample area in square cm

R(CR)

7.718e-03 = chi squared

index fixed symbol start end % error

index	fixed	symbol	start	end	% error
1	0	R	0.04353	0.04346	76.53
2	0	C	2.137E-9	2.137E-7	1.427
3	0	R	5.658E4	5.654E4	32.6



Lampiran 4: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO 100 A

5/17/2012, 11:35:20 AM

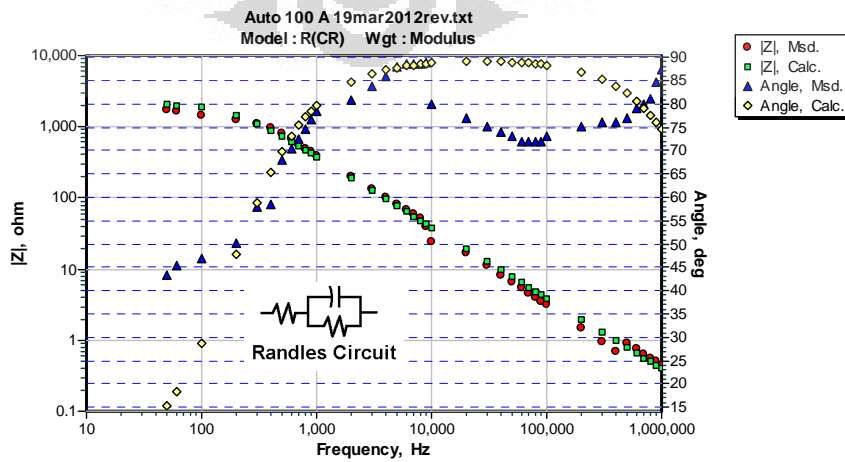
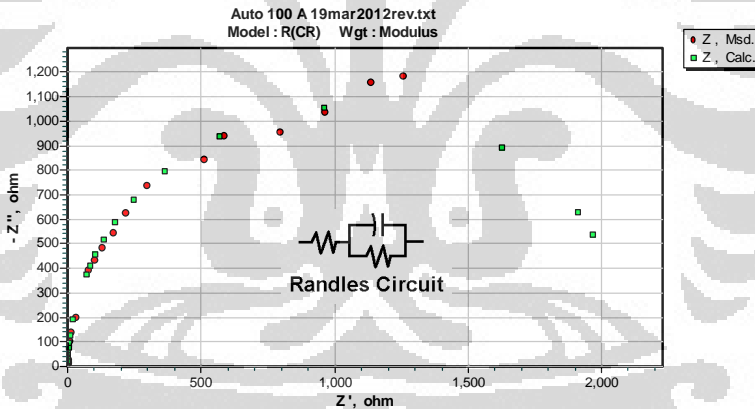
...\par\Auto 100 A 19mar2012rev, R(CR).par

1 = detect the sign of Zim
 1 = modulus weighting factor
 1.000 = sample area in square cm

R(CR)

5.997e-02 = chi squared

index	fixed	symbol	start	end	% error
1	0	R	10.53	0.1055	46.54
2	0	C	4.126E-7	4.125E-7	4.15
3	0	R	2118	2116	12.4



Lampiran 5: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO 100 B

5/17/2012, 12:21:51 PM

...\par\Auto 100 B 19mar12, R(CR).par

1 = detect the sign of Zim

1 = modulus weighting factor

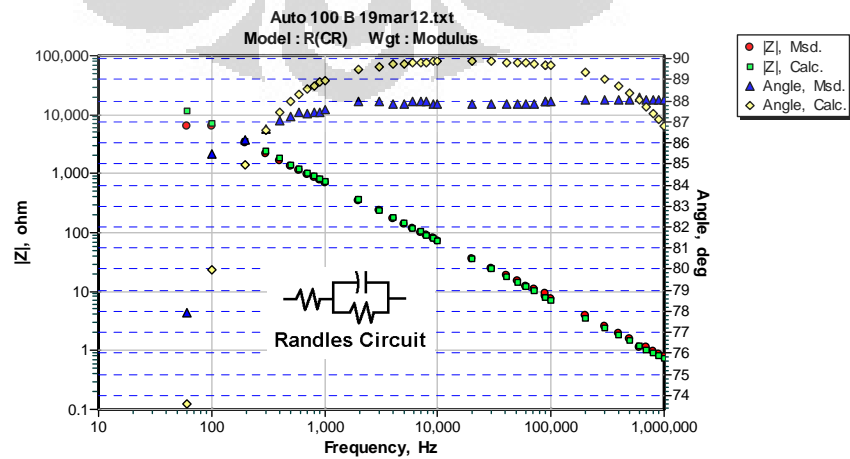
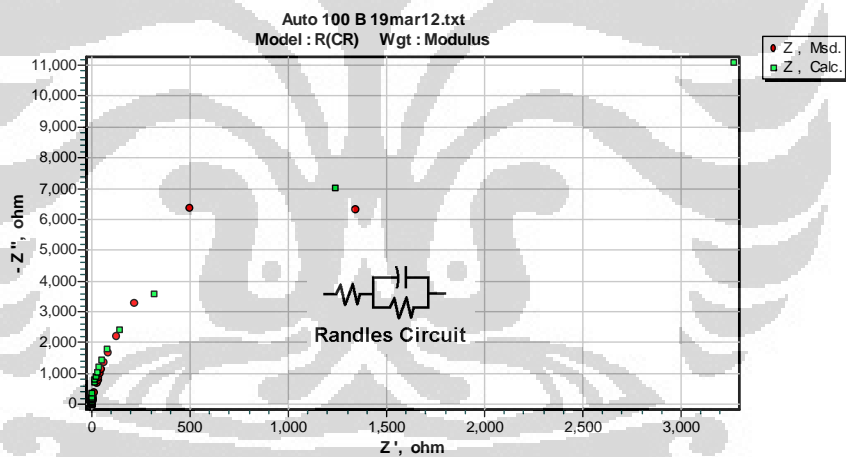
1.000 = sample area in square cm

R(CR)

1.144e-02 = chi squared

index	fixed	symbol	start	end	% error
-------	-------	--------	-------	-----	---------

1	0	R	40.76	0.04076	96.43
2	0	C	2.2E-7	2.2E-7	1.738
3	0	R	4.091E4	4.094E4	29.98



Lampiran 6: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO 100 C

5/17/2012, 4:26:15 PM

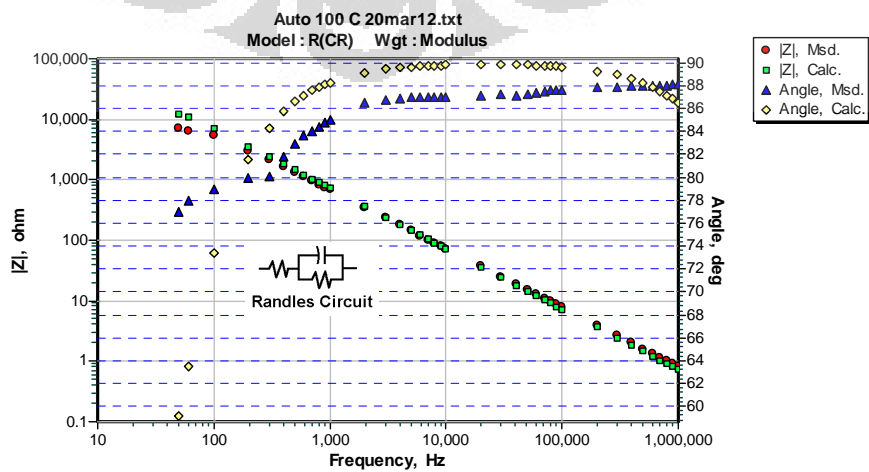
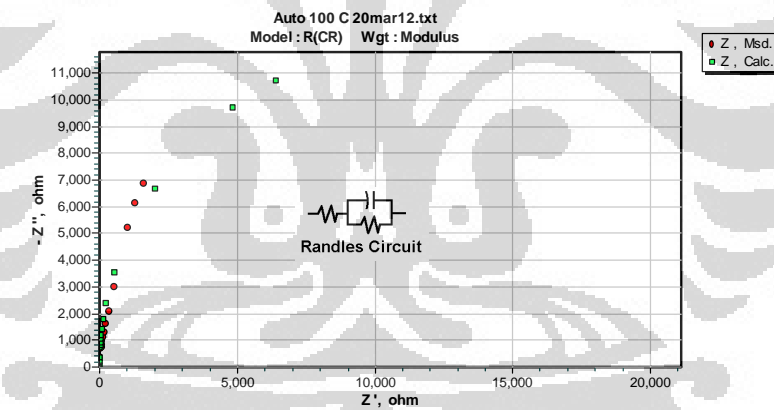
...\par\Auto 100 C 20mar12, R(CR).par

1 = detect the sign of Zim
 1 = modulus weighting factor
 1.000 = sample area in square cm

R(CR)

2.285e-02 = chi squared

index	fixed	symbol	start	end	% error
1	0	R	0.04466	0.04465	125.1
2	0	C	0.002189	2.189E-7	2.44
3	0	R	2.437E4	2.437E4	19.66



Lampiran 7: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO 400 A

FREKUENSI RELAKSASI (Hz)	Z_{re} (Ω)	Z_{im} (Ω)
1000	60.89	55.56

5/17/2012, 11:52:52 AM

...\par\Auto 400 A 20mar12, R(CR)(CR).par

1 = detect the sign of Zim

1 = modulus weighting factor

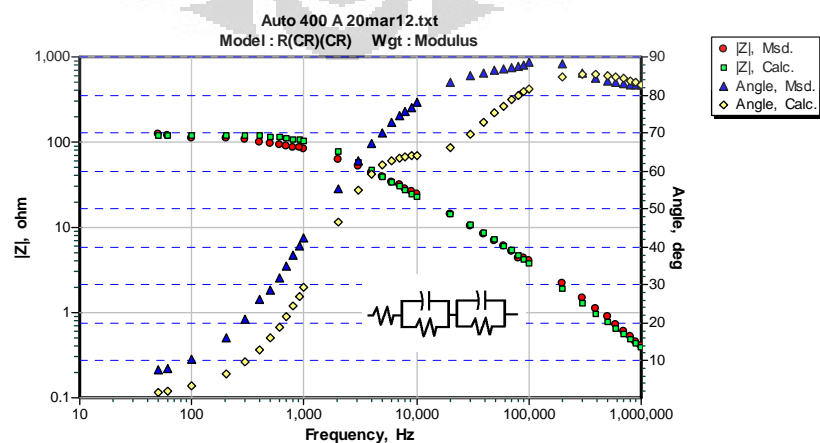
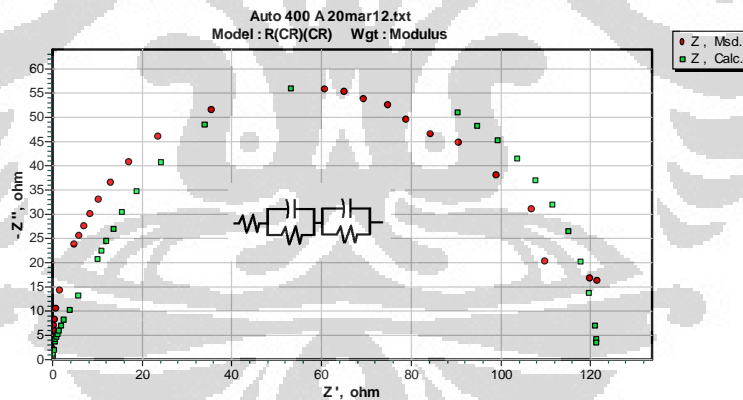
1.000 = sample area in square cm

R(CR)(CR)

4.538e-02 = chi squared

index fixed symbol start end % error

index	fixed	symbol	start	end	% error
1	0	R	0.04357	0.04357	98.15
2	0	C	8.668E-7	8.668E-7	11.97
3	0	R	113.1	113.1	6.812
4	0	C	7.711E-7	7.713E-7	13.64
5	0	R	0.008269	8.267	35.5



Lampiran 8: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO 400 B

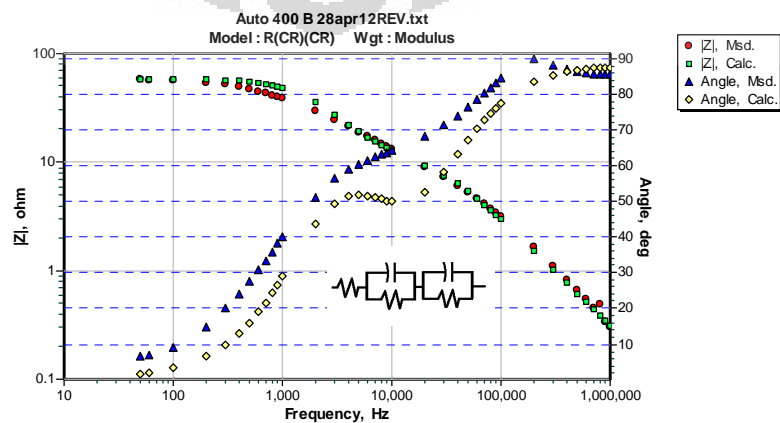
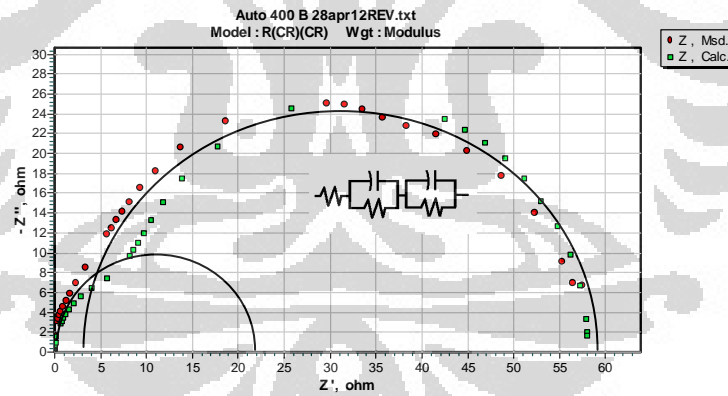
FREKUENSI RELAKSASI (Hz)	Z_{re} (Ω)	Z_{im} (Ω)
1000	29.69	25.07

5/17/2012, 3:37:34 PM

...\par\Auto 400 B 28apr12REV, R(CR)(CR).par

1 = detect the sign of Zim
 1 = modulus weighting factor
 1.000 = sample area in square cm
 R(CR)(CR)
 3.939e-02 = chi squared

index	fixed	symbol	start	end	% error
1	0	R	10	0.006973	447.9
2	0	C	2.131E-6	2.13E-6	12.11
3	0	R	50.15	50.15	6.961
4	0	C	6.84E-7	6.841E-7	7.298
5	0	R	7.919	7.916	16.32



Lampiran 9: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO 400 C

FREKUENSI RELAKSASI (Hz)	Z _{re} (Ω)	Z _{im} (Ω)
300	101.7	43.37

5/17/2012, 4:30:37 PM

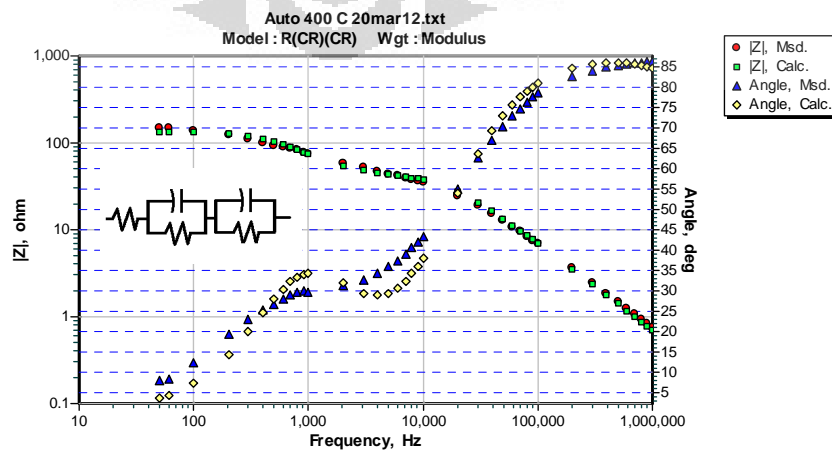
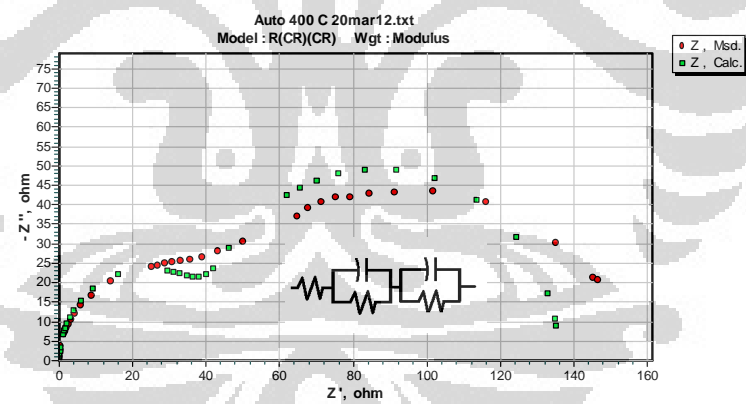
...\par\Auto 400 C 20mar12, R(CR)(CR).par

1 = detect the sign of Zim
 1 = modulus weighting factor
 1.000 = sample area in square cm

R(CR)(CR)

8.487e-03 = chi squared

index	fixed	symbol	start	end	% error
1	0	R	0.05297	0.05285	62.53
2	0	C	2.443E-7	2.443E-7	2.379
3	0	R	40.3	40.31	4.154
4	0	C	3.09E-6	3.09E-6	7.587
5	0	R	95.6	95.6	4.99



Lampiran 10: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO T-KAMAR B1

5/17/2012, 4:46:22 PM

...\par\Auto T-kamar 1kHz A1 25mar12, R(CR).par

1 = detect the sign of Zim

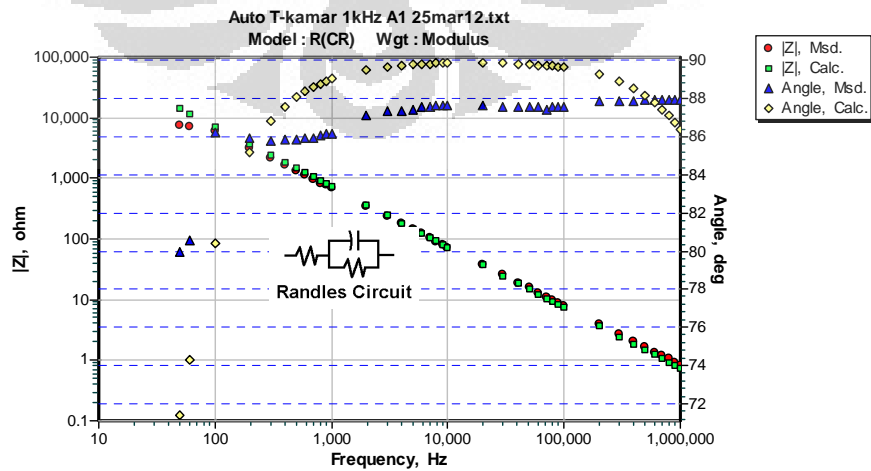
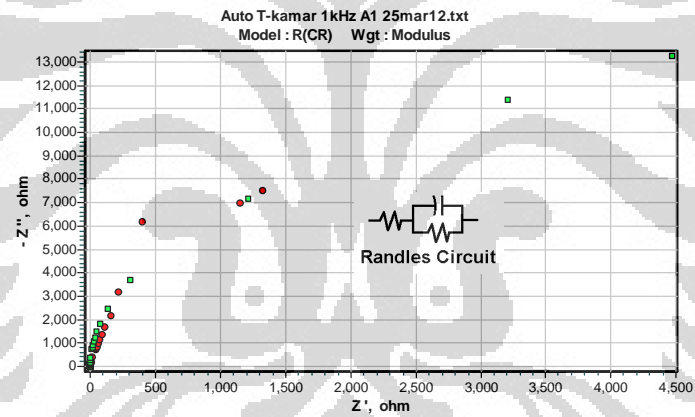
1 = modulus weighting factor

1.000 = sample area in square cm

R(CR)

1.990e-02 = chi squared

index	fixed	symbol	start	end	% error
1	0	R	0.004706	0.04694	112.8
2	0	C	2.155E-7	2.155E-7	2.266
3	0	R	4.387E4	4.387E4	30.2



Lampiran 11: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO T-KAMAR B2

5/17/2012, 8:26:47 PM

...\par\Auto T-kamar A2 26mar12, R(CR).par

1 = detect the sign of Zim

1 = modulus weighting factor

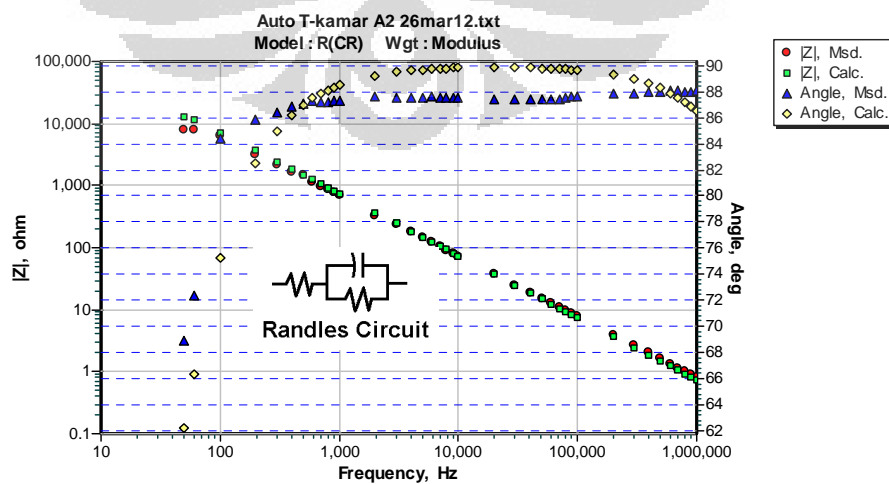
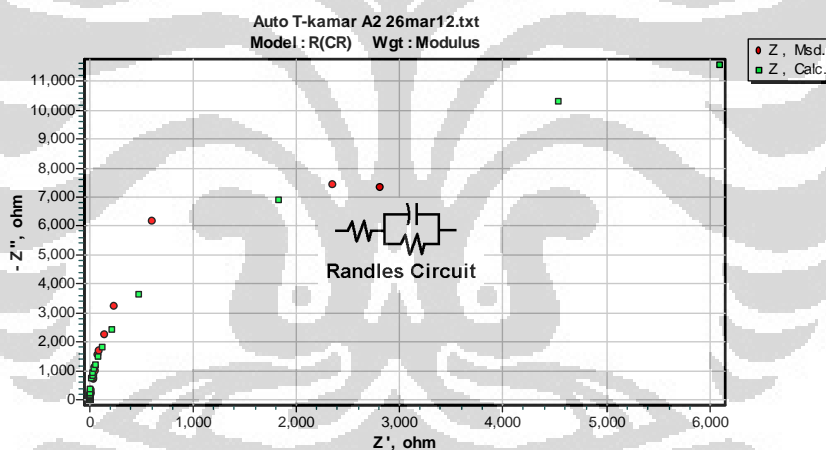
1.000 = sample area in square cm

R(CR)

1.486e-02 = chi squared

index	fixed	symbol	start	end	% error
-------	-------	--------	-------	-----	---------

1	0	R	4520	0.04511	101.6
2	0	C	2.152E-7	2.152E-7	1.965
3	0	R	2.808E4	2.808E4	17.57



Lampiran 12: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO T-KAMAR B3

5/17/2012, 5:19:44 PM

...\par\Auto T-kamar A3 21apr12, R(CR).par

1 = detect the sign of Zim

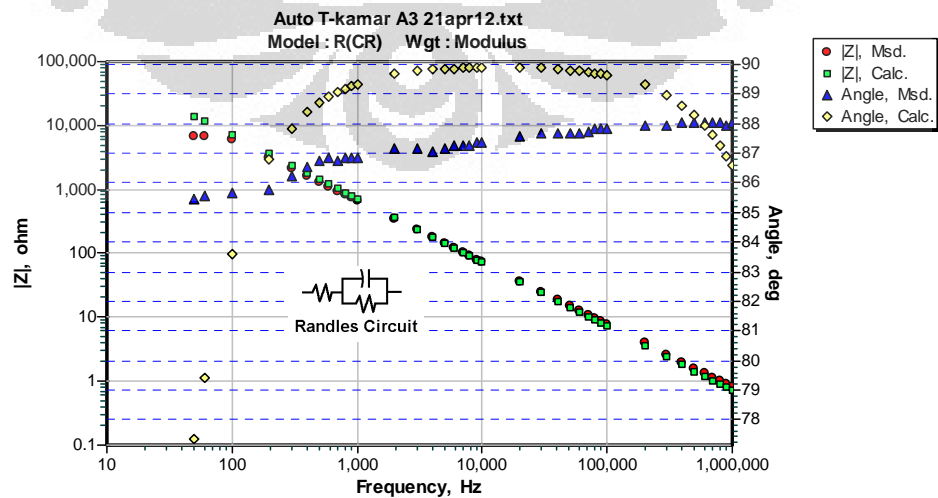
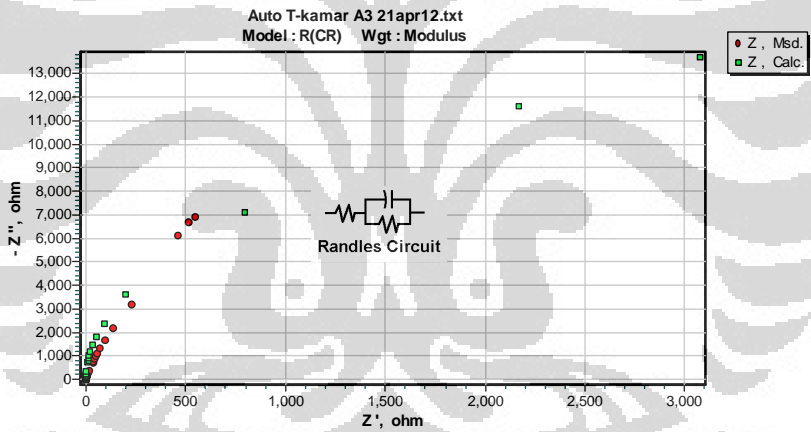
1 = modulus weighting factor

1.000 = sample area in square cm

R(CR)

2.038e-02 = chi squared

index	fixed	symbol	start	end	% error
1	0	R	0.4289	0.04301	121.4
2	0	C	2.212E-7	2.212E-7	2.29
3	0	R	6.398E4	6.408E4	44.86



Lampiran 13: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO 100 B1

5/17/2012, 4:52:07 PM

...\par\Auto 100 A1 24mar12, R(CR).par

1 = detect the sign of Zim

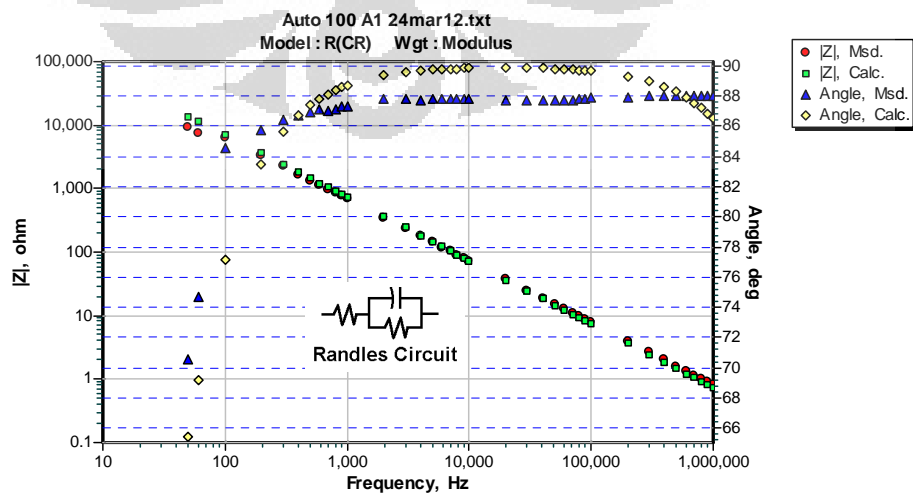
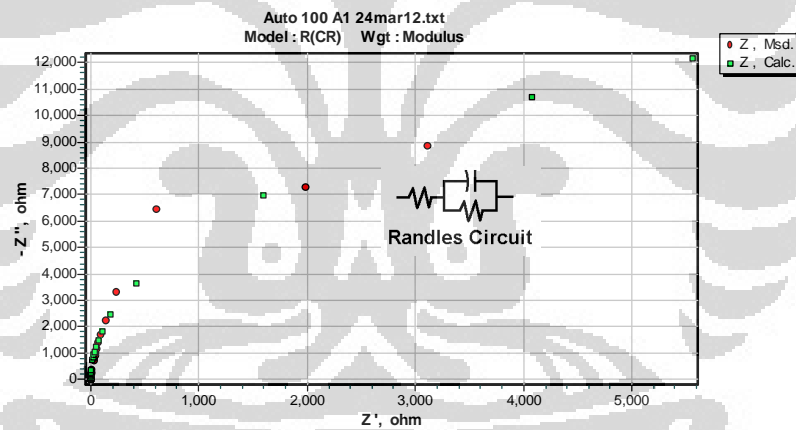
1 = modulus weighting factor

1.000 = sample area in square cm

R(CR)

1.186e-02 = chi squared

index	fixed	symbol	start	end	% error
1	0	R	0.04494	0.04505	90.42
2	0	C	2.164E-7	2.164E-7	1.753
3	0	R	3.221E7	3.22E4	17.73



Lampiran 14: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO 100 B2

5/17/2012, 5:13:22 PM

...\par\Auto 100 A2 25mar12rev, R(CR).par

1 = detect the sign of Zim

1 = modulus weighting factor

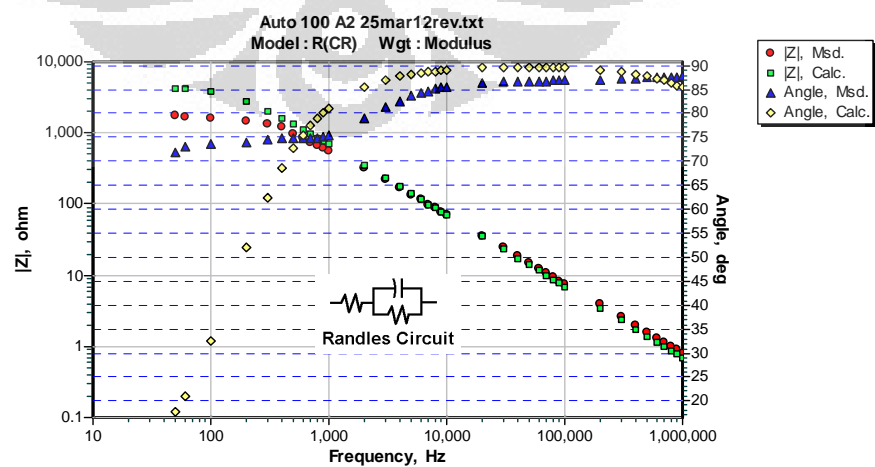
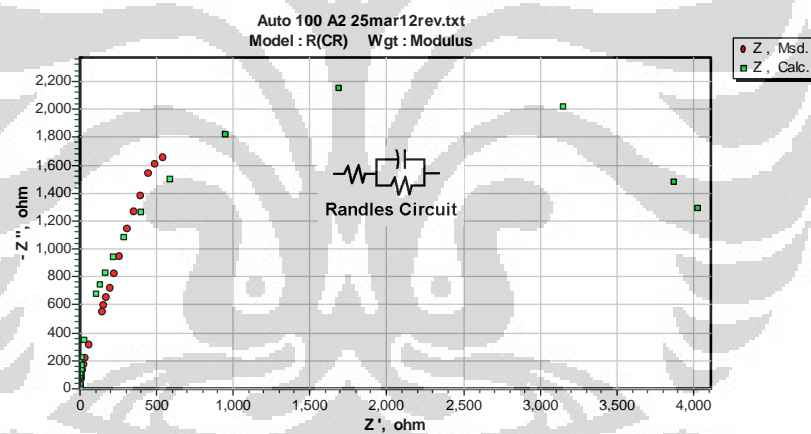
1.000 = sample area in square cm

R(CR)

8.715e-02 = chi squared

index	fixed	symbol	start	end	% error
-------	-------	--------	-------	-----	---------

1	0	R	55.22	0.0554	188.3
2	0	C	2.292E-7	2.292E-7	4.958
3	0	R	4434	4444	15.74



Lampiran 15: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO 100 B3

5/17/2012, 5:23:21 PM

...\par\Auto 100 A3 26mar12, R(CR).par

1 = detect the sign of Zim

1 = modulus weighting factor

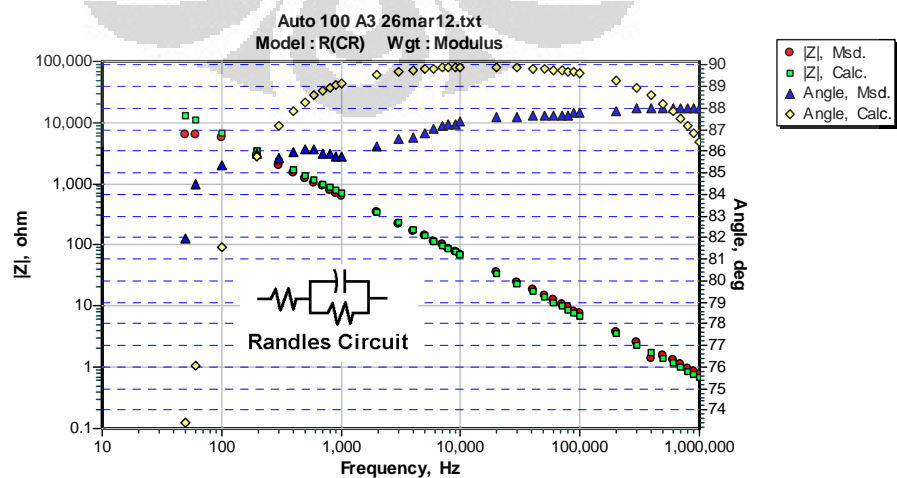
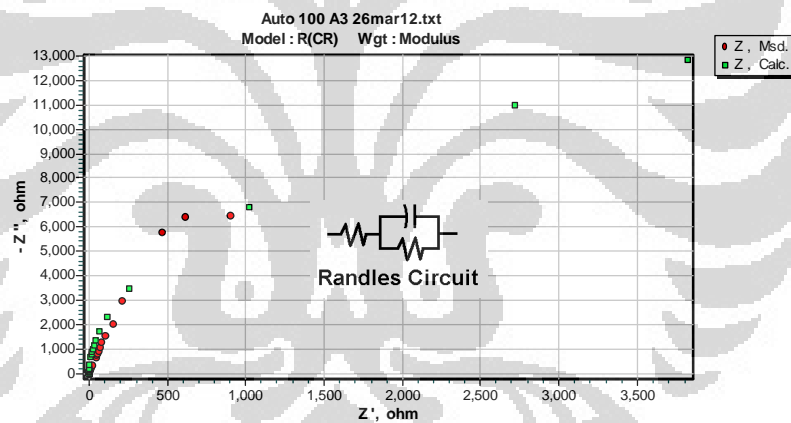
1.000 = sample area in square cm

R(CR)

2.386e-02 = chi squared

index	fixed	symbol	start	end	% error
-------	-------	--------	-------	-----	---------

1	0	R	4331	0.04325	126.8
2	0	C	2.279E-7	2.279E-7	2.48
3	0	R	4.688E4	4.688E4	37.07



Lampiran 16: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO 400 B1

FREKUENSI RELAKSASI (Hz)	Z_{re} (Ω)	Z_{im} (Ω)
400	138.8	90.1

5/17/2012, 4:57:41 PM

...\par\Auto 400 A1 24mar12, R(CR)(CR).par

1 = detect the sign of Zim

1 = modulus weighting factor

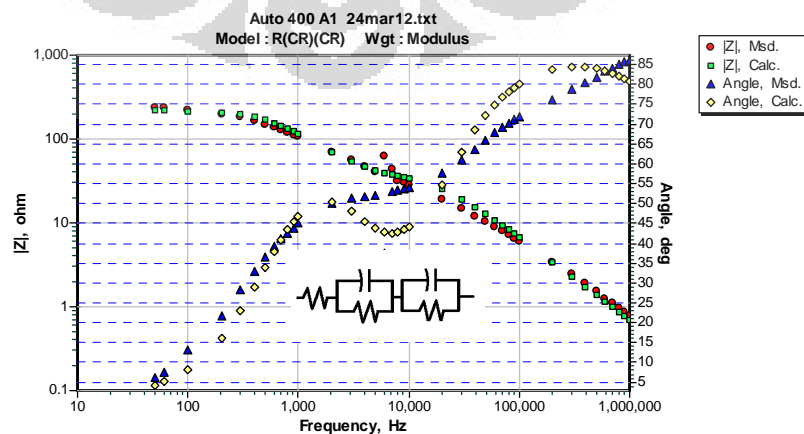
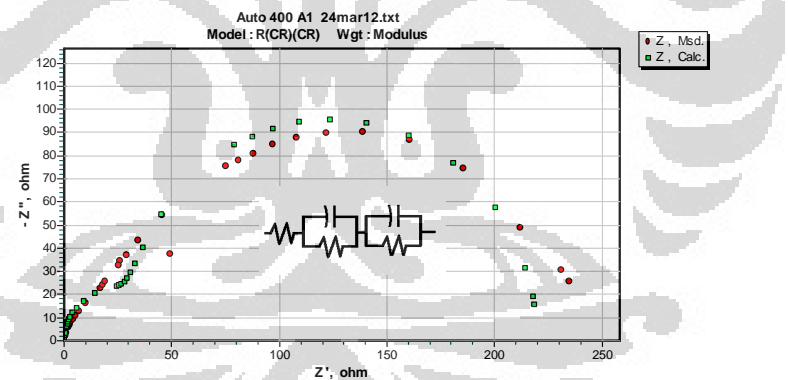
1.000 = sample area in square cm

R(CR)(CR)

3.732e-02 = chi squared

index fixed symbol start end % error

index	fixed	symbol	start	end	% error
1	0	R	0.1002	0.1002	67.74
2	0	C	1.421E-6	1.421E-6	10.31
3	0	R	189.5	189.4	8.06
4	0	C	2.785E-7	2.786E-7	5.76
5	0	R	30.04	30.04	10.97



Lampiran 17: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO 400 B2 REVISI

FREKUENSI RELAKSASI (Hz)	Z_{re} (Ω)	Z_{im} (Ω)
400	166.1	109.8

5/17/2012, 5:06:59 PM

...\par\Auto 400 A2 23apr12, R(CR)(CR).par

1 = detect the sign of Zim

1 = modulus weighting factor

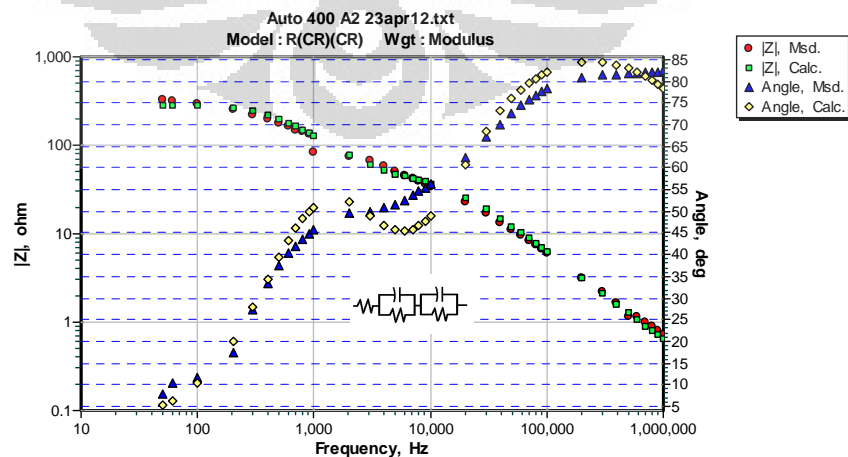
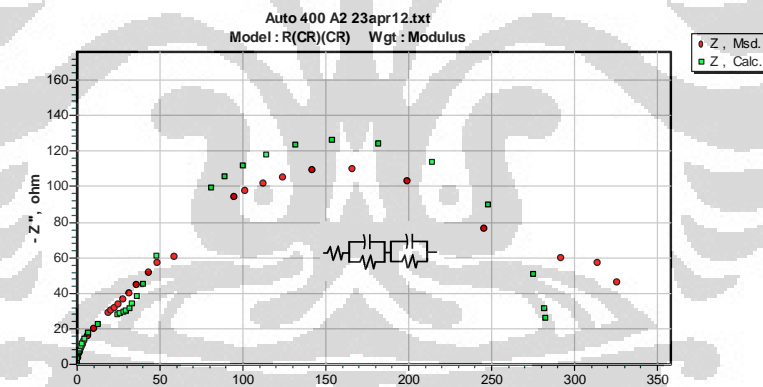
1.000 = sample area in square cm

R(CR)(CR)

1.717e-02 = chi squared

index fixed symbol start end % error

index	fixed	symbol	start	end	% error
1	0	R	0.1219	0.1218	35.03
2	0	C	3.114E-7	3.113E-7	3.981
3	0	R	3451	34.51	8.003
4	0	C	1.332E-6	1.332E-6	6.721
5	0	R	250.9	250.9	5.684



Lampiran 18: Data Hasil *Fitting* dengan Program ZSimpWin

AUTO 400 B3

FREKUENSI RELAKSASI (Hz)	Zre (Ω)	Zim (Ω)
400	562.1	521.9

5/17/2012, 5:27:52 PM

...\par\Auto 400A3 26mar12, R(CR)(CR).par

1 = detect the sign of Zim

1 = modulus weighting factor

1.000 = sample area in square cm

R(CR)(CR)

3.243e-03 = chi squared

index fixed symbol start end % error

index	fixed	symbol	start	end	% error
1	0	R	0.06963	0.06968	28.57
2	0	C	8.696E-7	8.696E-7	6.882
3	0	R	9.456	9.455	18.17
4	0	C	3.196E-7	3.195E-7	1.865
5	0	R	1046	1046	2.167

