



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

SINTESIS DAN KARAKTERISASI BAHAN PIEZOELEKTRIK RAMAH LINGKUNGAN $\text{BiOjN}^{\wedge}\text{TiOjftiTiO}$, DENGAN MENGUNAKAN METODE SOL GEL DAN SOLID STATE REACTION

SKRIPSI



**SILVIA
0810412031**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG 2012**

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.
Maka apabila kamu telah selesai dari suatu urusan, kerjakanlah
dengan sungguh-sungguh urusan yang lain. Dan hanya kepada
Tuhanmulah hendaknya kamu berharap
-QS. 94 : 6 - 8-

Apabila Anda kagum pada puji-pujian orang terhadap diri Anda,
Maka perhatikanlah semua keburukan Anda yang tidak tampak oleh
mereka, dan hendaklah kesadaran Anda akan kelemahan diri Anda
sendiri lebih kuat daripada pujian orang.
-Mutiarah hikmah Ali bin Abi Thalib r.a-

Jenius adalah satu persen dari inspirasi dan sembilan puluh sembilan
persen keringat
-Thomas Alfa Edison-

Kupersembahkan karyaku ini untuk :
Ibunda Syahriah
Mama, Mama, Mama
Terima kasih atas perjuangan, pengorbanan, dukungan dan kasih
sayang yang tiada henti
You are the best mother all over the world

Ayahanda Dufi Rahim
Papa
Terima kasih

Uda Sandy Novianto, Uni Siskha Susanti, dan Uni Serry Nolidia
Terima kasih atas bantuan dan dukungan serta do'a yang tulus

Seseorang dihatiku
Zony Febriyento

Terimakasih atas cinta & kasih sayang serta kesabaran & perhatian
Imam-i aku

Sahabat-sahabat seperjuangan demi 'S.Si'
Chyntia Zareva, Sestry Misfadhila, Nila Sari, Elga Lusiana, Rahma
Jabaik, Dwi Kemala, Ranti Yulia Kasih dan pejuang lainnya.
Sukses selalu untuk kalian

ABSTRAK

SINTESIS DAN KARAKTERISASI BAHAN PIEZOELEKTRIK RAMAH LINGKUNGAN $\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{TiO}_3\text{-BaTiO}_3$ DENGAN MENGGUNAKAN METODE SOL GEL DAN *SOLID STATE REACTION*

Oleh

Silvia

Sarjana Sain (Ssi) dalam bidang Kimia Fakultas MIPA Universitas Andalas

Dibimbing oleh Dr. Yetria Rilda dan Dr. Ir. Mardiyanto, M.Sc

Telah dilakukan sintesis material piezoelektrik $\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{TiO}_3\text{-BaTiO}_3$ (BNT-BT) dengan metode *solid state reaction* dengan bahan dasar BNT dan BT yang disintesis dengan metoda sol-gel. Produk hasil sintesis selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan XRD untuk mengidentifikasi fasa dan struktur kristal. Sedangkan morfologi permukaan dan komposisi dianalisis dengan SEM –EDX. Pada sintesis BNT, dilakukan pengaturan kondisi proses diantaranya memvariasikan temperatur sintering yaitu 400, 500, 600, 700 dan 800°C. Dari hasil pola XRD, menunjukkan temperatur optimum sintesis BNT adalah pada temperatur sintering suhu 800°C selama 4 jam. Untuk sintesis BT dengan metode sol-gel dilakukan variasi temperatur sintering 600, 800 dan 1000°C serta temperatur sintering 1000°C yang disertai pemberian tekanan 3500 Psi. Dari hasil pola XRD, menunjukkan temperatur optimum sintesis BT adalah pada temperatur sintering suhu 1000°C selama 4 jam. Selanjutnya, pada sintesis BNT-BT dengan metode *solid state reaction* juga dilakukan variasi perbandingan komposisi BNT:BT yaitu 93:7 dan 75:25. Dari analisa pola difraksi XRD, kedua perbandingan komposisi tersebut memperlihatkan struktur yang berbeda. Komposisi 93:7 memperlihatkan struktur rombohedral sedangkan komposisi 75:25 memperlihatkan struktur tetragonal.

Kata kunci : Piezoelektrik, sintesis, karakterisasi, sol-gel, *solid state reaction*.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin. Segala puji dan syukur ke hadirat Allah SWT, Sang Pencipta yang Maha Pengasih dan Pemurah kepada umat-Nya, yang telah melimpahkan penulis rahmat dan karuniaNya atas kekuatan, kesempatan, ilmu pengetahuan dan kesehatan untuk menyelesaikan skripsi sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sain pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas yang berjudul: **Sintesis dan Karakterisasi Bahan Piezoelektrik Ramah Lingkungan $\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{TiO}_3\text{-BaTiO}_3$ dengan Menggunakan Metode Sol Gel dan *Solid State Reaction***. Penelitian ini merupakan bagian dari RT-2012-066 Program Intensif Ristek.

Dalam penulisan skripsi ini penulis tidak lepas dari do'a, dukungan dan bimbingan baik moril maupun materil dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Yetria Rilda dan Bapak Dr. Mardiyanto, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak dukungan dan bimbingan hingga selesainya skripsi ini.
2. Seluruh pegawai dan staf PTBIN BATAN Serpong yang telah banyak membantu dan mengarahkan ketika penulis melakukan penelitian.
3. Seluruh dosen dan staf pengajar Jurusan Kimia FMIPA UNAND yang telah mendidik dan memberikan ilmunya hingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.
4. Bapak dan Ibu pegawai Tata Usaha/Sekretariat/Pustaka Jurusan Kimia FMIPA Universitas Andalas.
5. Kepada teman-teman mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Universitas Andalas atas dukungan dan bantuan selama penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan agar dapat sesuai dengan harapan dan bermanfaat.

Padang, Juli 2012

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN

HALAMAN PERSEMBAHAN

ABSTRAK

ABSTRACT

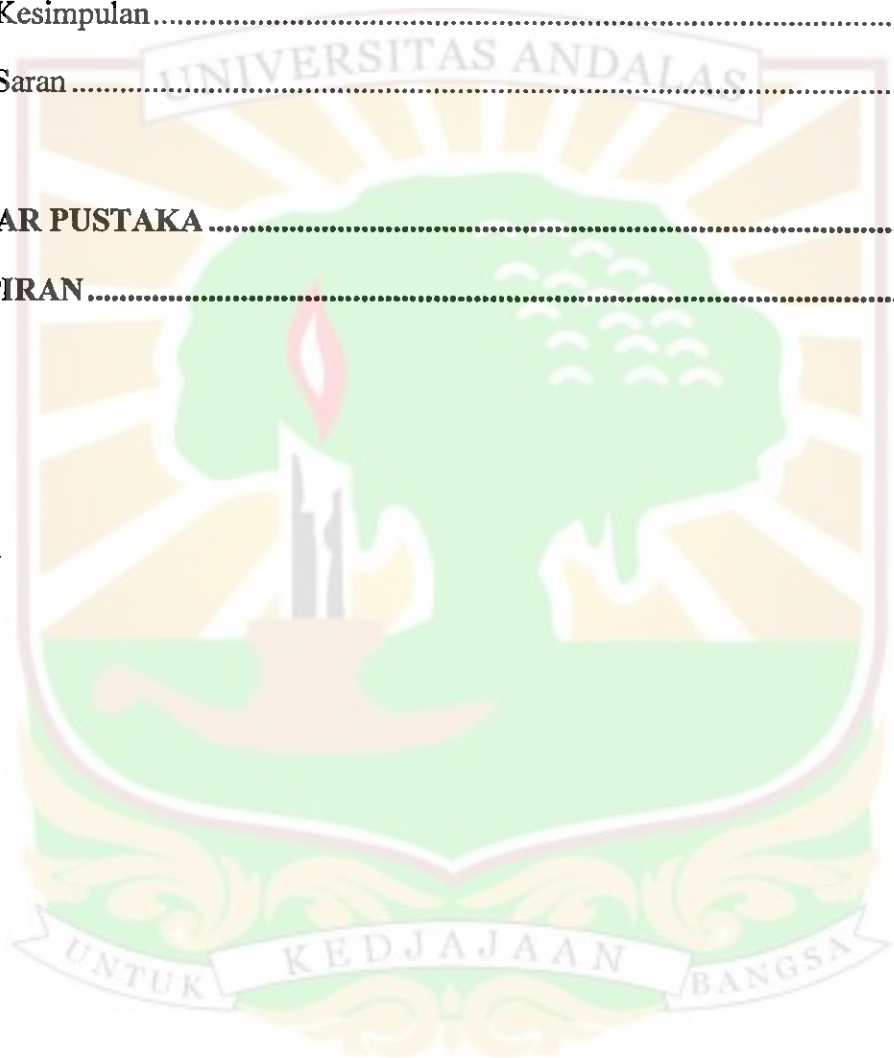
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii

I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3

II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Material Piezoelektrik.....	4
2.2 Struktur Kristal	5
2.3 Struktur Kristal Perovskite	6
2.4 <i>Morphotropic Phase Boundary</i> (MPB)	7
2.5 Metoda Sol Gel.....	7
2.6 Metoda <i>Solid State Reaction</i>	9
2.7 Bismuth Natrium Titanat (BNT)	10

2.8 Barium Titanat (BT)	10
2.9 Bismuth Natrium Titanat – Barium Titanat.....	11
2.10 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	11
2.11 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	13
III. METODE PENELITIAN.....	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.2.1 Alat	15
3.2.2 Bahan.....	15
3.3 Tahapan Penelitian	15
3.3.1 Sintesis $\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{TiO}_3$ (BNT) dengan Metode Sol Gel	15
3.3.2 Sintesis BaTiO_3 (BT) dengan Metode Sol Gel.....	16
3.3.3 Sintesis $\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{TiO}_3$ - BaTiO_3 (BT-BT) dengan Metode <i>Solid State Reactions</i>	17
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	18
4.1 Identifikasi Kemurnian Bahan Dasar	18
4.2 Bismuth Natrium Titanat (BNT).....	20
4.2.1 Sintesis BNT dengan Menggunakan Metoda Sol Gel	20
4.2.2 Identifikasi BNT menggunakan XRD.....	21
4.2.3 Analisis Morfologi BNT dengan SEM-EDS	24
4.3 Barium Titanat (BT).....	25
4.3.1 Sintesis BT dengan Metoda Sol-Gel	25
4.3.2 Analisis Pola Difraksi Sintesis Barium Titanat.....	26
4.4 Sintesis Bismut Natrium Titanat-Barium Titanat (BNT-BT) dengan	

Metode <i>Solid State Reaction</i>	27
4.4.1 Analisis Pola Difraksi Sintesis BNT-BT	28
4.4.2 Analisis Morfologi BNT-BT dengan SEM-EDS	29
V. KESIMPULAN DAN SARAN	31
5.1 Kesimpulan.....	31
5.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN	34



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perbandingan tiga puncak tertinggi Bi_2O_3 hasil eksperimen dengan tabel JCPDS	19
Tabel 2. Perbandingan tiga puncak tertinggi Na_2CO_3 hasil eksperimen dengan tabel JCPDS	19
Tabel 3. Perbandingan tiga puncak tertinggi BaCO_3 hasil eksperimen dengan tabel JCPDS	20
Tabel 4. Nilai 2θ dari intensitas-intensitas tertinggi pada pola XRD BNT hasil sintesis dan BNT JCPDS.....	22
Tabel 5. Nilai FWHM dari BNT yang disintesis dengan Metode Sol-Gel.....	23
Tabel 6. Ukuran partikel BNT dengan variasi suhu sintering	24
Tabel 7. Persentase atom-atom yang terkandung dalam produk BNT	25
Tabel 8. Perbandingan nilai 2θ BT 1000°C dan 2θ data JCPDS	27
Tabel 7. Persentase atom-atom yang terkandung dalam produk BNT-BT.....	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Efek Piezoelektrik	4
Gambar 2. Unit Sel Satuan	6
Gambar 3. Struktur kristal perovskite dari kristal PZT	7
Gambar 4. Diagram Fasa komposisi BNT-BT	7
Gambar 5. Proses dari metode Sol Gel.....	9
Gambar 6. Struktur BNT	10
Gambar 7. Struktur BT	11
Gambar 8. Difraksi Sinar X oleh bidang kristal	13
Gambar 9. Skema SEM	14
Gambar 10. Pola difraksi XRD bahan dasar.....	18
Gambar 11. Pola difraksi sinar-X BNT	22
Gambar 12. Nilai FWHM BNT	23
Gambar 13. Mikrograf SEM dari BNT dengan perbesaran 1500x untuk suhu : (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C	24
Gambar 14. Pola difraksi sinar-X BT	26
Gambar 15. Pola difraksi sinar-X BNT-BT dengan Metoda <i>Solid State</i>	28
Gambar 16. Splitting pada puncak (110) dan (200)	28
Gambar 17. Analisa Morfologi BN-BT dengan SEM-EDX	29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan stoikiometri dari komposisi bahan dasar	34
Lampiran 2. Skema kerja tahapan sintesis BNT dengan metode sol gel.....	36
Lampiran 3. Skema kerja tahapan sintesis BT dengan metode sol gel	37
Lampiran 4. Skema kerja tahapan sintesis BNT-BT dengan metode <i>solid state reaction</i>	38
Lampiran 5. Perbandingan pola difraksi bahan dasar secara eksperimen dan JCPDS	39
Lampiran 6. Perbandingan pola difraksi BT secara eksperimen dan JCPDS ..	41
Lampiran 7. Gambar alat dan beberapa tahapan dalam proses sintesis.....	42
Lampiran 8. Perhitungan FWHM puncak tertinggi.....	44
Lampiran 9. Hasil SEM-EDS BNT	45
Lampiran 10. Hasil SEM-EDS BNT-BT.....	47

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Piezoelektrik berasal bahasa Latin, *piezein* yang berarti diperas atau ditekan dan *piezo* yang bermakna didorong. Bahan piezoelektrik ditemukan pertama kali pada tahun 1880-an oleh Jacques dan Pierre Curie. Efek piezoelektrik terjadi jika medan listrik terbentuk ketika material dikenai tekanan mekanik. Bahan piezoelektrik bersifat reversibel, dimana terdapat efek piezoelektrik langsung (*direct piezoelectric effect*) yaitu produksi potensial listrik akibat adanya tekanan mekanik dan efek piezoelektrik balikan (*converse piezoelectric effect*) yaitu produksi tekanan akibat pemberian tegangan listrik yang menghasilkan perubahan dimensi.^[1] Contoh bahan piezoelektrik dapat dibagi menjadi dua, yaitu bahan piezoelektrik alami dan buatan. Bahan piezoelektrik alami diantaranya: kuarsa (SiO_2), berlinite, turmalin dan garam rossel. Bahan piezoelektrik buatan diantaranya barium titanat (BaTiO_3), timbal zirkonium titanat ($\text{Pb}_{0,5}\text{Zr}_{0,5}\text{TiO}_3$), timbal titanat (PbTiO_3), dsb.^[2]

Dewasa ini, bahan piezoelektrik diaplikasikan dalam jangkauan yang cukup luas antara lain pada inkjet printer, accelerometer, kontrol getaran pada telepon genggam dengan layar sentuh dan penghasil tenaga listrik alternatif yang dapat digunakan pada sistem mutakhir seperti pada pesawat penerima GPS (*Global Positioning System*), dan alat elektronik lainnya.^[3] Dengan demikian luasnya aplikasi yang bisa dikembangkan dengan bahan piezoelektrik ini, maka bahan piezoelektrik menjadi sangat menarik untuk dikembangkan dan diteliti lebih lanjut.

Material yang memperlihatkan efek piezoelektrik yang terbaik pada temperatur lingkungan dan tekanan atmosfer lingkungan adalah material yang mengandung atom Pb misalnya PZT (PbZrTiO_3). Namun demikian, limbah produk yang mengandung Pb menyebabkan masalah lingkungan yang sangat mengkhawatirkan. Timbal dapat menyebabkan pencemaran air, tanah dan udara yang secara langsung atau pun tidak langsung dapat membahayakan lingkungan alam dan manusia. Dengan demikian, para peneliti dunia secara intensif mencari alternatif sintesis bahan piezoelektrik yang bebas timbal dan ramah lingkungan.

Salah satu alternatif material bebas timbal yang ramah lingkungan dan telah dikembangkan untuk material piezoelektrik ini adalah Bismut Natrium Titanat (BNT ($\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{TiO}_3$)). BNT memiliki feroelektrisitas yang kuat pada temperatur kamar dimana besar konstanta piezoelektriknya adalah $d_{33} = 92 \text{ pC/N}$ dan suhu Curie hingga 320°C . Sedangkan untuk PZT, konstanta piezoelektriknya adalah $d_{33} = 120 \text{ pC/N}$ dan suhu curienya 450°C .^[4] Dari data ini, jika konstanta piezolektriknya dan suhu curienya besar maka aplikasinya sifat piezoelektriknya akan semakin baik. Dalam hal ini terbukti bahwa piezoelektrisitas dari BNT masih di bawah PZT. Untuk meningkatkan sifat piezoelektrik BNT, dapat dilakukan dengan memodifikasi BNT dengan beberapa jenis dopan diantaranya BT, BKT, NaNbCO_3 dan sebagainya. Di samping dapat meningkatkan sifat piezoelektrik dari BNT, modifikasi dengan dopan tersebut juga membantu mempermudah proses pengkutuban (poling).

Metode untuk sintesis material piezoelektrik BNT-BT antara lain metode basah dan metode kering. Metode kering antara lain yaitu metode *solid state reaction*. Sedangkan metode basah antara lain yaitu metode molten salt dan sol gel. Proses sol-gel merupakan proses yang banyak digunakan untuk membuat keramik dan material gelas. Sesuai dengan namanya, proses sol-gel, melibatkan transisi fasa dari sebuah liquid 'sol' menjadi solid 'gel'. Ada dua reaksi penting yang terjadi selama proses sol gel. Yang pertama, reaksi hidrolisis yang terdiri atas serangan nukleofilik dari air pada molekul logam organik yang terdapat pada larutan yang hasilnya adalah sol. Reaksi yang kedua yaitu reaksi kondensasi dimana akan terbentuk amorf. Ada beberapa kelebihan metode sol-gel yang menjadi bahan pertimbangan untuk mensintesis bahan piezoelektrik, antara lain tingkat kehomogenannya tinggi, suhu yang digunakan relatif rendah, tingkat kemurniannya tinggi, komposisinya dapat dikontrol dengan mudah, dan pendopongan lebih mudah.^[5]

Dengan pertimbangan kelebihan dan keefisienan dari metode sol-gel dalam mensintesis BNT dan BT maka pada penelitian kali ini digunakan metode sol-gel. Sedangkan untuk sintesis BNT-BT digunakan metode *solid state reaction*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dilakukan suatu permasalahan sebagai berikut :

1. Apakah material piezoelektrik BNT dan BT dapat disintesis dengan metode sol-gel.
2. Apakah material piezoelektrik BNT-BT dapat disintesis dengan metode *solid state reaction*.
3. Apakah temperatur dan komposisi dopan berpengaruh dalam sintesis material piezoelektrik BNT, BT dan BNT-BT.
4. Mengidentifikasi dan menganalisis struktur dari bahan dasar, BNT, BT, dan BNT-BT yang disintesis dengan menggunakan XRD dan SEM-EDX.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mempelajari sintesis $\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{TiO}_3$ dan BaTiO_3 dengan metode sol-gel.
2. Mempelajari sintesis $\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{TiO}_3\text{-BaTiO}_3$ dengan metode *solid state reaction*.
3. Mempelajari efek temperatur sintering dan komposisi dopan dalam sintesis material piezoelektrik BNT, BT dan BNT-BT.
4. Memperoleh informasi struktur produk sintesis dengan menggunakan alat karakterisasi XRD dan SEM-EDX.

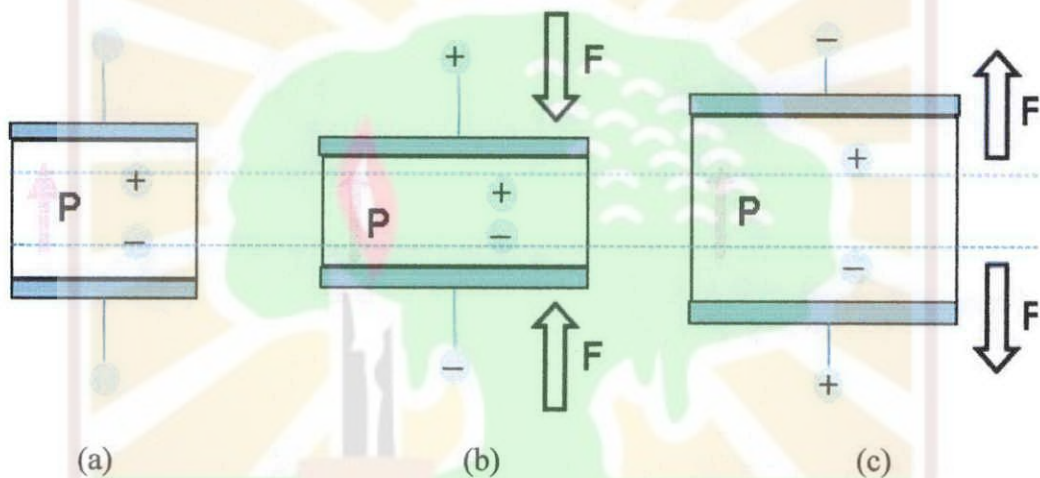
1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi suatu acuan untuk sintesis BNT-BT yang berpotensi sebagai bahan piezoelektrik yang ramah lingkungan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material piezoelektrik

Piezoelektrik berasal dari bahasa Yunani yaitu piezo yang artinya tekanan dan elektrik yang berarti listrik. Bahan piezoelektrik adalah suatu bahan yang apabila diberi stress (tekanan) mekanik akan menghasilkan medan listrik dan sebaliknya apabila medan listrik diterapkan pada bahan piezoelektrik akan terjadi deformasi mekanik (perubahan dimensi bahan).^[1] Efek piezoelektrik dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Efek piezoelektrik
(Sumber : Iin Lidia, 2010)

Keterangan : P = *pulling direction*

F = *stress direction*

(a) Tanpa diberikan tekanan

(b) Tekanan pada bahan menghasilkan medan listrik

(c) Medan listrik menyebabkan perubahan dimensi bahan

Material piezoelektrik ditemukan pertama kali pada tahun 1880-an oleh Jacques dan Pierre Curie. Curie bersaudara memperlihatkan adanya muatan listrik ketika diberikan suatu tekanan pada beberapa material tertentu. Tetapi mereka tidak memprediksi adanya sifat kebalikan dari efek piezoelektrik tersebut. Efek yang sebaliknya secara matematis didapat dari buku “Fundamental Thermodynamic Principles” oleh Gabriel Lippman pada tahun 1881. Curie bersaudara segera membenarkan adanya efek kebalikan tersebut, dan melanjutkan

penelitian untuk memperoleh bukti kuantitatif bagaimana suatu material dapat bergetar karena diberi muatan listrik.

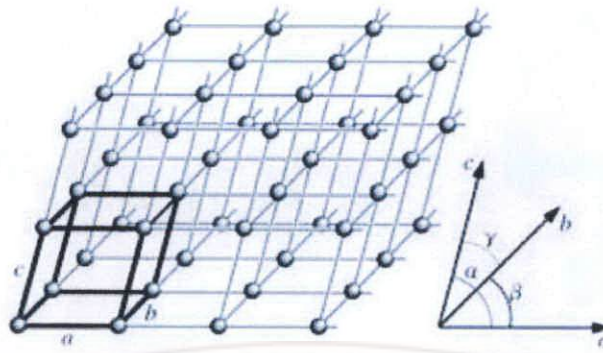
Satu-satunya kristal yang dapat memenuhi material yang memiliki sifat piezoelektrik adalah kristal non-sentrosimetrik. Contoh dari struktur non-sentrosimetrik yang digunakan pada peralatan piezoelektrik antara lain aluminium nitrida dan kuarsa. Pada banyak material piezoelektrik, polarisasi spontan juga terjadi sebagai akibat pemisahan pusat muatan positif dan negatif pada unit sel kristal. Contoh khas dari struktur yang memperlihatkan polarisasi spontan adalah struktur perovskite (ABO_3) yang apabila didinginkan dari temperatur tinggi maka fasa kubik (sentrosimetri) dapat mengalami beberapa transisi fasa yang berbeda dan secara bertahap strukturnya berubah ke tetragonal, rombohedral, ortorombik, atau monoklinik pada transisi fasa yang beragam.^[6,7]

Material piezoelektrik secara luas digunakan pada industri modern untuk mengubah signal listrik menjadi tegangan mekanik dan sebaliknya; yang mana kedua sifat ini memungkinkan material piezoelektrik dapat digunakan pada sistem elektromekanik sebagai sensor dan aktuator. Aplikasi mutakhir dari peralatan piezoelektrik antara lain pada injeksi bahan bakar pada otomotif, *accelerometers*, transformer dan motor piezoelektrik, kontrol vibrasi, sensor dan generator ultrasound, inkjet printer, dan sebagainya.^[8, 9,10]

2.2 Struktur Kristal

Kristal merupakan susunan atom-atom yang teratur dalam ruang tiga dimensi. Keteraturan susunan tersebut terjadi karena kondisi geometris yang harus memenuhi adanya ikatan atom yang berarah dan susunan yang rapat.

Kisi ruang (*space lattice*) adalah susunan titik-titik dalam ruang tiga dimensi dimana setiap titik memiliki lingkungan yang sama. Titik dengan lingkungan yang sama itu disebut simpul kisi (*lattice points*). Simpul kisi dapat disusun hanya dalam 14 susunan yang berbeda, yang disebut *kisi-kisi Bravais*. Jika atom-atom dalam kristal membentuk susunan teratur yang berulang maka atom-atom dalam kristal haruslah tersusun dalam salah satu dari 14 bentuk kisi-kisi tersebut. Setiap simpul kisi bisa ditempati oleh lebih dari satu atom, dan atom atau kelompok atom yang menempati tiap-tiap simpul kisi haruslah identik dan memiliki orientasi sama sesuai dengan pengertian simpul kisi.



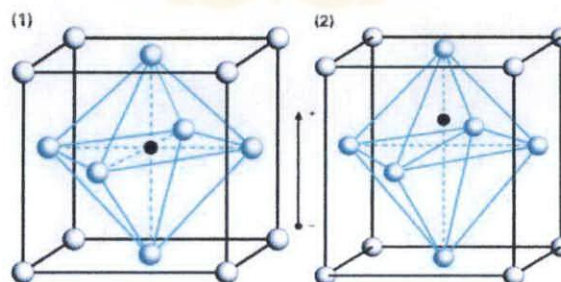
Gambar 2. Unit sel satuan
(Sumber : Yoshito, 2008)

Kesatuan yang berulang di dalam kisi ruang disebut *sel unit (unit cell)*. Jika posisi atom dalam padatan dapat dinyatakan dalam sel unit ini maka sel unit itu merupakan *sel unit struktur kristal*. Rusuk dari suatu sel unit dalam struktur kristal haruslah merupakan translasi kisi, yaitu vektor yang menghubungkan dua simpul kisi. Jika sel unit disusun bersentuhan antar bidang sisi, mereka akan mengisi ruangan tanpa meninggalkan ruang kosong dan membentuk kisi ruang.

2.3 Struktur Kristal Perovskite

Rumus umum untuk kristal perovskite adalah ABO_3 dimana A dan B merupakan dua kation yang memiliki ukuran yang berbeda dan O merupakan anion yang terikat kepada kedua kation tersebut. Kation A lebih besar daripada kation B. Struktur kristal perovskite digambarkan sebagai gabungan struktur FCC (*Face Centered Cubic*) dan BCC (*Body Center Cubic*).^[11]

Salah satu contoh struktur perovskite dari material keramik dielektrik yang merupakan bahan piezoelektrik yang banyak dipakai saat ini adalah $Pb(ZrTi)O_3$ (PZT). Struktur kristalnya dapat dilihat pada Gambar 3.

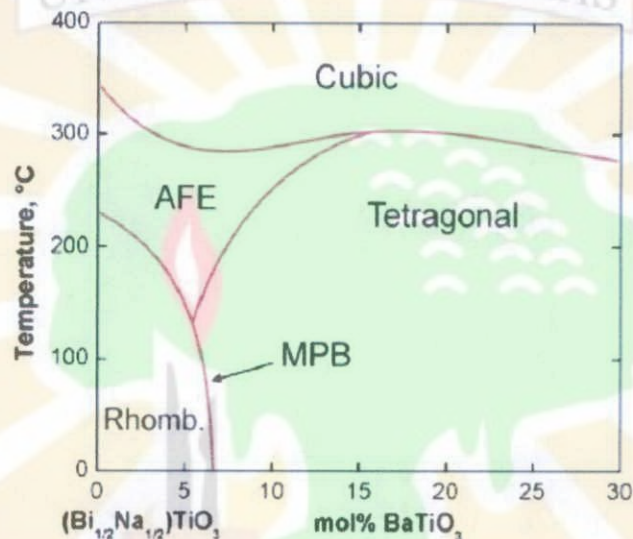


Gambar 3. Struktur perovskite dari kristal PZT

2.4 Morphotropic Phase Boundary (MPB)

Morphotropic Phase Boundary (MPB) merupakan batasan antara dua fasa yang berbeda, yaitu fasa tetragonal dan rombohedral pada diagram komposisi, dimana pada daerah tersebut bahan piezoelektrik menunjukkan sifat piezoelektrik dan dielektrik yang maksimum.^[12]

Gambar 4 merupakan diagram komposisi dari BNT-BT. Tampak pada gambar, batasan antara fasa tetragonal dan rombohedral disebut sebagai daerah MPB. Batasan vertikal tersebut berada pada sekitar 7% mol BaTiO₃.^[12]



Gambar 4. Diagram fasa komposisi BNT-BT
(Sumber : Serhiy O, 2010)

2.5 Metode Sol Gel

Metode sol-gel merupakan salah satu metode sintesis material alkoksida yang cukup sederhana. Metode ini merupakan salah satu *wet method* karena pada prosesnya melibatkan larutan sebagai medianya. Pada metode sol-gel, sesuai dengan namanya larutan mengalami perubahan fase menjadi sol (koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya) dan kemudian menjadi gel (koloid tetapi mempunyai fraksi solid yang lebih besar daripada sol).^[13]

Sol adalah suspensi koloid yang fasa terdispersinya berbentuk solid (padat) dan fasa pendispersinya berbentuk liquid (cairan). Suspensi dari partikel padat atau molekul-molekul koloid dalam larutan, dibuat dengan metal alkoksi

dan dihidrolisis dengan air, menghasilkan partikel padatan metal hidroksida dalam larutan. Reaksinya adalah reaksi hidrolisis.

Pada umumnya prekursor yang digunakan dalam proses sol-gel yaitu logam alkoksida atau garam anorganik. Dari larutan prekursor tersebut akan terbentuk sol. Perubahan bentuk sol menjadi bentuk gel terjadi melalui reaksi hidrolisis dan reaksi kondensasi. Pada reaksi hidrolisis terjadi penempelan ion hidroksil pada atom logam dengan pemutusan pada salah satu ikatan logam alkoksida atau garam anorganik. Kemudian molekul yang telah terhidrolisis dapat bergabung membentuk hasil reaksi kondensasi, dimana dua logam digabungkan melalui rantai oksigen. Polimer-polimer besar terbentuk saat reaksi hidrolisis dan kondensasi berlanjut, yang akhirnya menghubungkan polimer-polimer tersebut ke dalam bentuk gel.

Untuk mendapatkan produk oksida, ada satu tahap lanjutan pada proses sol-gel yaitu perubahan bentuk gel menjadi produk oksida melalui pengeringan (*drying*). Gel biasanya tersusun atas material amorf yang terdapat pori-pori berisi cairan. Cairan ini harus dihilangkan sehingga gel menjadi xerogel atau dry gel melalui proses *drying*. Selama *drying*, xerogel atau dry gel mengalami densifikasi dan perubahan bentuk struktur kristal.

Metode sintesis menggunakan sol-gel untuk material berbasis oksida berbeda-beda bergantung prekursor dan bentuk produk akhir, baik itu powder, film, aerogel, atau serat.^[13] Struktur dan sifat fisik gel sangat bergantung pada beberapa hal, diantaranya :

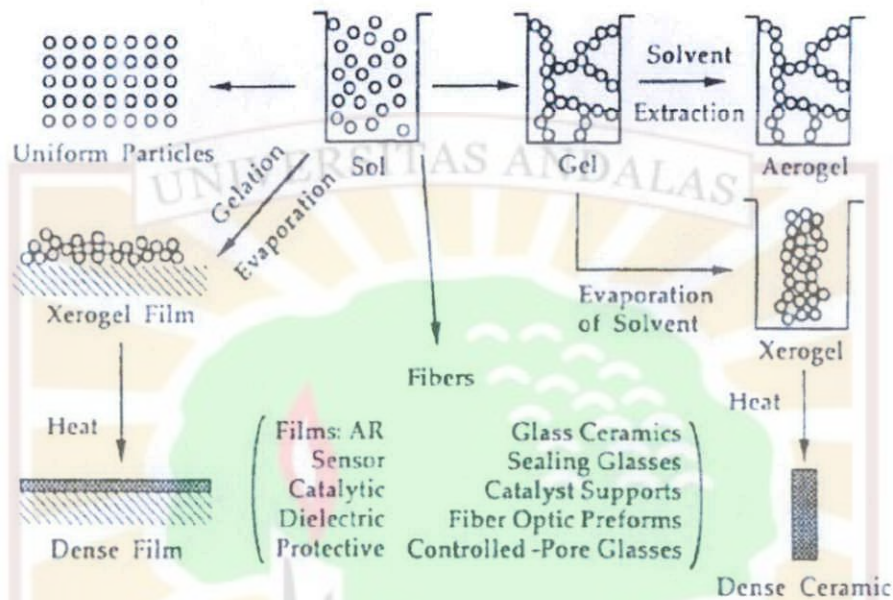
1. pemilihan bahan baku material
2. laju hidrolisis dan kondensasi
3. modifikasi kimiawi dari sistem sol-gel

Metode sol gel cocok untuk preparasi thin film dan material berbentuk powder. Tujuan preparasi ini agar suatu material keramik dapat memiliki fungsional khusus (elektrik, optik, magnetik, dll).^[14] Metode sol gel memiliki keuntungan antara lain:

- Tingkat kehomogenan tinggi
- Ukuran partikel seragam
- Mudah dalam kontrol komposisi (kehomogenan komposisi kimia baik)

- Temperatur proses rendah
- Biaya murah.

Tahapan dari proses sol gel diperlihatkan oleh Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Proses dari metode sol-gel
(Sumber : Enschede, 2006)

2.6 Metode *Solid state reaction*

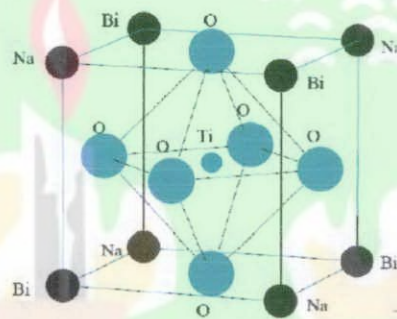
Metode *solid state* merupakan salah satu metode kering dimana pada prinsipnya adalah mencampurkan bahan dasar di bawah titik leleh dari kedua bahan dasar tersebut. Homogenasi berperan penting dalam metode ini. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses *solid state* ini, yaitu:

- Penggerusan
Dengan semakin lamanya penggerusan, maka kehomogenan dari pencampuran bahan dasar akan semakin baik karena terjadi reaksi pada permukaan bahan dasar.
- Penekanan
Pada saat pemberian tekanan, kontak antar partikel akan semakin luas.
- Suhu dan lama sintering.
Pada saat sintering, akan terjadi transformasi massa dari senyawa yang direaksikan dimana hal inilah yang disebut dengan difusi.

2.7 Bismuth Natrium Titanat (BNT)

Bismuth natrium titanate ($\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3$ (BNT), pertama kali ditemukan oleh Smolenskii dkk pada tahun 1960, yang merupakan material piezoelektrik bebas timbal. BNT ditemukan sebagai feroelektrik tipe perovskite pada suhu kamar dan memiliki sifat feroelektrik. Transformasi fase yang beruntun pada rentang temperatur 200-320°C terjadi pada BNT berkaitan dengan transisi dari simetri rombohedral ke tetragonal.^[15]

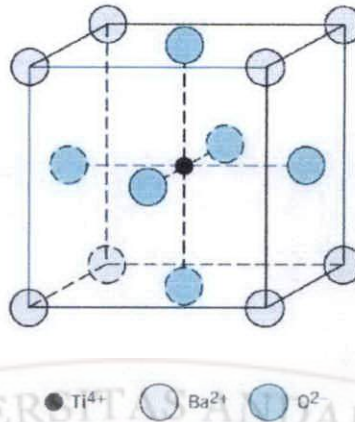
Struktur kristal dari Bismuth Natrium Titanat adalah perovskite dengan rumus umum ABO_3 . Rumus standar perovskite ABO_3 untuk BNT adalah $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{TiO}_3$. Dimana atom Na dan Bi menempati posisi di sudut sel satuan, atom O di permukaan sel satuan dan Ti berada di tengah oktahedral oksigen yang terbentuk. Struktur kristal BNT dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{TiO}_3$
(Sumber : Conor James, 2004)

2.8 Barium Titanat

Barium titanat merupakan prototipe polymorphic phase transition (PPT) yang merupakan material piezokeramik berperforma tinggi. Penemuan proses pemolangan barium titanat mendorong perkembangan keramik piezoelektrik polikristalin pertama. Koefisien piezoelektrik d_{33} dari BaTiO_3 murni yang dibuat melalui proses konvensional *solid state* mendekati 190 pC/N.^[16] BaTiO_3 digunakan pada aplikasi sonar naval dan peralatan phonograph; namun demikian, aplikasi komersil yang lebih luas dari BaTiO_3 sebagai aktuator piezoelektrik masih terbatas dikarenakan suhu Curie nya yang rendah ($T_C = 120^\circ\text{C}$).^[17,18]



Gambar 7. Struktur Barium Titanat (BT)

2.9 Bismuth Natrium Titanat – Barium Titanat

Dapat diperkirakan apabila padatan senyawa feroelektrik dari bismut natrium titanat yang memiliki struktur rombhoedral dan material bersimetri tetragonal seperti barium titanat akan memiliki MPB sebagaimana pada sistem PZT. Sistem biner BNT-BT diteliti oleh Taneka dkk dan diperkirakan keberadaan MPB adalah sekitar 6-7 % mol BaTiO_3 sebagaimana diilustrasikan pada gambar 4.^[11]

Peningkatan konstanta dielektrikum, koefisien elektromekanik kopling, dan sifat piezoelektrik ($d_{33}=125\text{pC/N}$), dibandingkan dengan BNT tanpa dimodifikasi ($d_{33}=64\text{pC/N}$) ditemukan pada daerah MPB. Di sekitar daerah MPB, BNT-BT memiliki temperatur Curie yang tinggi yaitu 288°C dan temperatur depolarisasi yang rendah 150°C .^[19]

2.10 X-Ray Diffraction (XRD)

Spektroskopi difraksi sinar-X (XRD) merupakan salah satu metode karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel.^[20]

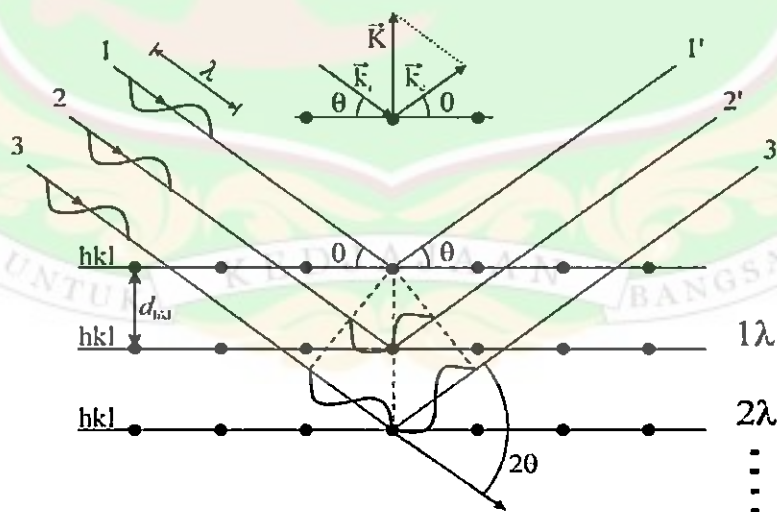
Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg :

$$n \lambda = 2.d.\sin \theta, \quad n = 1,2,\dots$$

dengan λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara dua bidang kisi, θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan n adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan.

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material. Standar ini disebut *Joint Cominitte on Powder Diffraction Standard* (JCPDS).

Keuntungan utama penggunaan sinar-X dalam karakterisasi material adalah kemampuan penetrasinya, sebab sinar-X memiliki energi sangat tinggi akibat panjang gelombangnya yang pendek. Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 0,5-2,0 mikron. Sinar ini dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron berenergi tinggi.



Gambar 8. Difraksi Sinar-X oleh bidang kristal
(Sumber : Katholieke)

Elektron itu mengalami perlambatan saat masuk ke dalam logam dan menyebabkan elektron pada kulit atom logam tersebut terpenyal membentuk kekosongan. Elektron dengan energi yang lebih tinggi masuk ke tempat kosong dengan memancarkan kelebihan energinya sebagai foton sinar-X.

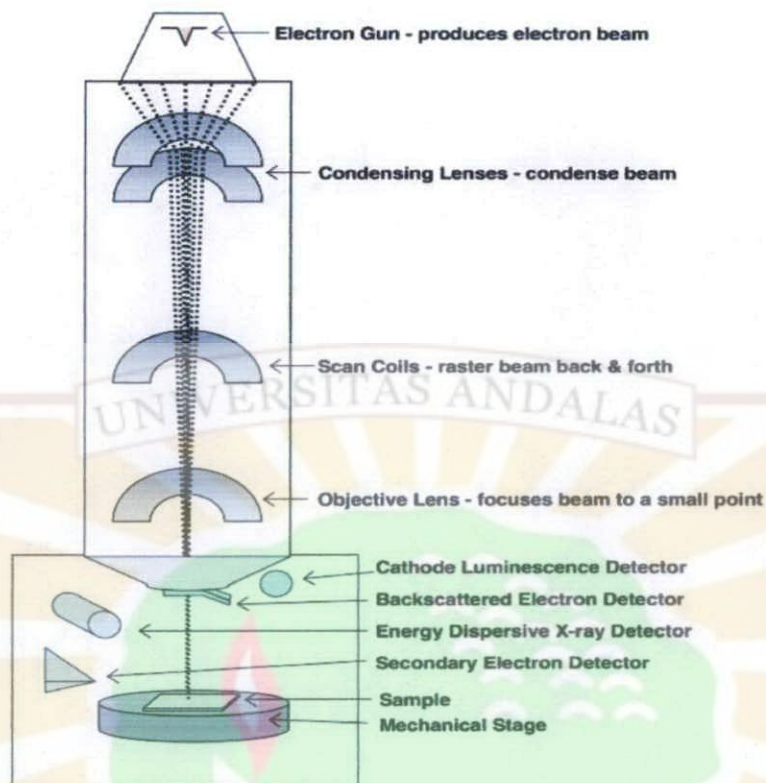
2.11 *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

SEM adalah suatu metode yang digunakan untuk meneliti bentuk maupun struktur mikro permukaan dari suatu objek yang tidak bisa dilihat oleh mata atau mikroskop optik.^[17] Rentang pembesarnya yang besar dan gambarnya dalam 3 dimensi membuat hasil karakterisasi sampel dengan menggunakan SEM ini menjadi lebih mudah untuk diamati dan dianalisa. SEM digunakan untuk mengamati batas butir, distribusi, batas fase, bukti adanya deformasi mekanik dan komposisi kimia yang memiliki perbesaran 200.000 kali untuk mengamati ketebalan dari 200 Å sampai 0,5 µm.

Berkas elektron dihasilkan dari pemanasan filamen dan dipercepat dengan tegangan tinggi. Selanjutnya berkas elektron difokuskan dan diarahkan secara elektromagnetis menuju sampel. Konduktifitas sampel mempengaruhi informasi yang akan didapatkan. Jika sampel adalah bahan nonkonduktif atau mempunyai konduktifitas yang rendah maka harus dikonduktifitaskan dengan memberi lapisan (*coating*) dengan logam seperti emas, tembaga atau karbon.

Gambar 10 memperlihatkan sebuah SEM secara skematis.

Teknik EDS (*Energi Dispersive Spectroscopy*) digunakan untuk mengetahui kandungan berbagai unsur kimia dari suatu material, prinsip kerjanya yaitu dengan cara menangkap dan mengolah sinyal pendaran (*flouresensi*) sinar-X yang dikeluarkan oleh suatu volume kecil pada permukaan sampel. Pendaran sinar-X timbul sebagai akibat interaksi berkas elektron energi tinggi dengan elektron dari atom sasaran, sehingga elektron tersebut tereksitasi, yaitu terlemparnya elektron dari orbit awal ke orbit yang energinya lebih tinggi. Elektron yang tereksitasi tersebut cenderung kembali ke orbit yang energinya lebih rendah sambil sambil memancarkan energi yang diserap dalam bentuk sinar-X.



Gambar 9. Skema SEM

Dari energi sinar-X yang dipancarkan dapat diketahui jenis atom atau unsur yang terkandung dalam material sasaran. Hal ini dikarenakan masing-masing unsur menyebar pada panjang gelombang spesifik, bahkan teknik ini dapat digunakan untuk mengamati unsur-unsur material suatu daerah kecil pada permukaan sampel. Apabila teknik SEM dan EDX digabungkan maka keduanya dapat dipakai untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang dimiliki oleh fasa yang terlihat pada struktur mikro (Smallman dkk, 1999).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan selama 3 bulan (Januari – April 2012) di Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Kawasan Puspitek Serpong, Tangerang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain : neraca digital (OHAUS GALAXYTM160), labu refluks, kondensor, spatula, *magnetic stirrer*, termometer dan peralatan gelas lainnya.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah bismuth oksida (Bi_2O_3) (ABCR, Puratrem AB106142, 99.999%), titanium isopropoksida ($\text{Ti}(\text{OCH}_2(\text{CH}_3)_2)_4$), barium karbonat (BaCO_3) (merck KgaA, 99%), natrium karbonat (Na_2CO_3) (merck KgaA 1.06392.1000, 99.999%), dan asam nitrat (HNO_3) 65% (merck, 1.00456.1000).

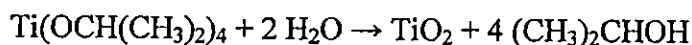
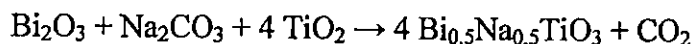
3.3 Tahapan penelitian

Pada penelitian ini dilakukan sintesis $\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{TiO}_3\text{-BaTiO}_3$ dimana sebelumnya dilakukan sintesis BNT dan sintesis BT masing-masing dengan metode sol gel. Selanjutnya, masing-masing hasil produk BNT dan BT dengan metode sol gel tersebut direaksikan dengan metode *solid state reaction* hingga menghasilkan BNT-BT.

3.3.1 Sintesis Bismut Natrium Titanat (BNT) dengan Metode Sol-Gel

Prosedur pembuatan BNT diawali dengan pengidentifikasian bahan dasar dengan menggunakan *x-ray diffraction* (XRD) yang bertujuan untuk melihat perubahan struktur dari bahan dasar hingga menjadi produk sintesis serta melihat tingkat kemurnian dari bahan yang digunakan.

Semua bahan dipersiapkan berdasarkan perhitungan stoikiometri dari persamaan reaksi :



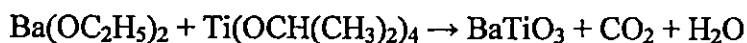
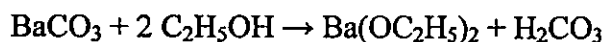
Bi_2O_3 dan Na_2CO_3 dengan perbandingan mol 1 : 1 dilarutkan dalam larutan HNO_3 65% yang berfungsi sebagai prekursor dalam sintesis sol gel. Selanjutnya, sejumlah etilen glikol ditambahkan ke dalam larutan. Kemudian sejumlah stoikiometri titanium isopropoxide ditambahkan kedalam larutan. Larutan tersebut kemudian direfluks selama 2 jam dengan suhu 80°C . Refluks berfungsi untuk menghomogenkan dan memaksimalkan reaksi kimia yang terbentuk sehingga terbentuk sol.

Selanjutnya, sol yang terbentuk diuapkan pada suhu 170°C selama 2 jam untuk menghilangkan kandungan air dan senyawa organik lainnya pada campuran tersebut. Hasil yang didapatkan adalah berupa serbuk kasar berwarna coklat. Pada serbuk kasar ini masih terdapat kandungan senyawa organik. Untuk menghilangkan kandungan senyawa organik yang masih tinggi setelah pemanasan dengan suhu 170°C tersebut maka dilakukan sintering. Pada penelitian ini, suhu sintering divariasikan 400° , 500° , 600° , 700° dan 800°C selama 4 jam. Dari semua variasi suhu didapatkan hasil berupa serbuk berwarna kuning.

3.3.2 Sintesis BaTiO_3 (BT) dengan Metode Sol-Gel

Sintesis BT yang nantinya akan didopan ke BNT dilakukan dengan metode sol gel. Bahan dasar yang digunakan adalah BaCO_3 dan titanium isopropoksida. Barium karbonat sebanyak 3,38 g dilarutkan dalam etanol sebanyak 2 ml dan direfluks 80°C selama satu jam untuk membentuk barium alkoksida. Kemudian titanium isopropoksida dengan volume 5 ml ditambahkan ke dalam campuran dan direfluks dengan suhu 80°C selama satu jam untuk menghasilkan larutan perkusor BT. Partikel perkusor BT didapatkan dengan menguapkan pelarut pada suhu 350°C selama 2 jam. Hasil yang didapatkan adalah berupa serbuk kasar berwarna putih. Suhu sintering divariasikan dari 600, 800 dan 1000°C .

Sintesis barium titanat berdasarkan pada reaksi :



3.3.3 Sintesis $\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{TiO}_3\text{-BaTiO}_3$ (BNT-BT) dengan Metode *Solid state Reaction*

Sintesis BNT-BT dilakukan dengan mereaksikan masing-masing produk BNT dan BT yang disintesis dengan metode sol-gel dengan metode *solid state reaction*. Perbandingan mol yang digunakan adalah berdasarkan daerah *Morphotropic Phase Boundary* (MPB) dimana berkisar pada daerah sekitar 7 % mol BT sehingga pada penelitian ini digunakan perbandingan mol BNT : BT 93 : 7 %mol.

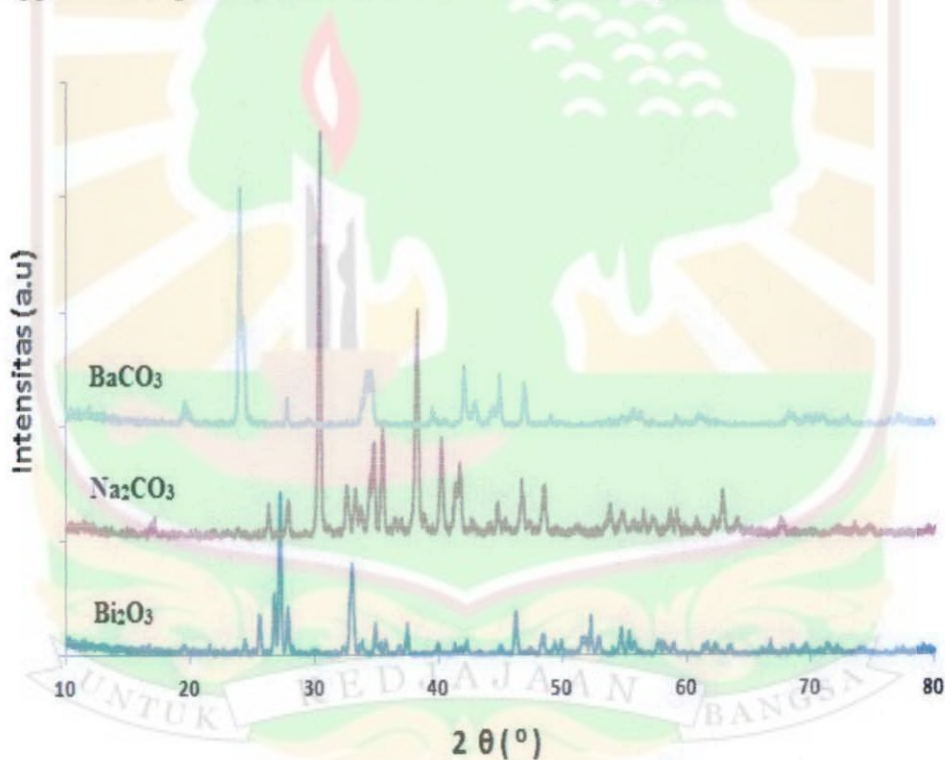
Sebagai pembanding dari perbandingan mol 93 : 7 maka disintesis pula BNT-BT dengan perbandingan mol 75 : 25. Hal ini bertujuan untuk menganalisis apakah terjadi perubahan atau perbedaan struktur antara daerah MPB dan bukan MPB.

Proses sintesis BNT-BT dengan metode *solid state* ini diawali dengan penimbangan stoikiometri masing-masing BNT dan BT sesuai dengan perbandingan mol yang telah ditentukan. Selanjutnya, masing-masing bahan dasar tersebut digerus selama 3 jam. Penggerusan bahan dasar ini bertujuan untuk menghomogenkan kembali sampel yang sebelumnya telah disinter dengan suhu tinggi. Setelah penggerusan masing-masing bahan dasar, kedua bahan dasar, BNT dan BT dicampurkan dan digerus selama lebih kurang 3 jam. Sama seperti sebelumnya, penggerusan ini bertujuan untuk menghomogenkan dan membantu reaksi yang terjadi antara permukaan-permukaan partikel yang terdapat di dalam campuran tersebut. Penggerusan ini dilakukan pada suhu ruangan. Setelah penggerusan, sampel yang telah digerus dikompaksi dengan tekanan 3500 Psi. Setelah dikompaksi, sampel BNT-BT *solid state reaction* ini disinter dengan suhu 1000°C.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi Kemurnian Bahan Dasar

Bahan dasar yang digunakan dalam sintesis BNT adalah bismuth oksida (Bi_2O_3), natrium karbonat (Na_2CO_3) dan titanium isopropoksida (TIP). Sedangkan bahan dasar yang digunakan dalam sintesis BT adalah barium karbonat (BaCO_3) dan titanium isopropoksida (TIP). Untuk melihat kemurnian bahan dasar yang digunakan maka dilakukan identifikasi bahan dasar dengan menggunakan analisis XRD berdasarkan identifikasi tiga intensitas tertinggi yang selanjutnya dikorelasi dengan menggunakan metode Hanawalt untuk memperoleh bidang dari senyawa tersebut. Kemudian dilanjutkan dengan membandingkan dengan ketiga puncak tertinggi tersebut pada tabel JCPDS dari masing-masing bahan dasar.



Gambar 10. Pola difraksi XRD bahan dasar

Bi_2O_3

Pola difraksi Bi_2O_3 dapat dilihat pada Gambar 10. Adapun nomor tabel Hanawalt yang identik dengan pola difraksi di atas adalah 27-0053. Perbandingan pola difraksi dengan tabel JCPDS ditunjukkan pada Tabel 1 dengan membandingkan tiga puncak tertinggi dari 2θ eksperimen dan 2θ yang didapat dari tabel JCPDS.

Pada pola difraksi Bi_2O_3 , terlihat bahwa Bi_2O_3 , tidak memiliki puncak asing. Hal ini menunjukkan bahan dasar Bi_2O_3 memiliki kemurnian tinggi.

Tabel 1. Perbandingan tiga puncak tertinggi Bi_2O_3 hasil eksperimen dengan Tabel JCPDS

$2\theta (^{\circ})$ eksperimen	$2\theta (^{\circ})$ JCPDS
27,28	27,386
33,02	33,228
26,78	26,905

Na_2CO_3

Pola difraksi Na_2CO_3 dapat dilihat pada gambar 10. Adapun nomor tabel JCPDS yang cocok dengan pola difraksi di atas adalah 37-0451. Perbandingan pola difraksi dengan tabel Hanawalt ditunjukkan pada Tabel 2 dengan membandingkan tiga puncak tertinggi dari 2θ eksperimen dan 2θ yang didapat dari tabel JCPDS. Pada pola difraksi Na_2CO_3 , terlihat bahwa bahan Na_2CO_3 , tidak memiliki puncak asing. Hal ini menunjukkan bahan dasar Na_2CO_3 memiliki kemurnian tinggi.

Tabel 2. Perbandingan tiga puncak tertinggi Na_2CO_3 hasil eksperimen dengan Tabel JCPDS

$2\theta (^{\circ})$ eksperimen	$2\theta (^{\circ})$ JCPDS
30,46	30,147
38,3	37,999
35,5	35,235

BaCO_3

Pola difraksi BaCO_3 dapat dilihat pada gambar 10. Adapun nomor tabel JCPDS yang cocok dengan pola difraksi di atas adalah 44-1487. Perbandingan pola difraksi dengan tabel JCPDS ditunjukkan pada Tabel 3 dengan membandingkan tiga puncak tertinggi dari 2θ eksperimen dan 2θ yang didapat dari tabel Hanawalt. Pada pola difraksi BaCO_3 , terlihat bahwa bahan BaCO_3 , tidak memiliki puncak asing. Hal ini menunjukkan bahan dasar BaCO_3 memiliki kemurnian tinggi.

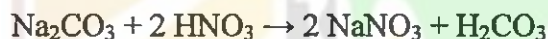
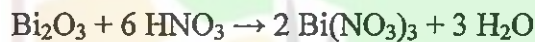
Tabel 3. Perbandingan tiga puncak tertinggi BaCO₃ hasil eksperimen dengan Tabel JCPDS

2 θ (°) eksperimen	2 θ (°) JCPDS
24	23,888
42,04	41,988
34,2	34,576

4.2 Bismuth Natrium Titanat (BNT)

4.2.1 Sintesis BNT dengan Menggunakan Metode Sol Gel

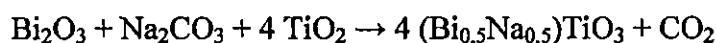
Bahan dasar yang digunakan untuk sintesis BNT adalah bismuth oksida (Bi₂O₃), natrium karbonat (Na₂CO₃) dan titanium isopropoksida (TIP). Pada sintesis ini, bismuth oksida dan natrium karbonat dilarutkan dengan menggunakan menggunakan asam nitrat pekat karena kelarutan bahan ini dalam HNO₃ lebih tinggi dari asam mineral lainnya. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Chang Yeoul Kim dkk, pada tahun 2003 melaporkan dari hasil penelitiannya, bismuth oksida dan natrium karbonat dalam asam klorida tidak dapat membentuk BNT dan terbentuknya hasil sampingan BiOCl.^[9]

Agar terbentuk sol yang homogen, bahan dasar bismuth oksida dilarutkan terlebih dahulu hingga homogen kemudian dilanjutkan dengan pencampuran natrium karbonat. Setelah bismuth oksida dan natrium karbonat dilarutkan dalam asam nitrat, campuran tersebut direfluks dengan tujuan untuk menyempurnakan kehomogenan campuran. Campuran ini berwarna bening kekuningan dan sedikit kental. Suhu yang digunakan dalam proses refluks ini adalah suhu 80°C untuk mencegah terjadinya penguapan pelarut dan menstabilkan pembuatan sol dan apabila melebihi suhu tersebut dikhawatirkan bahan dasar dalam sintesis BNT akan rusak.

Setelah campuran direfluks selama 2 jam, sejumlah stoikiometris titanium isopropoksida ditambahkan ke dalam campuran. Reaksi total yang terjadi ketika penambahan titanium isopropoksida adalah:



Campuran sol berwarna putih dikarenakan titanium isopropoksida bersifat reaktif, mudah bereaksi dengan air dan akan membentuk titanium dioksida yang berupa padatan berwarna putih. Hal ini dapat terjadi karena refluks bismuth oksida dan natrium karbonat dilakukan dalam asam nitrat.

Setelah penambahan titanium isopropoksida, untuk lebih menghomogenkan, proses refluks dilanjutkan selama 2 jam lagi pada suhu 80°C. Hasil dari proses refluks ini adalah berupa sol basah yang berwarna putih. Selanjutnya sol ini dikalsinasi selama 2 jam pada suhu 170°C dengan tujuan untuk menguapkan pelarut organik yang masih terdapat di dalam campuran. Dari hasil pemanasan, diindikasikan dalam gel BNT tersebut masih terdapat pelarut organik yang belum seutuhnya menguap. Perlakuan selanjutnya adalah sinterring gel BNT dengan suhu yang divariasikan. Pada penelitian ini, digunakan suhu sinterring 400, 500, 600, 700 dan 800°C. Pemilihan suhu tersebut dilakukan dengan tujuan untuk melihat pengaruh suhu dan mendapat suhu optimal untuk memperoleh BNT yang stabil.

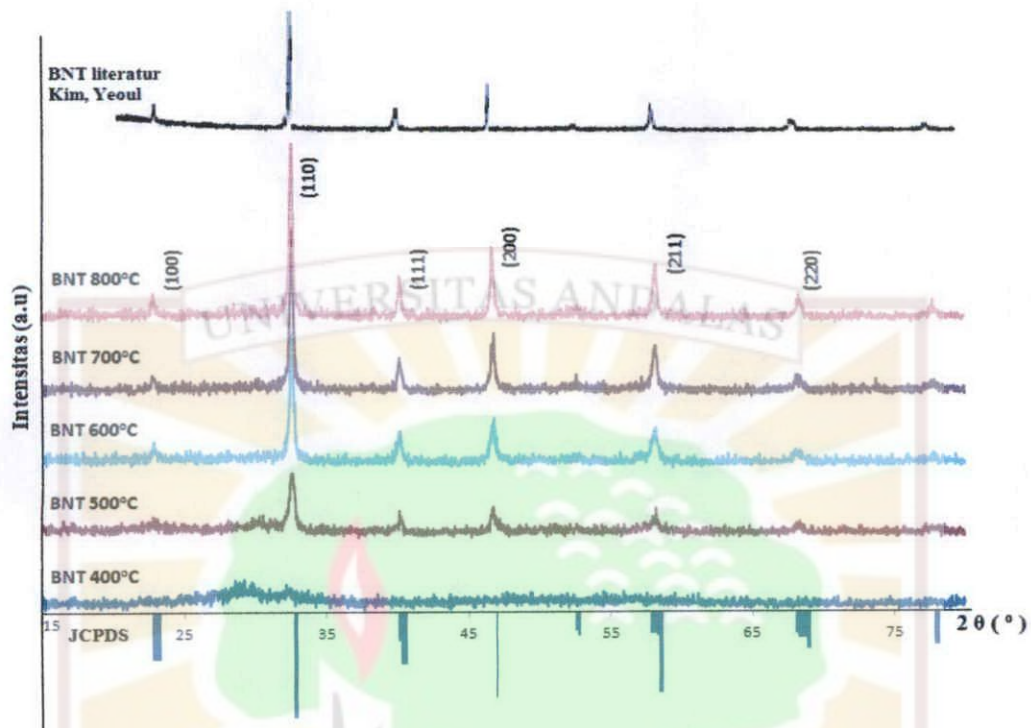
Waktu sinterring yang dilakukan pada penelitian ini adalah 4 jam. Waktu berpengaruh terhadap pembentukan kristal piezoelektrik yang baik karena dengan waktu yang cukup panjang akan memaksimalkan transformasi difusi dari partikel-partikel penyusun senyawa piezoelektrik tersebut.

Produk yang dihasilkan dari beberapa variasi suhu sinterring didapat serbuk kuning yang kasar. Dengan semakin meningkatnya suhu sinterring, warna serbuk BNT yang didapat semakin cerah dan bersih. BNT yang disinter dengan suhu 400°C dimana hasilnya terdapat serbuk hitam karena belum sempurnanya proses kristalisasi dari BNT. Untuk memudahkan proses karakterisasi XRD, sampel BNT diukur dalam bentuk pelet sehingga serbuk BNT tersebut digerus dan dipelet.

4.2.2 Identifikasi BNT menggunakan XRD

Proses sintesis BNT dilakukan dengan metode sol gel dengan memvariasikan suhu sinterring 400, 500, 600, 700 dan 800°C. Pola XRD BNT produk sintesis, BNT literatur dan BNT JCPDS terlihat pada Gambar 11. Pada suhu sinterring 400°C, pembentukan kristal belum sempurna dan masih amorf.

Namun demikian, dengan semakin ditingkatkannya suhu sintering maka intensitas semakin tinggi.



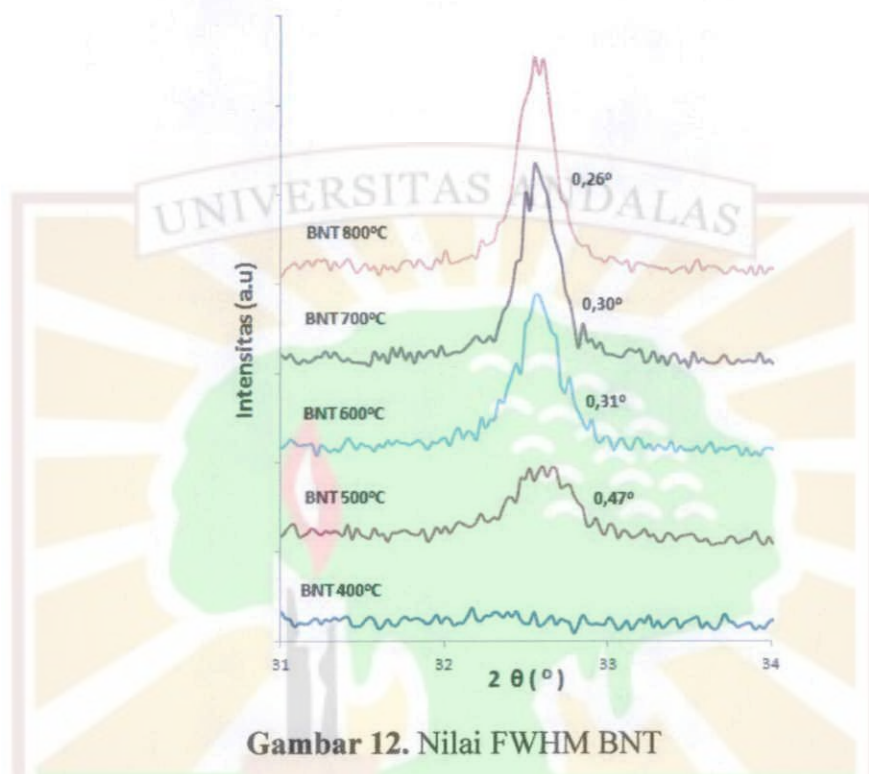
Gambar 11. Pola difraksi sinar-X BNT

Pada Tabel 4 dapat dilihat perbandingan nilai 2θ dari BNT yang disintesis dalam suhu sintering yang divariasikan dan BNT pada tabel JCPDS. Dari Tabel, setelah dibandingkan dengan tabel JCPDS dengan nomor tabel 46-0001, dapat diambil kesimpulan bahwa BNT yang disintesis telah terbentuk mulai pada suhu sintering 500°C hingga suhu sintering 800°C.

Tabel 4. Nilai 2θ dari intensitas-intensitas tertinggi pada pola XRD BNT hasil sintesis dan BNT JCPDS.

Suhu sintering (°C)	2θ (°)					
	dari Intensitas-intensitas tertinggi					
500	32,596	46,765	58,225	40,155	22,869	68,33
600	32,542	46,819	58,279	40,263	22,924	68,168
700	32,542	46,819	58,189	40,155	22,788	68,276
800	32,596	46,711	58,225	40,155	22,815	68,303
JCPDS	32,452	46,698	58,165	40,230	22,845	68,382

Dari pola XRD juga dapat diambil kesimpulan bahwa suhu sintering optimum untuk sintesis BNT dengan metode sol gel pada penelitian ini adalah 800°C. Hal ini dibuktikan dengan penghitungan *Full Width Half Maximum* (FWHM) sesuai dengan Gambar 12 dan Tabel 5.



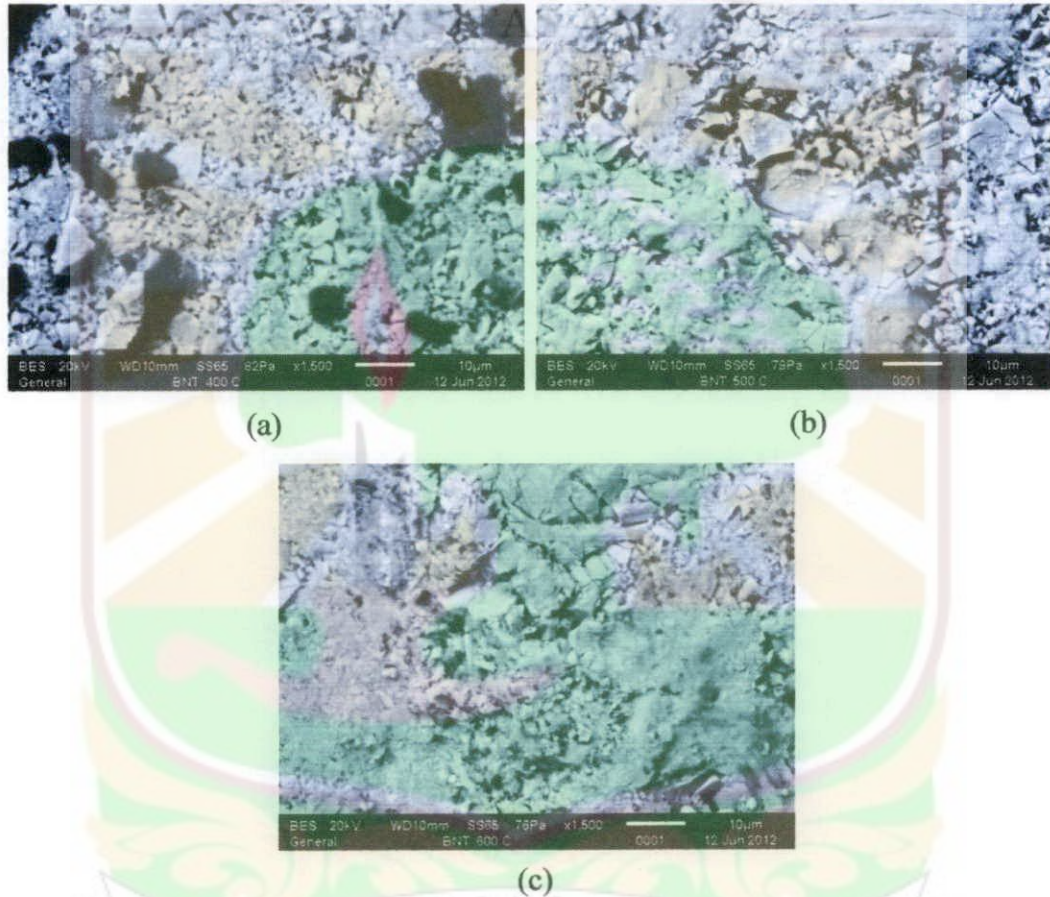
Tabel 5. Nilai FWHM dari BNT yang disintesis dengan metode sol-gel

Suhu Sintering (°C)	500	600	700	800
FHWM (°)	0,47	0,31	0,30	0,26

Pada Gambar 12, tertera nilai FWHM dari setiap BNT hasil sintesis dengan metode sol gel. Dalam penelitian ini, dengan meningkatnya suhu sintering maka nilai FWHM menurun. Ini dapat disimpulkan bahwa suhu sintering juga berbanding lurus dengan ukuran partikel karena dengan meningkatnya nilai FWHM seiring dengan menurunnya ukuran partikel. Dengan demikian, dari semua variasi suhu sintering, BNT yang disintesis pada suhu sintering 800°C memiliki ukuran partikel yang terbesar.

4.2.3 Analisis Morfologi BNT Dengan SEM-EDX

Hasil SEM terhadap kristal BNT dengan perbesaran hingga 1500 kali dapat dilihat pada Gambar 13. Dari Gambar 13 dapat dilihat bahwa penyebaran dan ukuran dari partikel BNT tidak merata dan tidak seragam. Sesuai dengan perhitungan FWHM, dari hasil SEM juga dapat disimpulkan bahwa dengan peningkatan suhu sintering menyebabkan peningkatan ukuran partikel. Ukuran partikel dari produk BNT dengan variasi suhu sintering dapat dilihat pada Tabel 6.



Gambar 13. Mikrograf SEM dari BNT dengan perbesaran 1500x untuk suhu : (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C

Tabel 6. Ukuran partikel BNT dengan variasi suhu sintering

Suhu Sintering (°C)	Ukuran partikel (µm)
400	1,33 – 5,33
500	1,33 – 8,67
600	1,33 – 10

Kandungan berbagai unsur kimia dari produk BNT dapat dilihat dengan menggunakan analisis EDX. Tabel 6 memperlihatkan persentase atom-atom yang terkandung dalam produk BNT. Dapat dilihat pada Tabel 7 bahwa semua produk BNT yang disintesis pada suhu sintering yang divariasikan hanya mengandung bahan dasar yang membentuknya dan tidak terkontaminasi oleh unsur lain. Dari hasil EDX, tidak dapat disimpulkan bahwa dengan semakin meningkatnya suhu sintering masing-masing atom yang terkandung juga meningkat. Hanya persentase atom oksigen yang meningkat dengan peningkatan suhu sintering.

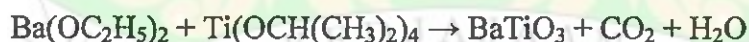
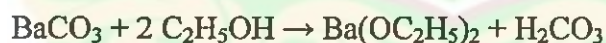
Tabel 7. Persentase atom-atom yang terkandung dalam produk BNT

Atom (%)	BNT 400°C	BNT 500°C	BNT 600°C
C	18,25	3,41	6,34
O	48,29	49,49	54,14
Na	9,30	11,04	15,14
Ti	13,17	18,83	12,41
Bi	7,65	11,89	8,56

4.3 Barium Titanat (BT)

4.3.1 Sintesis BT dengan Metode Sol-Gel

Pada sintesis barium titanat (BaTiO_3) ini digunakan bahan dasar barium karbonat (BaCO_3) dan titanium isopropoksida (TIP). Barium karbonat dilarutkan dalam etanol yang bertujuan untuk membentuk alkoksida, sesuai dengan reaksi berikut:

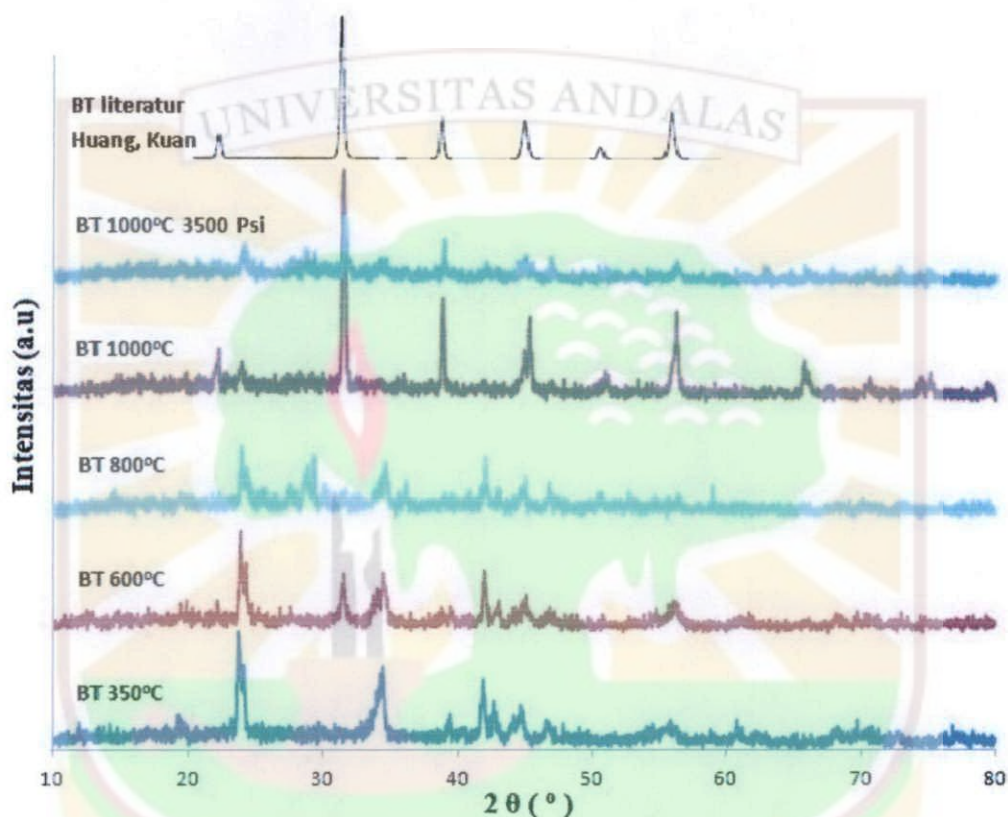


Campuran barium karbonat dan etanol direfluks selama 1 jam. Proses refluks ini dilakukan pada suhu 80°C karena diperkirakan pada suhu tersebut terjadi proses sol yang homogen dan apabila digunakan suhu yang lebih tinggi akan merusak bahan dasar dari sintesis barium titanat itu sendiri. Setelah penambahan titanium isopropoksida, refluks dilanjutkan hingga 1 jam pada suhu yang sama, yaitu 80°C. Untuk menguapkan pelarut organik dan untuk membentuk serbuk, maka campuran dikalsinasi pada suhu 350°C selama 2 jam. Untuk menyempurnakan proses kristalisasi dan pembentukan struktur barium titanat

maka dilakukan sintering dengan suhu yang divariasikan 600, 800 dan 1000°C serta suhu 1000°C yang disertai dengan kompaksi pada tekanan 3500 Psi.

4.3.2 Analisis Pola Difraksi Sintesis Barium Titanat

Hasil sintesis barium titanat pada berbagai temperatur dengan metode sol gel dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Pola difraksi sinar-X BT

Berdasarkan pola difraksi XRD barium titanat (BT), dapat dilihat bahwa dari semua variasi suhu sintering yang digunakan pada proses sintesis BT, sangat sulit untuk mendapatkan BT dengan intensitas-intensitas yang tinggi. Pada suhu sintering 600 dan 800°C, masih terdapat puncak-puncak asing yang diasumsikan adalah bahan dasar yaitu BaCO_3 dan titanium isopropoksida yang belum bereaksi secara sempurna. Sedangkan pola difraksi untuk suhu sintering 1000°C, telah memperlihatkan puncak-puncak dengan intensitas yang tinggi dan teridentifikasi. Hal ini dibuktikan dengan membandingkan nilai 2θ dari pola XRD BT dengan suhu sintering 1000°C tersebut dengan data JCPDS. Tabel JCPDS yang cocok dengan pola XRD untuk BT yang disintesis pada suhu sintering 1000°C adalah

tabel dengan nomor 05-0626. Perbandingan antara nilai 2θ untuk puncak-puncak dengan intensitas yang tinggi dari BT dan data JCPDS dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan nilai 2θ BT 1000°C dan 2θ data JCPDS

$2\theta (^{\circ})$	
BT 1000°C	JCPDS
31,485	31,496
38,854	38,886
45,356	45,375
56,274	56,249
22,219	22,261
65,73	65,751

4.4 Sintesis BNT-BT dengan Metode *Solid State*

Pada penelitian ini, sintesis BNT-BT dilakukan dengan metode *solid state* dimana prinsipnya dua campuran direaksikan dalam keadaan padat di bawah titik lelehnya.

Sintesis BNT-BT dilakukan dengan mencampurkan BNT dan BT direaksikan dengan variasi perbandingan komposisi dengan metode *solid state*. BNT-BT yang disintesis divariasikan 2 macam komposisi yaitu komposisi 93 BNT : 7 BT % mol dan komposisi 75 BNT : 25 BT % mol. Pemilihan komposisi 93 BNT : 7 BT % mol karena pada komposisi tersebut terjadi peningkatan sifat piezoelektrik dari BNT antara lain konstanta piezoelektrik ($d_{33} = 125 \text{ pC/N}$), faktor kopling ($k_p = 20\%$) dan konstanta dielektrik ($\epsilon_r = 580$).^[6] Seperti telah dijelaskan pada bab sebelumnya, MPB merupakan suatu batasan daerah yang berbeda simetri yang sejalan dengan perubahan komposisi. Dengan demikian, pemilihan komposisi 75 BNT : 25 BT % mol bertujuan untuk membuktikan bahwa terjadi perbedaan struktur dengan perbedaan komposisi BNT dan BT.

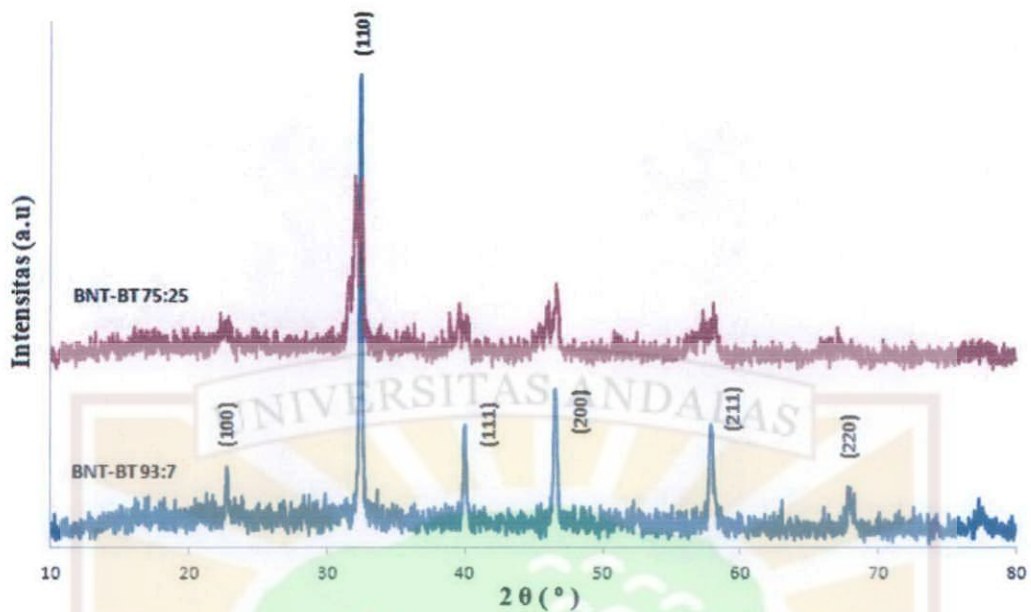
BNT yang digunakan untuk kedua variasi komposisi diambil dari dua hasil sintesis BNT dengan metode sol gel yang optimum, yaitu BNT yang disintering

pada suhu 800°C dan 700°C. BNT yang digunakan pada sintesis BNT-BT 93:7% dengan metode *solid state* diambil dari hasil sintesis sol gel sebelumnya yang disintering dengan temperatur 800°C yang merupakan hasil sintesis dengan kondisi optimal dari variasi temperatur lainnya. Sedangkan untuk BT juga diambil dari hasil sintesis BT dengan metode sol gel sebelumnya yang disintering dengan temperatur 1000°C yang juga merupakan hasil sintesis dengan kondisi optimal dari variasi temperatur lainnya. Sama halnya dengan BNT-BT 93:7, pada sintesis BNT-BT 75:25, untuk BNT diperoleh dari hasil sintesis sol gel sebelumnya yang disintering dengan suhu 700°C. Keduanya digerus selama lebih kurang 2 jam dan dikompaksi dengan tekanan 3500 Psi.

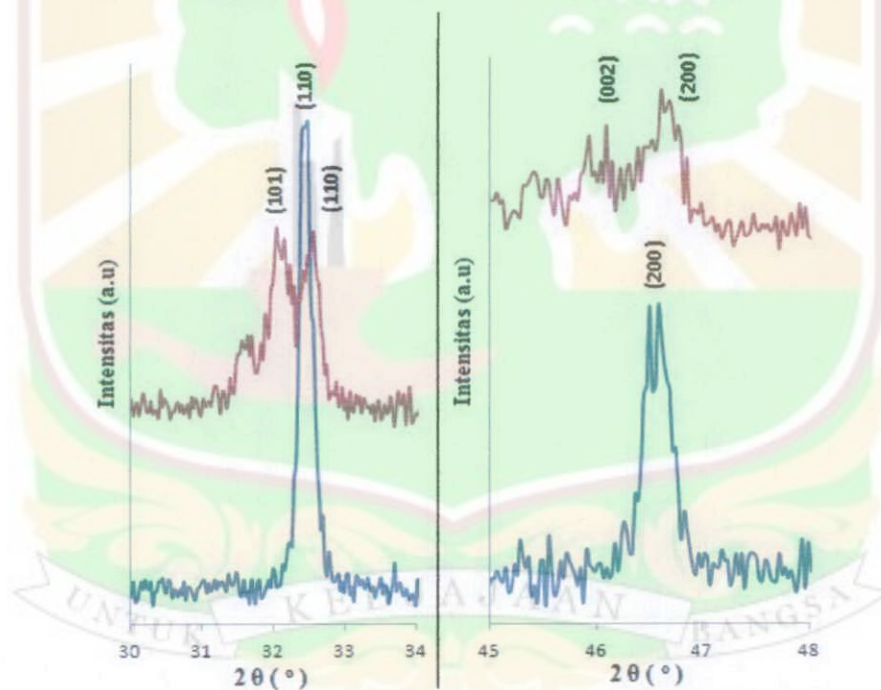
4.4.1 Analisis Pola Difraksi Sintesis BNT-BT

Hasil pola difraksi untuk kedua variasi komposisi sintesis BNT-BT dapat dilihat pada Gambar 15. Dapat dilihat dari pola difraksi tersebut adanya perbedaan yang jelas antara pola difraksi BNT-BT 93:7 dan BNT-BT 75:25. Sesuai dengan diagram fasa komposisi BNT-BT, pola difraksi BNT-BT 93:7 menunjukkan puncak-puncak yang karakteristik dengan struktur rombohedral. Sedangkan untuk pola difraksi BNT-BT 75:25 juga menunjukkan puncak-puncak yang karakteristik dengan struktur tetragonal. Hal ini, sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa terjadinya perubahan struktur dari rombohedral ke tetragonal dengan penambahan dopan BT dan juga batasan antara struktur rombohedral dan tetragonal tersebut terdapat pada komposisi 7 % mol BT.

Gambar 16 memperlihatkan dengan jelas terjadinya *splitting* atau pemisahan satu puncak rombohedral menjadi dua puncak tetragonal. Puncak rombohedral (110) terpisah menjadi puncak tetragonal (101) dan (110). Begitu pula dengan puncak rombohedral (200) yang terpisah menjadi puncak tetragonal (002) dan (200). Hal ini menyimpulkan bahwa pada penelitian ini berhasil dibuktikan bahwa dengan penambahan mol BT yang didoping terhadap BNT terjadi perubahan struktur dari rombohedral ke tetragonal. Hal ini tentunya berkaitan dengan teori pada literatur yang menyebutkan bahwa sifat piezoelektrik BNT meningkat pada daerah MPB yaitu pada 7 % mol BT.



Gambar 15. Pola difraksi sinar-X BNT-BT dengan metode *solid state reaction*



Gambar 16. Splitting pada puncak (110) dan (200)

4.4.2 Analisis Morfologi BNT-BT dengan SEM-EDX

Hasil SEM terhadap kristal BNT dengan perbesaran hingga 1500 kali dapat dilihat pada Gambar 17. Dari Gambar 17 terlihat jelas perbedaan produk BNT-BT dengan komposisi yang berbeda. Untuk komposisi 93 : 7 BNT : BT %mol, terlihat penyebaran partikel yang merata dan homogen. Sedangkan untuk komposisi 75 :

25 BNT : BT %mol, penyebaran partikel cukup merata. Ukuran partikel untuk BNT-BT dengan komposisi 75 : 25 berkisar 3,33 – 6,67 μm . Ukuran partikel untuk BNT-BT dengan komposisi 93 : 7 tidak dapat ditentukan karena partikel BNT-BT tidak terlihat jelas sehingga sulit untuk melakukan pengukuran.



Gambar 17. Mikrograf SEM dari BNT-BT dengan perbesaran 1500x untuk komposisi % mol BNT : BT (a) 93:7 (b) 75 : 25

Kandungan berbagai unsur kimia dari produk BNT-BT dapat diketahui dengan menggunakan analisis EDX. Tabel 9 memperlihatkan persentase atom-atom yang terkandung dalam produk BNT. Dapat dilihat pada Tabel 9 bahwa semua produk BNT-BT hanya mengandung bahan dasar yang membentuknya dan tidak terkontaminasi oleh unsur lain. Semua persentase atom yang terkandung meningkat dengan penambahan dopan BT kecuali atom Bi dan Na.

Tabel 9. Persentase atom-atom yang terkandung dalam produk BNT-BT

Atom (%)	% mol BNT : BT	
	93 : 7	75 : 25
C	2,58	-
O	44,32	56,04
Na	9,04	1,13
Ti	22,66	24,03
Ba	8,15	17,19
Bi	13,25	1,62

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Bismuth Natrium Titanat (BNT) dapat disintesis dengan metode sol gel dengan temperatur sintering optimum 800°C. Barium Titanat (BT) dapat disintesis dengan metode sol gel dengan suhu sintering optimum 1000°C.
2. BNT-BT dapat disintesis dengan metode *solid state* dengan penggerusan selama 4 jam dan temperatur sintering 1000°C.
3. Berdasarkan hasil karakterisasi XRD, BNT-BT yang disintesis dengan metode *solid state reaction* memberikan struktur rombohedral dengan perbandingan % mol BNT : BT 93 : 7. Sedangkan untuk perbandingan %mol BNT : BT 75 : 25 memberikan struktur tetragonal.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah didapat, maka saran yang dapat diberikan antara lain :

1. Pengontrolan suhu pada saat refluks proses sintesis BNT dan BT dengan metode sol gel hendaknya diperhatikan untuk hasil yang baik.
2. Suhu sintering pada sintesis BNT jangan melebihi 1100°C karena akan mengakibatkan penguapan bahan dasar Bi dan Na.

DAFTAR PUSTAKA

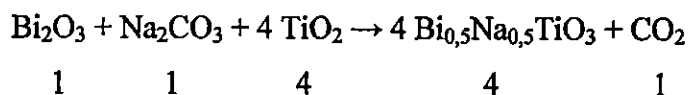
- 1) D. Triwahyuni. 2010. Sintesis Dan Karakterisasi Bahan Piezoelektrik $\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{TiO}_3$ (BNT) Dengan Metode *Molten Salt*. Skripsi Sarjana Jurusan Fisika. UNAND.
- 2) M. Sharma. 2010. Studies on Structural, Dielectric and Piezoelectric Properties of Doped pct Ceramics. Thesis Master of Technology. Materials science and engineering. Patiala.
- 3) H. Christopher A. 2009. Piezoelectric energy harvesting. *Energy Conversion and Management* 50, 1847-1850.
- 4) D. Damjanovic, Naama Klein, Jin Li, Viktor Porokhonsky. 2010. What Can Be Expected From Lead-Free Piezoelectric Materials. *World Scientific Publishing Company*. Vol.3 No.1 (2010) 5-13.
- 5) L.J.H. Liebrecht. 2006. Sol-gel derived Barium Titanate Thin Films. *Thesis of Chemical Engineering. University of Twente*.
- 6) E. Aksel, Jacob L. Jones. 2010. Advances in Lead-Free Piezoelectric Materials for Sensors and Actuators. *Sensors*. ISSN 1424-8220.
- 7) S. Tursiloadi. 1996. Pembuatan dan Karakterisasi Serbuk Piezoelektrik PbTiO_3 dengan proses kimia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Kimia Terapan. LIPI
- 8) A. Ullah, Chang Won Ahn, et al. 2010. The Effect of Sintering Temperatures on Dielectrics, Ferroelectrics and Electrics Filed-Induced Strain of Lead-Free $\text{Bi}_{0,5}(\text{Na}_{0,78}\text{K}_{0,22})_{0,5}\text{TiO}_3$ piezoelectric ceramics synthesis by the Sol-Gel Technique.
- 9) Y. Kim Chang, Tohru Sekino, Koichi Niihara. 2003. Syhntesis of Bismuth Sodium Titanate Nanosized Powders by Solution/ Sol-Gel Process. *Journal of American Ceramic Society*. 86 [9] 1464-67.
- 10) Y. Liao. 2009. Synthesis and Electrical Properties of Li-modified $\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{TiO}_3\text{-BaTiO}_3$ Lead-free Piezoelectric Ceramics. *Journal material of science*. Vol.25. no.6
- 11) T. Bhowmick. 2010. Characterizations of BNT Ceramics Synthesized by Different Techniques. Thesis of Department of Physics. National Institute of Technology. Rourkela.

- 12) S. Leontsev O dan Richard E Eitel. 2010. Progress in engineering high strain lead-free piezoelectric ceramics.
- 13) C. Moharana. 2009. Synthesis of low loss lead free piezoelectric BNT-BT Ceramic. National Institute of Technology, Rourkela.
- 14) T. Ohno. Daisuke Suzuki, Hisao Suzuki. 2004. Size Effect for Barium Titanate Nano- Particles. KONA. No.22
- 15) Z. Ming-Lei. Wang Chun-Lei, Zhong Wei-Lie. Wang Jin-Feng. 2003. Grain-Size Effect on the Dielectric Properties of $\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{TiO}_3$. *Chinese Physical Society and IOP Publishing*.
- 16) H. Kuan-Chih, Tung-Ching Huang, Wen-Feng Hsieh. 2009. Morphology-Controlled Synthesis of Barium Titanate Nanostructures. *Inorg. Chem.* 2009, 48, 9180–9184 DOI: 10.1021/ic900854x.
- 17) S. Barkair S. 2004. Electrical Properties of Barium Titanates Ceramics. Pp 231-242. Saudi
- 18) R. L. Brutchey and Daniel E. Morse. 2010. Template-Free, Low-Temperature Synthesis of Crystalline Barium Titanate Nanoparticles under Bio-Inspired Conditions. *Perovskite Nanoparticles*. DOI: 10.1002/anie.200602571.
- 19) A. Jamal, Muhammad Naeem, Yaseen Iqbal. 2008. Characterization of Barium Titanate Prepared via Mixed Oxide Sintering Route. *J Pak Mater Soc* 2008; 2(2).
- 20) S. Gianto. 2002. Spektroskopi Difraksi Sinar-X (*X-Ray diffraction/XRD*). Universitas Malang.

Lampiran 1

Perhitungan stoikiometri dari komposisi bahan dasar

a) Sintesis BNT



Massa BNT = 4 gr

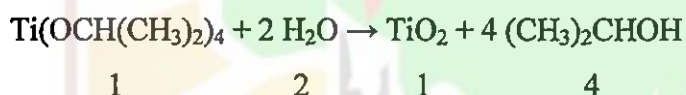
$$\text{mol BNT} = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} = \frac{4 \text{ g}}{211,850 \text{ g/mol}} = 0,0189 \text{ mol}$$

- Bi_2O_3

$$\text{mol Bi}_2\text{O}_3 = \frac{1}{4} \times 0,0189 \text{ mol} = 4,720 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

- Na_2CO_3

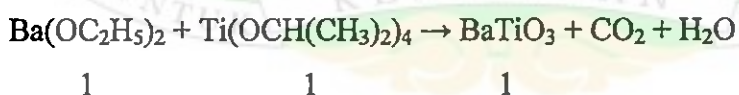
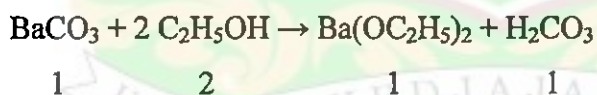
$$\text{mol Na}_2\text{CO}_3 = \frac{1}{4} \times 0,0189 \text{ mol} = 4,720 \times 10^{-3} \text{ mol}$$



$$\text{mol Ti}(\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)_4 \sim \text{mol TiO}_2$$

- $\text{mol TiO}_2 = \frac{4}{4} \times 0,0189 \text{ mol} = 0,0189 \text{ mol}$

b) Sintesis BT



massa $\text{BaTiO}_3 = 4 \text{ g}$

$$\text{mol BaTiO}_3 = \frac{4 \text{ g}}{233,192 \text{ g/mol}} = 0,0172 \text{ mol}$$

- BaCO_3

$$\text{mol BaCO}_3 \sim \text{mol BaTiO}_3 = 0,0172 \text{ mol}$$

- $\text{Ti}(\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)_4$

$$\text{mol Ti}(\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)_4 \sim \text{mol BaTiO}_3 = 0,0172 \text{ mol}$$

- $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

$$\text{mol C}_2\text{H}_5\text{OH} = \frac{2}{1} \times 0,0172 \text{ mol} = 0,0343 \text{ mol}$$

c) Sintesis BNT-BT

- BNT : BT 93 : 7 %mol

$$\text{massa BNT} = 0,47 \text{ g}$$

$$\text{mol BNT} = \frac{0,47 \text{ g}}{211,850 \text{ g/mol}} = 2,218 \times 10^{-3}$$

$$\text{mol BT} = \frac{(1-0,93)}{0,93} \times 2,218 \times 10^{-3} = 1,669 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

- BNT : BT 75 : 25 %mol

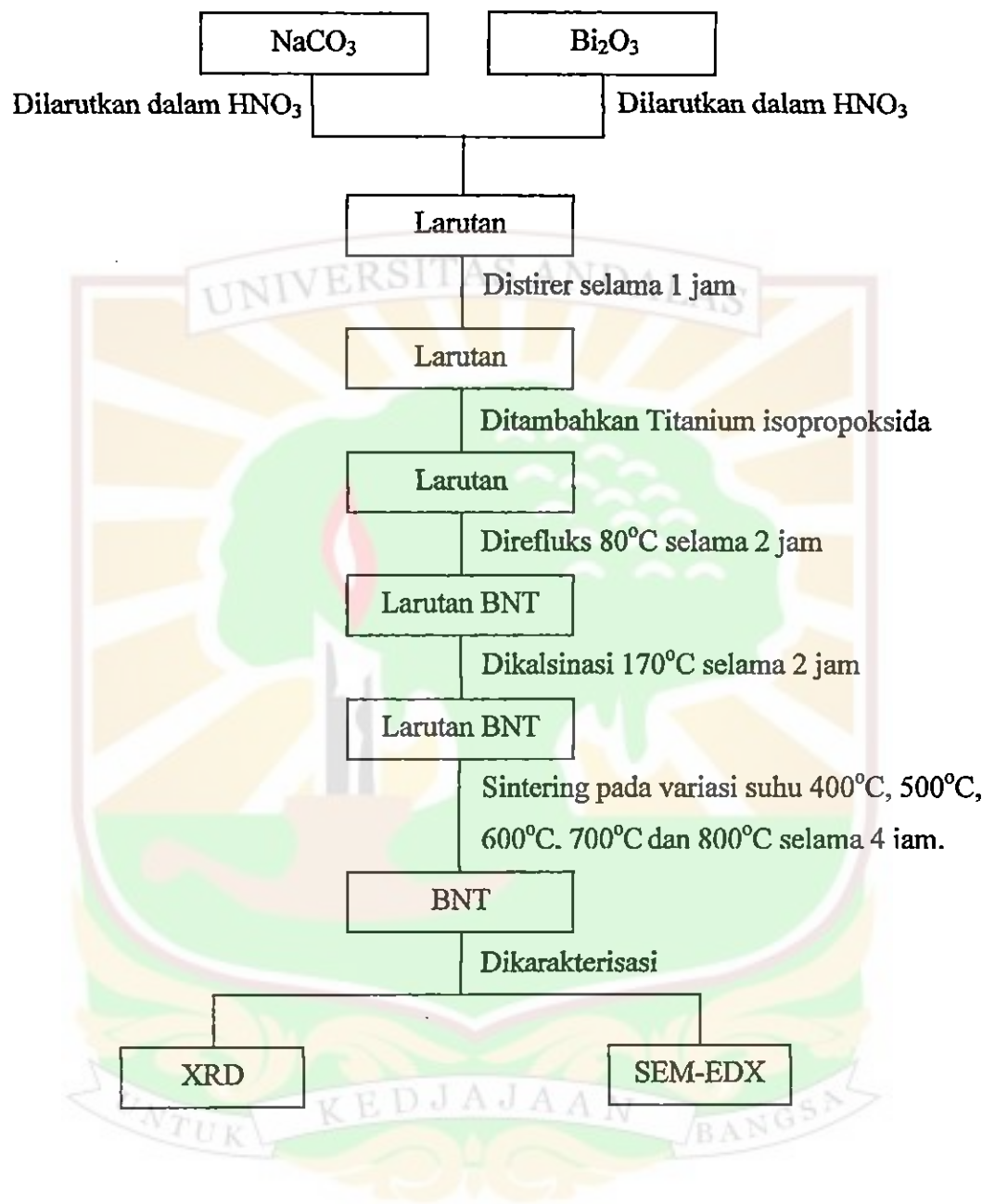
$$\text{massa BNT} = 0,5208 \text{ g}$$

$$\text{mol BNT} = \frac{0,5208 \text{ g}}{211,850 \text{ g/mol}} = 2,458 \times 10^{-3}$$

$$\text{mol BT} = \frac{(1-0,75)}{0,75} \times 2,458 \times 10^{-3} = 8,194 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

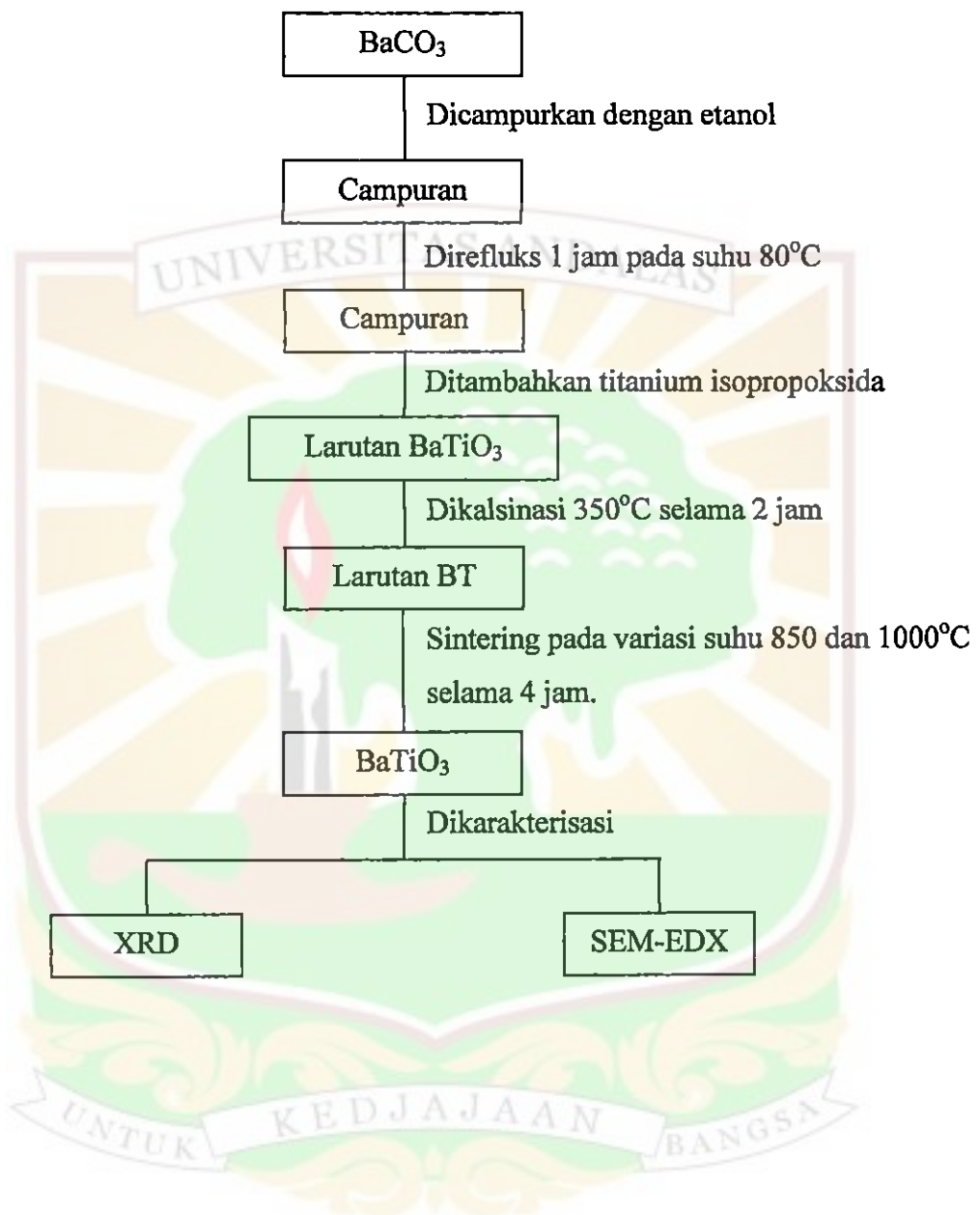
Lampiran 2

Skema kerja tahapan sintesis BNT dengan metode sol gel



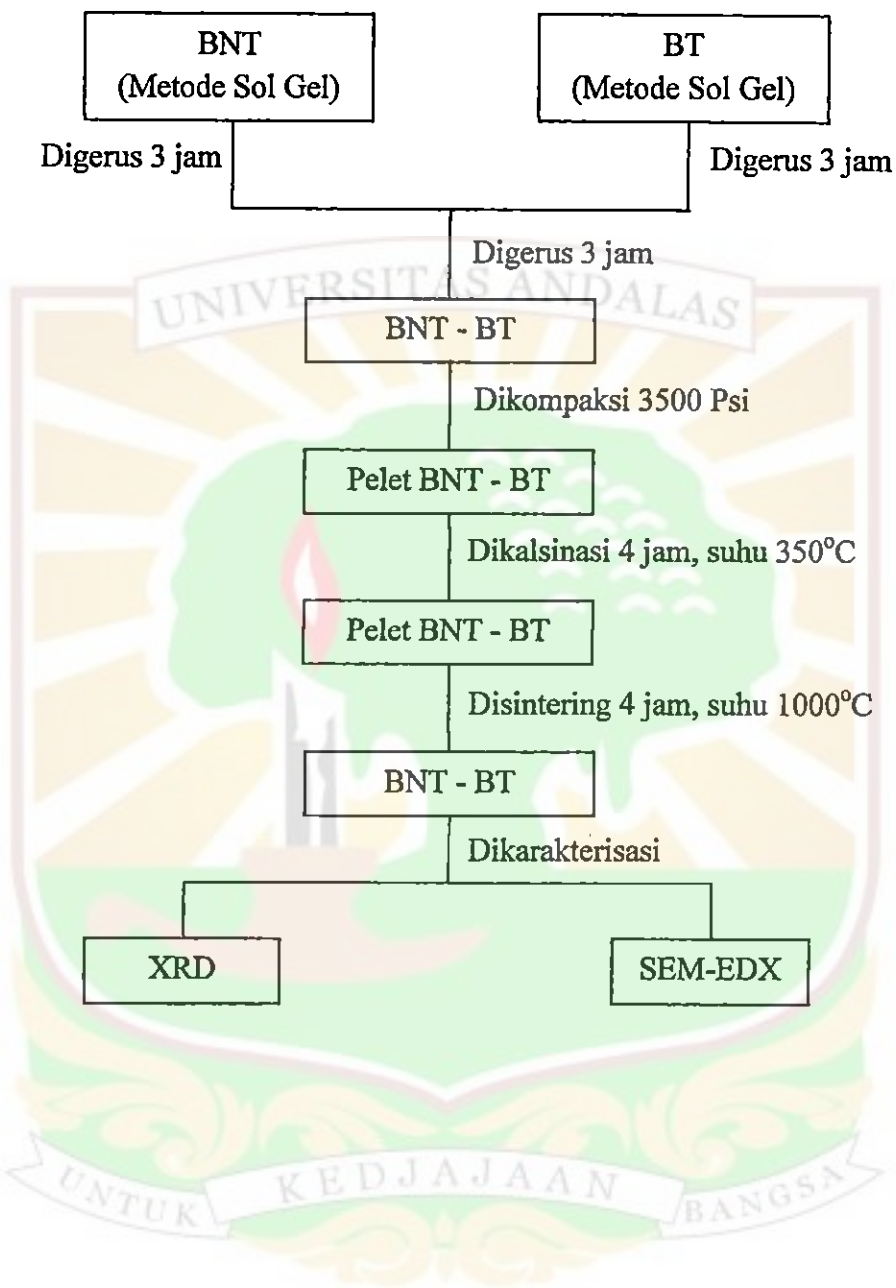
Lampiran 3

Skema kerja tahapan sintesis BT dengan metode sol gel



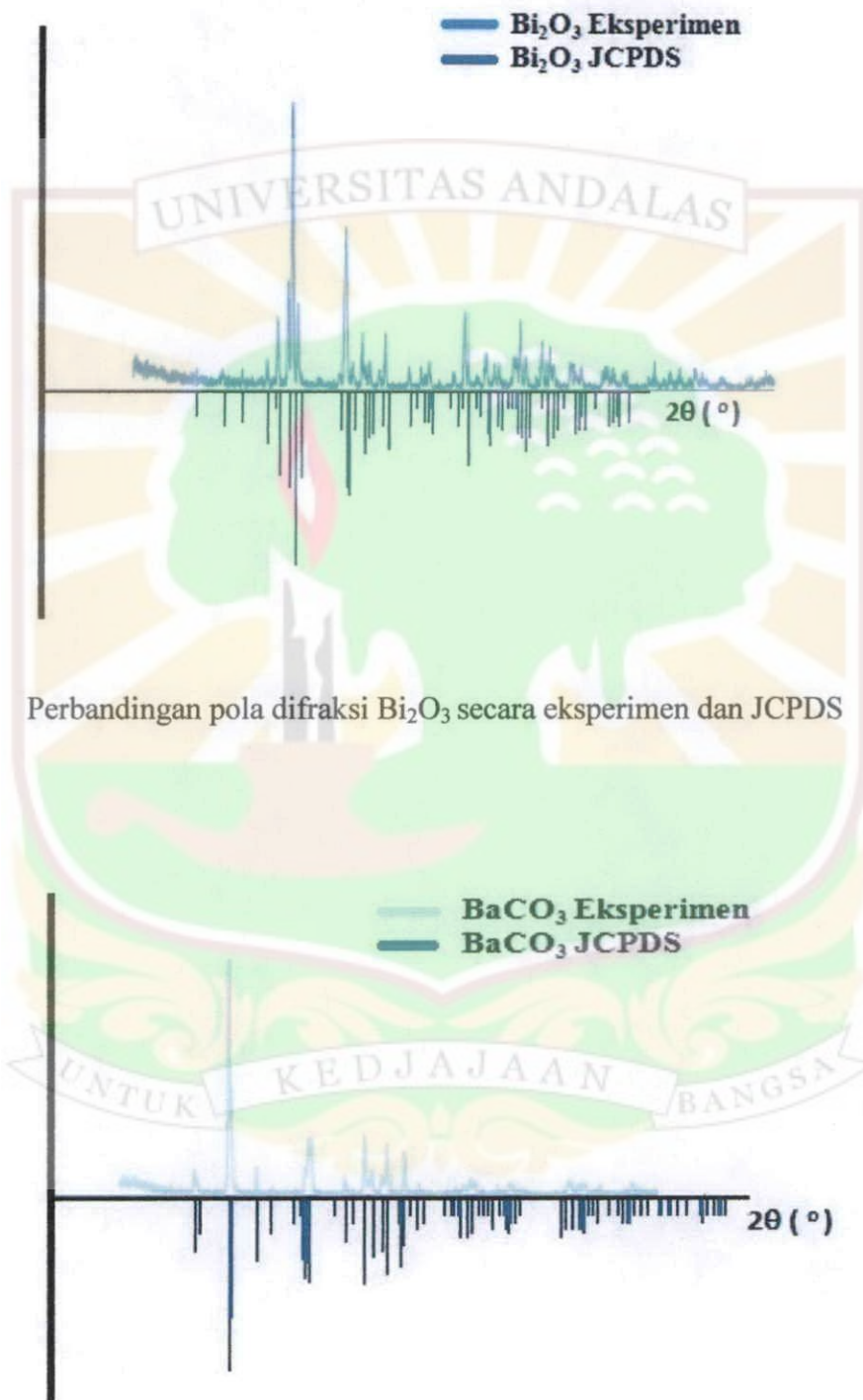
Lampiran 4

Skema kerja tahapan sintesis BNT-BT dengan metode *solid state reaction*



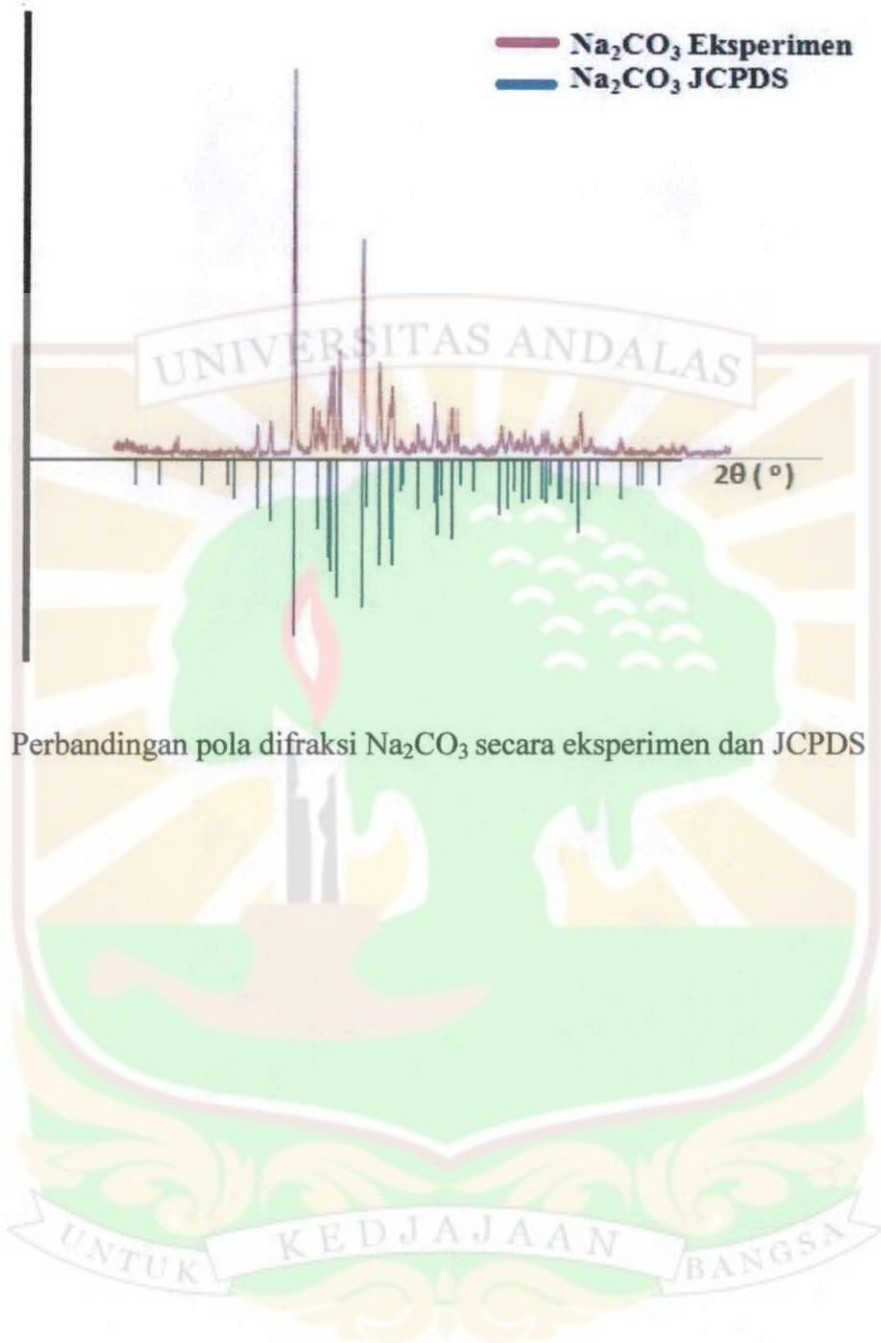
Lampiran 5

Perbandingan pola difraksi bahan dasar secara eksperimen dan JCPDS



Perbandingan pola difraksi Bi_2O_3 secara eksperimen dan JCPDS

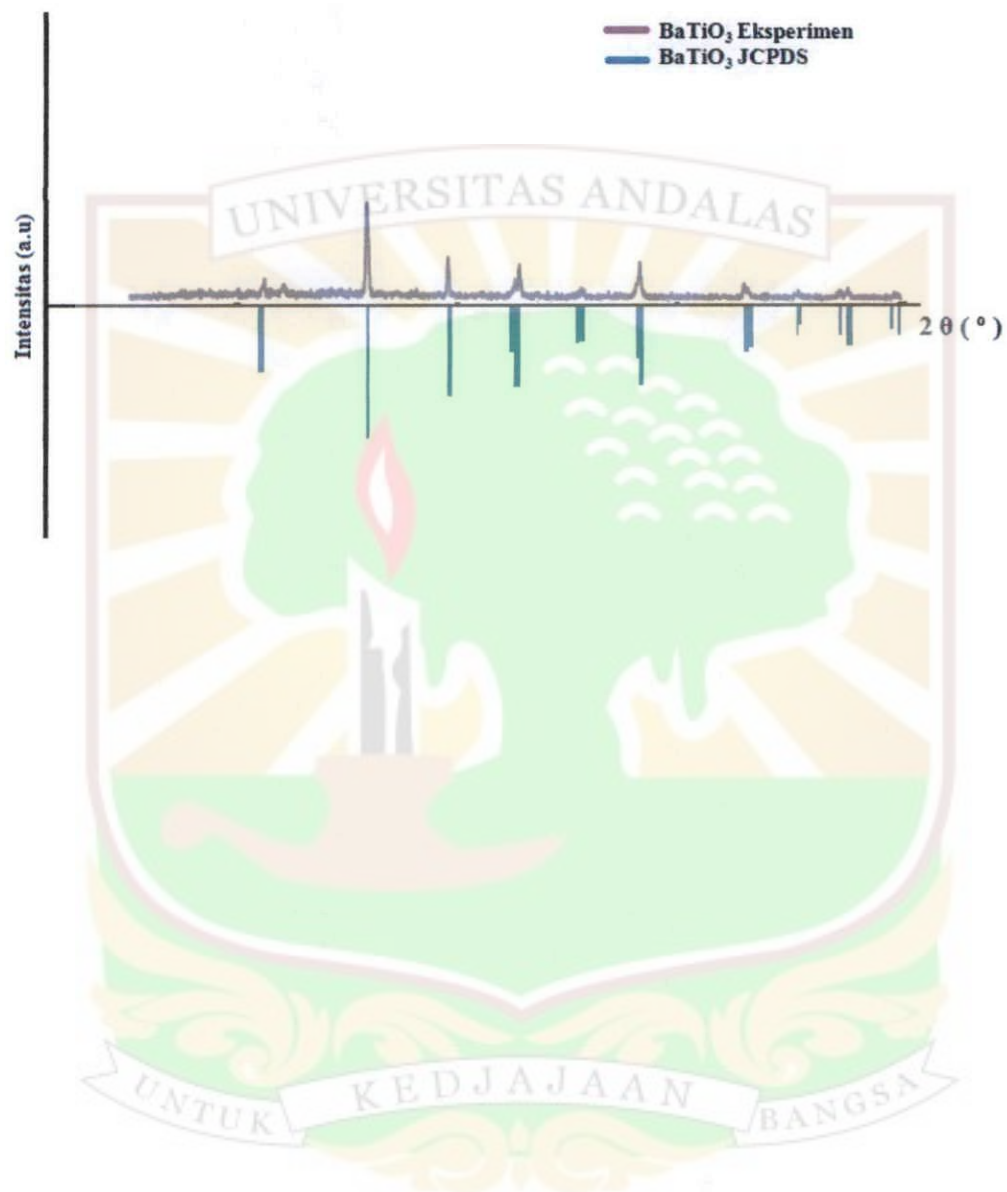
Perbandingan pola difraksi BaCO_3 secara eksperimen dan JCPDS



Perbandingan pola difraksi Na_2CO_3 secara eksperimen dan JCPDS

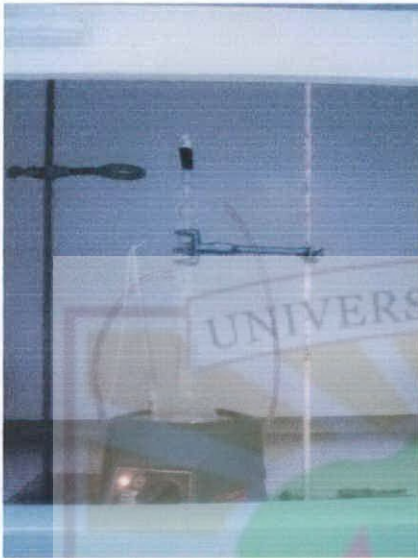
Lampiran 6

Perbandingan pola difraksi BT secara eksperimen dan JCPDS

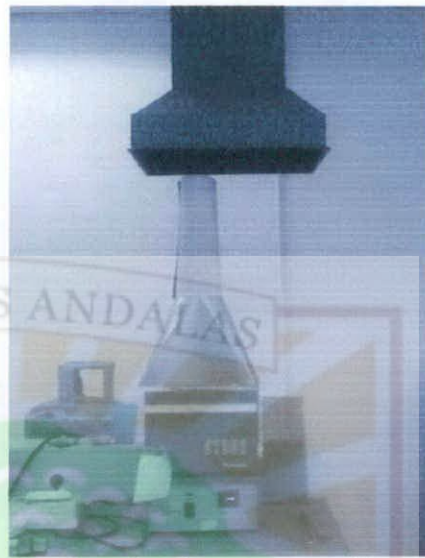


Lampiran 7

Gambar alat dan beberapa tahapan dalam proses sintesis



Gambar skema alat pada proses refluks pada sintesis BNT dan BT



Gambar alat furnace yang digunakan untuk kalsinasi dan sintering hasil sintesis



Gambar alat kompaksi



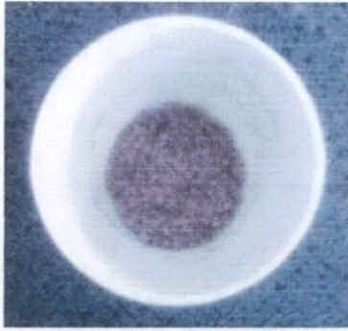
Gambar alat XRD



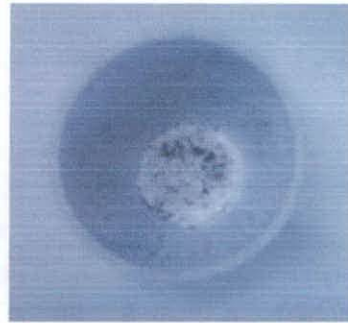
Gambar alat *dyes*



Gambar mortar



Gambar hasil kalsinasi BNT pada temperatur 170°C



Gambar hasil sintering BNT pada temperatur 400°C



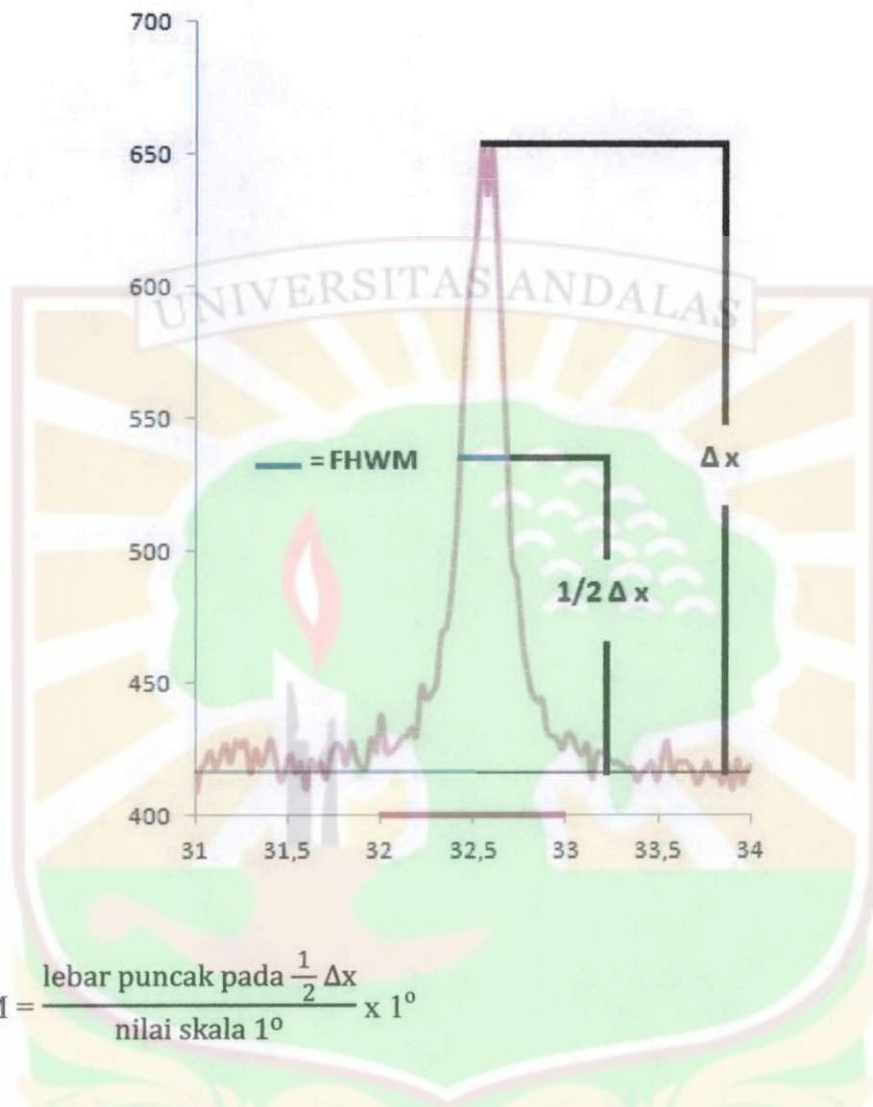
Gambar hasil kalsinasi BaTiO_3 pada temperatur 350°C



Gambar hasil sintesis BNT berdasarkan variasi temperatur sintering 400, 500, 600, 700 dan 800°C

Lampiran 8

Perhitungan FWHM puncak tertinggi



$$\text{FWHM} = \frac{\text{lebar puncak pada } \frac{1}{2} \Delta x}{\text{nilai skala } 1^\circ} \times 1^\circ$$

Nilai FWHM BNT

a) BNT 500

$$\text{FWHM} = \frac{46}{98} \times 1^\circ = 0,47^\circ$$

c) BNT 700

$$\text{FWHM} = \frac{29}{98} \times 1^\circ = 0,29^\circ$$

b) BNT 600

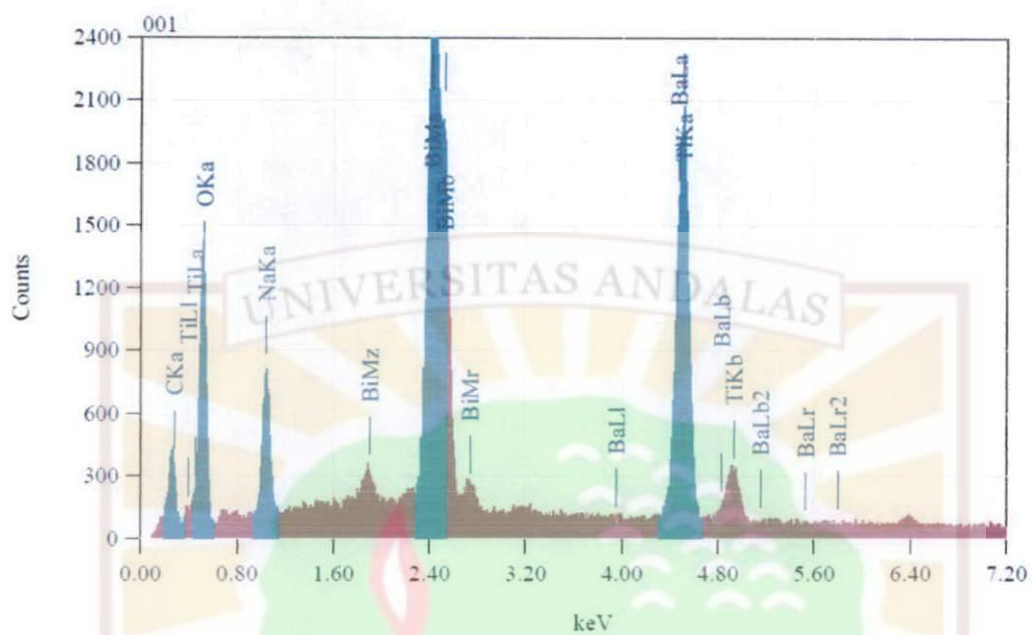
$$\text{FWHM} = \frac{30}{98} \times 1^\circ = 0,31^\circ$$

d) BNT 800

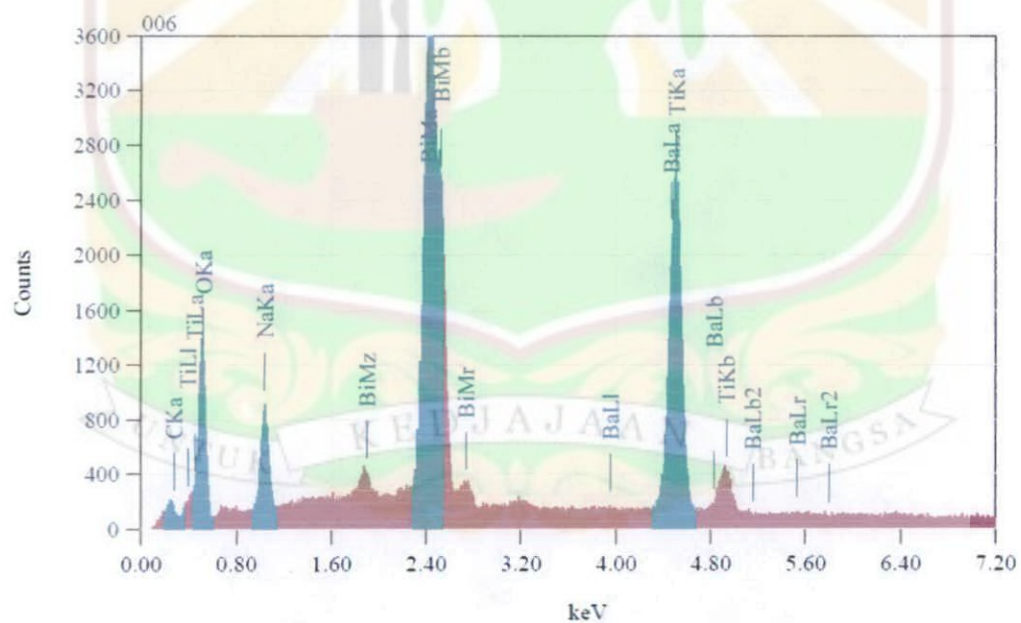
$$\text{FWHM} = \frac{25}{98} \times 1^\circ = 0,26^\circ$$

Lampiran 11

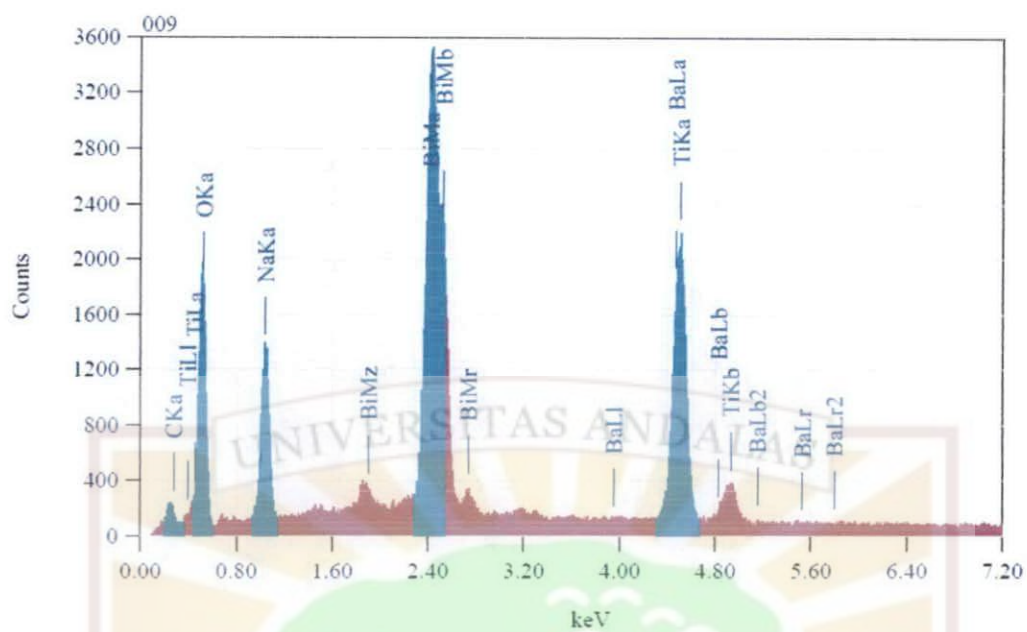
Hasil SEM-EDX BNT



Gambar Hasil Analisa EDX BNT 400°C



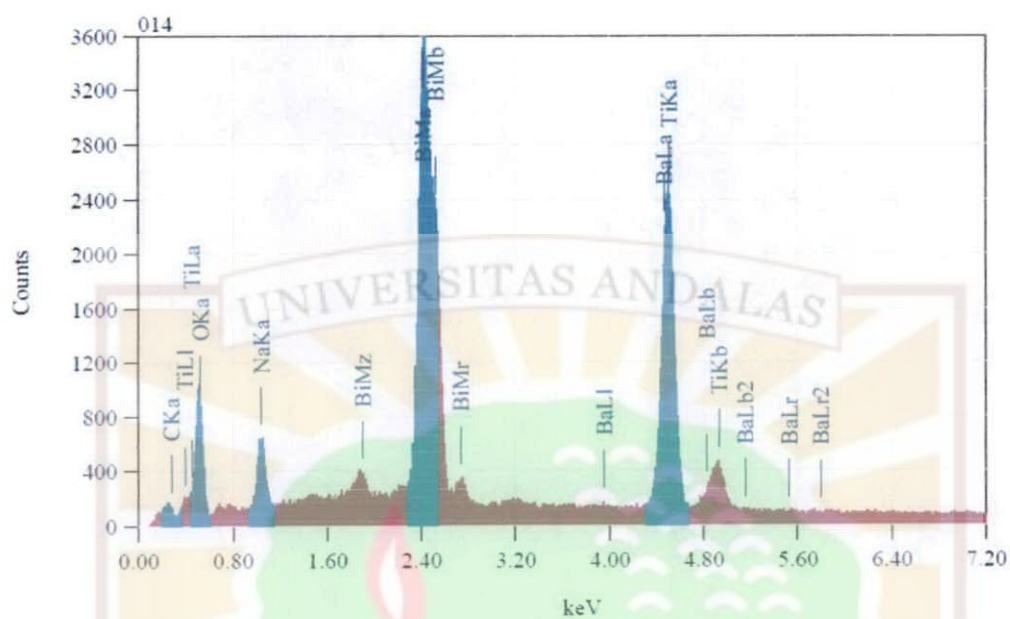
Gambar Hasil Analisa EDX BNT 500°C



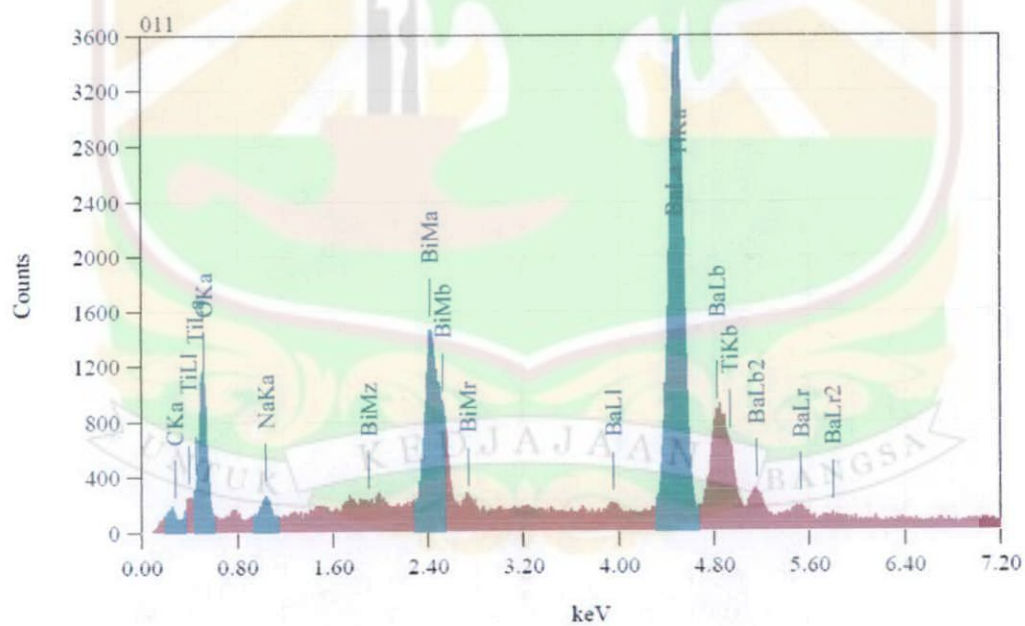
Gambar Hasil Analisa EDX BNT 600°C

Lampiran 11

Hasil SEM-EDX BNT-BT



Gambar Hasil Analisa EDX BNT-BT 93 : 7



Gambar Hasil Analisa EDX BNT-BT 75 : 25