



TUGAS AKHIR – TL141584

**PENGARUH DOPING Fe_2O_3 DAN TEMPERATUR
SINTERING TERHADAP SIFAT
FERROELEKTRIK DAN MAGNETIK PbTiO_3
DENGAN METODE *MECHANICAL ALLOYING***

JENNIS FITRIA
NRP 2711 100
138

Dosen Pembimbing :
Rindang Fajarin, S.Si, M.Si.
Hariyati Purwaningsih S.Si, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



TUGAS AKHIR - TL141584

EFFECTS OF DOPING Fe_2O_3 AND SINTERING TEMPERATURE ON FORMING PbTiO_3 USING MECHANICAL ALLOYING METHOD

JENNIS FITRIA
NRP 2711 100
138

Dosen Pembimbing :
Rindang Fajarin, S.Si, M.Si.
Hariyati Purwaningsih S.Si, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015

**PENGARUH DOPING Fe_2O_3 DAN TEMPERATUR
SINTERING TERHADAP SIFAT FERROELEKTRIK DAN
MAGNETIK $PbTiO_3$ DENGAN METODE *MECHANICAL
ALLOYING***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

JENNIS FITRIA
NRP. 2711 100 138

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Rindang Fajarini, S.T., M.Si. (Pembimbing)
2. Hariyati Purwaningsih, S.S., M.Sc. (Co-Pembimbing)



**Surabaya
Juli 2015**

**PENGARUH DOPING Fe₂O₃ DAN TEMPERATUR
SINTERING TERHADAP SIFAT FERROELEKTRIK
DAN FERROMAGNETIK
PbTiO₃ DENGAN METODE *MECHANICAL ALLOYING***

Nama : Jennis Fitria
NRP : 2711100138
Jurusan : Teknik material dan metalurgi
Dosen pembimbing : Rindang Fajarin S.Si, M.Si dan
Hariyati Purwaingsih, S.Si., M.Si

Multiferroik merupakan topik yang menarik untuk perkembangan penting teknologi dan alam, di mana dua fenomena koeksistensi dari Ferromagnetik (FM) dan Ferroelektrik (FE). PbTiO₃ merupakan material oksida tipe perovskite yang mempunyai peranan penting dalam aplikasi elektronik karena memiliki sifat, dielektrik, ferroelektrik, piezoelektrik dan magnetik. Namun masih sedikit yang meneliti tentang pendopingan Fe pada PbTiO₃ yang dapat menaikkan sifat ferromagnetik sehingga material ini bisa menjadi multiferroik. Penelitian ini mempelajari tentang pengaruh variasi doping dan temperature sintering pada PbTiO₃. Pembuatan nanopartikel Pb(Ti, Fe)O₃ dilakukan dengan cara mencampur Fe₂O₃ pada PbTiO₃ secara mechanical alloying. Untuk mengetahui perubahan yang terjadi ketika penambahan Fe dilakukan pengujian XRD, SEM-EDX, Ferroelektrik dan Suseptibilitas. Penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi Fe₂O₃ 0.2, 0.3, 0.4 mol dan temperatur sintering 950, 1000, 1050 °C. PbTiO₃ bersifat multiferroik dengan adanya penambahan Fe₂O₃. Hal ini ditunjukkan dengan nilai polarisasi remanensi $\geq 36 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ dan medan koersif $\geq 54 \text{ kV}/\text{cm}$.

Kata kunci: Multiferroik, PbTiO₃, Mechanical alloying, PbTiO₃ yang didoping Fe.

EFFECTS OF DOPING Fe_2O_3 AND SINTERING TEMPERATURE ON FORMING PbTiO_3 USING MECHANICAL ALLOYING METHOD

Nama : Jennis Fitria
NRP : 2711100138
Jurusan : Teknik material dan metalurgi
Dosen pembimbing : Rindang Fajarin S.Si, M.Si dan
Hariyati Purwaingsih, S.Si., M.Si

Multiferroics have been an interesting topic in the development of science and technology, where Ferromagnetic (FM) coexist with Ferroelectric (FE). PbTiO_3 is a perovskite type oxides material which has an important role in the application of electronics because of its dielectric, ferroelectric, piezoelectric and magnetic characteristics. At the moment, there is just a few research about Fe doped on PbTiO_3 , although this method could enhance its ferromagnetic characteristic so it becomes multiferroic. In this paper, the effects of doping variation and sintering temperature on PbTiO_3 are examined. Creation of $\text{Pb}(\text{Ti}, \text{Fe})\text{O}_3$ nanoparticle is done by mixing Fe_2O_3 and PbTiO_3 , using mechanical alloying method. In order to examine the changes occurred in Fe addition, some test (XRD, SEM-EDX, Ferroelectricity and Susceptibility) are held. This paper uses Fe_2O_3 doping variations of 0.2, 0.3, 0.5 mol Fe contents and sintering temperatures of 950, 1000, 1050 °C. PbTiO_3 becomes multiferroic with the addition of Fe_2O_3 . It is shown that polarization remnant value $\geq 36 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ and coercive field $\geq 54 \text{ kV}/\text{cm}$.

Keyword: Multiferroic, PbTiO_3 , Mechanical alloying, Fe doped PbTiO_3



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpah rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul :

PENGARUH DOPING Fe_2O_3 DAN TEMPERATUR SINTERING TERHADAP SIFAT FERROELEKTRIK DAN FERROMAGNETIK PbTiO_3 DENGAN METODE *MECHANICAL ALLOYING*

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis juga mngucapkan terima kasih sebesar-besarnya yang diberikan kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan karunia serta kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Almarhum Bapak Miswanto, Ibu Yulhayati dan kakak-kakak serta keluarga atas segala bimbingan, doa, kasih sayang, semangat, dan petuah yang tidak pernah berhenti dan tanpa diminta selalu diberikan kepada penulis selama ini.
3. Ibu Rindang Fajarin, S.Si., M.Si. atas segala bimbingan materi dan bimbingan selama penulis mengerjakan tugas akhir.
4. Ibu Hariyati Purwaningsih, S.So., M.Si. atas segala bimbingan materi dan bimbingan selama penulis mengerjakan tugas akhir.
5. Seluruh jajaran dosen Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS, atas segala bimbingan selama masa perkuliahan.
6. Sahabat sesama bimbingan Ibu Rindang Fajarin yakni RIzka Andani, Reni Hayu Warit dan Venorita Purnamasari.
7. Mas Ridho, Pak Moko, Pak Tari, Pak Chanan dan Mas Dafiq atas bantuan penggunaan alat selama pengejaan Tugas Akhir.



-
8. Romlan Sidiq, Khoiril Metrim, dan A. Marsha Alviani, terima kasih selalu menemani ketika harus lembur di lab hingga larut malam.
 9. Keluarga Kendo ITS yang selalu memberikan dukungan dan support terutama Bryan Nandriawan.
 10. Keluarga MT-13 Teknik Material dan Metalurgi terima kasih atas semua dukungan, bantuan, serta ilmu yang selalu diberikan
 11. Seluruh Anggota HMMT FTI-ITS atas bantuan, pengetahuan, dukungan serta semangat selama masa perkuliahan.
 12. Semua teman-teman di ITS, yang telah berbagi pengalaman.
 13. Semua pihak yang telah membantu penelitian Tugas Akhir ini.





DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Karakteristik PbTiO_3	5
2.2 Karakteristik Fe_2O_3	7



2.3 Karakteristik PbTiO ₃ yang didoping Fe ₂ O ₃	Error!
Bookmark not defined.	
2.4 Material Multiferroik.....	10
2.5 Ferroelektrik	11
2.6 Ferromagnetik	14
2.7 <i>Mechanical Alloying</i>	15
2.7.1 <i>Milling Container</i>	15
2.7.2 Kecepatan Milling	16
2.7.3 <i>Grinding Medium</i>	17
2.7.4 <i>Ball to Powder Weight Ratio (BPR)</i>	18
2.7.5 Waktu Milling	18
2.7.6 <i>Process Control Agents</i>	19
2.7.7 Temperatur Milling	19
2.8 <i>Planetary Ball mills</i>	20
2.9 <i>Mechanism of Alloying</i>	21
2.10 Sintering	24
2.11 Penelitian Sebelumnya	26
BAB III.....	29
METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Bahan.....	29
3.2 Peralatan dan Pengujian	31
3.3 Diagram Penelitian.....	37
3.4 Rancangan Penelitian	39
3.5 Variabel Penelitian	39

3.6 Langkah Penelitian	39
3.6.1 Persiapan Serbuk	40
3.6.2 Proses Penggilingan Mekanik	40
3.6.3 Kompaksi	41
3.6.4 Sintering	41
3.6.5 Karakterisasi	41
3.6.5.1 XRD	41
3.6.5.2 SEM.....	43
3.6.5.3 Karakteristik Sifat Ferroelektrik.....	45
3.6.5.4 Suseptibilitas	46
BAB IV	47
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Sintesa PbTiO_3 yang didoping Fe_2O_3	47
4.2 Hasil Pengujian XRD	51
4.4 Hasil Uji dari SEM dan EDX	59
4.5 Analisa Ferroelektrik.....	64
4.5.1 Pengaruh Penambahan Konsentrasi Doping Fe_2O_3 dan Temperatur Sintering pada PbTiO_3	65
4.6 Analisa Kemagnetan dari Suseptibilitas.....	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Process Control Agent (Suryanarayana 2001) ...	19
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian	39
Tabel 3.2 Informasi yang terkandung dalam Hasil Pengujian XRD (Pratapa 2004)	43
Tabel 4.1 Komposisi unsur penyusunan paduan partikel PbTiO ₃	
Tabel 4.2 variasi konsentrasi Fe ₂ O ₃ dengan temperatur sintering 950°C	64
Tabel 4.3 Hasil Suseptibilitas.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kubik ABO_3 perovskite dengan unit cell $a=b\neq c$ (Ganegoda 2012)	6
Gambar 2.2 Struktur Perovskite $PbTiO_3$ (Kong 2008)	7
Gambar 2.3 Hubungan antara sifat multiferroik material. Ilustrasi kedua sifat material yang diterima (Martin 2008)	11
Gambar 2.4 Kurva histeresis paraelektrik (sebelah kanan) dan Ferroelektrik (sebelah kiri).	12
Gambar 2.5 Kurva histeresis (Hikam dkk. 2011)	13
Gambar 2.6 Kurva Histeresis Magnetik (Spaldin 2011)	14
Gambar 2.7 <i>Milling container</i>	16
Gambar 2.8 (a) <i>Planetary ball mills</i> (b) Pergerakan bola saat grinding bowl berputar (Suryanarayana 2001)	21
Gambar 2.9 Karakteristik deformasi pada tiap tipe partikel serbuk. (Suryanarayana 2001).....	22
Gambar 2.10 Mekanisme terjadinya tumbukan (Suryanarayana 2001).....	23
Gambar 3.1 Serbuk PbO	29
Gambar 3.2 Serbuk TiO_2	30
Gambar 3.3 Larutan PCA.....	30
Gambar 3.4 Serbuk Fe_2O_3	31
Gambar 3.5 Timbangan digital.....	31
Gambar 3.6 Kompaksi	32
Gambar 3.7 <i>Planetary ball mill</i>	33
Gambar 3.8 <i>Ball Mill</i>	33
Gambar 3.9 Furnace.....	34
Gambar 3.10 Mesin XRD	34
Gambar 3.11 SEM	35
Gambar 3.12 Alat uji Kelistrikan	35

Gambar 3.13 Alat uji Suseptibilitas	36
Gambar 3.14 Diagram Alir.....	38
Gambar 3.15 XRD	42
Gambar 3.16 Alat uji SEM	45
Gambar 4.1 (a) PbTiO_3 dimortar (b) PbTiO_3 setelah dimiling.....	47
Gambar 4.2 PbTiO_3 yang telah didoping.....	49
Gambar 4.3 PbTiO_3 yang sudah mengalami sintering pada temperatur 950°C dengan doping , (a) 0.2 mol, (b) 0.3 mol, (c) 0.4 mol.....	50
Gambar 4.4 PbTiO_3 yang sudah mengalami doping 0.4 mol Fe_2O_3 dengan temperatur, (a) 950°C , (b) 1050°C , (d) 1150°C ..	50
Gambar 4.5 Hasil Pengujian XRD PbTiO_3	51
Gambar 4.6 Hasil Pengujian XRD pada Sampel dengan Variasi konsentrasi pada temperatur 950°C , 1050°C , 1150°C (a) 0.2 mol, (b) 0.3 mol dan (c) 0.4 mol	54
Gambar 4.7. Terjadinya pergeseran kurva pada hasil XRD PbTiO_3 yang didoping Fe_2O_3	57
Gambar 4.8 Hasil SEM perbesaran 15000x dari PbTiO_3 yang belum mengalami doping.....	59
Gambar 4.9 Hasil Pengujian EDAX PbTiO_3	60
Gambar 4.10 Hasil SEM perbesaran 15000x dari PbTiO_3 yang sudah mengalami sintering pada temperatur 950°C dengan doping , (a) 0.2 mol, (c) 0.3 mol, (d) 0.4 mol	61
Gambar 4.11 Hasil SEM-EDX pada Sintering 950°C PbTiO_3 , (a) 0.2 mol, (b) 0.3 mol dan (c) 0.4 mol	63
Gambar 4.12 Hubungan Variasi Doping dengan Polarisasi Remanen dan Medan Koersif.....	66
Gambar 4.13 Hubungan Variasi Temperatur dengan Polarisasi Remanen dan Medan Koersif.....	68



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Nano skala ferroelektrik kebanyakan diaplikasikan sebagai peralatan nano-elektronik, dalam bagian memori *non-volatile*. Material multiferroik mempunyai aplikasi yang luas seperti memori *non-volatile*, kapasitor, transduser, *actuator* dan lainnya. Teknologi yang menjanjikan ini dapat lebih baik jika sifat ferroelektrik dan ferromagnetiknya konsisten dalam temperatur ruang.

Timbal titanat (PbTiO_3) telah banyak diteliti selama beberapa dekade terakhir. PbTiO_3 memiliki struktur sederhana di antara banyak ferroelektrik yang berstruktur perovskite dan menunjukkan displacive karakter transisi yang khas. Sampai saat ini, untuk mendapatkan Fe^{+3} yang mendoping PbTiO_3 dilakukan banyak cara seperti *solid state*, *co-precipitation*, dan masih banyak lainnya. Salah satunya adalah untuk mendapatkan reaksi antar butir dengan memberikan energi panas. Pemberian energi panas untuk menjadikan butiran-butiran pada Fe_2O_3 - TiO_2 - PbO berinteraksi, dapat dilakukan dengan pemberian energi minimum, yang didapat dari pemberian energi kinetik (gaya gesek) melalui metode *Powder Metallurgy* dengan berbahan serbuk Fe_2O_3 , TiO_2 dan PbO yang dipadukan secara mekanik dengan proses *Mechanical Alloying*. Pada penelitian ini khususnya untuk membentuk senyawa dari Fe^{+3} yang mendoping PbTiO_3 dengan struktur perovskite. Penelitian ini menggunakan variasi temperatur sintering dan variasi doping Fe^{+3} untuk mengukur nilai magnetiknya dan ferroelektriknya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang di atas, adapun rumusan masalah yang diteliti pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi doping Fe_2O_3 dan temperatur sintering terhadap sifat ferroelektrik PbTiO_3 ?



2. Bagaimana pengaruh variasi doping Fe_2O_3 dan temperatur sintering terhadap sifat magnetik PbTiO_3 ?

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak meluas dan bisa dikontrol, permasalahan pada penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Ukuran butir serbuk $\text{TiO}_2 - \text{PbO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ diasumsikan homogen.
2. Unsur-unsur pengotor pada serbuk $\text{TiO}_2 - \text{PbO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ dianggap tidak ada.
3. Kecepatan milling di anggap konstan.
4. *Ball to powder weight ratio* (BPR) konstan.
5. Temperatur dan waktu sintering konstan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh variasi doping Fe^{+3} dan temperatur sintering terhadap pembentukan nanopartikel PbTiO_3 .
2. Menganalisa pengaruh variasi doping Fe^{+3} dan temperatur sintering terhadap sifat ferroelektrik.
3. Menganalisa pengaruh variasi doping Fe^{+3} dan temperatur sintering terhadap sifat ferromagnetik.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui pengaruh doping Fe_2O_3 dan temperatur sintering terhadap PbTiO_3 serta sifat ferroelektrik dan magnetiknya sehingga dapat bermanfaat bagi kemajuan teknologi dalam pengembangan material.



1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini terbagi dalam lima bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang dibuatnya penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan laporan hasil penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori dari literatur yang berhubungan dan menunjang analisa permasalahan dalam penelitian ini.

BAB III METODOLOGI

Bab ini berisi rancangan penelitian, prosedur pelaksanaan, spesifikasi peralatan dan material uji serta prosedur pelaksanaan.

BAB IV HASIL dan PEMBAHASAN

Bab ini berisi data-data yang diperoleh selama penelitian, pembahasan dari data yang diperoleh sesuai dengan permasalahan yang ditetapkan pada penelitian.

BAB V KESIMPULAN dan SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian dan saran yang diharapkan dapat berguna pada penelitian selanjutnya.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



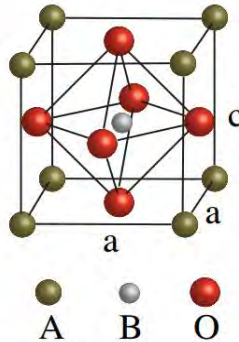
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik PbTiO_3

Ferroelektrik dengan struktur perovskite (ABO_3), misalnya titanat timbal (PbTiO_3), adalah oksida ferroelektrik yang paling banyak dipelajari karena banyak digunakan dalam kapasitor film tipis, transduser elektronik, aktuator, high-k dielektrik, sensor piroelektrik, dan nonlinier optik (Wang 2010).

Struktur Kristal senyawa PbTiO_3 merupakan bagian dari senyawa ABX_3 yaitu struktur kristal kubik perovskite. Bahan ini memiliki sifat ferroelektrik dan konstanta dielektrik yang tinggi. Struktur perovskite ABX_3 mempunyai dua buah kation dengan ukuran yang berbeda. Kation A memiliki ukuran sama dengan anion X dan kation B memiliki ukuran lebih kecil. Kation A dan anion X membentuk susunan kubik berpusat muka (*face centered cubic, FCC*), sedangkan kation B berada di tengah pusat *oktahedral*. Ion Pb merupakan kation A, sedangkan ion Ti berperan sebagai kation B dan O sebagai X. (Xue 1999).

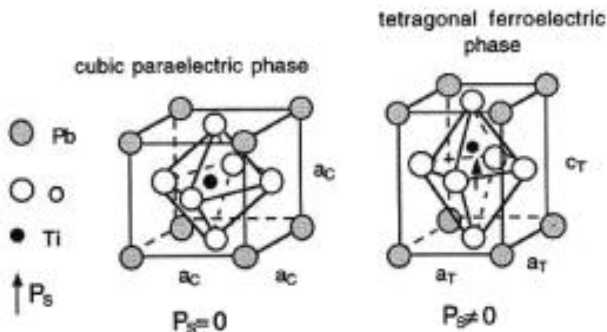
Studi tentang PbTiO_3 berstruktur nano masih terbatas, hal ini karena kurangnya teknik sintesis yang baik untuk mempersiapkan nanopartikel PbTiO_3 . Partikel-partikel dengan dimensi nanoskopik telah mendapat perhatian penelitian yang cukup besar karena sifat kimia dan fisika konvensional (misalnya, elektronik, optik) pada skala nano. PbTiO_3 banyak digunakan di berbagai perangkat elektronik sebagai hasil dari koefisien piroelektrik besar dan permitivitas relatif rendah (Wang 2010).



Gambar 2.1 Kubik ABO_3 perovskite dengan unit cell $a=b \neq c$
(Ganegoda 2012)

Karena intrinsik *tetragonality* tinggi dan temperatur Curie yang tinggi TC, ($PbTiO_3$, PT) adalah kandidat yang menjanjikan untuk perangkat ferroelektrik nano-teknologi. Akibatnya, transisi ferroelektrik ini sangat terpengaruh atau bahkan ditekan untuk ukuran kecil partikel (nano-struktur) atau film tipis (Rene 2009).

$PbTiO_3$ adalah *Electroceramic* yang terkenal mempunyai sifat dielektrik, piroelektrik, dan sifat piezoelektrik yang baik untuk aplikasi dalam elektronik dan mikroelektronik. Pada temperatur kamar, $PbTiO_3$ menunjukkan struktur perovskite tetragonal dan, ketika didoping dengan perovskite lainnya, membentuk berbagai solusi kristal padat. Para anggota PT berbasis ferroelektrik banyak digunakan dalam multilayer, aktuator dan sensor kapasitor. Untuk membuatnya, serbuk halus dari fase perovskite dengan tingkat minimal aglomerasi partikel diperlukan untuk meningkatkan kepadatan dan keseragaman mikrostruktur temperatur sintering. (Xue 1999)



Gambar 2.2 Struktur Perovskite PbTiO_3 (Kong 2008)

2.2 Karakteristik Fe_2O_3

Besi oksida adalah senyawa kimia yang terdiri dari besi dan oksigen. Secara keseluruhan, ada enam belas oksida besi dan oxyhydroxides (Cornell dan Schwertmann 2003). Penggunaan dari berbagai oksida dan hidroksida yang sangat beragam mulai dari pigmen dalam glasir keramik, untuk digunakan dalam termit.

Besi (III) oksida atau oksida besi adalah senyawa anorganik dengan rumus Fe_2O_3 . Ini adalah salah satu dari tiga oksida utama besi, dua lainnya adalah besi (II) oksida (FeO), yang langka, dan besi (II, III) oksida (Fe_3O_4), yang juga terjadi secara alami sebagai magnetit mineral. Sebagai mineral yang dikenal sebagai hematit, Fe_2O_3 adalah sumber utama dari besi untuk industri baja (Cornell dan Schwertmann 2003). Bentuk butirannya heksagonal, secara umum berbentuk butiran-butiran. Warna hematite ini bervariasi mulai dari kuning-coklat sampai oranye merah dan ungu (Klein 1993).

Hematite (α - Fe_2O_3) merupakan oksida keramik yang banyak digunakan sebagai bahan dasar pembuatan material magnet kelas soft magnet (magnet tak permanen) dan hard magnet (magnet permanen). Hematite (α - Fe_2O_3) mempunyai struktur heksagonal (rhombohedral) (Cornell dan Schwertmann 2003). Seperti magnet ferrite lainnya, hematite (α - Fe_2O_3) mempunyai sifat mekanik yang



kuat dan tidak mudah terkorosi karena memiliki ketahanan kimia yang baik terhadap lingkungan. Di samping itu magnet ferrit mempunyai koersivitas magnetik sangat stabil terhadap pengaruh medan luar serta temperatur yang cukup baik (Priyono 2004). Hematite (α - Fe_2O_3) banyak digunakan sebagai material awal pada pembentukan senyawa magnet ferrite (Smallman 1999).

Berbagai usaha dilakukan untuk meningkatkan daya guna dari material ini antara lain dengan substitusi kation menggunakan ion bervalensi dua dan empat seperti Mn^{2+} , Co^{2+} dan Ti^{4+} untuk menggantikan kedudukan ion Fe^{3+} . Substitusi kation (Mn dan Ti) dalam hematite dapat merubah konstanta kisi juga ukuran partikel (Raming 2002) yang akan mempengaruhi sifat magnetnya. Sifat hematite yang elektronegatif membuat material ini stabil dan tidak mudah bereaksi dengan senyawa lain. Hematite mempunyai titik lebur yang tinggi, yaitu sekitar 1350°C (Cornell 2003). Sifat tersebut menyebabkan dibutuhkannya temperatur yang tinggi untuk memecah ikatan Fe dalam proses substitusi. (Tang dkk. 2005).

Di antara berbagai logam transisi, besi telah dianggap sebagai kandidat yang tepat karena fakta bahwa radius Fe^{3+} (0.79 \AA) adalah mirip dengan Ti^{4+} (0.75 \AA), sehingga Fe^{3+} dapat dengan mudah dimasukkan ke dalam kristal kisi TiO_2 (Zhang 1998) serta mempunyai sifat antiferromagnetik dan memiliki struktur kristal rhombohedral. Unit selnya heksagonal dengan $a = 0,5034 \text{ nm}$ dan $c = 1,375 \text{ nm}$ (Cornell dan Schwertmann 2003).

2.3 Karakteristik PbTiO_3 yang didoping Fe_2O_3

Baru-baru ini, ditemukan dopant magnetik seperti Fe^{3+} yang menjadi nanokristal PbTiO_3 pada temperatur ferromagnetik (Ren 2009) dan mengurangi ukuran dari nanokristal yang ditunjukkan pada kenaikan signifikan ferromagnetik dari *doped* PbTiO_3 (Verma 2008). Mendoping Fe karena sifat ferromagnetik pada perovskite PbTiO_3 (Nguyen dkk. 2011). Menurut Abragam (1970), secara umum sifat ion doping (seperti biaya, massa, dan ukuran) yang berbeda dari ion dasar yang diganti, maka struktur di



sekitar ion doping akan menampilkan distorsi kisi lokal yang dapat sangat mempengaruhi sifat optik dan listrik bahan. Hebatnya, transisi magnetik terjadi di atas suhu kamar dalam sistem $\text{PbTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ baru disintesis ini.

Secara khusus, pengukuran magnet menunjukkan bahwa sampel PbTiO_3 yang didoping Fe disajikan adalah *ferromagnetism* yang lemah pada suhu kamar. Hasil menunjukkan bahwa dengan interaksi dipole magnetik dapat merakit nanopartikel menjadi superstruktur melalui orientasi dari interaksi dipol listrik (Polleux 2005). PbTiO_3 adalah ferroelektrik perovskite yang khas dan telah banyak digunakan dalam memori ferroelektrik dan perangkat piezoelektrik (Scott 2000). Kebanyakan penelitian terkonsentrasi pada nanokristal terisolasi atau film tipis PbTiO_3 . Namun, beberapa upaya telah dikhususkan untuk menjelajahi superstruktur anisotropik dari nanokristal PbTiO_3 . Baru-baru ini, dopan magnetik diencerkan seperti ion Fe^{3+} ke nanokristal PbTiO_3 untuk mendapatkan suhu kamar *ferromagnetism* (Ren 2007) dan mengurangi ukuran nanokristal yang secara signifikan meningkatkan *ferromagnetism* yang diolah PbTiO_3 (Verma 2008). Dalam penelitian, ion Fe^{3+} menjadi PbTiO_3 dicoba untuk menghasilkan interaksi dipol magnetik untuk membawa nanokristal PbTiO_3 . Strategi ini terinspirasi dari munculnya *self-assembly* partikel magnetik, di mana interaksi dipole magnetik yang digunakan untuk mengarahkan partikel (Lalatonne 2004).

Menurut Ren (2007) interaksi dipol magnetik dan kehadiran PEG (Poly Ethylene Glycol) molekul dapat menyebabkan pembentukan kristal tunggal seperti cincin yang terdiri dari Fe yang mendoping nanokristal PbTiO_3 . Fe yang ditambahkan pada nanocrystals PbTiO_3 spontan diatur dalam cincin seperti suprastruktur, melalui lampiran orientasi sempurna. Mekanisme, menunjukkan lemahnya *ferromagnetism* temperatur ruang. Dua bentuk sambungan dari nanocrystals telah terbukti mendukung *architecturing* cincin dalam pandangan geometri

Polarisasi ferroelektrik hasil dari perpindahan ion Ti^{4+} dengan oksigen. Hibridisasi tingkat energi terendah dengan O (2p)



tampaknya menjadi persyaratan untuk stabilisasi ferroelektrik (Hill 2000). Namun, PbTiO_3 dikenal distorsi kisi yang sangat besar ($c/a \sim 1,064$). Oleh karena itu, kisi masih bisa mempertahankan struktur tetragonal sampai batas tertentu bahkan setelah mengganti unsur logam transisi seperti Fe di Ti sehingga memungkinkan untuk menginduksi magnet di PbTiO_3 tanpa mengganggu perilaku ferroelektriknya. Dengan pemikiran ini, $\text{PbTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ sampel O_3 , dengan berbagai x , disintesis dan sifatnya diselidiki. Tujuannya adalah untuk mencapai materi magnetoelektrik dengan sifat yang cukup baik.

2.4 Material Multiferroik

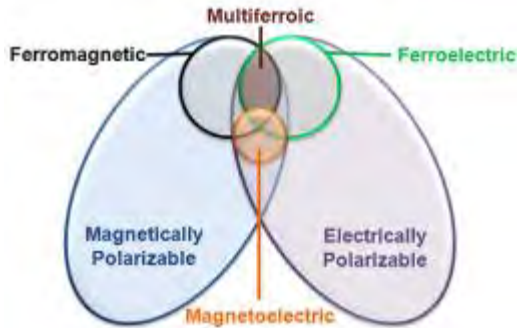
Menurut definisi yang dikemukakan oleh martin, bahan multiferroik adalah bahan yang memiliki dua atau lebih parameter sifat ferroik secara serempak seperti ferroelektrik dan ferromagnetik (Martin 2012).

Para peneliti banyak yang melakukan penelitian tentang bahan multiferroik karena sifat bahan multiferroik yang sangat menarik dan memiliki banyak aplikasi. Untuk mendapatkan sifat multiferroik yang baik, tentunya bahan multiferroik yang dibuat harus *single phase*, sehingga tidak ada impuritas yang dapat mengganggu sifat multiferroik dari bahan. Pada umumnya, bahan multiferroik masih belum memiliki kemurnian yang cukup tinggi. *Single phase* multiferroik masih sulit didapatkan. Hal tersebut diakibatkan oleh faktor proses sintesis yang belum maksimal, sehingga menimbulkan impuritas di dalam bahan multiferroik (Cha 2009). Impuritas tersebut membuat struktur fasa perovskite bahan multiferroik menjadi tidak stabil (Yuan 2006).

Sifat magnetik terjadi karena adanya interaksi pertukaran antara dipol magnetik, yang berasal dari kulit orbital berisi elektron. Sifat elektrik terjadi akibat adanya dipol listrik lokal. Sifat elastis merupakan sifat hasil perpindahan atom karena *strain*. Terjadinya simultan magnet dan listrik sangat menarik karena menggabungkan sifat yang bisa dimanfaatkan untuk penyimpanan informasi, pengolahan, dan transmisi. Hal ini memungkinkan



kedua medan magnet dan medan listrik untuk berinteraksi dengan magnet dan listrik (Sen 2010).



Gambar 2.3 Hubungan antara sifat multiferroik material. Ilustrasi kedua sifat material yang diterima (Martin 2008)

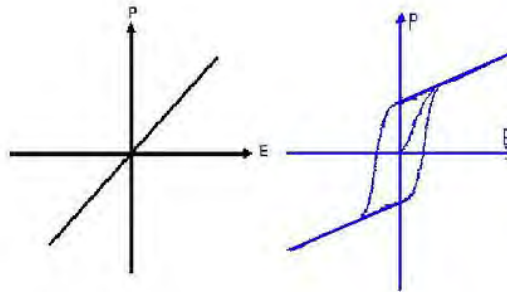
Banyak para peneliti yang fokus dengan model perovskite ABO_3 untuk mewujudkan multiferroik. Fase tunggal *multiferroism* telah diidentifikasi dalam beberapa oksida perovskite dan biasanya berhasil dengan memanfaatkan stereokimia yang memiliki pasangan elektron bebas pada kation A untuk memberikan *ferroelectricity* sementara juga tetap mempertahankan magnet pada kation B yang lebih kecil (Wang 2003).

2.5 Ferroelektrik

Fenomena ferroelektrik sendiri sudah ditemukan semenjak tahun 1920 oleh Valasek yang menyelidiki sifat dari garam Rochelle ($NaKCH_4O_6 \cdot H_2O$). Juga $BaTiO_3$ yang ditemukan oleh A von Hippel pada tahun 1944 yang penemuan awalnya berasal dari konstanta dielektrik yang tinggi dari sebuah kapasitor yang berbahan dasar barium titanat (Hikam 2007). Semenjak penemuan material ferroelektrik ini, mulailah banyak pengembangan industri untuk menemukan aplikasi terbaru dari material ferroelektrik pada zaman tersebut seperti kapasitor dengan konstanta dielektrik yang



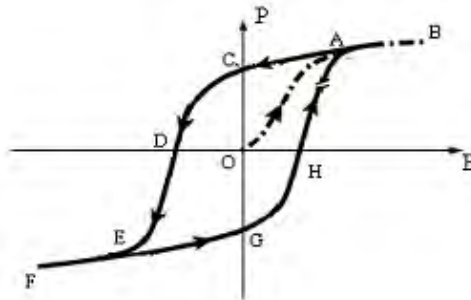
tinggi dan pengembangan transduser piezoelektrik. Barium titanat dan timbal zirkonium titanat mendominasi pengembangan material ferroelektrik pada jaman tersebut (Haertling 1999).



Gambar 2.4 Kurva histeresis paraelektrik (sebelah kanan) dan Ferroelektrik (sebelah kiri).

(www.electrons.wikidot.com/ferroelectrics)

Material yang mempunyai sifat ferroelektrik umumnya adalah material yang mempunyai struktur kristal perovskite. Atom yang berada pada pusat struktur perovskite berada pada posisi kesetimbangan ketika tidak ada medan luar dengan distribusi muatan secara keseluruhan tersebar secara merata, namun ketika diberikan medan listrik dari luar maka posisi atom yang berada di pusat tidak tepat berada di pusat struktur, melainkan condong ke atas atau ke bawah mengikuti arah medan listrik yang diberikan, sehingga distribusi muatan pada kristal tidak lagi merata (Moura 2008).



Gambar 2.5 Kurva histerisis (Hikam dkk. 2011)

Saat medan listrik diberikan nilai polarisasi akan bertambah secara cepat pada titik OA yang disebut polarisasi spontan (Ps') dan dengan bertambahnya nilai medan listrik polarisasi akan berada pada suatu titik jenuh (AB) dimana nilai polarisasi tidak akan bertambah ($+Ps$). Pada saat medan listrik dikembalikan hingga medan listrik bernilai nol (O), maka fenomena tidak akan kembali mengikuti garis (AO) tetapi akan ke titik (B).

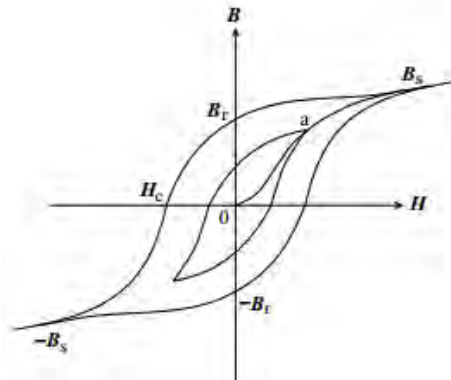
Titik dimana tidak ada penerapan medan listrik tetapi terdapat polarisasi (B) disebut polarisasi remanen ($+Pr$). Saat medan listrik bernilai negatif diberikan maka akan terdapat fenomena dimana adanya medan listrik tetapi tidak adanya polarisasi yang disebut medan listrik koersif (Ec) yang ditunjukkan pada titik (D). Jika medan negatif terus diberikan maka polarisasi akan terjadi kembali secara cepat yang disebut polarisasi spontan (Ps') pada titik E dan akan mencapai titik polarisasi tidak akan bertambah lagi ($-Ps$). Jika medan listrik dibalik hingga medan listrik bernilai nol diberikan maka fenomena yang dilalui tidak mengikuti garis (CE) tetapi akan melalui titik (G) yang disebut polarisasi remanen ($-Pr$). Jika medan listrik terus diberikan maka fenomena akan melalui titik (H) dimana tidak adanya polarisasi dan medan listrik pada titik ini disebut medan koersif (Ec). Jika



medan listrik terus diberikan kembali maka fenomena akan kembali menuju titik (A) yaitu polarisasi spontan dan akan menuju titik (B) dimana polarisasi berada pada titik jenuh yaitu polarisasi saturasi (P_s).

2.6 Ferromagnetik

Material magnetik diklasifikasikan menjadi dua yaitu material magnetik lemah atau *soft magnetic materials* maupun material magnetik kuat atau *hard magnetic materials*. Penggolongan ini berdasarkan kekuatan medan koersifnya dimana *soft magnetic* atau material magnetik lemah memiliki medan koersif yang lemah sedangkan material magnetik kuat atau *hard magnetic materials* memiliki medan koersif yang kuat. Hal ini lebih jelas digambarkan dengan diagram histeresis atau histeresis loop sebagai berikut:



Gambar 2.6 Kurva Histeresis Magnetik (Spaldin 2011)

Diagram histeresis diatas menunjukkan kurva histeresis untuk material magnetik lunak pada gambar (a) dan material magnetik keras pada gambar (b). H adalah medan magnetik yang diperlukan untuk menginduksi medan berkekuatan B dalam material. Setelah medan H ditiadakan, dalam spesimen tersisa magnetisme residual B_r , yang disebut residual remanen, dan



diperlukan medan magnet H_c yang disebut gaya koersif, yang harus diterapkan dalam arah berlawanan untuk meniadakannya. Magnet lunak mudah dimagnetisasi serta mudah pula mengalami demagnetisasi, seperti tampak pada Gambar 2.6. Nilai H yang rendah sudah memadai untuk menginduksi medan B yang kuat dalam logam, dan diperlukan medan H_c yang kecil untuk menghilangkannya. Magnet keras adalah material yang sulit dimagnetisasi dan sulit di-demagnetisasi. Dimana ukuran untuk menentukan kuat atau lemahnya medan koersif adalah sebagai berikut: Medan koersif lemah adalah sebesar < 10 (A/Cm) Medan koersif kuat adalah sebesar > 300 (A/Cm) (Asyer Paulus 2007).

2.7 Mechanical Alloying

Mechanical alloying adalah bentuk umum untuk suatu proses yang digunakan untuk memperkecil ukuran serbuk, dan di gunakan untuk pencampuran (*alloying*) dari dua serbuk material yang berbeda. *Mechanical alloying* merupakan suatu proses yang rumit, untuk menghasilkan hasil yang sesuai dengan keinginan, maka ada beberapa variabel yang harus di pertimbangkan, yaitu tipe milling, kecepatan milling, waktu milling, tipe dan ukuran bola giling, rasio bola- serbuk, temperatur milling, dan pelumas (*process control agent*). (Suryanarayana 2001)

2.7.1 Milling Container

Material yang di gunakan untuk *container* merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan tingkat keberhasilan dari proses milling, jika material bagian dalam dari *container* mudah pecah maka ketika proses milling terjadi, maka sisa serpihan dari pecahan dinding akan menjadi kontaminan bagi serbuk itu sendiri, atau bahkan dapat merubah struktur kimia serbuk tersebut..



Gambar 2.7 *Milling container*

Ada beberapa macam bahan yang dapat digunakan untuk dinding tersebut, misalnya *hardened steel*, *tool steel*, *hardened chromium steel*, *tempered steel* dan *stainless steel*. Gambar 2.7 menunjukkan *milling container*.

2.7.2 Kecepatan Milling

Untuk meningkatkan kecepatan milling sangat mudah, kecepatan maksimum tiap tipe milling akan berbeda, ketika perputaran ball mill semakin cepat, maka energi yang di hasilkan juga akan semakin besar. Tetapi di samping semua itu, desain dari milling memiliki pembatasan kecepatan yang harus di lakukan. Sebagai contoh pada planetary ball mill, meningkatkan kecepatan akan mengakibatkan bola yang ada di dalam chamber juga akan semakin cepat pergerakannya, tenaga yang dihasilkan juga besar. Tapi jika kecepatan melebihi kecepatan kritis maka akan terjadi *pinned* pada dinding bagian dalam sehingga bola – bola tidak jatuh sehingga tidak menghasilkan gaya *impact*. Jadi sebaiknya menggunakan kecepatan di bawah kecepatan kritisnya sehingga bola dapat jatuh dan menghasilkan tenaga *impact* yang optimal. Hal ini akan berpengaruh ke waktu yang di butuhkan untuk mencapai hasil yang di inginkan.



Selain itu kecepatan yang tinggi juga akan menghasilkan temperatur yang tinggi. Hal ini menguntungkan di beberapa kasus yang memerlukan proses difusi untuk menunjang proses pemaduan pada serbuk, dan internal stressnya akan berkurang atau bahkan hilang sama sekali. Tapi di beberapa kasus peningkatan temperatur sangat merugikan karena dapat menghasilkan fasa yang tidak stabil selama proses milling berlangsung, dan ukuran serbuk dapat menjadi lebih besar.

2.7.3 Grinding Medium

Hardened steel, tool steel, hardened chromium steel, tempered steel, dan stainless steel adalah bahan yang umum di gunakan untuk bola – bola milling. Untuk tujuan yang khusus maka bahan yang digunakan juga special, misalnya *cooper, titanium, zirkonia, yttria stabilized zirkonia, dan silicon nitrit*.

Ukuran dari bola juga mempengaruhi efisiensi dari proses milling. Ukuran yang besar dan density yang tinggi pada suatu bola akan menghasilkan energi *impact* yang besar. Bentuk akhir dari serbuk setelah di lakukan milling juga dipengaruhi oleh ukuran ball mill itu sendiri. Contoh, ketika ball mill dengan diameter 8 mm di gunakan untuk paduan Ti-Al maka akan terbentuk solid solution aluminium pada titanium. Dan jika menggunakan diameter 13 mm maka hanya akan terjadi pencampuran saja tanpa disertai dengan alloying.

Jika menggunakan bola yang besar maka kemungkinan adanya kontaminan akan semakin besar walaupun energi yang akan dihasilkan juga besar tapi bagian bola yang akan menumbuk serbuk akan semakin kecil luasnya, selain itu menggunakan bola yang besar juga akan mempercepat kenaikan temperatur yang akan berpengaruh ke serbuk tersebut. Sedangkan jika menggunakan bolanya kecil semua maka energi yang dihasilkan juga kecil, tapi proses terjadinya alloying bisa lebih maksimal. Tetapi ada batasan dalam mengkombinasi bola tersebut, jika perbedaan (bola besar dan bola yang kecil) terlalu besar maka di khawatirkan bola yang besar akan menghancurkan bola yang kecil.



2.7.4 *Ball to Powder Weight Ratio (BPR)*

Perbandingan berat antara bola dengan serbuk (BPR) merupakan variabel yang penting dalam proses milling. Perbandingan ini dapat memberikan efek yang cukup besar terhadap serbuk yang sedang di milling. Nilai BPR yang tinggi akan menyebabkan berat bola lebih berat sehingga energi yang di transfer ke serbuk juga besar dan hanya waktu yang lebih cepat. BPR yang tinggi akan menyebabkan meningkatnya jumlah berat bola, yang artinya bagian yang kosong pada grinding ball akan berkurang dan jumlah tumbukan akan meningkat. Sehingga energi akan lebih banyak yang tersalur ke serbuk dalam waktu yang singkat. Dapat di simpulkan bahwa semakin besar nilai BPRnya maka jumlah serbuk yang di milling menjadi lebih sedikit, dan jika nilai BPRnya rendah dapat menampung serbuk yang lebih banyak tetapi konsekuensinya akan memerlukan waktu yang lebih lama. (Suryanarayana 2001)

2.7.5 Waktu Milling

Waktu milling merupakan salah satu parameter yang penting untuk milling pada serbuk. Pada umumnya waktu dipilih untuk mencapai posisi tepat antara pemisahan dan pengelasan partikel serbuk untuk memudahkan memadukan logam. Variasi waktu diperlukan tergantung pada tipe mill yang digunakan, pengaturan milling, intensitas milling, BPR, dan temperatur pada milling. Pada saat mengambil keputusan dari kombinasi di atas parameter dan untuk sistem serbuk partikel tertentu dalam pembahasannya. Meskipun demikian, harus disadari bahwa tingkat pencemaran dan beberapa tahap yang tidak diinginkan, jika serbuk digiling terlalu lama dibanding dengan keperluan, terutama batang-batang reaktif seperti titanium dan zirconium. Oleh sebab itu, diinginkan serbuk yang digiling hanya untuk jangka waktu yang diperlukan dan tidak terlalu lama. Pada umumnya mungkin dihitung waktu yang diambil untuk mencapai kondisi yang tepat, yaitu jangka pendek untuk energi milling yang tinggi, dan jangka waktu lama ketika dengan energi milling yang rendah. Waktu yang



dibutuhkan lebih sedikit untuk BPR dengan nilai-nilai yang tinggi dan waktu yang lama untuk BP dengan nilai rendah.

2.7.6 Process Control Agents

Serbuk partikel ada kemungkinan terkena efek *cold weld* antara partikel satu dengan partikel yang lain. Pemaduan (alloying) yang sempurna dapat terjadi ketika ada keseimbangan antara pengelasan dengan penghancuran dari serbuk-serbuk tersebut. *Process control agent* atau biasa disebut pelumas di tambahkan ke dalam campuran serbuk selama terjadi proses milling untuk mengurangi efek dari *cold welding*. PCA bisa berbentuk cairan, gas, maupun padatan.

Tabel 2.1 *Process Control Agent* (Suryanarayana 2001)

<i>PCA</i>	<i>Chemical formula</i>	<i>Quantity</i>
<i>Benzene</i>	C_6H_6	-
<i>C wax</i>	$H_{35}C_{17}CONHC_2H_4NHCO$ $C_{17}H_{35}$	1.5 wt%
<i>Ethanol</i>	C_2H_5OH	4 wt%
<i>Ethyl acetate</i>	$CH_3CO_2C_2H_5$	-
<i>Graphite</i>	C	0.5 wt%
<i>Heptane</i>	$CH_3(CH_2)_5CH_3$	0.5 wt%
<i>Hexane</i>	$CH_3(CH_2)_4CH_3$	-
<i>Methanol</i>	CH_3OH	4 wt%
<i>Octane</i>	$CH_3(CH_2)_6CH_3$	1 wt%
<i>Polyethylene glycol</i>	$H(OCH_2CH_2)_nOH$	-
<i>Sodium chloride</i>	NaCl	2 wt%
<i>Stearic acid</i>	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	1 wt%
<i>Toluene</i>	$C_6H_5CH_3$	5 ml

2.7.7 Temperatur Milling

Temperatur juga merupakan faktor yang cukup penting, karena dapat mempengaruhi dalam alloying serbuk tersebut. Ada beberapa cara untuk melakukan variasi temperatur, misalnya



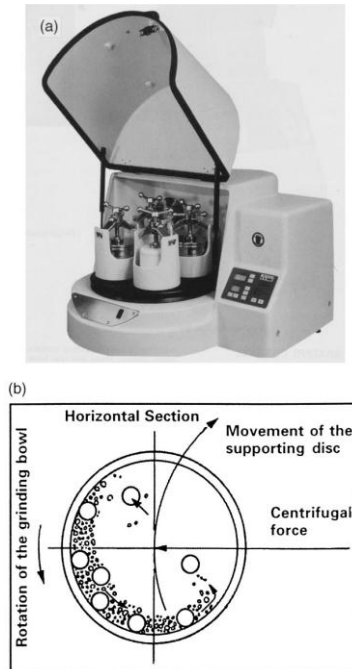
dengan menggunakan nitrogen cair untuk menghasilkan temperatur yang dingin dan menggunakan pemanas untuk temperatur yang cukup tinggi.

Mechanical alloying pada umumnya di lakukan pada ruang hampa udara atau di lingkungan yang sudah steril untuk meminimalisir proses oksidasi atau kontaminasi dalam melakukan proses milling. Dalam memasukkan serbuk ke dalam chamber kadang juga disertakan gas argon. Gas argon ini dapat di gunakan untuk mencegah terjadinya proses oksidasi maupun pencemaran serbuk.

2.8 Planetary Ball mills

Dari beberapa tipe di atas yang paling sering di gunakan adalah *Planetary Ball Mills*, dengan proses ini dapat memiling sampai 1000 gram. Hal tersebut dapat terjadi karena pada mill tipe ini ada 4 wadah yang dapat di operasikan bersama, dapat dilihat pada Gambar 2.8a. Di pasaran terdapat 3 ukuran kontainer yang tersedia yaitu kapasitas 80ml, 250ml, dan 500ml. Ada beberapa bahan bola – bola yang dapat dipakai di antaranya *silicone nitride*, *sintered corundum*, *zirkonium*, *chrome steel*, *tungsten carbide*, dan *plastic polyamide*. Dengan spesifikasi dimensi 70 x 60 x 40 cm, voltage 380, daya 0,5 pk, kecepatan 0 – 900 rpm.

Energi yang dihasilkan berasal dari energi kinetik, semakin tinggi kecepatannya maka gaya atau *impact* yang dihasilkan juga semakin besar. Jika kecepatannya rendah maka *impact* energinya akan berkurang dan seandainya hal itu terjadi maka hanya akan terjadi mixing pada serbuk tersebut karena ball mill tidak memiliki cukup energi untuk menjadikan serbuk yang lebih kecil. Untuk ilustrasinya dapat di lihat pada gambar 2.8b.



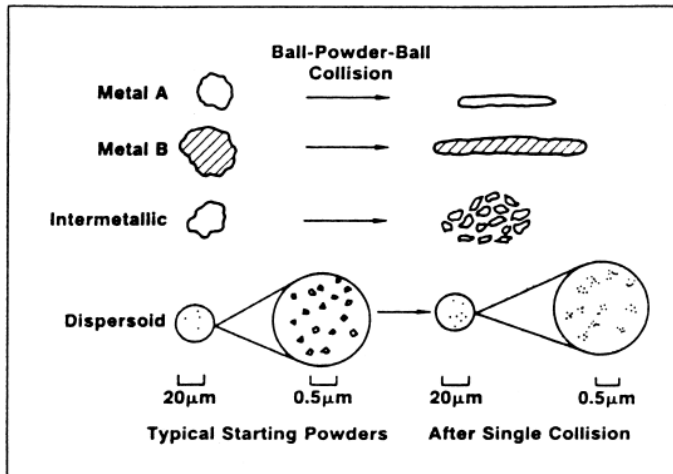
Gambar 2.8 (a) *Planetary ball mills* (b) Pergerakan bola saat grinding bowl berputar (Suryanarayana 2001)

2.9 Mechanism of Alloying

Dalam mechanical alloying atau mechanical milling serbuk akan di campur dalam suatu chamber (ruangan) dan dikenai energi agar terjadi deformasi yang berulang-ulang sehingga akan menjadi partikel – partikel yang lebih kecil dari sebelumnya. Akibat dari tumbukan pada tiap tipe dari unsur partikel serbuk akan menghasilkan bentuk yang berbeda juga, untuk bahan yang ulet sebelum terjadi *fracture* akan menjadi *flat* atau pipih terlebih dahulu, sedangkan untuk bahan yang getas akan langsung terjadi

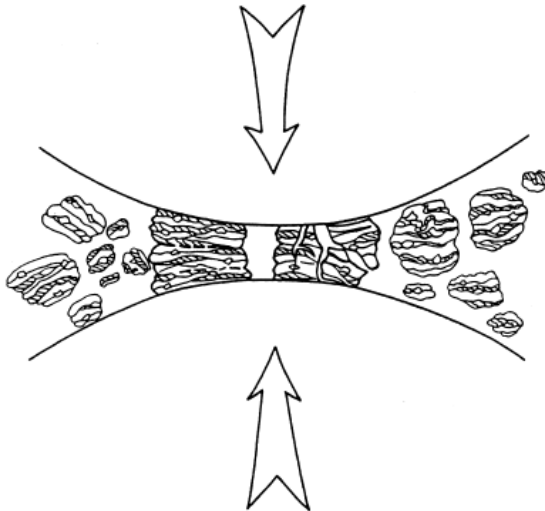


fracture dan menjadi partikel serbuk yang lebih kecil, ilustrasinya dapat di tunjukkan pada Gambar 2.9 di bawah ini.



Gambar 2.9 Karakteristik deformasi pada tiap tipe partikel serbuk. (Suryanarayana 2001)

Saat dua bola bertumbukan ada serbuk dalam jumlah kecil yang terjebak di antara kedua bola tersebut, dan hal tersebut terjadi berulang ulang, ilustrasinya dapat di lihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Mekanisme terjadinya tumbukan (Suryanarayana 2001)

Selama proses pemaduan mekanik, partikel campuran serbuk akan mengalami proses pengelasan dingin dan penghancuran berulang ulang. Ketika bola saling bertumbukan sejumlah serbuk akan terjebak di antara kedua bola tersebut. Beban *impact* yang di berikan oleh bola tersebut akan membuat serbuk terdeformasi dan akhirnya hancur. Permukaan partikel serbuk campuran yang baru terbentuk memungkinkan terjadinya proses pengelasan dingin kembali antara sesama partikel sehingga membentuk partikel baru yang ukurannya lebih besar dari ukuran semula. Kemudian partikel tersebut akan kembali mengalami tumbukan dan akhirnya kembali hancur, begitu seterusnya hingga mencapai ukuran yang nano. Dalam proses *mechanical alloying/mechanical milling* sifat bahan juga berpengaruh terhadap hasil akhir. Ada tiga kombinasi yang umum di gunakan, kombinasi *ductile- ductile*, *ductile- brittle*, dan *brittle- brittle*.



2.10 Sintering

Sintering merupakan proses produk awal hasil kompaksi pada suatu temperatur yang dilakukan untuk membentuk suatu ikatan antar partikel melalui mekanisme difusi atom sehingga kekuatan produk awal meningkat. Difusi merupakan fenomena transport material dengan pergerakan atomik.

Proses sintering ini hanya melibatkan fasa padat dari campuran serbuk. Temperatur sintering berada di bawah temperatur cair serbuk yaitu 0,6 – 0,85 dari temperatur leleh serbuk atau biasanya 2/3 temperatur leleh serbuk.

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

- a. Adanya transfer materi diantara butiran yang disebut proses difusi.
- b. Adanya sumber energi yang dapat mengaktifkan transfer materi, energi tersebut digunakan untuk menggerakkan butiran hingga terjadi kontak dan ikatan yang sempurna. Difusi adalah aktivitas termal yang berarti bahwa terdapat energi minimum yang dibutuhkan untuk pergerakan atom atau ion dalam mencapai energi yang sama atau diatas energi aktivitas untuk membebaskan dari letaknya semula dan bergerak ke tempat yang lain yang memungkinkannya.

Tahapan sintering pada sampel yang telah mengalami kompaksi sebelumnya, akan mengalami beberapa tahapan sintering sebagai berikut:

1. Ikatan mula antar partikel serbuk

Saat sampel mengalami proses sinter, maka akan terjadi pengikatan diri. Proses ini meliputi difusi atom-atom yang mengarah kepada pergerakan dari batas butir. Ikatan ini terjadi pada tempat dimana terdapat kontak fisik antar partikel-partikel yang berdekatan. Tahapan ikatan mula ini tidak menyebabkan terjadinya suatu perubahan dimensi sampel. Semakin tinggi berat jenis sampel, maka akan banyak bidang kontak antar partikel,



sehingga proses pengikatan yang terjadi dalam proses sinter juga semakin besar. Elemen-elemen pengotor yang masih terdapat, berupa serbuk akan menghalangi terjadinya proses pengikatan ini. Hal ini disebabkan elemen pengotor akan berkumpul dipermukaan batas butir, sehingga akan mengurangi jumlah bidang kontak antar partikel.

2. Tahap pertumbuhan leher

Tahapan kedua yang terjadi pada proses sintering adalah pertumbuhan leher. Hal ini berhubungan dengan tahap pertama, yaitu pengikatan mula antar partikel yang menyebabkan terbentuknya daerah yang disebut dengan leher (*neck*) dan leher ini akan terus berkembang menjadi besar selama proses sintering berlangsung. Pertumbuhan leher tersebut terjadi karena adanya perpindahan massa, tetapi tidak mempengaruhi jumlah porositas yang ada dan juga tidak menyebabkan terjadinya penyusutan. Proses pertumbuhan leher ini akan menuju ke tahap penghalusan dari saluran-saluran pori antar partikel serbuk yang berhubungan, dan proses ini secara bertahap.

3. Tahap penutupan saluran pori

Merupakan suatu perubahan yang utama dari proses sinter. Penutupan saluran pori yang saling berhubungan akan menyebabkan perkembangan dan pori yang tertutup. Hal ini merupakan suatu perubahan yang penting secara khusus untuk pori yang saling berhubungan untuk pengangkutan cairan, seperti pada saringan-saringan dan bantalan yang dapat melumas sendiri. Salah satu penyebab terjadinya proses ini adalah pertumbuhan butiran. Proses penutupan saluran ini dapat juga terjadi oleh penyusutan pori (tahap kelima dari proses sinter), yang menyebabkan kontak baru yang akan terbentuk di antara permukaan-permukaan pori.

4. Tahapan pembulatan pori

Setelah tahap pertumbuhan leher, material dipindahkan di permukaan pori dan pori tersebut akan menuju ke daerah leher yang mengakibatkan permukaan dinding tersebut menjadi halus. Bila perpindahan massa terjadi terus-menerus melalui daerah leher, maka pori di sekitar permukaan leher akan mengalami proses



pembulatan. Dengan temperatur dan waktu yang cukup pada saat proses sinter maka pembulatan pori akan lebih sempurna.

5. Tahap penyusutan

Merupakan tahap yang terjadi dalam proses sinter. Hal ini berhubungan dengan proses densifikasi (pemadatan) yang terjadi. Tahap penyusutan ini akan menyebabkan terjadinya penurunan volume, di sisi lain sampel yang telah disinter akan menjadi lebih padat. Dengan adanya penyusutan ini kepadatan pori akan meningkat dan dengan sendirinya sifat mekanis dari bahan tersebut juga akan meningkat, khususnya kekuatan dari sampel setelah sinter. Tahap penyusutan pori ini terjadi akibat pergerakan gas-gas yang terdapat di daerah pori keluar menuju permukaan. Dengan demikian tahap ini akan meningkatkan berat jenis yang telah disinter.

6. Tahap pengkasaran pori

Proses ini akan terjadi apabila kelima tahap sebelumnya terjadi dengan sempurna. Pengkasaran pori akan terjadi akibat adanya proses bersatunya lubang-lubang kecil dari pori sisa akan menjadi besar dan kasar. Jumlah total dari pori adalah tetap, tetapi volume pori berkurang dengan diimbangi oleh pembesaran pori tersebut. (German 1991)

2.11 Penelitian Sebelumnya

Sampai saat ini sudah banyak penelitian yang dilakukan untuk mengembangkan PbTiO_3 . Salah satu peneliti PbTiO_3 adalah Dahl pada tahun 2010. Penelitiannya menggunakan *thin film* yang menggunakan *magnetron sputtering* dengan tekanan total 0: 4 dan tekanan total 165 mTorr. Kekuatan *sputtering* adalah 90 W, yang memberikan tingkat pertumbuhan $\sim 0,2$ nm / menit. Kemudian dipanaskan pada temperatur pemanas substrat dari 725 dan 735 °C. Polarisasi remanensi bervariasi dari $51 \pm 7 \mu\text{C} / \text{cm}^2$ untuk sampel pada 700°C dan $17 \pm 6 \mu\text{C} / \text{cm}^2$ untuk sampel pada 750° C. Menurut Dahl semua sampel sudah bersifat ferroelektrik. Sedangkan nilai koersifnya juga mengalami penurunan dengan temperatur pertumbuhan, dari 474 ± 35 menjadi 366 ± 55 kV / cm.



Kemudian pada tahun 2008 Sakamoto, dkk meneliti PbTiO_3 yang ditambahkan dengan BiFeO_3 dan setelah itu ditambahkan unsur Mn. Sakamoto menggunakan spin coating pada 2500 rpm untuk 30 s. Kemudian film dipanaskan dengan temperatur 150°C untuk 5 menit dan dikalsinasi pada temperatur 400° selama 1 jam kemudian didinginkan pada temperatur udara. Sakamoto, dkk mendapatkan nilai polarisasi remanensi sebesar $60\ \mu\text{C}/\text{cm}^2$ and $230\ \text{kV}/\text{cm}$. Sedangkan ketika ditambahkan Mn mendapatkan $40\ \mu\text{C}/\text{cm}^2$ and $100\ \text{kV}/\text{cm}$.



(HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN)

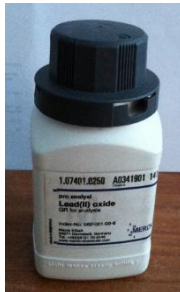


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan

Adapun pada penelitian ini, memerlukan bahan sebagai berikut:

1. Serbuk PbO
Serbuk *lead (II) oxide* PbO kemasan 250g produksi Merck. Digunakan sebagai *raw material* dalam metode kopresipitasi untuk mendapatkan serbuk PbTiO₃.



Gambar 3.1 Serbuk PbO

2. Serbuk TiO₂ (merck)
Serbuk *titanium oxyde* TiO₂ anatase kemasan 1 kg produksi Merck. Digunakan sebagai *raw material* dalam proses *mechanical alloying* untuk mendapatkan serbuk PbTiO₃.



Gambar 3.2 Serbuk TiO_2

3. Larutan Analytical Ethanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 99,8% kemasan 4 liter produksi PT Smart Lab Indonesia digunakan sebagai PCA pada proses *milling*.



Gambar 3.3 Larutan PCA

4. Serbuk Fe_2O_3 kemasan 20 gram. Hasil dari proses kopresipitasi Fe_3O_4 yang digunakan sebagai pendoping untuk PbTiO_3 .



Gambar 3.4 Serbuk Fe_2O_3

3.2 Peralatan dan Pengujian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Timbangan Digital
Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa serbuk.



Gambar 3.5 Timbangan digital

2. Spatula
Spatula digunakan untuk mengambil serbuk yang akan digunakan.
3. Mortar
Mortar digunakan untuk menggerus serbuk yang akan digunakan
4. Plastik Klip
Plastik Klip digunakan untuk menyimpan spesimen.



-
5. *Dies*
Dies digunakan untuk cetakan kompaksi
 6. Alat Kompaksi
 7. Alat kompaksi digunakan untuk mengompaksi serbuk hasil milling.



Gambar 3.6 Kompaksi

8. *Crusible*
Crusible digunakan sebagai wadah spesimen saat sintering.
9. *Planetary ball mill*
Planetary ball mill yang digunakan adalah Fritsch Pulverisette P-5 four station *ball mill* yang digunakan untuk proses *mechanical alloying*.



Gambar 3.7 *Planetary ball mill*

10. Ball Mill

Ball Mill digunakan untuk mereduksi ukuran serbuk dalam *vial* saat *milling*.



Gambar 3.8 *Ball Mill*



11. Furnace

Furnace digunakan untuk proses pemanasan serbuk



Gambar 3.9 Furnace

Peralatan pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Mesin XRD



Gambar 3.10 Mesin XRD



2. Mikroskop elektron (SEM)



Gambar 3.11 SEM

3. Alat Uji Ferroelektrik



Gambar 3.12 Alat uji Kelistrikan



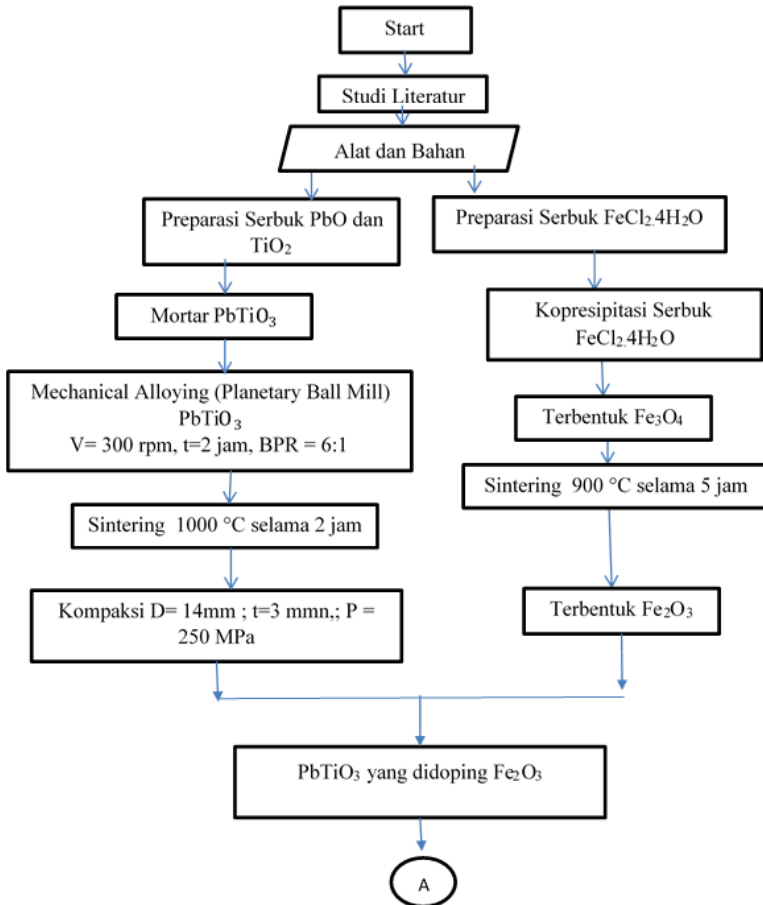
4. Suseptibilitas

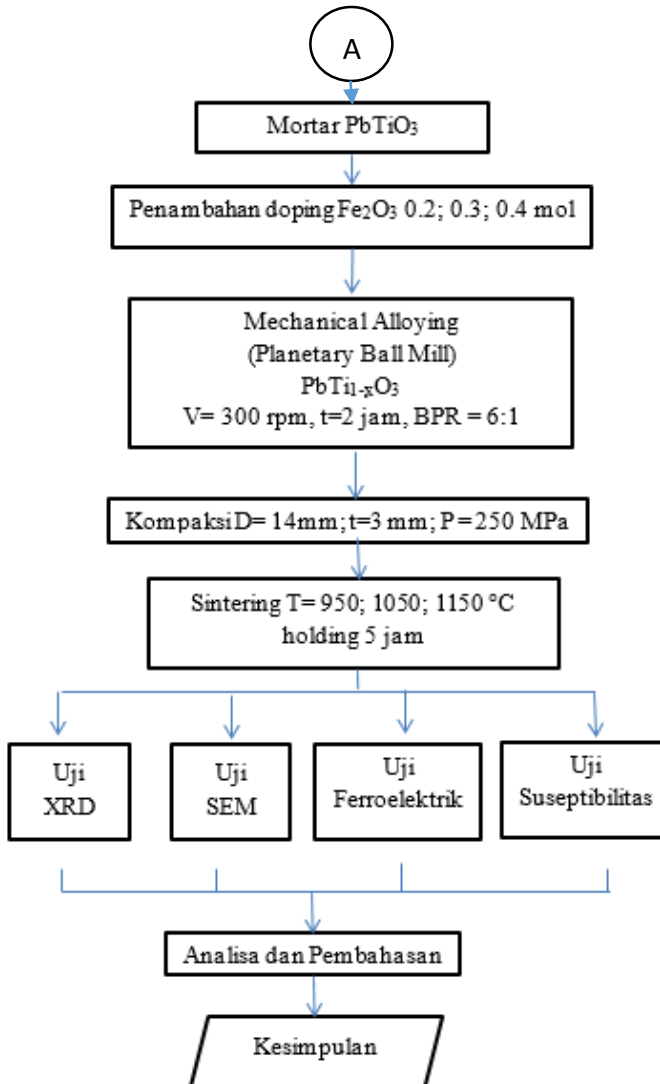


Gambar 3.13 Alat uji Suseptibilitas



3.3 Diagram Penelitian





Gambar 3.14 Diagram Alir



3.4 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan rancangan penelitian yang ditampilkan pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

No	Penambahan Fe_2O_3	Temperatur sintering ($^{\circ}\text{C}$) selama 5 jam	Pengujian			
			XRD	SEM	Ferroelektrik	Suseptibilitas
1	0.2	950	v	v	v	v
2		1050	v	v	v	v
3		1150	v	v	v	v
4	0.3	950	v	v	v	v
5		1050	v	v	v	v
6		1150	v	v	v	v
7	0.4	950	v	v	v	v
8		1050	v	v	v	v
9		1150	v	v	v	v

3.5 Variabel Penelitian

Variabel yang telah digunakan dalam penelitian ini adalah variasi doping Fe_2O_3 dari 0.75%, 1.25% dan 5 % dan temperatur sintering dari 950°C , 1000°C , 1050°C dengan waktu tahan selama 2 jam.

3.6 Langkah Penelitian

Prosedur Penelitian yang dilakukan dalam pembuatan PbTiO_3 dengan Alat *Planetary Ball Mill* yang dilakukan di Laboratorium Fisika jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS dan karakterisasinya dimulai dengan persiapan serbuk, penggilingan mekanik, sintering dan pengujian sampel (XRD, SEM). Sedangkan pengujian ferroelektrik dilakukan di jurusan Fisika FMIPA UM Malang dan Suseptibilitas dilakukan di jurusan Fisika ITS



3.6.1 Persiapan Serbuk

Serbuk PbO dan TiO₂ ditimbang menggunakan timbangan digital yang dilakukan di Laboratorium Kimia Terapan Teknik Material dan Metalurgi ITS dengan massa PbO adalah 7.4 gram dan TiO₂ adalah 2.6 gram.

3.6.2 Proses Penggilingan Mekanik

Proses Penggilingan ini bertujuan untuk menghomogenkan serbuk-serbuk PbO, TiO₂, dan Fe₂O₃ sehingga dapat diperoleh sampel yang padat. *Mechanical alloying* dilakukan di Laboratorium Keramik Jurusan Fisika FMIPA ITS menggunakan mesin *Planetary Ball Mill*). Serbuk yang telah ditimbang dan dicampur kemudian dimasukkan dalam tabung penggilingan dengan takaran perbandingan berat serbuk PbO- TiO₂ Fe₂O₃ dengan berat *ball mill* 10:1 atau berat *ball mill* 120 gram dan 12 gram serbuk. Setelah itu, *ball mill* dimasukkan dalam tabung atau Vial dari *Planetary Ball Mill* beserta serbuk yang telah ditimbang.

I. Sterilisasi *ball mill* dan *millingcontainer (chamber)*

Sebelum powder dimasukkan ke dalam vial yang terbuat dari *Stainless*, bola-bola *milling* serta vial disterilisasi dengan cara menambahkan ethanol ke dalam vial yang berisi bola-bola *milling* yang selanjutnya di-*milling* selama 10 menit. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kontaminan yang masih tersisa pada dinding vial serta bola *milling*, selanjutnya dibilas dengan air dan dibilas kembali dengan ethanol.

II. *Milling*

Setelah semua tahap preparasi selesai, campuran serbuk yang telah ditimbang dimasukan ke dalam wadah / *container*, kemudian dilakukan proses *milling* dengan waktu 2 jam. Setelah proses *milling* selesai maka vial tidak langsung dibuka tetapi didiamkan 15 menit karena dikhawatirkan serbuk masih reaktif / terbakar.



3.6.3 Kompaksi

Setelah proses *milling*, dilakukan proses kompaksi dengan mengambil 3.56 gram serbuk hasil *milling* dengan tekanan 250 Psi.

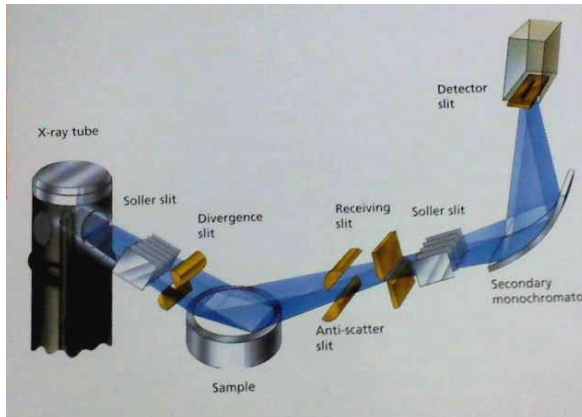
3.6.4 Sintering

Setelah proses penggilingan dilakukan proses sintering pada temperatur 900°C, 1000°C, 1050°C dengan *holding time* selama 3 jam menggunakan alat furnace.

3.6.5. Uji XRD

Uji XRD dilakukan pada semua spesimen uji. Karakterisasi difraksi Sinar-X (XRD) dilakukan menggunakan seperangkat alat yang disebut difraktrometer Sinar-X. Karakterisasi ini dilakukan pada pelet hasil sintesa mekanik untuk melihat struktur kristal dan fase-fase yang terbentuk. Tujuan dilakukannya pengujian analisis struktur kristal adalah untuk mengetahui perubahan fase struktur bahan dan mengetahui fase-fase apa saja yang terbentuk selama proses pembuatan sampel uji.

Tahap pertama yang dilakukan dalam analisa sinar-X adalah melakukan analisa pemeriksaan terhadap sampel yang belum diketahui strukturnya. Sampel ditempatkan pada titik fokus hamburan sinar-X yaitu tepat di tengah-tengah *plate* yang digunakan sebagai tempat yaitu sebuah plat tipis yang berlubang di tengah berukuran sesuai dengan sampel (pelet) dengan perekat pada sisi baliknya.



Gambar 3.15 XRD

Secara umum prinsip kerja XRD ditunjukkan oleh Gambar 3.15 berikut:

1. Generator tegangan tinggi (A) berfungsi sebagai catu daya sumber sinar-X (B).
2. Sampel berbentuk pelet (C) diletakkan diatas tatakan (D) yang dapat diatur.
3. Berkas sinar-X didifraksikan oleh sampel dan difokuskan melewati celah (E), kemudian masuk ke alat pencacah (F). Apabila sampel berputar sebesar 2θ maka alat berputar sebesar θ .
4. Intensitas difraksi sinar-X direkam dalam bentuk kurva terhadap jarak antara bidang.



Adapun data hasil pengujian XRD, dapat memberikan suatu informasi seperti yang ada pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Informasi yang terkandung dalam Hasil Pengujian XRD (Pratapa 2004)

Karakter	Informasi dari Material	Informasi dari Instrumen
Posisi puncak (2θ)	Fasa kristal/identifikasi Struktur kristal Parameter kisi Regangan Seragam	Kesalahan 2θ Ketidaktepatan penempatan sampel
Tinggi Puncak (intensitas)	Identifikasi Komposisi Hamburan tak koheren <i>Extinction</i> <i>Preffered-orientation</i>	
Lebar dan bentuk puncak (FWHM)	Ukuran kristal (bukan partikel atau grain) Distribusi ukuran	Duplet radiasi Divergen aksial Kedataran permukaan sampel

1) Analisa Kualitatif

Dilakukan dengan menggunakan program komputer *Match!*, yakni pencocokan puncak kurva dari data terukur hasil XRD dengan data JCPDF. Dan atau dilakukan pencocokan secara manual dengan data JCPDF yang diperoleh dari program komputer PCPDWIN.

2) Analisa Kuantitatif

Analisa kuantitatif dilakukan untuk menghitung ukuran Kristal yang terbentuk dari data XRD.



3.6.6 Uji SEM

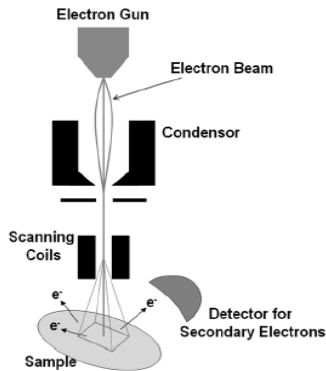
Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*) menggunakan alat *PAN Analytical Scanning Electron Microscope* yang dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Teknik Material dan Metalurgi ITS, terhadap semua benda uji. Pengujian SEM dilakukan untuk mengamati mikrostruktur dan pembentukan senyawa PbTiO_3 hasil dari proses *Mechanical Alloying*. Pada prinsipnya SEM berfungsi sebagai *tools* (peralatan) untuk melihat struktur permukaan material dengan resolusi tinggi. Adapun cara kerja dari SEM adalah dengan *electron gun* yang memproduksi *electron beam*, lalu anoda menangkap *electron beam* untuk kemudian diarahkan ke sampel, kemudian serangkaian lensa magnetik memfokuskan beam ini dan menembakkan ke sampel. *Scanner* membaca struktur permukaan sampel yang selanjutnya menangkap sinyal dari *secondary* dan *back scattered electron* untuk dikirim ke sistem kontrol sehingga dapat dilihat gambarnya pada monitor dan dapat dicetak bila diperlukan. Sampel metalografi yang digunakan pada pengujian SEM dilapisi dengan karbon dan lapisan emas putih yang digunakan antara cetakan sampel dan stub untuk mencegah *charging*. Pengujian SEM dilakukan terhadap semua benda uji untuk mengamati pembentukan mikrostruktur senyawa intermetalik TiAl , hasil dari proses *Mechanical Alloying*. Pengujian SEM dilakukan dalam 2 tahap:

a. Tahap reparasi

Sampel berupa pelet diletakkan pada holder yang telah disiapkan.

b. Tahap pengujian

Serbuk yang telah diletakkan pada holder dimasukkan ke dalam mesin uji, kemudian gambar muncul pada layar computer.



Gambar 3.16 Alat uji SEM

3.6.7 Karakteristik Sifat Ferroelektrik

Karakteristik sifat ferroelektrik PbTiO_3 yang dilakukan dengan menggunakan alat Radiant Technology 66 A (charge Version 2.2) dengan tujuan untuk mendapatkan nilai polarisasi saturasi (P_s), polarisasi permanen (P_r) dan medan koersif (E_c) dari film. Penggunaan peralatan akan bertempat di laboratorium Kimia Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.

Berdasarkan uji sifat ferroelektrik semua material bersifat ferroelektrik yang ditandai dengan terbentuknya kurva histeresis.

Ketika suatu material dielektrik dipengaruhi oleh medan listrik luar, maka akan terjadi pergeseran muatan di dalam dielektrum (terpolarisasi). Akibat dari pergeseran ini akan timbul dipol-dipol listrik. Besarnya momen dipol dirumuskan sebagai berikut :

$$p = q r \quad \dots(3.1)$$

dimana : p = momen dipol listrik (coulomb meter)

q = muatan listrik (coulomb)

r = jarak antar pusat muatan (meter)

Karakterisasi sifat ferroelektrik dari $\text{PbTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ dilakukan dengan menggunakan polarisasi-meter dengan tujuan



untuk mendapatkan nilai polarisasi saturasi (P_s), polarisasi remanen (P_r).

3.6.8 Suseptibilitas

Peralatan ini bekerja karena adanya tegangan yang diberikan pada rangkaian osilator sehingga menimbulkan medan magnetik bolak-balik yang berintensitas rendah pada ruang sampel. Selanjutnya pada ruang ini diletakkan sampel, yang mengakibatkan perubahan frekuensi osilator. Nilai suseptibilitas magnetik sampel diperoleh dengan membandingkan frekuensi osilator sebelum dan sesudah sampel diletakkan. Dimana instrumen ini dapat mengukur harga suseptibilitas dari 1×10^{-6} sampai 9999×10^{-6} dalam satuan cgs atau $1,26 \times 10^{-5}$ sampai $1,26 \times 10^{-1}$ dalam satuan SI. Seluruh proses pengukuran dan perhitungan dilakukan melalui perangkat lunak komputer. Data suseptibilitas yang diperoleh lalu diolah untuk mendapatkan nilai permeabilitas relatif bahan. Nilai permeabilitas inilah yang dipakai dalam perhitungan, μ_r dapat dihitung dengan $\mu_r = \chi + 1$ dimana χ adalah suseptibilitas magnetik yang dapat dihitung dengan *Magnetic Susceptibility Balance, Mark 1 Serial No 23814*.

Berdasarkan alat *Magnetic Susceptibility Balance, Mark 1 Serial No 23814*. Namun, pada alat ini apabila sampel bersifat ferromagnetik, maka tidak dapat terbaca nilai spesifiknya. Hanya dapat terbaca bahwa $\chi > 1$. Adapun perhitungan nilai suseptibilitas sebagai berikut:

$$\chi = \chi \text{ terbaca} \times \frac{\text{massa kalibrasi}}{\text{massa sampel}} \times \text{faktor pengali} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dari perhitungan tersebut, dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu:

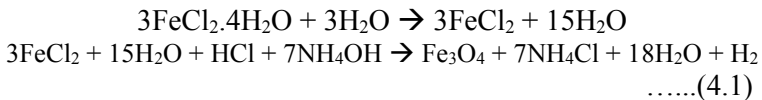
1. Diamagnetik (χ bernilai positif, $0 < \chi < 1$)
2. Paramagnetik (χ negatif, $\chi < 0$)
3. Ferromagnetik (χ positif, $\chi < 1$)



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Sintesa PbTiO_3 yang didoping Fe_2O_3

Serbuk Fe_2O_3 didapatkan dari proses kopresipitasi. Kopresipitasi merupakan salah satu metode sintesis senyawa anorganik yang didasarkan pada pengendapan lebih dari satu substansi secara bersama-sama ketika melewati titik jenuhnya. Serbuk Fe_2O_3 didapatkan dari hasil kopresipitasi Fe_3O_4 yang dipanaskan pada temperatur 900°C selama 5 jam. Serbuk Fe_3O_4 didapatkan dari kopresipitasi serbuk $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Adapun reaksi yang terjadi selama proses kopresipitasi yaitu :



Serbuk Fe_3O_4 dipanaskan dengan temperatur 900°C selama 5 jam dan didinginkan hingga temperatur ruang agar didapatkan Fe_2O_3 .

Pembuatan serbuk PbTiO_3 diperoleh dari pencampuran 74 % PbO dan 26 % TiO_2 dengan metode *mechanical alloying*. Proses milling menyebabkan serbuk mengalami perubahan warna. Perubahan warna serbuk PbTiO_3 ditampilkan pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 (a) PbTiO_3 dimortar (b) PbTiO_3 setelah dimiling



Setelah tercampur pada proses milling, persamaan reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Terjadi perubahan warna setelah proses milling selesai. Mulanya serbuk PbTiO_3 berwarna putih kemudian berubah warna menjadi kuning agak kehijauan. Perubahan warna disebabkan karena terjadi tumbukkan antara *ball mill* dengan partikel saat proses *milling*. Hal tersebut menunjukkan suatu reaksi dan membentuk suatu senyawa baru. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Nugroho (2013) menyatakan bahwa sintesa PbTiO_3 dengan variabel waktu milling 10, 20 dan 30 jam menunjukkan adanya perubahan warna.

Setelah proses *milling* serbuk PbTiO_3 , selanjutnya dikompaksi untuk mengurangi udara yang terdapat di antara partikel dan mengurangi porositas sehingga energi thermal yang masuk menyebar secara merata. Dengan pemberian tekanan sebesar 300 bar, hasil dari kompaksi berbentuk pellet yang memiliki ukuran tebal 3 mm dan diameter 14 mm. PbTiO_3 selanjutnya mengalami *heat treatment* dengan memanaskan di dalam furnace sampai temperatur 1000 °C dan ditahan selama 2 jam, setelah itu didinginkan pada temperatur udara. Setelah mengalami *heat treatment* PbTiO_3 berubah warna menjadi lebih gelap dari sebelum diberi perlakuan panas.



Gambar 4.2 PbTiO_3 yang telah didoping

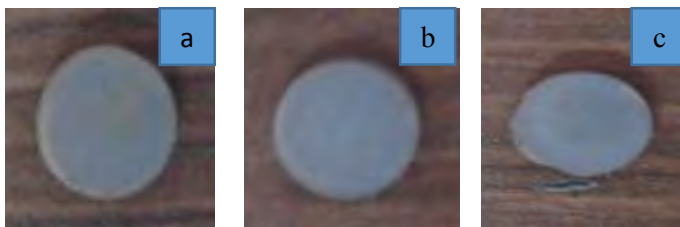
PbTiO_3 kemudian didoping dengan Fe_2O_3 dengan variasi konsentrasi 0.2, 0.3, dan 0.4 mol. Pada awalnya serbuk PbTiO_3 berwarna kuning agak kehijauan dan serbuk Fe_2O_3 berwarna merah tua. Setelah proses milling PbTiO_3 dan Fe_2O_3 berubah warna menjadi warna merah kecokelatan sesuai pada Gambar 4.2. Variasi konsentrasi Fe_2O_3 merubah warna serbuk PbTiO_3 .

Serbuk hasil milling dengan variasi konsentrasi Fe_2O_3 sebanyak 0.2 mol, 0.3 mol dan 0.4 mol kemudian dikompaksi menjadi 3 sampel dengan tekanan 200 bar. Setiap sampel bermassa 3.5 gram. Dari hasil kompaksi didapatkan tebal pellet 3 mm dan diameter 14 mm. Kemudian dilakukan proses sintering dengan menggunakan variasi temperatur 950 °C, 1050 °C, dan 1150°C. Pellet yang telah disintering ditampilkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 PbTiO_3 yang sudah mengalami sintering pada temperatur 950°C dengan doping , (a) 0.2 mol, (b) 0.3 mol, (c) 0.4 mol

Berdasarkan Gambar 4.3 (a) dan 4.3 (b) menunjukkan bahwa pellet PbTiO_3 yang didoping dengan 0.3 mol Fe_2O_3 berwarna lebih gelap dibandingkan dengan 0.2 mol. Pellet PbTiO_3 yang didoping 0.4 mol cenderung lebih gelap apabila dibandingkan dengan 0.3 mol. Hal ini disebabkan karena peningkatan jumlah konsentrasi doping Fe_2O_3 pada PbTiO_3 .



Gambar 4.4 PbTiO_3 yang sudah mengalami doping 0.4 mol Fe_2O_3 dengan temperatur, (a) 950°C , (b) 1050°C , (d) 1150°C

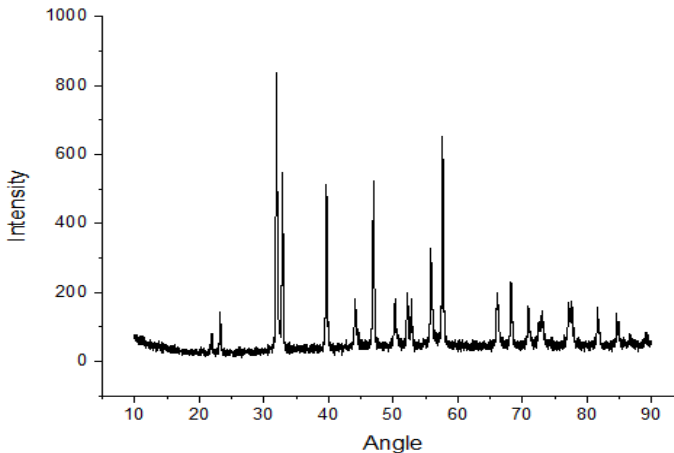
Berdasarkan Gambar 4.4 (a) dan 4.4 (b) menunjukkan bahwa pellet PbTiO_3 yang didoping dengan 0.4 mol Fe_2O_3



berubah warna lebih gelap pada 1050°C dibandingkan dengan temperatur 950°C . Pelet pada PbTiO_3 pada temperatur 1150°C lebih gelap dibandingkan 1050°C . Hal ini disebabkan karena peningkatan jumlah konsentrasi doping Fe_2O_3 pada PbTiO_3 .

4.2 Hasil Pengujian XRD

Sebelum melakukan pendopingan PbTiO_3 diuji XRD untuk memastikan telah terbentuk PbTiO_3 dari hasil *mechanical alloying*. Hasil Uji XRD PbTiO_3 ditampilkan pada Gambar 4.5 sebagai berikut.

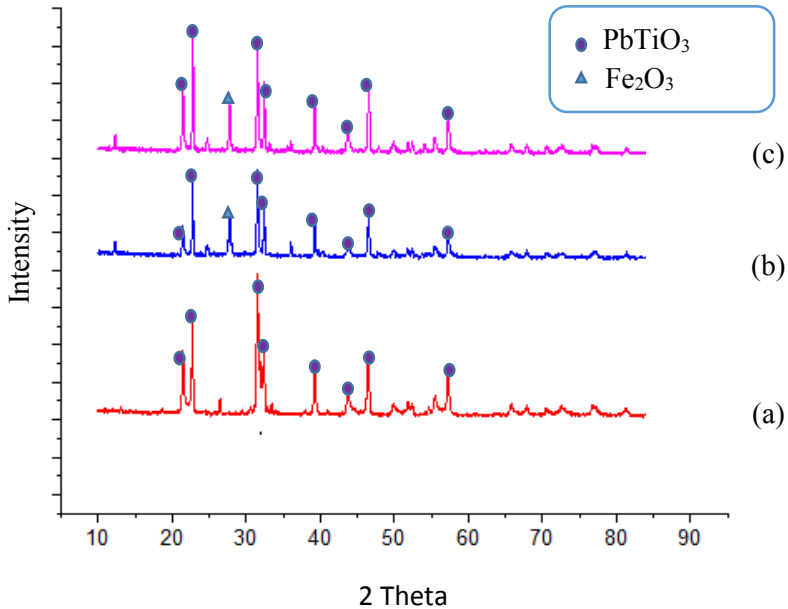


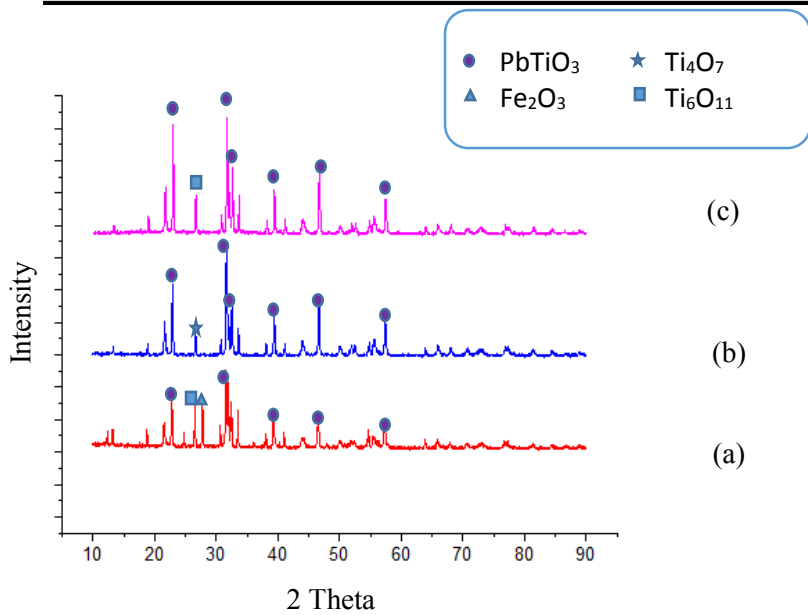
Gambar 4.5 Hasil Pengujian XRD PbTiO_3

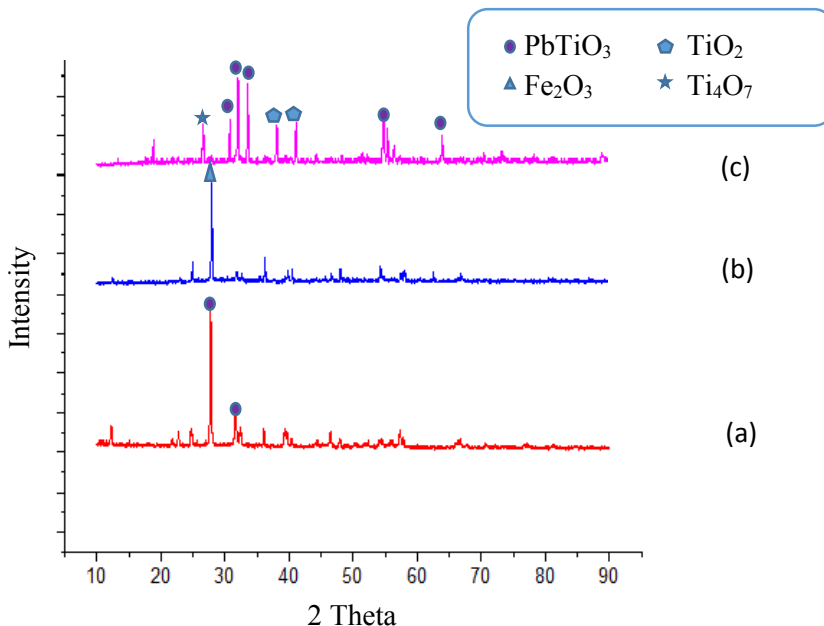
Berdasarkan Gambar 4.5 hasil analisa pengujian XRD PbTiO_3 dapat diketahui bahwa fasa yang terjadi pada serbuk PbTiO_3 dengan sintering 1000°C selama 2 jam adalah PbTiO_3 dengan intensitas peak yang tertinggi pada 2θ 31.901° ; 31.978° ; dan 32.371° . Analisa ini menggunakan *software Match!* dan pencocokan dengan JCPDF 00-048-0105. Dari hasil search match, tidak terbentuk fasa lain pada PbTiO_3 tersebut, sehingga dapat dinyatakan bahwa fasa pada serbuk tersebut adalah 100% PbTiO_3 .



Pada uji XRD ini variasi konsentrasi yang digunakan 0.2 mol, 0.3 mol dan 0.4 mol disintering pada temperatur 950°C. Adapun hasil dari Uji XRD pada temperatur 950°C ditampilkan pada Gambar 4.6.







Gambar 4.6 Hasil Pengujian XRD pada Sampel dengan Variasi konsentrasi pada temperatur 950°C, 1050°C, 1150°C (a) 0.2 mol, (b) 0.3 mol dan (c) 0.4 mol

Berdasarkan pada Gambar 4.6 dengan 0.2 mol Fe₂O₃ pada temperatur 950° C dan 1150°C terbentuk 100% PbTiO₃. Sedangkan pada temperatur 1050°C masih didapatkan peak Fe₂O₃ dan Ti₆O₁₁. Sedangkan pada doping 0.3 mol pada temperatur 950° C masih terbentuk Fe₂O₃ dan terbentuk fasa baru yaitu Ti₄O₇ pada 1050°C. Pada temperatur 1150°C hanya terbentuk 100% Fe₂O₃. Pada doping 0.4 mol temperatur 950 masih terbentuk Fe₂O₃ dan pada temperatur 1050 terbentuk Ti₄O₇. Kemudian terbentuk peak Fe₂O₃ dan TiO₂ pada temperatur 1150°C.

Peak Fe₂O₃ dan TiO₂ masih muncul dalam PbTiO₃. Hal ini menunjukkan belum terjadi *alloying* pada pembentukan PbTiO₃



yang didoping Fe_2O_3 . *Alloying* belum terbentuk dimungkinkan karena kurang homogen serbuk yang dimilling pada pembentukan PbTiO_3 murni ataupun PbTiO_3 setelah mengalami pendopingan. Selain itu, terbentuknya TiO_2 pada temperatur tertinggi disebabkan karena semakin tinggi energi thermal yang diberikan pada kenaikan temperatur sintering, maka difusi atom Ti akan semakin banyak. Hal ini bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Kurnia tahun 2011. Kurnia menunjukkan bahwa pada temperatur di atas 1100°C masih terbentuk TiO_2 . Atom-atom Ti dan Fe yang tersebar tidak tersubstitusi kemungkinan besar hanya menempel pada sisi luar kristal dan kemudian berdifusi meninggalkan PbTiO_3 . Difusi atom sangat mungkin terjadi karena adanya pemberian energi yang tinggi dalam hal ini temperatur. Sehingga temperatur sangat berpengaruh pada aktivitas pergerakan atom tersebut.

Terdapat fasa baru yaitu Ti_4O_7 dan Ti_6O_{11} pada temperatur di atas 950°C . Hal tersebut bisa terjadi karena adanya vacancy oksigen sehingga rumus kimianya $\text{Ti}_n\text{O}_{2n-1}$ dikenal dengan *Magnely phase*. Kombinasi antara doping 0.2-0.4 mol dan temperatur sintering 1050°C memungkinkan terjadinya cacat berupa kekosongan pada oksigen. Apabila TiO_2 diberi perlakuan panas akan menyebabkan cacat seperti kekosongan oksigen di dalam kisi kristal dan penambahan Ti^{+3} atau Ti^{+4} secara intertisi sehingga terbentuk senyawa $\text{Ti}_n\text{O}_{2n-1}$ (Smith 199). Hal ini bersesuaian dengan penelitian Regonini, dkk pada tahun 2012 yang menunjukkan terjadinya *magnely phase* pada temperatur di atas 1000°C .



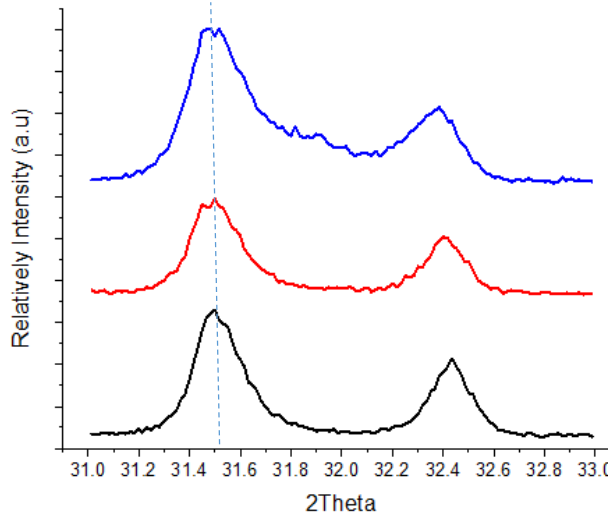
Tabel 4.1 Ukuran d-spacing dan nilai *microstrain* pada Fasa PbTiO₃

Doping (mol)	T (°C)	2theta	D	D(nm)	ϵ	c/a
0.2	950	31.760	2.803	105.9	1.20×10^{-6}	1.963
0.3	950	31.431	2.846	105.9	1.20×10^{-6}	1.062
0.4	950	31.472	2.842	242.0	5.28×10^{-7}	1.062
0.2	1050	31.514	2.838	42.29	3.01×10^{-6}	1.044
0.3	1050	31.611	2.830	18.59	6.84×10^{-6}	6.090
0.4	1050	31.710	2.821	62.65	2.02×10^{-6}	1.490
0.2	1150	31.652	2.826	242.1	5.24×10^{-7}	1.047
0.3	1150	31.843	2.810	240.0	5.98×10^{-7}	0.517
0.4	1150	31.960	2.797	386.7	3.22×10^{-7}	0.284

Berdasarkan hasil XRD, struktur kristal yang terbentuk setelah pendopingan sama seperti sebelum didoping, yaitu tetragonal. Hal ini menunjukkan tidak adanya perubahan struktur kristal. Apabila tidak terdapat perubahan struktur kristal maka dapat dinyatakan Fe₂O₃ telah berhasil masuk dalam kristal PbTiO₃. Sehingga doping dapat dikatakan berhasil.

Dari hasil analisa peak *broadening* Fe₂O₃ berhasil tersubstitusi pada PbTiO₃. Hal ini ditunjukkan dengan bergesernya nilai d-spacing pada nilai 2theta yang berdekatan. Didukung juga dengan nilai parameter kisi yang menurun. Terjadinya perubahan nilai parameter kisi disebabkan karena unsur Fe yang telah masuk dalam kisi PbTiO₃ sehingga mengubah kisi PbTiO₃.

Terdapat nilai regangan mikro (*microstrain*) diakibatkan adanya cacat kristal yang disebabkan oleh defect. Terjadinya regangan kisi dapat ditampilkan pada Gambar 4.7.

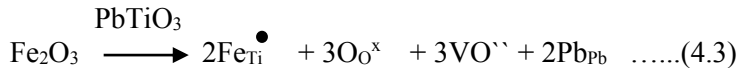


Gambar 4.7. Terjadinya pergeseran kurva pada hasil XRD PbTiO_3 yang didoping Fe_2O_3

Pada hasil pengujian XRD dapat dilihat bahwa pada peak terjadi pergeseran. Hal ini dimungkinkan karena butiran ukuran kristal yang kecil dan juga lattice strain. Ini bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan Subagja (2011). Lattice strain (regangan kisi) Terjadi jika semua efek yang menyebabkan broadening atau pelebaran puncak terjadi secara bersamaan dan menghasilkan pola puncak difraksi yang lebih lebar (diikuti penurunan nilai intensitas). Penggambaran pola puncak difraksi dari yang ideal kemudian mengalami broadening atau pelebaran yang disebabkan oleh efek instrumental, efek ukuran kristal dan lattice strain. Suatu material dimungkinkan mengalami broadening atau pelebaran puncak difraksi sinar x yang disebabkan oleh ukuran kristal yang kecil dan lattice strain. Perhitungan ukuran kristal dan lattice strain yang menyebabkan broadening biasanya menggunakan puncak-puncak difraksi yang berada pada sudut-sudut kecil agar efek broadening ini bisa terlihat dengan baik.



Perbedaan tersebut menunjukkan adanya penambahan kisi dari kristal PbTiO_3 akibat jari-jari Fe yang sedikit lebih besar daripada jari-jari Ti. Terjadinya pergeseran nilai 2θ antara PbTiO_3 tanpa doping dengan doping dari hasil XRD mengindikasikan bahwa melarutnya Fe ke PbTiO_3 secara substitusi. Adapun reaksi defect yang dapat terjadi sebagai berikut:

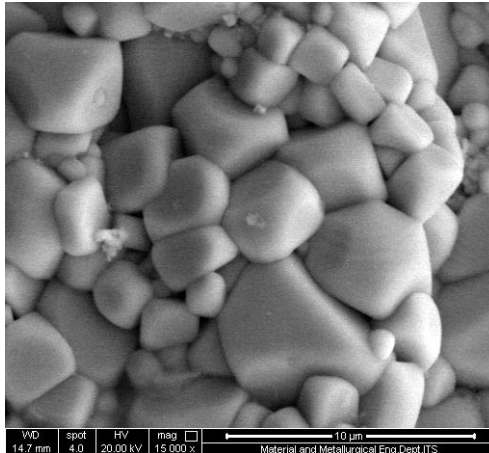


Pada persamaan 4.3 tersebut menunjukkan bahwa *defect* ekstrinsik dimana Fe adalah impuritas yang tersubstitusi ke dalam struktur kristal TiO_2 dan menggantikan posisi Ti, hal ini disebabkan karena jari-jari atom Fe dan Ti yang berdekatan. Unsur Fe dipilih karena memiliki jari-jari atom yang tidak jauh berbeda dengan Ti yaitu 0.79 \AA . Sedangkan jari-jari atom Ti adalah $0,75 \text{ \AA}$. Oleh karena itu Fe_2O_3 dapat dengan mudah masuk dalam kisi Ti



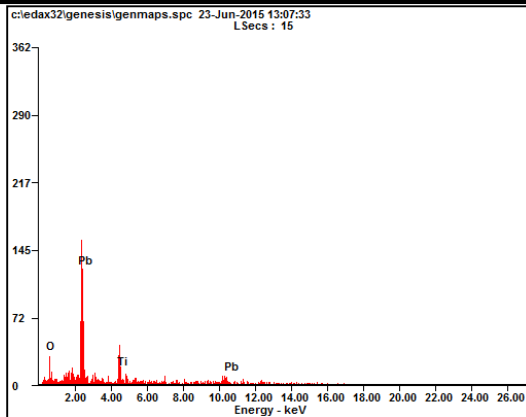
4.4 Hasil Uji dari SEM dan EDX

Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan untuk mengetahui morfologi serbuk hasil *milling* dan laku panas menggunakan SEM FEI Inspect S50. PbTiO_3 yang telah terbentuk dengan *mechanical alloying* dilakukan uji SEM. Adapun hasil SEM dari PbTiO_3 ditampilkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.8 Hasil SEM perbesaran 15000x dari PbTiO_3 yang belum mengalami doping.

Gambar 4.8 menunjukkan stuktur mikro PbTiO_3 dengan perbesaran 15000x berupa agregat dengan bentuk yang tidak beraturan dan terlihat memiliki distribusi ukuran yang acak. Pada Gambar 4.7 terlihat juga bahwa hasil sintering 1000°C masih terdapat porositas. Namun, pada hasil ini senyawa PbO dan TiO_2 sudah tidak terbentuk di mana ketika sebelum sintering terlihat bahwa masih terdapat senyawa PbO dan TiO_2 . Kemudian PbTiO_3 dilakukan uji EDAX. Hasil EDAX ditampilkan pada Gambar 4.9.

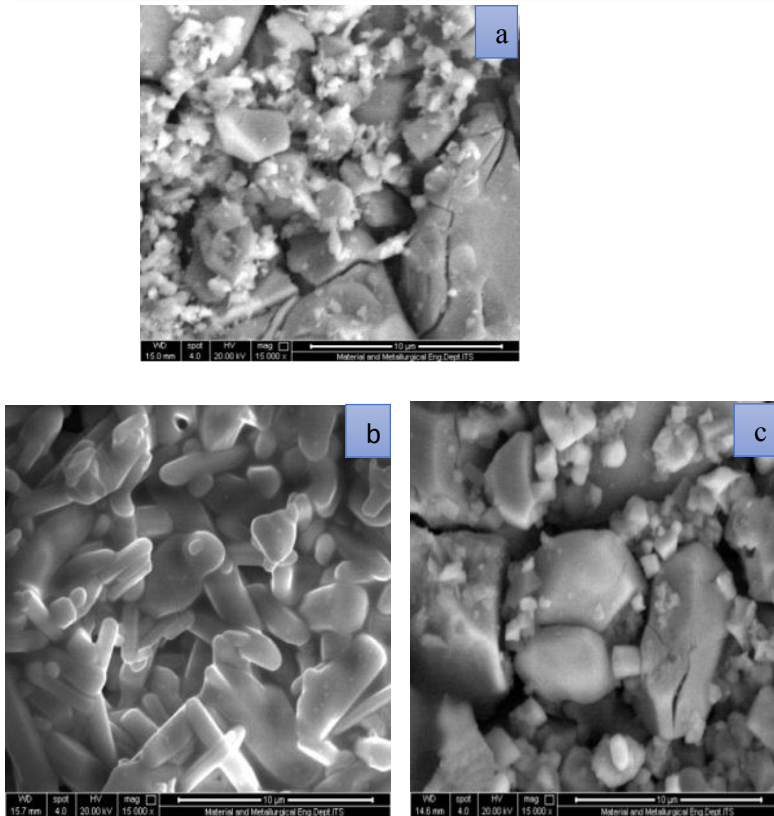


Gambar 4.9 Hasil Pengujian EDAX PbTiO_3

Berdasarkan Gambar 4.9 ditunjukkan bahwa terdapat unsur Pb, Ti, dan O dalam PbTiO_3 . Didapatkan juga persentase unsur dari Pb sebesar 25.49%, Ti sebesar 15.09% dan O sebesar 59.42%.

Kemudian PbTiO_3 ditambahkan Fe_2O_3 . Penelitian ini digunakan variasi konsentrasi Fe_2O_3 yaitu 0.2 mol, 0.3 mol dan 0.4 mol pada temperatur sintering 950°C , 1050°C , 1150°C .

Kemudian PbTiO_3 dilakukan penambahan Fe_2O_3 . Dengan konsentrasi 0.2, 0.3, 0.4 mol dengan laku panas temperatur 950°C . Setelah mengalami pendopongan Fe_2O_3 diuji SEM. Hasil SEM ditampilkan pada Gambar 4.10.



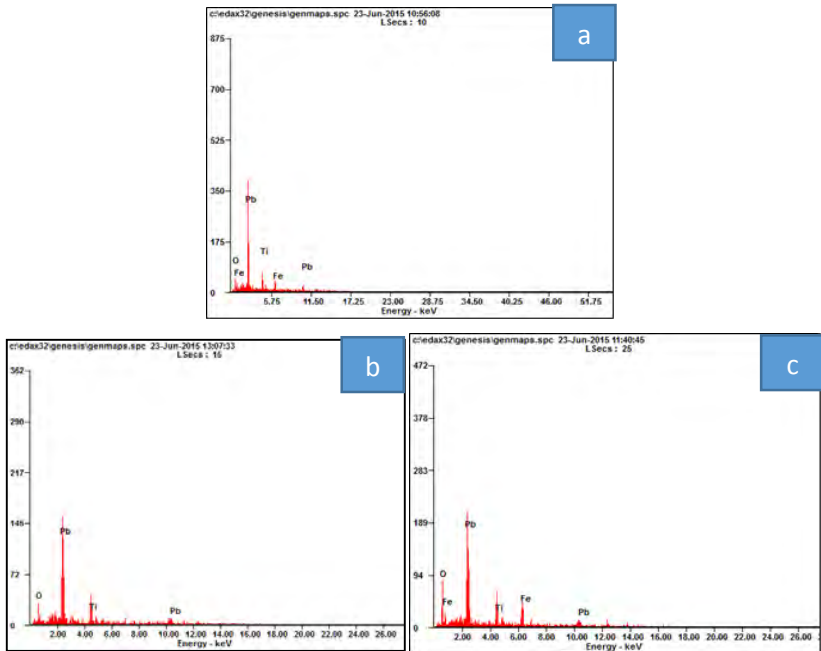
Gambar 4.10 Hasil SEM perbesaran 15000x dari PbTiO_3 yang sudah mengalami sinting pada temperatur 950°C dengan doping , (a) 0.2 mol, (c) 0.3 mol, (d) 0.4 mol

Hasil pengujian SEM yang menunjukkan variasi doping Fe_2O_3 pada PbTiO_3 dengan temperatur sinting 950°C pada Gambar 4.10. Berdasarkan Gambar 4.10(a) menunjukkan PbTiO_3 berbentuk agregat yang tidak beraturan dan homogen. Namun ketika ada penambahan Fe_2O_3 0.2 mol dan 0.4 mol pada Gambar 4.10(a) dan 4.10(b) masih berbentuk agregat yang tidak beraturan dan tidak homogen. Distribusi pun tersebar secara acak. Gumpalan



agregat berasal dari ikatan lemah yang memungkinkan tekanan van der Waals oleh ikatan ionik/ kovalen yang memiliki area sangat kecil. Hal ini dapat disebabkan karena tekanan kompaksi yang diberikan masih kecil. Proses kompaksi pada dasarnya adalah merupakan suatu proses pemadatan atau pengikatan sementara antara butiran partikel menjadi suatu massa yang kompak dengan cara ditekan selama kurang lebih 3 menit. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa semakin tinggi gaya tekan atau kompaksi yang diberikan pada serbuk maka ikatan butiran partikel bahan menjadi semakin kuat sehingga jarak antar partikel menjadi semakin rapat atau semakin kecil. Dengan butiran partikel yang semakin rapat tersebut maka densitas bahan hasil kompaksi akan semakin besar. Semakin tinggi tekanan kompaksi yang diberikan, maka pori yang dihasilkan semakin kecil dan densitas semakin besar. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Asyer Paulus (2007) dan Nizar (2012).

Pada Gambar 4.10(c) menunjukkan gambar yang berbeda apabila dibandingkan dengan Gambar 4.10(a), 4.10(b) dan 4.10(c). Gambar 4.19(c) menunjukkan bentuk silinder yang homogen dengan distribusi ukuran yang merata. Hal ini didukung dari pengujian EDX yang dilakukan. Dari pengujian terdapat persebaran unsur Pb, Ti, O dan Fe sehingga didapatkan komposisi Fe yang tersebar dalam PbTiO_3 .



Gambar 4.11 Hasil SEM-EDX pada Sintering 950°C PbTiO₃, (a) 0.2 mol, (b) 0.3 mol dan (c) 0.4 mol

Dari Gambar 4.11 terlihat jelas bahwa terdapat unsur Fe dalam PbTiO₃ setelah pendopingan. Intensitas unsur Pb sedikit lebih turun apabila dibandingkan dengan sebelum didoping. Sedangkan intensitas Ti mengalami penurunan yang signifikan apabila dibandingkan sebelum didoping. Penurunan unsur Pb dan Ti juga disertai dengan kenaikan unsur Fe. Kenaikan konsentrasi Fe₂O₃ menyebabkan terjadinya kenaikan unsur Fe dalam PbTiO₃. Penurunan yang signifikan dari unsur Ti dapat mengindikasikan Fe sudah tersubstitusi Ti. Hal ini mengindikasikan bahwa telah terjadi pendopingan Fe.



Tabel 4.2 Komposisi unsur penyusunan paduan partikel PbTiO_3 variasi konsentrasi Fe_2O_3 dengan temperatur sintering 950°C

Konsentrasi	Element	Wt%	Ar%
0.2 mol	O	16.29	61.87
	Pb	68.95	20.22
	Ti	10.33	13.10
	Fe	04.42	04.81
0.3 mol	O	28.95	72.07
	Pb	47.23	09.08
	Ti	15.71	13.07
	Fe	08.11	05.78
0.4 mol	O	21.62	68.60
	Pb	61.95	15.18
	Ti	98.57	09.08
	Fe	07.86	07.14

Berdasarkan Tabel 4.2 terdapat unsur Pb, Ti, Fe dan O pada proses pendopingan Fe_2O_3 pada PbTiO_3 , sehingga Fe dinyatakan telah berhasil terdoping. Dari 0.2 mol menunjukkan persentase Pb sebesar 20.22%, Ti 13.10%, Fe 04.1% dan O 61.87%. Data dapat dilihat bahwa nilai unsur O tertinggi. Pada 0.3 mol terdapat unsur Pb, Ti, Fe dan O pada proses pendopingan Fe_2O_3 pada PbTiO_3 , sehingga dapat dinyatakan telah berhasil. Dari data didapatkan persentase Pb 9.08%, Ti 13.07%, Fe 5.78% dan O 72.07%. Selain itu juga terjadi kenaikan nilai pada masing-masing Ti, O dan Fe. Tetapi terdapat penurunan pada unsur Pb dibandingkan 0.2 mol. Pada 0.3 mol Fe_2O_3 terdapat unsur Pb, Ti, Fe dan O pada proses pendopingan Fe_2O_3 pada PbTiO_3 , sehingga dapat dinyatakan telah berhasil. Dari data didapatkan persentase nilai Pb 15.18%, Ti 9.08%, Fe 7.14% dan O 68.0%. Selain itu juga terjadi kenaikan nilai pada masing-masing Pb, Ti, O dan Fe dari hasil EDX yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 karena pengaruh variasi doping.



4.5 Analisa Ferroelektrik

Uji sifat ferroelektrik dilakukan dengan menggunakan kurva histeresis, yaitu dengan menggunakan rangkaian Sawyer Tower dan osiloskop. Dari osiloskop akan didapatkan data berupa nilai volts/div di sumbu X dan sumbu Y. Nilai volts/div baik di sumbu X maupun di sumbu Y digunakan untuk mendapatkan nilai V_x dan V_y pada tiap-tiap sampel. Nilai V_x dan V_y yang didapat kemudian digunakan untuk mendapatkan polarisasi remanen dan medan listrik koersif dengan menggunakan rumus:

$$Pr = \frac{\epsilon_0 V_y}{d} \dots\dots\dots(4.4)$$

$$Ec = \frac{V_x}{d} \dots\dots\dots(4.5)$$

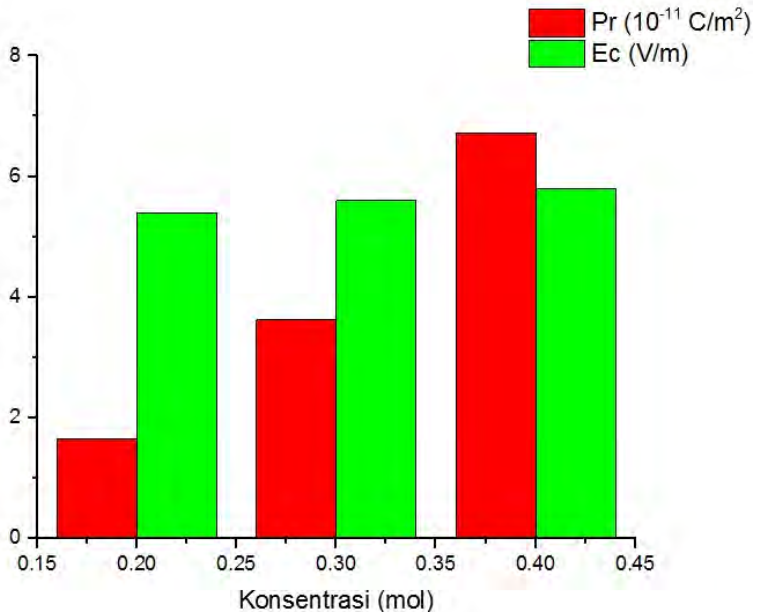
Dimana Pr adalah polarisasi remanen (Coulomb/m²), Ec adalah medan listrik koersif (V/m), V_y adalah tegangan pada sumbu y (volt), V_x adalah tegangan pada sumbu x (volt), d adalah tebal sampel (m), dan ϵ_0 adalah permeabilitas ruang hampa (8.85×10^{-12} F/m).

4.5.1 Pengaruh Penambahan Konsentrasi Doping Fe₂O₃ dan Temperatur Sintering pada PbTiO₃

Berdasarkan uji polarisasi untuk PbTiO₃ tanpa doping didapatkan nilai V_x sebesar 1 Volt, sedangkan pada V_y adalah sebesar 1.2×10^{-2} Volt. Untuk PbTiO₃ doping Fe₂O₃ 0.2 mol dengan temperatur sintering 950°C didapatkan nilai V_x sebesar 1 Volt, sedangkan pada V_y adalah sebesar 3.2×10^{-3} Volt. Pada doping 0.3 mol temperatur sintering 950°C didapatkan nilai V_x sebesar 0.95 Volt, sedangkan pada V_y adalah sebesar 12.99×10^{-3} Volt. Sedangkan pada doping 0.4 mol temperatur sintering 950°C didapatkan nilai V_x sebesar 4.6 Volt, sedangkan pada V_y adalah sebesar 2.6×10^{-3} Volt.



Sehingga berdasarkan hasil Gambar 4.12 tersebut dapat diperoleh nilai E_c (medan listrik koersif) dan mendapatkan nilai polarisasi remanen. Hasil uji Ferroelektrik ditampilkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Hubungan Variasi Doping dengan Polarisasi Remanen dan Medan Koersif

Berdasarkan pengujian ferroelektrik dengan variasi mol 0.2, 0.3, dan 0.4, pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa dengan semakin banyak komposisi Fe_2O_3 maka semakin tinggi nilai resistivitas polarisasi remanensinya dan medan koersifnya. Dari penelitian didapatkan nilai polarisasi remanensi $\geq 36 \mu\text{C} / \text{cm}^2$ dan nilai medan koersif $\geq 58.8 \text{ kV/cm}$. Menurut penelitian Carl (2011) bahwa nilai polarisasi remanensi $35 \mu\text{C} / \text{cm}^2$ dan nilai medan koersif $\geq 40 \text{ kV/cm}$ sudah bersifat ferroelektrik. Dan nilai polarisari



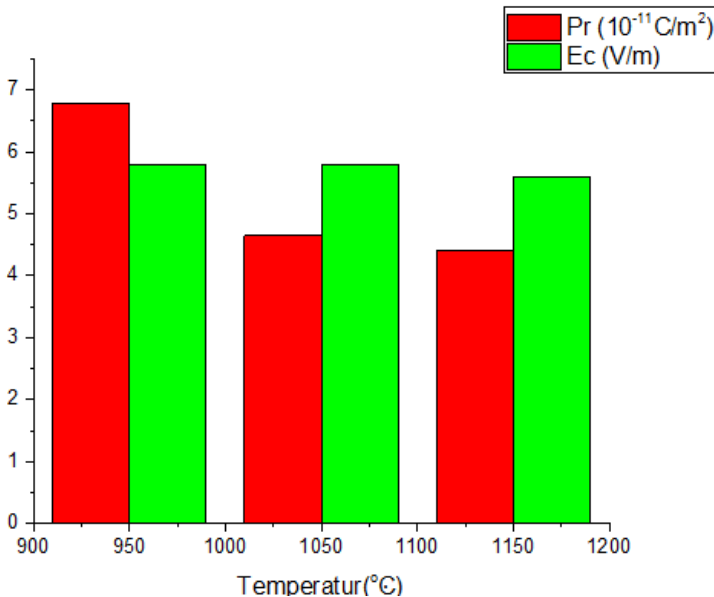
remanensi (Pr) menunjukkan ketika semakin tinggi mol, maka nilai polarisasi remanensinya juga semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian Xu pada tahun 1991 yang menjelaskan bahwa ion hard doping dapat menghasilkan sifat material ferroelektrik yang memiliki sifat medan koersif yang tinggi. Fe^{3+} merupakan ion hard doping. Ion hard doping dapat menyebabkan sangat efektifnya pembangkitan momen dipol karena ion O dapat mudah melompat dari posisi O ke ruangan kosong posisi O dan loncatan ion dapat mudah terjadi.

Penambahan Fe_2O_3 juga memiliki pengaruh terhadap nilai ferroelektriknya. Nilai ferroelektrik bergantung pada kualitas kristal. Kualitas kristal dapat diamati melalui nilai FWHM yang didapatkan dari XRD. Semakin kecil nilai FWHM, maka kristalnya semakin baik (Wang 2007). Hal ini juga terlihat dengan nilai FWHM yang semakin turun sehingga menunjukkan kualitas kristal yang semakin baik. Hal ini bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Prabandari (2012) yang menunjukkan bahwa nilai remanensi dan medan koersif bergantung dari kualitas kristal itu sendiri. Di mana semakin baik kristal maka nilai polarisasi remanen dan medan koersif mengalami kenaikan. Hal ini juga menunjukkan bahwa seiring dengan semakin besarnya variasi molar maka semakin banyak atom. Fe^{3+} yang menggantikan Ti^{4+} Jarak inti terhadap electron menjadi dekat sehingga inti akan mengikat elektron menjadi lebih kuat. Karena elektron terikat kuat oleh inti maka elektron mudah bergerak dan bahan akan semakin konduktif. Hal ini dikarenakan elektron merupakan pembawa muatan dalam material padat. Dengan kata lain nilai polarisasi remanen dan medan koersif menjadi semakin besar.

Akan tetapi, berdasarkan pada Gambar 4.10 ketika temperatur sintering yang digunakan semakin tinggi, nilai medan listrik koersifnya menjadi semakin kecil dan nilai polarisasi remanensinya juga semakin kecil. Dari pengaruh temperatur sintering dapat dinyatakan bahwa nilai polarisasi remanensi dan medan listrik koersifnya tertinggi adalah PbTiO_3 yang didoping dengan 0.4 mol pada temperatur sintering 950 °C. Sedangkan nilai



polarisasi remanensi dan medan listriknya terkecil pada PbTiO_3 yang didoping 0.4 mol pada temperatur sintering 1150°C .



Gambar 4.13 Hubungan Variasi Temperatur dengan Polarisasi Remanen dan Medan Koersif

Berdasarkan Gambar 4.13 pengujian Ferroelektrik dengan variasi temperatur menunjukkan bahwa dengan meningkatnya temperatur sintering maka semakin turun nilai resistivitas polarisasi remanensinya dan medan koersif. Hal ini juga terlihat dengan nilai FWHM yang semakin besar sehingga menunjukkan kualitas kristal yang kurang baik. Hal ini disebabkan karena pengaruh kenaikan temperatur pada material adalah dapat mengubah ukuran butirnya yang akan menyebabkan bergesernya titik Curie-titik transisi dari Ferroelektrik menuju paraelektrik. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan sifat-sifat listrik dan



mekanisme transport pada temperatur ruang dan temperatur rendah dikontrol oleh butir dan batas butir. Semakin besar ukuran butir akan mengakibatkan resistansi polarisasi remanen dan medan koersif menjadi kecil.

4.5 Analisa Kemagnetan dari Suseptibilitas

Penelitian ini menggunakan Suseptibilitas untuk mendapatkan nilai konstanta magnet.

Tabel 4.3 Hasil Suseptibilitas

Spesimen	Doping	Temperatur (°C)	Pengujian Suseptibilitas (χ_m)
1	0.2 mol	950	>1
2	0.3 mol	950	>1
3	0.4 mol	950	>1
4	0.4 mol	1050	>1
5	0.4 mol	1150	>1

Berdasarkan data pada Tabel 4.3 ditunjukkan bahwa pada apabila PbTiO_3 mendapatkan penambahan Fe_2O_3 sebesar 0.2 mol menunjukkan nilai suseptibilitas yang lebih besar dari 1 ($\chi_m > 1$). Hal ini menandakan bahwa PbTiO_3 yang didoping Fe_2O_3 0.2 mol bersifat ferromagnetik. Kemudian dengan adanya penambahan 0.3 mol dan 0.4 mol juga memiliki nilai konstanta suseptibilitas yang lebih besar dari 1 ($\chi_m > 1$). Hal ini menunjukkan bahwa PbTiO_3 berubah menjadi sifat ferromagnetik jika dilakukan pendopingan dengan Fe_2O_3 .

Sedangkan ketika mengalami penambahan temperatur sintering 950, 1050 dan 1150°C pada konsentrasi 0.4 mol Fe_2O_3 , PbTiO_3 tetap memiliki nilai konstanta suseptibilitas yang lebih besar dari 1 ($\chi_m > 1$). Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Verma (2008) bahwa apabila PbTiO_3 didoping dengan Fe_2O_3 bersifat ferromagnetik.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Nilai Polarisasi remanensi yang tertinggi dan medan koersif yang tertinggi sebesar $67.29 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ dan $588 \text{ kV}/\text{cm}$ terdapat pada PbTiO_3 yang didoping $0.4 \text{ mol Fe}_2\text{O}_3$ pada temperatur 950°C .
2. Pengaruh penambahan variasi doping Fe_2O_3 pada pembentukan PbTiO_3 adalah meningkatkan nilai polarisasi remanensi dan medan koersif dari $541 \text{ kV}/\text{cm}$ hingga $588 \text{ kV}/\text{cm}$ dan $16.56 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ hingga $67.29 \mu\text{C}/\text{cm}^2$.
3. Pengaruh kenaikan temperature sintering pada pembentuk PbTiO_3 yang didoping Fe_2O_3 adalah menurunkan nilai polarisasi remanensi dan medan koersif dari $588 \text{ kV}/\text{cm}$ hingga $564 \text{ kV}/\text{cm}$ dan $67.29 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ hingga $44 \mu\text{C}/\text{cm}^2$.
4. PbTiO_3 yang ditambahkan Fe_2O_3 dengan konsentrasi 0.2 mol hingga 0.4 mol pada temperatur sintering 950°C hingga 1150°C bersifat ferromagnetik.

5.2 Saran

Berdasarkan dari penelitian, dapat beberapa hal yang dapat disarankan:

1. Adanya studi lebih lanjut mengenai penambahan doping Fe_2O_3 terhadap PbTiO_3
2. Waktu yang digunakan pada saat sintering harus diperhatikan karena dapat menyebabkan sampel tidak bersifat optima



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, A., B. Bleaney. 1970. **Electron Paramagnetic Resonance of Transition Ions**. Oxford University Press, London.
- A. Nicole Hill. 2000. **Why are there so few magnetic ferroelectrics?**. J. Phys. Chem. B, 104 [29] (2000) 6694– 6709.
- Cornell, R.M., dan Schwertmann, U. 2003. **The Iron Oxides**, 2nd edn. Weinheim: Wiley-VCH, 664 pp
- Dahl. 2010. **Measurements and Modelling of Effect of Interface on Ferroelectricity in Lead Titanate Thin Films**. Norwegian University of Science and Technology Faculty of Information Technology, Mathematics and Electrical Engineering Department of Electronics and Telecommunications.
- De-Chang Jia, 2009. “Structure And Multiferroic Properties Of BiFeO₃ Powders”, Journal of the **European Ceramic Society**, Vol.29,p.3099–3103.
- Ganegoda Hasitha. 2012. **Iron Incorporation Into Ferroelectric Lead Titanate**. Illinois Institute of Technology, Chicago, Illinois.
- Hikam, M., Soegiyono, B., Manaf, A., Mudzakir, I., Iriani, Y., Fasquelle, D. (2011). **Recent Development in Ferroelectric Smart Materials**. Proceedings of International Conference on X-ray

Microscopy and Smart Materials (ICXSM), June 13, 2011, Solo, Indonesia.

Haertling, G. 1999. **Ferroelectric Ceramic : History and Technology**. J. Am. Ceram. Soc, Vol 82, pages 797-818.

Hikam, M. 2007. **Catatan Kuliah Kristalografi dan Teknik Difraksi**.

H. Tabata H, O. Murata, T. Kawai, S. Kawai dan M. Okuyama. 1994. **Appl. Phys. Lett.** 64, 428

J. Polleux, N. Pinna, M. Antonietti, C. Hess, U. Wild, R. Schlogl. 2005. " M. Niederberger, **Chem. Eur. J.** 11 3541.

K. Carl. 2011. **Ferroelectric properties and fatiguing effects of modified PbTiO₃ ceramics**. *Ferroelectrics Volume 9, Issue 1*, 1975

K.C. Verma, R.K. Kotnala, N.S. Negi. 2008. **Improved dielectric and ferromagnetic properties in Fe-doped PbTiO₃ nanoparticles at room temperature**, *Appl. Phys. Lett.* 92 (2008) 152902–152904.

Klein, Cornelis. 1993. **Manual of Mineralogy**. New York, USA.

Kong, L.B., Zhang, T.S., Ma, J., Boey, F. 2008. **Progress in synthesis of ferroelectric ceramic materials via high-energy mechanochemical technique**, Temasek

Laboratories, National University of Singapore, 10 Kent Ridge Crescent, Singapore 119260, Singapore School of Materials Science and Engineering, Nanyang Technological University, Nanyang Avenue,

Kurnia Helmy Rizky. **Pengaruh Waktu Milling dan Temperatur Sintering Pada Pembentukan Nanopartikel Fe₂TiO₅ Dengan Metode Mechanical Alloying.** Jurnal Teknik Pomits Vol.1 No.1-5. Jurusan Teknik Material dan Metalurgi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Moura, F., Simoes, A.Z., Stojanovic, B.D., Zaghete, M.A., Longo, E., Varela, J.A. 2008. **Dielectric and Ferroelectric Characteristics of Barium Zirconate Titanate Ceramic Prepared From Mixed Oxide Method.** Journal of Alloys and Compound 462, 129-134. Singapore 639798, Progress in Materials Science 53, 207–322.

Martin, Lane W. dan Darrell G. Schlom. 2012. **Advanced synthesis techniques and routes to new single-phase multiferroics.** Jurnal of Current Opinion in Solid State and Materials Science.

Nizar. 2012. **Studi Pengaruh Tekanan Kompaksi dan Waktu Kalsinasi Terhadap Pelet Zeolit Alam Sebagai Dessicant.** Material dan Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Jakarta.

- Nugroho Febri. 2011. **Pengaruh Waktu Miling dan Temperatur sintering Terhadap Pembentukan Partikel PbTiO₃ Dengan Metode Mechanical Alloying.** Jurusan Material dan Metalurgi Institut Sepuluh Nopember. Surabaya
- Nugroho Stefanus Haryo. 2011. **Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Pembentukan Nanopartikel Tungsten Trioksida Hasil Proses Sol-Gel.** Jurusan Material dan Metalurgi Institut Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Pratapa, S. 2004. **Bahan Kuliah Difraksi Sinar-x.** Jurusan Fisika FMIPA ITS, Surabaya.
- Priyono. Yuli Astanto. Happy Traningsih dan Ainie Khuriati R.S. 2004. **Efek Aditiv Al₂O₃ Terhadap Struktur dan Sifat Fisis Magnet Permanen BaO.6(Fe₂O₃).** Jurnal Berkala Fisika. Vol. 7, No. 2, April 2004, hal 69-73.
- Prabandari Gristin. 2012. **Pengaruh perubahan komposisi dan temperatur terhadap resistivitas ferroelektrik Ba_{1-x}LaxTiO₃.** Universitas Negeri Malang, Malang.
- Paulus Asyer. 2007. **Pengaruh Tekanan Kompaksi dan Waktu Penahanan Temperatur Sintering Terhadap Sifat Tekanan Kompaksi dan Waktu Penahanan Temperatur Sintering Terhadap Sifat Magnetik dan Kekerasan Pada Pembuatan Iron Soft Doping Magnetik dari Serbuk Besi.** Jurusan Material dan Metalurgi Institut Sepuluh Nopember. Surabaya/

- Raming, T.P. Winnubst, van Kats, and Phlipse. 2002. **The Synthesis and Magnetic Properties of Nanosized Hematite (α -Fe₂O₃) Particles**. Journal of Colloid and Interface Science 249, 346-350.
- Ren Z.H., G. Xu, X. Wei, Y. Liu, X.H. Hong, P.Y. Du, W.J. Weng, G. Shen, G.R. 2009. **Ring- and single-crystal-like superstructures of Fe-doped PbTiO₃ nanocrystals**, Journal of Crystal Growth 311 (2009) 4593–4597.
- Junghuo Ryu, Guifang Han, Tae Kwon Song, Aaron Welsh, Susan Trolrier-McKinstry, Hongsoo Choi, Jong-Pil Lee, Jong-Woo Kim, Woon-Ha Yoon, Jong-jin Choi, Dong-Soo Park., Cheol-Woo Ahn, Shashank Priya, Si-Young Choi dan Dae- Jeong. 2014. **Upshift of phase transition temperature in nanostructured PbTiO₃ thick film for high temperature**. Department of Convergence Materials Science and Engineering, Changwon National University, Changwon.
- Regonini D., V. Adamaki, C.R. Bowen, S.R. Pennock, J. Taylor, A.C.E Dent. 2012. Materials Research Centre, Department of Mechanical Engineering, University of Bath, UK.
- Sakamoto Wataru. Asaki Iwata, and Toshinobu Yogo. 2008. **Ferroelectric Properties of Chemically Synthesized Perovskite BiFeO₃ –PbTiO₃ thin films**. JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 104, 104106, 2008.

Scott, J. F. 1998. **The physics of ferroelectric ceramics thin films for memory applications.** *Ferroelectr. Rev.*, 1998, 1, 1–129.

Sen Pintu, A. Dey, A.K. Mukhopadhyay, S.K. Bandyopadhyay, A.K. Himanshu. 2010. **“Nanoindentation Behaviour of Nano BiFeO₃, Ceramics International”**, doi: 10.1016/j. ceramint. 2011.09.011

Smallman, R. E. dan R. J. Bishop. 1991. **Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material.** Edisi keenam. Terj. Sriati Djaprie. Jakarta: Erlangga.

Smith J. R. dan F. C. Walsh. 1998. **Electrodes Based on Magnel Phase Titanium Oxides : The Properties and Applications of Ebonex Materials.** *Journal of Electrochemistry* 1021-1033.

Spaldin Nicole. 2011. **MAGNETIC MATERIALS Fundamentals and Applications. Second Edition**, 18.

Subagja Bagus. 2011. **Pengaruh Variasi Persen Berat Bi dan Pemberian Tekanan Pada Parameter Kisi dan Ukuran Kristal Sistem Material Sn-Cu-Bi dan Sn-Cu.** Fisika FMIPA Universitas Indonesia, Jakarta.

Suryanarayana, C. 2001. **Mechanical alloying and milling,** departement of metallurgical and materials engineering,

colorado school of mines, golden, CO 80401-1887,USA
progress in materials science 46, 1-184.

Takeshi Yoshimura dan Susan Trolier-McKinstrya. 2002.
Growth and properties of „001... BiScO₃ – PbTiO₃ epitaxial films. APPLIED PHYSICS LETTERS
VOLUME 81, NUMBER 11 Materials Research
Institute, The Pennsylvania State University, University
Park, Pennsylvania 16802.

Tang, Xin. 2005. **Influence of Synthesis Variables on The
Phase Component and Magnetic Properties of M-Ba-
ferrite Powders Prepared Via Sugar-Nitrates Process.**
Journal of Material Science. ISSN 0022-2461

Van Minh Nguyen , Le Mai Oanh, Pham Van Doan, Pham
Van Hai, Luc Huy Hoang. 2011. **Investigation of
structural, optical and magnetic properties in
PbTi_{1-x}FexO₃ ceramics.** Journal of Center for Nano
science and Technology and Department of Physics,
Hanoi National University of Education, 136 Xuan Thuy
Road, Cau Giay, Hanoi, Viet Nam (2011).

Van, V. L.H. 2004. **Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa
Material.** Terjemahan Djaprie. Penerbit Erlangga,
Jakarta.

Wang Chun. 2007. **Investigation of Sputtered Ferroelectric
Thin Films on Silicon Substrates.** Carnegie Mellon
University, Pittsburg.

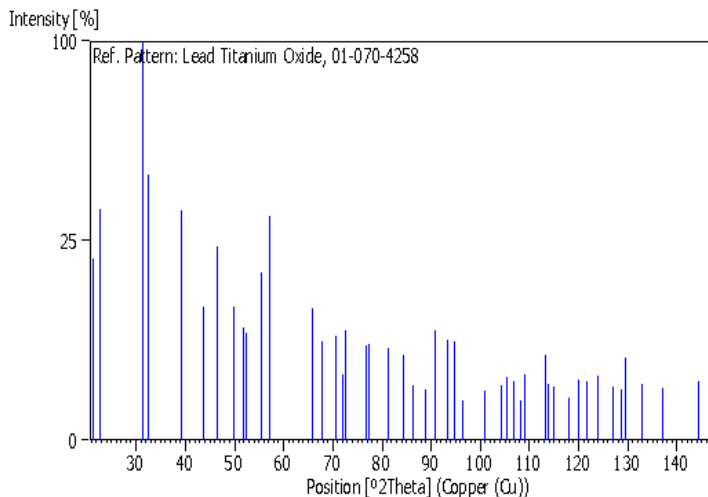
- Wang Jun., Xinchang Pang, Mufit Akinc and Zhiqun Lin. 2010. **Synthesis and characterization of perovskite PbTiO₃ nanoparticles with solution processability**, Journal of Materials Chemistry
- Xu, Yuhuan. 1991. **Ferroelectric Materials and Their Applications**. Los Angeles : University California
- Xue, J., Wan, D., Wang, J. 1999. **Mechanochemical synthesis of nanosized lead titanate powders from mixed oxides**. Department of Materials Science, Faculty of Science, National University of Singapore, Materials Letters 39, 364–369.
- Yessica Ivana. 2014. **Pengaruh Komposisi Fe₂O₃ dan Temperatur Laku Panas Terhadap Sifat Optik dan Sifat Listrik Fe₂TiO₅**. Jurusan Material dan Metalurgi Institut Sepuluh Nopember. Surabaya
- YN. Venevtsev, GS. Zhdanov, SP. Solov'ev dan VV. Ivanova. 1959. **Krystallografiya 4, 235** (1959).
- Y.Latatone. 2004. **Van der Waals versus dipolar forces controlling mesoscopic organizations of magnetic nanocrystals**. Nature Materials 3, 121 – 125.
- Yuan. 2006. **“Preparation and Multi-properties of Insulated Singlephase BiFeO₃ ceramics”**, Solid State Communications . Vol.138 ,p.76–81

Z. Zhang, C. Wang, R. Zakaria, J.Y. Ying. 1998. **Role of particle size in nanocrystalline TiO₂-based photocatalysts**, J. Phys. Chem. B 102 (1998) 10871–10878

www.electrons.wikidot.com/ferroelectrics dikutip pada tanggal 24 Juli 2015.

LAMPIRAN

PDF CARD 01-070-4258

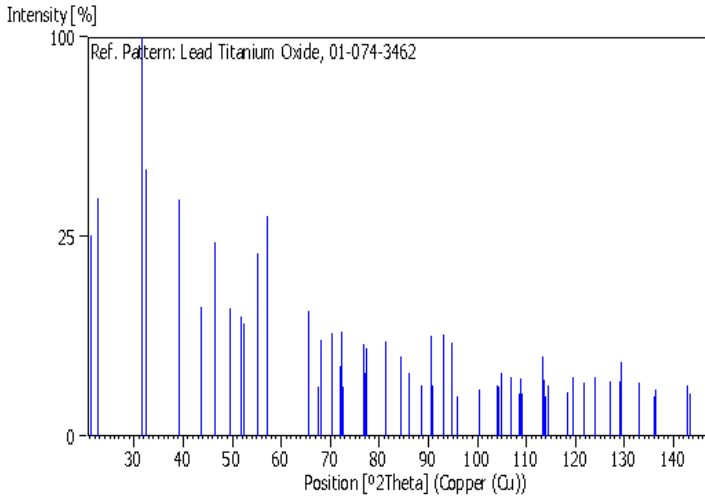


No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]	No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	4.13480	21.473	20.6	23	3	0	2	1.10130	88.765	1.6
2	1	0	0	3.90390	22.760	33.4	24	3	2	0	1.08180	90.805	7.5
3	1	0	1	2.83860	31.491	100.0	25	2	1	3	1.08180	90.805	7.5
4	1	1	0	2.76050	32.406	44.1	26	3	1	2	1.05990	93.232	6.4
5	1	1	1	2.29580	39.209	33.0	27	3	2	1	1.04740	94.689	6.1
6	0	0	2	2.06740	43.751	11.1	28	0	0	4	1.03370	96.350	0.6
7	2	0	0	1.95200	46.485	23.7	29	1	0	4	0.99930	100.859	1.5
8	1	0	2	1.82700	49.874	11.1	30	4	0	0	0.97600	104.229	1.9
9	2	0	1	1.76520	51.746	7.9	31	2	2	3	0.97530	104.335	1.6
10	2	1	0	1.74590	52.362	7.2	32	1	1	4	0.96810	105.439	2.5
11	1	1	2	1.65480	55.484	17.6	33	3	2	2	0.95920	106.848	2.2
12	2	1	1	1.60840	57.230	31.7	34	4	0	1	0.94990	108.373	0.9
13	2	0	2	1.41930	65.740	10.9	35	4	1	0	0.94620	108.997	2.7
14	2	2	0	1.38020	67.850	6.2	36	3	0	3	0.94620	108.997	2.7
15	2	1	2	1.33390	70.547	6.9	37	4	1	1	0.92290	113.159	4.5
16	2	2	1	1.30920	72.083	2.7	38	3	3	0	0.91960	113.785	2.0
17	1	0	3	1.29960	72.701	7.6	39	3	1	3	0.91960	113.785	2.0
18	3	0	1	1.24130	76.714	5.7	40	2	0	4	0.91350	114.968	1.8
19	3	1	0	1.23450	77.214	5.8	41	3	3	1	0.89820	118.097	1.1
20	3	1	1	1.18290	81.264	5.3	42	2	1	4	0.88950	119.992	2.3
21	2	2	2	1.14790	84.297	4.6	43	4	0	2	0.88260	121.562	2.2
22	2	0	3	1.12590	86.340	1.9	44	4	2	0	0.87290	123.881	2.6

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
45	4	1	2	0.86080	126.982	1.8
46	4	2	1	0.85410	128.814	1.6
47	3	2	3	0.85140	129.578	4.3
48	3	3	2	0.84070	132.771	2.0
49	2	2	4	0.82740	137.179	1.7

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
50	0	0	5	0.82740	137.179	1.7
51	1	0	5	0.80900	144.413	2.2
52	3	0	4	0.80900	144.413	2.2
53	4	2	2	0.80420	146.609	4.2

PDF CARD 01-074-3462



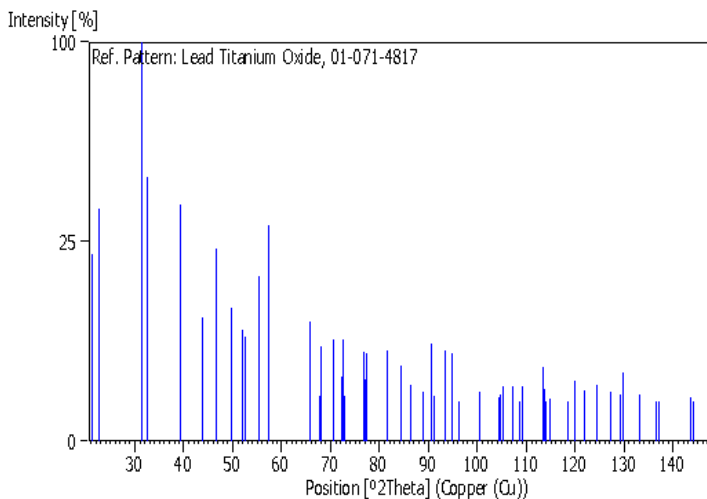
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	4.15410	21.373	25.4
2	1	0	0	3.89890	22.790	35.7
3	1	0	1	2.84290	31.442	100.0
4	1	1	0	2.75700	32.449	44.8
5	1	1	1	2.29710	39.186	35.2
6	0	0	2	2.07700	43.539	10.5
7	2	0	0	1.94940	46.550	23.7
8	1	0	2	1.83320	49.694	10.3
9	2	0	1	1.76480	51.759	9.0
10	2	1	0	1.74360	52.436	7.9
11	1	1	2	1.65890	55.336	20.9
12	2	1	1	1.60780	57.254	30.4
13	2	0	2	1.42140	65.630	9.8
14	0	0	3	1.38470	67.600	1.5
15	2	2	0	1.37850	67.945	5.8

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
16	2	1	2	1.33550	70.450	6.7
17	2	2	1	1.30830	72.141	3.1
18	1	0	3	1.30480	72.365	6.8
19	3	0	0	1.29960	72.701	1.5
20	3	0	1	1.24040	76.780	5.4
21	1	1	3	1.23740	77.000	2.5
22	3	1	0	1.23290	77.333	4.9
23	3	1	1	1.18200	81.339	5.7
24	2	2	2	1.14860	84.233	4.0
25	2	0	3	1.12890	86.054	2.5
26	3	0	2	1.10170	88.724	1.6
27	2	1	3	1.08440	90.526	6.3
28	3	2	0	1.08140	90.848	1.6
29	3	1	2	1.06020	93.198	6.5
30	3	2	1	1.04650	94.796	5.5

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
31	0	0	4	1.03850	95.760	0.6
32	1	0	4	1.00350	100.280	1.4
33	2	2	3	0.97690	104.094	1.6
34	4	0	0	0.97470	104.426	1.5
35	1	1	4	0.97190	104.853	2.5
36	3	2	2	0.95920	106.848	2.2
37	4	0	1	0.94900	108.524	1.1
38	3	0	3	0.94760	108.760	2.1
39	4	1	0	0.94560	109.099	1.1
40	4	1	1	0.92200	113.329	4.0
41	3	1	3	0.92080	113.556	2.0
42	3	3	0	0.91900	113.900	1.0
43	2	0	4	0.91660	114.362	1.6

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
44	3	3	1	0.89730	118.289	1.2
45	2	1	4	0.89230	119.373	2.2
46	4	0	2	0.88240	121.609	1.8
47	4	2	0	0.87180	124.153	2.2
48	4	1	2	0.86060	127.036	1.9
49	4	2	1	0.85320	129.067	1.9
50	3	2	3	0.85230	129.322	3.5
51	3	3	2	0.84040	132.864	1.8
52	0	0	5	0.83080	135.998	0.3
53	2	2	4	0.82950	136.445	1.4
54	1	0	5	0.81260	142.863	1.6
55	3	0	4	0.81130	143.414	1.1
56	4	2	2	0.80390	146.752	3.2

PDF CARD 01-078-0299



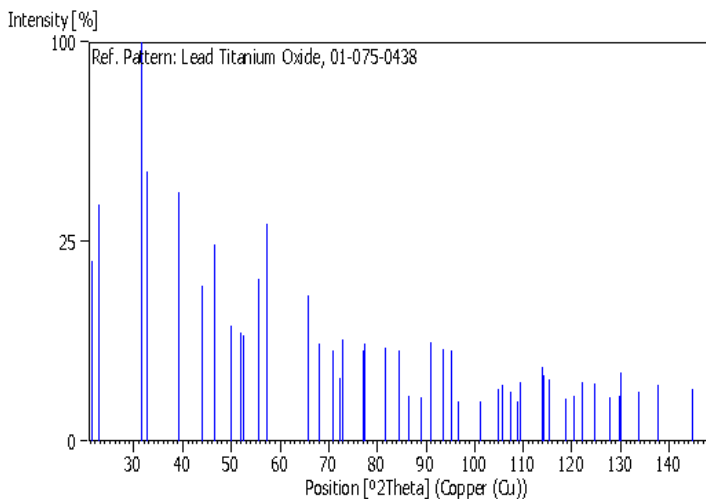
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	4.14520	21.419	21.9
2	1	0	0	3.89540	22.810	33.9
3	1	0	1	2.83870	31.490	100.0
4	1	1	0	2.75450	32.479	44.0
5	1	1	1	2.29420	39.237	35.3
6	0	0	2	2.07260	43.636	9.7
7	2	0	0	1.94770	46.593	23.3
8	1	0	2	1.82970	49.795	11.1
9	2	0	1	1.76280	51.822	7.7

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
10	2	1	0	1.74210	52.485	6.8
11	1	1	2	1.65610	55.437	17.0
12	2	1	1	1.60600	57.324	29.2
13	2	0	2	1.41930	65.740	9.0
14	0	0	3	1.38170	67.766	1.3
15	2	2	0	1.37720	68.018	5.6
16	2	1	2	1.33360	70.565	6.5
17	2	2	1	1.30700	72.224	2.6
18	1	0	3	1.30220	72.532	6.5

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
19	3	0	0	1.29850	72.772	1.3
20	3	0	1	1.23910	76.875	5.0
21	1	1	3	1.23500	77.177	2.4
22	3	1	0	1.23180	77.415	4.8
23	3	1	1	1.18080	81.439	5.1
24	2	2	2	1.14710	84.369	3.6
25	2	0	3	1.12700	86.235	2.0
26	3	0	2	1.10040	88.857	1.5
27	2	1	3	1.08260	90.719	5.9
28	3	2	0	1.08040	90.955	1.3
29	3	1	2	1.05890	93.347	5.2
30	3	2	1	1.04550	94.915	4.9
31	0	0	4	1.03630	96.030	0.4
32	1	0	4	1.00150	100.555	1.5
33	2	2	3	0.97540	104.320	1.2
34	4	0	0	0.97380	104.563	1.4
35	1	1	4	0.96990	105.161	1.9
36	3	2	2	0.95800	107.041	1.9
37	4	0	1	0.94800	108.692	0.8

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
38	3	0	3	0.94620	108.997	1.9
39	4	1	0	0.94480	109.235	0.8
40	4	1	1	0.92120	113.480	3.4
41	3	1	3	0.91950	113.804	1.7
42	3	3	0	0.91820	114.053	0.9
43	2	0	4	0.91490	114.693	1.1
44	3	3	1	0.89640	118.482	1.0
45	2	1	4	0.89060	119.748	2.3
46	4	0	2	0.88140	121.842	1.6
47	4	2	0	0.87100	124.352	2.0
48	4	1	2	0.85970	127.277	1.5
49	4	2	1	0.85240	129.293	1.4
50	3	2	3	0.85110	129.664	3.0
51	3	3	2	0.83950	133.147	1.4
52	0	0	5	0.82900	136.618	0.3
53	2	2	4	0.82810	136.933	0.9
54	1	0	5	0.81090	143.585	1.2
55	3	0	4	0.81000	143.974	1.0
56	4	2	2	0.80300	147.185	2.7

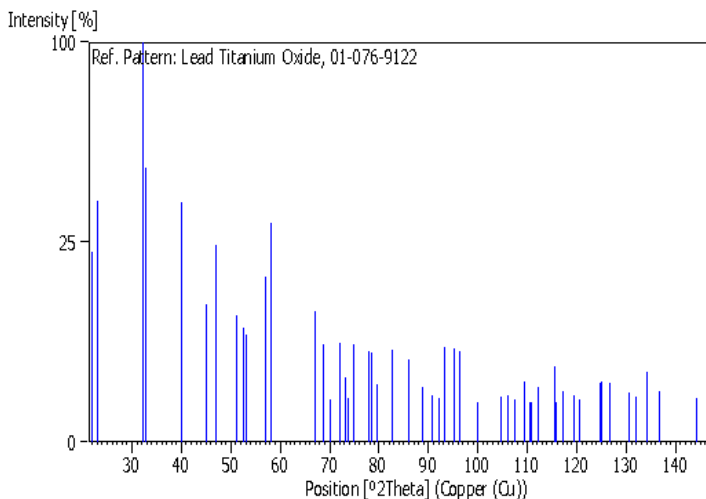
PDF CARD 01-075-0438



No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	4.13000	21.499	20.5
2	1	0	0	3.89000	22.842	35.3
3	1	0	1	2.83170	31.570	100.0
4	1	1	0	2.75060	32.526	45.5
5	1	1	1	2.28940	39.323	38.9
6	0	0	2	2.06500	43.805	15.1
7	2	0	0	1.94500	46.662	24.4
8	1	0	2	1.82390	49.964	8.4
9	2	0	1	1.75960	51.923	7.4
10	2	1	0	1.73970	52.562	7.1
11	1	1	2	1.65140	55.609	16.6
12	2	1	1	1.60320	57.433	29.7
13	2	0	2	1.41580	65.923	13.3
14	0	0	3	1.37530	68.125	6.0
15	2	2	0	1.37530	68.125	6.0
16	2	1	2	1.33050	70.754	5.2
17	2	2	1	1.30490	72.359	2.5
18	1	0	3	1.29780	72.818	6.5
19	3	0	0	1.29780	72.818	6.5
20	3	0	1	1.23710	77.022	5.1
21	3	1	0	1.23010	77.542	5.9
22	1	1	3	1.23010	77.542	5.9
23	3	1	1	1.17890	81.598	5.5
24	2	2	2	1.14470	84.587	5.2
25	2	0	3	1.12370	86.550	1.3
26	3	0	2	1.09810	89.092	1.2
27	3	2	0	1.07950	91.052	6.1
28	2	1	3	1.07950	91.052	6.1

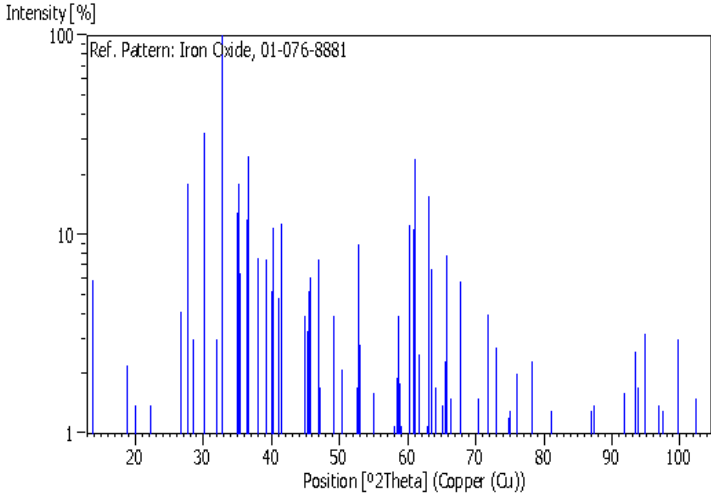
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
29	3	1	2	1.05680	93.588	5.3
30	3	2	1	1.04390	95.107	5.1
31	0	0	4	1.03250	96.499	0.9
32	1	0	4	0.99790	101.053	0.9
33	4	0	0	0.97250	104.761	1.7
34	2	2	3	0.97250	104.761	1.7
35	1	1	4	0.96660	105.673	2.0
36	3	2	2	0.95620	107.334	1.5
37	4	0	1	0.94660	108.929	0.8
38	4	1	0	0.94390	109.389	2.2
39	3	0	3	0.94390	109.389	2.2
40	4	1	1	0.91980	113.747	3.5
41	3	1	3	0.91730	114.227	2.7
42	3	3	0	0.91730	114.227	2.7
43	2	0	4	0.91200	115.264	2.4
44	3	3	1	0.89510	118.762	1.1
45	2	1	4	0.88790	120.351	1.3
46	4	0	2	0.87980	122.218	2.2
47	4	2	0	0.86980	124.652	2.1
48	4	1	2	0.85810	127.710	1.2
49	4	2	1	0.85120	129.635	1.3
50	3	2	3	0.84920	130.212	3.0
51	3	3	2	0.83800	133.622	1.5
52	0	0	5	0.82570	137.785	2.0
53	2	2	4	0.82570	137.785	2.0
54	1	0	5	0.80800	144.857	1.7
55	3	0	4	0.80800	144.857	1.7
56	4	2	2	0.80160	147.872	3.8

PDF CARD 01-076-9122



No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]	No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	4.02300	22.078	22.7	26	3	0	2	1.08330	90.644	1.4
2	1	0	0	3.85700	23.041	36.3	27	3	2	0	1.06970	92.127	1.2
3	1	0	1	2.78420	32.123	100.0	28	2	1	3	1.05870	93.370	5.7
4	1	1	0	2.72730	32.812	46.9	29	3	1	2	1.04290	95.227	5.5
5	1	1	1	2.25750	39.902	36.1	30	3	2	1	1.03380	96.338	5.1
6	0	0	2	2.01150	45.033	11.8	31	0	0	4	1.00580	99.967	0.5
7	2	0	0	1.92850	47.085	24.4	32	1	0	4	0.97320	104.654	1.3
8	1	0	2	1.78350	51.177	10.1	33	4	0	0	0.96420	106.050	1.4
9	2	0	1	1.73900	52.585	8.1	34	2	2	3	0.95610	107.350	1.1
10	2	1	0	1.72490	53.049	7.3	35	3	2	2	0.94450	109.286	2.1
11	1	1	2	1.61880	56.829	17.2	36	1	1	4	0.94360	109.440	2.3
12	2	1	1	1.58530	58.143	29.9	37	4	0	1	0.93770	110.466	0.8
13	2	0	2	1.39210	67.192	10.7	38	4	1	0	0.93550	110.855	0.8
14	2	2	0	1.36370	68.785	5.9	39	3	0	3	0.92800	112.211	1.9
15	0	0	3	1.34100	70.118	1.1	40	4	1	1	0.91120	115.423	3.6
16	2	1	2	1.30940	72.071	6.1	41	3	3	0	0.90910	115.843	0.9
17	2	2	1	1.29150	73.230	2.6	42	3	1	3	0.90230	117.234	1.6
18	3	0	0	1.28570	73.615	1.2	43	2	0	4	0.89180	119.483	1.4
19	1	0	3	1.26660	74.914	6.0	44	3	3	1	0.88670	120.622	1.1
20	3	0	1	1.22460	77.956	5.1	45	4	0	2	0.86950	124.728	2.2
21	3	1	0	1.21970	78.329	5.0	46	2	1	4	0.86880	124.904	2.3
22	1	1	3	1.20340	79.599	2.1	47	4	2	0	0.86250	126.531	2.2
23	3	1	1	1.16720	82.593	5.3	48	4	1	2	0.84820	130.504	1.5
24	2	2	2	1.12870	86.073	4.3	49	4	2	1	0.84330	131.969	1.3
25	2	0	3	1.10100	88.796	1.9	50	3	2	3	0.83630	134.169	3.1

PDF CARD 01-076-8881



No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]	No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	1	6.43760	13.745	5.9	23	0	4	0	2.19520	41.085	4.8
2	0	0	2	4.73300	18.733	2.2	24	2	1	2	2.17560	41.472	11.4
3	1	1	0	4.41130	20.113	1.4	25	2	2	1	2.14810	42.028	0.5
4	1	1	1	3.99850	22.215	1.4	26	0	3	3	2.14810	42.028	0.5
5	1	2	0	3.32780	26.768	4.1	27	1	1	4	2.08320	43.403	0.5
6	1	1	2	3.21880	27.692	18.1	28	0	2	4	2.08320	43.403	0.5
7	0	2	2	3.21880	27.692	18.1	29	1	4	0	2.01640	44.917	3.9
8	1	2	1	3.13950	28.406	3.0	30	2	2	2	1.99920	45.325	3.3
9	0	1	3	2.96950	30.069	32.6	31	0	4	2	1.99140	45.513	5.2
10	0	3	1	2.79630	31.980	3.0	32	2	0	3	1.98380	45.697	2.8
11	1	2	2	2.72230	32.874	100.0	33	1	3	3	1.97800	45.839	6.1
12	1	1	3	2.56640	34.933	12.9	34	2	1	3	1.93500	46.917	7.5
13	2	0	0	2.55100	35.151	18.0	35	1	2	4	1.92860	47.082	1.7
14	1	3	0	2.53880	35.325	6.4	36	2	3	0	1.92310	47.225	1.4
15	2	0	1	2.46310	36.448	11.9	37	2	3	1	1.88460	48.251	0.7
16	2	1	0	2.45210	36.618	24.6	38	1	4	2	1.85510	49.068	3.9
17	1	3	1	2.45210	36.618	24.6	39	0	1	5	1.85070	49.192	3.1
18	0	0	4	2.36650	37.992	7.6	40	2	2	3	1.80780	50.440	2.1
19	1	2	3	2.28970	39.318	7.5	41	2	3	2	1.78160	51.235	0.1
20	2	0	2	2.24560	40.123	5.2	42	1	1	5	1.73980	52.559	1.7
21	1	3	2	2.23720	40.280	10.8	43	2	0	4	1.73490	52.719	9.0
22	2	2	0	2.20570	40.881	0.4	44	1	3	4	1.73110	52.844	5.8

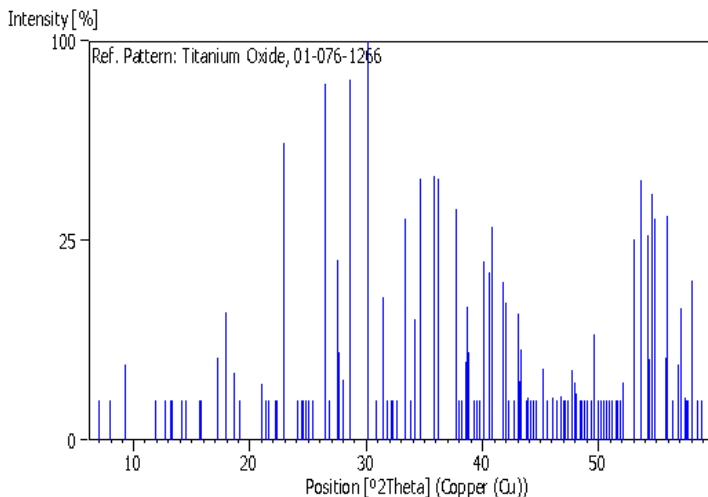
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
45	0	5	1	1.72670	52.989	2.8
46	2	1	4	1.70200	53.819	1.0
47	1	4	3	1.69910	53.919	0.6
48	3	1	0	1.66960	54.951	0.4
49	2	4	0	1.66390	55.155	1.6
50	1	2	5	1.64560	55.822	0.1
51	3	1	1	1.64560	55.822	0.1
52	2	4	1	1.63880	56.074	0.4
53	2	2	4	1.61350	57.033	0.2
54	0	4	4	1.60940	57.191	0.5
55	0	3	5	1.58960	57.971	1.1
56	0	0	6	1.57770	58.450	1.9
57	3	1	2	1.57450	58.581	3.9
58	2	4	2	1.56970	58.777	1.8
59	3	2	1	1.56400	59.013	1.1
60	1	4	4	1.53450	60.263	11.1
61	0	5	3	1.53450	60.263	11.1
62	2	0	5	1.52030	60.885	10.6
63	1	3	5	1.51770	61.001	24.1
64	3	2	2	1.50370	61.630	2.5
65	2	1	5	1.49800	61.891	1.0
66	2	3	4	1.49240	62.149	0.5
67	1	1	6	1.48470	62.507	0.6
68	0	2	6	1.48470	62.507	0.6
69	3	1	3	1.47580	62.927	1.1
70	1	5	3	1.47040	63.185	15.7
71	3	3	0	1.47040	63.185	15.7
72	0	6	0	1.46340	63.522	6.7
73	3	3	1	1.45300	64.030	1.7
74	2	5	1	1.42990	65.192	1.4
75	1	2	6	1.42560	65.413	2.3
76	3	2	3	1.41690	65.865	7.9
77	1	6	0	1.40670	66.404	1.5
78	0	6	2	1.39810	66.866	0.1
79	1	6	1	1.39140	67.231	0.2
80	2	5	2	1.38340	67.672	5.8
81	3	1	4	1.36420	68.756	0.1
82	2	4	4	1.36110	68.935	0.4
83	2	3	5	1.34910	69.636	0.5
84	1	6	2	1.34910	69.636	0.5
85	3	4	0	1.34440	69.915	0.1
86	2	0	6	1.34180	70.070	0.5
87	1	3	6	1.34000	70.178	0.7
88	0	1	7	1.33650	70.389	1.5
89	3	3	3	1.33280	70.614	0.1
90	3	4	1	1.33100	70.724	0.1
91	2	1	6	1.32640	71.006	0.3
92	2	5	3	1.31490	71.722	4.0

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
93	3	4	2	1.29290	73.138	2.7
94	1	1	7	1.29290	73.138	2.7
95	0	5	5	1.28750	73.495	0.2
96	2	2	6	1.28320	73.782	0.2
97	0	4	6	1.28110	73.923	0.2
98	4	0	0	1.27550	74.302	0.1
99	2	6	0	1.26940	74.720	1.2
100	4	0	1	1.26400	75.094	1.3
101	4	1	0	1.26220	75.220	0.5
102	2	6	1	1.25810	75.508	0.7
103	3	1	5	1.25280	75.884	0.7
104	1	2	7	1.25280	75.884	0.7
105	1	5	5	1.24900	76.156	2.0
106	3	3	4	1.24900	76.156	2.0
107	0	6	4	1.24470	76.466	0.5
108	0	7	1	1.24470	76.466	0.5
109	1	4	6	1.24260	76.619	0.4
110	3	4	3	1.23680	77.044	0.5
111	2	5	4	1.23420	77.237	0.3
112	4	0	2	1.23150	77.437	0.2
113	2	6	2	1.22610	77.843	0.3
114	4	2	0	1.22610	77.843	0.3
115	4	1	2	1.21960	78.337	2.3
116	2	3	6	1.21960	78.337	2.3
117	3	2	5	1.21570	78.636	0.4
118	4	2	1	1.21570	78.636	0.4
119	1	6	4	1.20920	79.142	0.8
120	1	7	1	1.20820	79.220	0.7
121	1	3	7	1.19350	80.393	0.1
122	2	1	7	1.18390	81.181	1.3
123	0	0	8	1.18390	81.181	1.3
124	1	7	2	1.17970	81.531	0.1
125	2	6	3	1.17770	81.699	0.3
126	4	1	3	1.17190	82.190	0.1
127	3	4	4	1.16930	82.412	0.3
128	4	3	0	1.16930	82.412	0.3
129	0	7	3	1.16560	82.731	0.1
130	4	3	1	1.16130	83.105	0.8
131	3	3	5	1.16130	83.105	0.8
132	2	2	7	1.15290	83.848	0.5
133	2	5	5	1.14940	84.161	0.1
134	3	1	6	1.14670	84.405	0.3
135	2	4	6	1.14490	84.569	0.1
136	4	2	3	1.14180	84.852	0.3
137	0	2	8	1.14180	84.852	0.3
138	3	5	3	1.13930	85.082	0.1
139	1	7	3	1.13640	85.351	0.1
140	1	6	5	1.12910	86.035	0.2

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
141	2	7	0	1.12560	86.368	0.1
142	4	0	4	1.12310	86.608	0.1
143	1	4	7	1.12310	86.608	0.1
144	2	6	4	1.11860	87.043	1.3
145	2	7	1	1.11860	87.043	1.3
146	1	2	8	1.11490	87.405	1.4
147	3	6	0	1.10930	87.959	0.1
148	2	3	7	1.10620	88.269	0.1
149	3	6	1	1.10170	88.724	0.3
150	4	4	1	1.09610	89.298	0.7
151	3	4	5	1.09610	89.298	0.7
152	4	2	4	1.08780	90.165	0.1
153	3	5	4	1.08560	90.399	0.1
154	1	7	4	1.08310	90.665	0.1
155	3	6	2	1.08000	90.998	0.1
156	3	3	6	1.07570	91.465	0.7
157	0	6	6	1.07290	91.773	0.4
158	1	3	8	1.07290	91.773	0.4
159	0	5	7	1.07140	91.938	1.6
160	0	8	2	1.06920	92.182	0.1
161	2	5	6	1.06620	92.518	0.8
162	2	1	8	1.06620	92.518	0.8
163	4	0	5	1.05780	93.473	2.6
164	2	6	5	1.05430	93.878	1.7
165	1	6	6	1.04940	94.452	0.6
166	2	4	7	1.04940	94.452	0.6
167	1	5	7	1.04830	94.582	0.5
168	4	3	4	1.04830	94.582	0.5
169	0	7	5	1.04650	94.796	3.2

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
170	1	8	2	1.04650	94.796	3.2
171	0	1	9	1.04430	95.059	0.5
172	2	2	8	1.04270	95.251	0.2
173	4	4	3	1.04110	95.444	0.3
174	0	4	8	1.04110	95.444	0.3
175	3	2	7	1.02900	96.937	1.4
176	4	2	5	1.02900	96.937	1.4
177	1	7	5	1.02440	97.520	1.3
178	1	4	8	1.02050	98.020	0.2
179	2	7	4	1.01590	98.619	0.4
180	1	8	3	1.01590	98.619	0.4
181	5	1	0	1.01360	98.922	0.1
182	3	7	0	1.00950	99.468	0.9
183	4	5	2	1.00830	99.629	3.0
184	2	3	8	1.00830	99.629	3.0
185	3	6	4	1.00380	100.239	0.1
186	3	7	1	1.00380	100.239	0.1
187	1	2	9	1.00290	100.362	0.1
188	2	8	1	1.00290	100.362	0.1
189	4	4	4	0.99960	100.817	0.1
190	3	3	7	0.99540	101.404	0.1
191	4	3	5	0.99540	101.404	0.1
192	5	1	2	0.99110	102.013	0.4
193	4	0	6	0.99110	102.013	0.4
194	2	5	7	0.98780	102.487	1.5
195	3	7	2	0.98780	102.487	1.5
196	4	1	6	0.98560	102.806	0.2
197	2	8	2	0.98560	102.806	0.2
198	4	5	3	0.98090	103.497	0.1

PDF CARD 01-076-1266



No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	12.51100	7.060	0.1
2	0	1	0	11.06140	7.986	0.1
3	0	-1	1	9.53340	9.269	3.6
4	0	1	1	7.42870	11.904	0.1
5	-1	1	0	6.98800	12.657	0.1
6	-1	0	1	6.98800	12.657	0.1
7	1	0	0	6.75480	13.096	0.1
8	-1	1	1	6.65930	13.285	0.1
9	0	0	2	6.25550	14.147	0.1
10	0	-1	2	6.13020	14.437	0.1
11	1	-1	1	5.67170	15.611	0.2
12	0	-2	1	5.60620	15.795	0.1
13	-1	0	2	5.60620	15.795	0.1
14	-1	1	2	5.16760	17.145	4.3
15	-1	2	1	4.94060	17.939	10.3
16	0	1	2	4.94060	17.939	10.3
17	0	-2	2	4.76670	18.600	2.8
18	0	2	1	4.65250	19.060	0.1
19	-1	0	3	4.22820	20.994	2.0
20	0	0	3	4.16940	21.293	0.1
21	1	1	1	4.16940	21.293	0.1
22	-1	2	2	4.10220	21.646	0.1

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
23	1	-2	2	4.00770	22.163	0.1
24	-1	-1	3	3.98120	22.312	0.2
25	1	0	2	3.98120	22.312	0.2
26	-1	3	0	3.87810	22.914	55.5
27	0	3	0	3.68710	24.118	0.1
28	-1	3	1	3.63380	24.477	0.1
29	-2	1	0	3.61500	24.606	0.1
30	0	1	3	3.61500	24.606	0.1
31	-2	1	2	3.58610	24.808	0.2
32	0	-3	2	3.58610	24.808	0.2
33	-2	2	1	3.54510	25.099	0.1
34	-2	0	2	3.49400	25.473	0.3
35	-2	2	0	3.49400	25.473	0.3
36	1	1	2	3.36950	26.430	80.0
37	2	0	0	3.36950	26.430	80.0
38	1	-1	3	3.32120	26.822	1.0
39	-1	2	3	3.32120	26.822	1.0
40	2	-1	1	3.23990	27.508	20.3
41	1	2	1	3.23990	27.508	20.3
42	-1	-1	4	3.22030	27.679	4.8
43	2	-2	1	3.22030	27.679	4.8
44	0	-3	3	3.17780	28.057	2.3

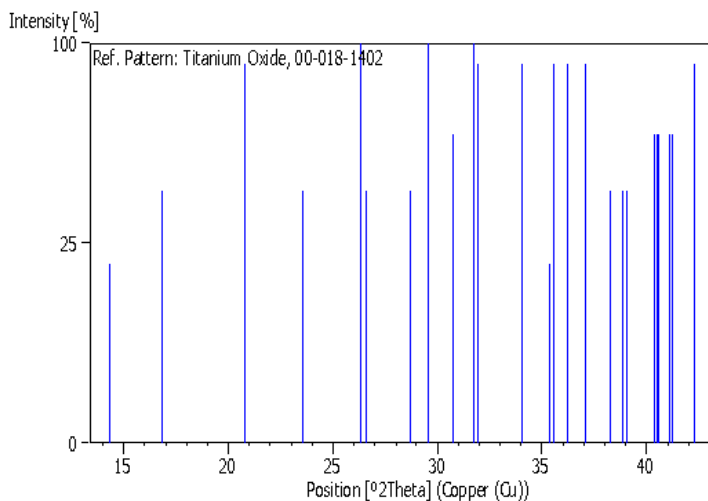
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I[%]
45	1	0	3	3.11740	28.612	81.8
46	-2	3	0	3.11740	28.612	81.8
47	1	-4	1	2.96140	30.154	100.0
48	-1	4	0	2.96140	30.154	100.0
49	-2	3	2	2.90050	30.802	0.4
50	2	-2	2	2.83590	31.522	12.9
51	1	3	0	2.83590	31.522	12.9
52	-1	4	1	2.80850	31.838	0.3
53	1	-4	2	2.80850	31.838	0.3
54	1	2	2	2.78020	32.170	0.1
55	0	4	0	2.76970	32.296	0.1
56	-2	1	4	2.76970	32.296	0.1
57	0	-3	4	2.74130	32.640	0.2
58	-1	3	3	2.74130	32.640	0.2
59	-2	-2	2	2.68210	33.381	30.8
60	2	-3	2	2.68210	33.381	30.8
61	-2	-2	1	2.64800	33.824	0.4
62	-1	-1	5	2.64800	33.824	0.4
63	-2	4	1	2.61870	34.214	9.1
64	-2	3	3	2.61870	34.214	9.1
65	0	-1	5	2.58380	34.690	43.1
66	-2	2	4	2.58380	34.690	43.1
67	2	2	0	2.50840	35.768	43.9
68	-1	-2	5	2.50840	35.768	43.9
69	-3	1	2	2.48330	36.142	42.8
70	-3	2	1	2.48330	36.142	42.8
71	-2	1	5	2.38570	37.675	33.4
72	2	-3	3	2.38570	37.675	33.4
73	-2	-1	5	2.36480	38.020	0.6
74	2	1	2	2.36480	38.020	0.6
75	-3	0	1	2.35450	38.193	0.3
76	-3	2	3	2.35450	38.193	0.3
77	1	-5	2	2.33410	38.540	3.9
78	-3	3	0	2.33410	38.540	3.9
79	0	4	2	2.32620	38.676	11.2
80	-3	0	3	2.32620	38.676	11.2
81	0	1	5	2.32060	38.773	4.8
82	1	4	0	2.28950	39.321	0.3
83	-1	4	3	2.28950	39.321	0.3
84	2	0	3	2.28140	39.467	0.3
85	-2	-3	2	2.28140	39.467	0.3
86	-2	4	3	2.26870	39.697	0.8
87	-1	5	1	2.26870	39.697	0.8
88	3	0	0	2.24910	40.058	20.2
89	-2	-3	3	2.24910	40.058	20.2
90	-3	3	3	2.21980	40.609	17.7
91	3	-3	1	2.21980	40.609	17.7
92	-1	0	6	2.20890	40.819	28.7

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I[%]
93	-1	-4	4	2.20890	40.819	28.7
94	-3	-1	1	2.16290	41.727	15.6
95	-1	-2	6	2.16290	41.727	15.6
96	2	-5	2	2.14840	42.022	11.9
97	0	-1	6	2.14840	42.022	11.9
98	1	4	1	2.13610	42.275	0.5
99	-3	4	2	2.13610	42.275	0.5
100	-2	0	6	2.11410	42.737	0.3
101	-1	5	2	2.11410	42.737	0.3
102	2	-1	4	2.09830	43.075	10.1
103	3	0	1	2.09830	43.075	10.1
104	-3	-1	4	2.09210	43.209	2.2
105	0	5	1	2.09210	43.209	2.2
106	0	0	6	2.08520	43.359	5.1
107	3	-2	2	2.08520	43.359	5.1
108	-2	1	6	2.06750	43.749	0.2
109	1	2	4	2.05880	43.944	1.1
110	-3	1	5	2.05880	43.944	1.1
111	1	3	3	2.05210	44.095	0.6
112	-2	3	5	2.05210	44.095	0.6
113	-1	-4	5	2.03810	44.414	0.1
114	-1	3	5	2.03810	44.414	0.1
115	-1	-3	6	2.02680	44.674	0.4
116	-1	-5	2	2.00380	45.215	3.2
117	2	-4	4	2.00380	45.215	3.2
118	2	0	4	1.99100	45.522	0.2
119	-3	-2	2	1.99100	45.522	0.2
120	-3	-1	5	1.96810	46.082	1.1
121	-1	6	0	1.96810	46.082	1.1
122	-1	2	6	1.95560	46.394	0.1
123	-2	-4	2	1.95560	46.394	0.1
124	2	-6	1	1.93900	46.815	1.2
125	-2	6	0	1.93900	46.815	1.2
126	3	1	1	1.93230	46.987	0.2
127	-3	-2	4	1.93230	46.987	0.2
128	1	-2	6	1.92530	47.168	0.1
129	3	0	2	1.92530	47.168	0.1
130	-2	-4	1	1.91660	47.395	0.2
131	1	-6	3	1.90670	47.657	3.1
132	0	-5	5	1.90670	47.657	3.1
133	-2	-4	4	1.89530	47.961	2.1
134	-1	6	1	1.89530	47.961	2.1
135	1	-3	6	1.89190	48.053	1.4
136	3	-3	3	1.89190	48.053	1.4
137	-4	2	2	1.87890	48.406	0.1
138	2	2	3	1.87610	48.483	0.1
139	2	-2	5	1.87610	48.483	0.1
140	3	2	0	1.86450	48.805	0.3

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
141	0	-6	3	1.86450	48.805	0.3
142	-4	2	3	1.85610	49.040	0.1
143	-4	1	2	1.85610	49.040	0.1
144	-3	-2	5	1.84360	49.395	0.9
145	0	6	0	1.84360	49.395	0.9
146	0	-1	7	1.83710	49.581	7.0
147	2	-1	5	1.83710	49.581	7.0
148	1	3	4	1.82360	49.973	0.1
149	-3	2	6	1.81550	50.212	0.2
150	-2	3	6	1.81550	50.212	0.2
151	-1	4	5	1.80830	50.425	0.3
152	-2	5	4	1.80830	50.425	0.3
153	1	2	5	1.80080	50.650	0.1
154	-1	-3	7	1.80080	50.650	0.1
155	-4	2	4	1.79380	50.862	0.1
156	-1	6	2	1.79380	50.862	0.1
157	3	1	2	1.78440	51.149	0.5
158	-4	0	3	1.78440	51.149	0.5
159	-3	6	0	1.77250	51.518	0.4
160	-4	4	2	1.77250	51.518	0.4
161	-1	5	4	1.76770	51.668	0.5
162	-4	1	0	1.76770	51.668	0.5
163	0	6	1	1.76270	51.825	0.2
164	-3	6	1	1.76270	51.825	0.2
165	-3	4	5	1.75360	52.114	2.1
166	3	0	3	1.75360	52.114	2.1
167	-3	3	6	1.72480	53.052	25.5
168	-3	5	4	1.72480	53.052	25.5
169	-1	-6	3	1.70650	53.666	42.4
170	-1	2	7	1.70650	53.666	42.4

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
171	4	0	0	1.69020	54.226	26.4
172	2	-7	1	1.69020	54.226	26.4
173	2	2	4	1.68480	54.414	4.1
174	4	-1	1	1.67920	54.610	38.0
175	-4	5	1	1.67920	54.610	38.0
176	3	3	0	1.67190	54.869	30.7
177	3	-1	4	1.67190	54.869	30.7
178	-3	6	3	1.64690	55.774	4.2
179	-4	-1	1	1.64690	55.774	4.2
180	-3	2	7	1.64190	55.958	31.7
181	2	1	5	1.64190	55.958	31.7
182	1	3	5	1.63040	56.388	0.4
183	0	-7	2	1.63040	56.388	0.4
184	1	-4	7	1.61750	56.879	3.6
185	-3	-3	6	1.61750	56.879	3.6
186	0	-2	8	1.61240	57.075	10.9
187	-1	-3	8	1.61240	57.075	10.9
188	1	-7	4	1.60410	57.398	1.1
189	-2	1	8	1.60410	57.398	1.1
190	-2	6	4	1.59930	57.586	0.3
191	-4	2	6	1.59930	57.586	0.3
192	-4	0	6	1.59550	57.736	0.6
193	0	-5	7	1.59550	57.736	0.6
194	0	-6	6	1.58890	57.999	16.0
195	2	-6	5	1.58890	57.999	16.0
196	0	-7	4	1.57520	58.552	0.3
197	-4	-2	3	1.57520	58.552	0.3
198	1	-6	6	1.56740	58.872	0.2
199	-3	3	7	1.56740	58.872	0.2

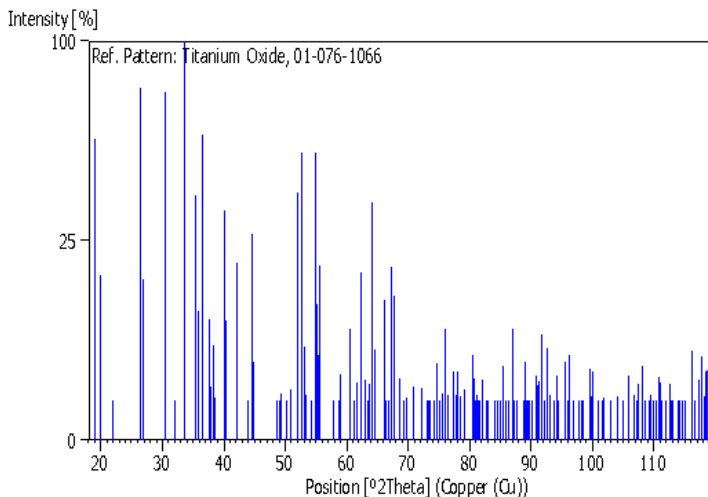
PDF CARD 00-018-1402



No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	2	6.17000	14.344	20.0
2	1	0	0	5.26000	16.842	40.0
3	-1	0	2	4.27000	20.786	90.0
4	1	0	2	3.77000	23.580	40.0
5	1	-2	0	3.38000	26.347	100.0
6	0	2	0	3.35000	26.587	40.0
7	0	-2	2	3.11000	28.681	40.0
8	1	-2	2	3.02000	29.555	100.0
9	-1	2	2	2.90900	30.710	60.0
10	-1	0	4	2.81600	31.751	100.0
11	0	2	2	2.80100	31.925	90.0
12	2	0	0	2.63000	34.062	90.0
13	-1	-1	4	2.53800	35.337	20.0

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
14	1	0	4	2.52400	35.539	90.0
15	1	2	0	2.47700	36.237	90.0
16	0	-2	4	2.42300	37.073	90.0
17	-2	2	2	2.34900	38.286	40.0
18	2	0	2	2.31700	38.836	40.0
19	2	-2	2	2.30600	39.029	40.0
20	-2	-1	1	2.23300	40.359	60.0
21	-1	2	4	2.22500	40.510	60.0
22	2	-1	3	2.22100	40.587	60.0
23	-1	-1	5	2.19500	41.089	60.0
24	0	-3	2	2.18800	41.226	60.0
25	0	2	4	2.13800	42.236	90.0

PDF CARD 01-076-1066



No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	2	0	0	4.68840	18.913	57.3
2	1	1	0	4.46300	19.878	17.1
3	0	1	1	4.05700	21.890	0.6
4	0	0	2	3.37680	26.372	78.0
5	-2	0	2	3.32850	26.762	16.2
6	-1	1	2	2.93060	30.478	76.5
7	2	1	1	2.79820	31.958	0.1
8	3	1	0	2.66130	33.649	100.0
9	0	2	0	2.53740	35.345	37.6
10	1	1	2	2.50500	35.818	10.4
11	-3	1	2	2.46560	36.410	58.6
12	2	0	2	2.38290	37.721	9.2
13	-1	2	1	2.37100	37.917	1.8
14	4	0	0	2.34420	38.367	5.6
15	-4	0	2	2.33240	38.569	1.1
16	1	2	1	2.23970	40.233	33.3
17	-4	1	1	2.23970	40.233	33.3
18	2	2	0	2.23150	40.387	9.0
19	-2	1	3	2.14550	42.081	19.8
20	0	1	3	2.05780	43.966	0.1
21	0	2	2	2.02850	44.635	26.8
22	-2	2	2	2.01790	44.882	3.8

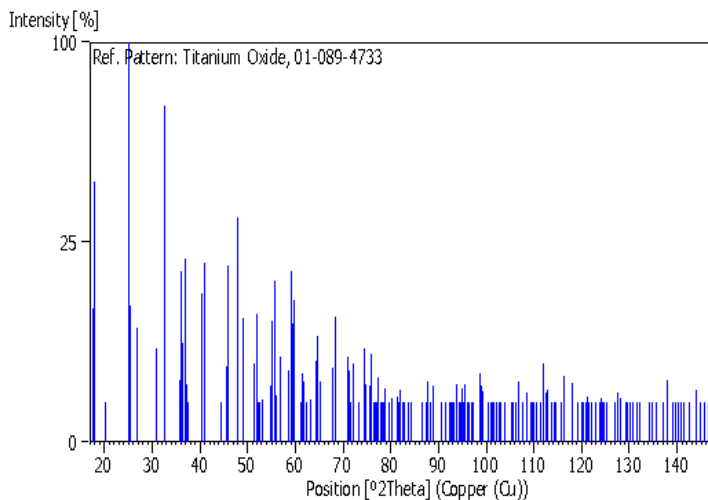
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
23	4	1	1	1.87100	48.624	1.0
24	-4	1	3	1.85910	48.956	0.5
25	3	1	2	1.84660	49.309	1.4
26	-5	1	2	1.81500	50.226	0.1
27	-2	0	4	1.79480	50.832	1.1
28	3	2	1	1.79080	50.953	1.6
29	5	1	0	1.75910	51.939	38.7
30	2	2	2	1.73700	52.650	52.0
31	-1	2	3	1.73700	52.650	52.0
32	4	2	0	1.72180	53.152	5.5
33	-4	2	2	1.71720	53.305	1.3
34	0	0	4	1.68840	54.288	0.3
35	-3	2	3	1.67120	54.894	52.0
36	-1	1	4	1.67120	54.894	52.0
37	-4	0	4	1.66420	55.144	11.6
38	1	3	0	1.66420	55.144	11.6
39	-3	1	4	1.65930	55.321	4.6
40	-6	0	2	1.64760	55.748	19.3
41	1	2	3	1.59020	57.947	0.2
42	-2	3	1	1.59020	57.947	0.2
43	-6	1	1	1.56980	58.773	0.3
44	6	0	0	1.56280	59.062	2.7

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
45	-1	3	2	1.53020	60.450	7.7
46	2	3	1	1.51040	61.327	1.0
47	1	1	4	1.50090	61.758	2.1
48	3	3	0	1.48770	62.367	17.6
49	-6	1	3	1.48770	62.367	17.6
50	-5	1	4	1.47550	62.941	2.3
51	-2	2	4	1.46530	63.430	0.8
52	1	3	2	1.45860	63.756	2.0
53	-5	2	3	1.45070	64.144	35.5
54	-3	3	2	1.45070	64.144	35.5
55	2	0	4	1.44020	64.668	5.1
56	-6	0	4	1.41050	66.202	12.3
57	0	2	4	1.40570	66.458	0.7
58	4	2	2	1.39970	66.780	0.4
59	-4	3	1	1.39970	66.780	0.4
60	5	2	1	1.39160	67.220	11.0
61	-4	2	4	1.39160	67.220	11.0
62	5	1	2	1.38920	67.351	18.9
63	-6	2	2	1.38190	67.755	13.2
64	6	1	1	1.36770	68.556	2.4
65	-7	1	2	1.36770	68.556	2.4
66	0	3	3	1.35240	69.442	0.6
67	4	1	3	1.35240	69.442	0.6
68	3	2	3	1.34650	69.790	1.1
69	6	2	0	1.33070	70.742	1.8
70	0	1	5	1.30530	72.333	1.7
71	7	1	0	1.29520	72.987	0.4
72	4	3	1	1.29520	72.987	0.4
73	-4	3	3	1.29100	73.263	0.2
74	3	3	2	1.28680	73.542	0.4
75	-5	3	2	1.27600	74.268	0.2
76	3	1	4	1.26870	74.768	3.7
77	0	4	0	1.26870	74.768	3.7
78	6	0	2	1.26400	75.094	0.4
79	5	3	0	1.25610	75.649	1.4
80	2	2	4	1.25250	75.905	7.7
81	-3	2	5	1.24620	76.358	0.6
82	-1	4	1	1.24620	76.358	0.6
83	-7	1	4	1.24380	76.532	1.3
84	-6	2	4	1.23280	77.341	3.0
85	2	3	3	1.23280	77.341	3.0
86	1	4	1	1.22600	77.850	1.1
87	2	4	0	1.22460	77.956	1.3
88	-1	3	4	1.22290	78.085	3.0
89	-6	1	5	1.21820	78.444	1.2
90	-3	3	4	1.21820	78.444	1.2
91	-7	2	3	1.20860	79.189	1.6
92	4	0	4	1.19140	80.564	4.6

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
93	0	4	2	1.18760	80.875	2.4
94	-2	4	2	1.18550	81.048	1.0
95	-4	0	6	1.18370	81.197	1.3
96	-3	4	1	1.18370	81.197	1.3
97	-6	3	1	1.18140	81.389	0.2
98	-5	2	5	1.17900	81.589	0.8
99	8	0	0	1.17210	82.173	2.3
100	-3	1	6	1.16460	82.818	0.5
101	2	1	5	1.16270	82.983	0.3
102	1	3	4	1.15120	84.000	0.2
103	-6	3	3	1.14480	84.578	0.1
104	-5	3	4	1.13960	85.054	0.9
105	-1	1	6	1.13590	85.397	3.4
106	6	2	2	1.13140	85.818	0.3
107	-5	1	6	1.12560	86.368	0.3
108	0	0	6	1.12560	86.368	0.3
109	2	4	2	1.11980	86.927	7.8
110	5	2	3	1.11980	86.927	7.8
111	-8	2	2	1.11860	87.043	3.7
112	4	4	0	1.11580	87.317	0.5
113	7	2	1	1.11130	87.760	0.1
114	-3	4	3	1.10140	88.755	0.3
115	5	3	2	1.09840	89.062	3.8
116	7	1	2	1.09500	89.412	0.6
117	-2	3	5	1.09390	89.526	0.3
118	6	1	3	1.09190	89.735	0.2
119	6	3	1	1.08840	90.102	0.3
120	-7	3	2	1.08840	90.102	0.3
121	-9	1	2	1.08170	90.815	2.6
122	4	2	4	1.07850	91.161	1.9
123	-2	2	6	1.07750	91.269	2.2
124	1	4	3	1.07750	91.269	2.2
125	-4	2	6	1.07270	91.795	7.1
126	8	1	1	1.06940	92.160	0.4
127	-5	4	1	1.06940	92.160	0.4
128	8	2	0	1.06410	92.755	5.4
129	5	1	4	1.06080	93.129	1.3
130	0	3	5	1.05550	93.739	0.1
131	1	1	6	1.05180	94.170	2.6
132	7	3	0	1.05020	94.358	0.7
133	-9	1	4	1.04000	95.578	3.8
134	-2	4	4	1.03620	96.042	0.6
135	3	3	4	1.03620	96.042	0.6
136	-7	1	6	1.03440	96.264	4.6
137	0	2	6	1.02890	96.949	0.4
138	-7	3	4	1.02220	97.801	0.7
139	2	0	6	1.01880	98.241	0.1
140	-6	2	6	1.01700	98.475	0.2

141	3	2	5	1.01700	98.475	0.2	171	-9	2	5	0.93550	110.855	2.5
142	4	1	5	1.00900	99.535	3.2	172	8	2	2	0.93550	110.855	2.5
143	-4	4	4	1.00900	99.535	3.2	173	7	3	2	0.93470	110.998	2.1
144	8	0	2	1.00640	99.885	1.2	174	-2	5	3	0.93280	111.338	0.4
145	-6	4	2	1.00520	100.048	2.9	175	-7	4	3	0.93280	111.338	0.4
146	-9	2	1	0.99900	100.900	0.4	176	-8	2	6	0.92950	111.936	0.2
147	-8	0	6	0.99900	100.900	0.4	177	-9	3	2	0.92640	112.506	2.0
148	-10	0	2	0.99480	101.488	0.5	178	-10	2	2	0.92640	112.506	2.0
149	-8	3	3	0.99130	101.984	1.1	179	0	5	3	0.92530	112.710	0.4
150	3	4	3	0.99130	101.984	1.1	180	-9	1	6	0.92460	112.841	0.6
151	6	4	0	0.98500	102.894	1.0	181	6	2	4	0.92330	113.084	0.4
152	-1	5	2	0.97670	104.124	1.2	182	8	3	1	0.91850	113.996	0.7
153	-3	3	6	0.97670	104.124	1.2	183	-5	4	5	0.91850	113.996	0.7
154	2	5	1	0.97140	104.930	0.1	184	-10	1	5	0.91760	114.169	0.3
155	-10	0	4	0.97140	104.930	0.1	185	-8	3	5	0.91480	114.713	0.1
156	3	5	0	0.96530	105.877	2.6	186	9	2	1	0.91480	114.713	0.1
157	-6	1	7	0.96530	105.877	2.6	187	5	3	4	0.91320	115.027	0.7
158	-1	3	6	0.95970	106.767	1.3	188	-10	2	4	0.90740	116.186	5.0
159	-10	1	1	0.95730	107.155	0.5	189	1	3	6	0.90740	116.186	5.0
160	1	5	2	0.95730	107.155	0.5	190	-4	5	3	0.90490	116.697	0.4
161	-3	5	2	0.95500	107.530	2.0	191	8	1	3	0.90490	116.697	0.4
162	2	4	4	0.95200	108.024	3.5	192	4	0	6	0.90210	117.276	2.3
163	-3	2	7	0.95060	108.256	0.6	193	-9	3	4	0.89980	117.758	4.4
164	-3	4	5	0.94880	108.558	0.1	194	-5	5	2	0.89980	117.758	4.4
165	2	2	6	0.94540	109.133	0.3	195	9	1	2	0.89770	118.204	1.2
166	-6	4	4	0.94320	109.509	1.3	196	-4	0	8	0.89770	118.204	1.2
167	-7	4	1	0.94320	109.509	1.3	197	-7	3	6	0.89610	118.547	3.0
168	-4	5	1	0.94000	110.063	0.8	198	6	4	2	0.89540	118.697	3.1
169	-5	2	7	0.93770	110.466	0.4	199	7	1	4	0.89540	118.697	3.1
170	10	0	0	0.93770	110.466	0.4							

PDF CARD 01-089-4733



No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]	No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	2	4.99400	17.746	11.1	24	1	3	4	1.76080	51.885	10.2
2	0	2	0	4.92300	18.004	42.3	25	1	5	0	1.74820	52.287	0.4
3	0	2	1	4.41580	20.092	0.3	26	2	2	1	1.74450	52.407	0.2
4	1	1	0	3.54350	25.111	100.0	27	1	1	5	1.74010	52.549	0.8
5	0	2	2	3.50590	25.385	11.6	28	1	5	1	1.72200	53.145	1.1
6	1	1	1	3.33960	26.671	8.1	29	2	2	2	1.66980	54.944	2.0
7	1	1	2	2.88990	30.918	5.5	30	0	0	6	1.66470	55.126	9.1
8	0	2	3	2.75790	32.438	71.0	31	1	5	2	1.65000	55.660	16.3
9	0	0	4	2.49700	35.937	2.4	32	0	6	0	1.64100	55.992	1.4
10	1	3	0	2.48330	36.142	18.4	33	0	6	1	1.61930	56.810	4.5
11	0	4	0	2.46150	36.473	6.2	34	0	2	6	1.57700	58.479	3.2
12	1	1	3	2.42640	37.020	20.9	35	2	2	3	1.56410	59.008	18.4
13	1	3	1	2.40990	37.282	2.1	36	1	3	5	1.55650	59.325	8.7
14	0	4	1	2.39000	37.604	0.2	37	1	5	3	1.54780	59.692	12.6
15	0	2	4	2.22690	40.474	13.9	38	2	0	4	1.51150	61.278	0.9
16	1	3	2	2.22690	40.474	13.9	39	1	1	6	1.50670	61.494	2.9
17	0	4	2	2.20790	40.838	20.0	40	2	4	0	1.50360	61.635	2.3
18	1	1	4	2.04110	44.345	0.1	41	2	4	1	1.48680	62.409	0.1
19	1	3	3	1.99060	45.532	3.6	42	0	6	3	1.47190	63.113	1.1
20	0	4	3	1.97930	45.807	19.6	43	2	2	4	1.44500	64.428	4.1
21	2	0	0	1.89900	47.862	31.6	44	2	4	2	1.43970	64.694	7.0
22	0	2	5	1.85100	49.184	9.6	45	1	5	4	1.43210	65.079	2.3
23	2	2	0	1.77180	51.539	3.9	46	1	3	6	1.38270	67.711	3.4

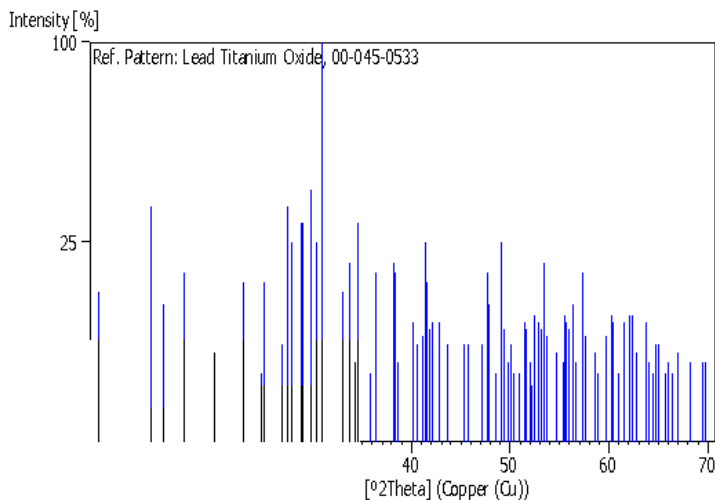
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I[%]
47	0	4	6	1.37890	67.923	0.6
48	2	4	3	1.37030	68.408	9.8
49	0	2	7	1.37030	68.408	9.8
50	2	2	5	1.32550	71.061	4.5
51	1	1	7	1.32360	71.179	3.2
52	1	7	0	1.31900	71.465	0.7
53	1	5	5	1.31560	71.678	0.8
54	1	7	1	1.30770	72.179	3.9
55	2	4	4	1.28810	73.455	0.1
56	1	7	2	1.27530	74.316	5.5
57	0	6	5	1.26800	74.817	2.1
58	3	1	0	1.25570	75.678	2.0
59	2	0	6	1.25180	75.955	4.8
60	3	1	1	1.24590	76.380	0.2
61	2	6	0	1.24160	76.692	0.7
62	1	3	7	1.23720	77.015	0.5
63	0	4	7	1.23440	77.222	0.4
64	2	6	1	1.23220	77.385	2.6
65	1	7	3	1.22630	77.827	0.3
66	0	8	1	1.22150	78.191	0.1
67	3	1	2	1.21780	78.475	0.3
68	2	2	6	1.21320	78.830	1.8
69	1	5	6	1.20500	79.472	0.2
70	2	6	2	1.20500	79.472	0.2
71	2	4	5	1.20130	79.766	0.1
72	0	8	2	1.19500	80.272	1.2
73	3	3	0	1.18120	81.405	1.3
74	1	1	8	1.17760	81.707	0.1
75	3	1	3	1.17490	81.935	1.7
76	3	3	1	1.17300	82.096	0.3
77	0	6	6	1.16860	82.472	0.4
78	1	7	4	1.16630	82.671	0.2
79	2	6	3	1.16340	82.922	0.7
80	0	8	3	1.15440	83.714	0.1
81	3	3	2	1.14950	84.152	0.1
82	3	1	4	1.12180	86.733	0.1
83	2	4	6	1.11580	87.317	0.6
84	1	3	8	1.11580	87.317	0.6
85	3	3	3	1.11350	87.543	2.3
86	0	4	8	1.11350	87.543	2.3
87	2	6	4	1.11130	87.760	2.2
88	2	2	7	1.11130	87.760	2.2
89	1	5	7	1.10540	88.350	0.4
90	1	7	5	1.10070	88.826	2.0
91	0	2	9	1.08260	90.719	0.6
92	0	6	7	1.07680	91.345	0.1
93	3	3	4	1.06770	92.350	0.9
94	3	5	0	1.06490	92.664	0.1

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I[%]
95	3	1	5	1.06310	92.868	0.1
96	3	5	1	1.05900	93.335	0.4
97	1	1	9	1.05900	93.335	0.4
98	2	6	5	1.05450	93.855	2.1
99	1	9	0	1.05130	94.228	0.1
100	0	8	5	1.04780	94.641	0.5
101	1	9	1	1.04550	94.915	1.8
102	2	0	8	1.04320	95.191	0.3
103	3	5	2	1.04150	95.396	2.1
104	2	4	7	1.03500	96.190	0.3
105	1	7	6	1.03380	96.338	0.1
106	1	9	2	1.02870	96.975	0.1
107	2	8	1	1.02730	97.151	0.1
108	3	3	5	1.01600	98.606	3.0
109	1	5	8	1.01600	98.606	3.0
110	3	5	3	1.01430	98.830	2.0
111	2	8	2	1.01140	99.214	1.6
112	0	4	9	1.01140	99.214	1.6
113	3	1	6	1.00250	100.417	0.8
114	1	9	3	1.00250	100.417	0.8
115	0	0	10	0.99880	100.928	0.8
116	2	6	6	0.99530	101.418	0.4
117	0	6	8	0.99360	101.658	0.2
118	0	8	6	0.98960	102.228	0.1
119	2	8	3	0.98640	102.690	0.1
120	0	10	0	0.98460	102.952	0.1
121	3	5	4	0.97950	103.705	0.6
122	0	10	1	0.97950	103.705	0.6
123	0	2	10	0.97890	103.794	0.5
124	1	9	4	0.96860	105.362	0.4
125	1	7	7	0.96860	105.362	0.4
126	0	10	2	0.96600	105.767	0.4
127	3	3	6	0.96330	106.193	0.9
128	2	4	8	0.96050	106.639	2.3
129	2	8	4	0.95440	107.628	0.1
130	4	0	0	0.94950	108.440	1.5
131	0	10	3	0.94420	109.338	0.1
132	3	1	7	0.94260	109.612	0.8
133	2	2	9	0.94050	109.976	0.8
134	3	7	0	0.94050	109.976	0.8
135	2	6	7	0.93680	110.625	1.0
136	3	7	1	0.93680	110.625	1.0
137	4	2	0	0.93230	111.428	0.4
138	0	8	7	0.93230	111.428	0.4
139	1	9	5	0.93030	111.790	3.9
140	1	3	10	0.92670	112.450	1.5
141	3	7	2	0.92470	112.822	1.7
142	0	6	9	0.91930	113.842	0.1

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
143	2	8	5	0.91740	114.208	0.5
144	4	2	2	0.91600	114.479	0.3
145	0	10	4	0.91600	114.479	0.3
146	3	3	7	0.90990	115.682	0.1
147	1	7	8	0.90670	116.329	2.7
148	4	2	3	0.89780	118.182	2.2
149	2	4	9	0.89290	119.241	0.8
150	0	2	11	0.89290	119.241	0.8
151	1	9	6	0.88890	120.126	0.2
152	4	0	4	0.88750	120.441	0.2
153	4	4	0	0.88590	120.804	0.4
154	3	1	8	0.88590	120.804	0.4
155	2	0	10	0.88400	121.239	1.3
156	0	10	5	0.88320	121.423	0.6
157	2	6	8	0.88040	122.077	0.3
158	3	7	4	0.88040	122.077	0.3
159	0	8	8	0.87650	123.005	0.9
160	4	2	4	0.87340	123.758	0.5
161	4	4	2	0.87230	124.029	1.2
162	1	11	0	0.87120	124.302	1.0
163	2	10	1	0.87120	124.302	1.0
164	2	2	10	0.87010	124.577	0.7
165	1	11	1	0.86790	125.133	0.2
166	2	10	2	0.86100	126.929	0.6
167	3	3	8	0.85830	127.655	1.5
168	1	11	2	0.85830	127.655	1.5
169	4	4	3	0.85610	128.258	1.2
170	1	3	11	0.85280	129.180	0.9

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
171	0	6	10	0.85280	129.180	0.9
172	3	7	5	0.85130	129.607	1.0
173	1	7	9	0.84920	130.212	0.1
174	0	10	6	0.84750	130.710	0.1
175	4	2	5	0.84480	131.514	0.9
176	1	11	3	0.84280	132.122	0.4
177	2	8	7	0.83660	134.072	0.1
178	4	4	4	0.83490	134.626	0.1
179	3	1	9	0.83200	135.591	0.4
180	2	4	10	0.83200	135.591	0.4
181	2	6	9	0.82740	137.179	0.2
182	3	9	0	0.82740	137.179	0.2
183	4	0	6	0.82480	138.110	2.4
184	3	9	1	0.82480	138.110	2.4
185	1	11	4	0.82260	138.918	0.2
186	4	6	0	0.82180	139.217	0.3
187	0	12	0	0.82050	139.708	0.6
188	0	2	12	0.82050	139.708	0.6
189	4	6	1	0.81910	140.245	0.8
190	3	7	6	0.81910	140.245	0.8
191	0	12	1	0.81770	140.791	0.2
192	3	9	2	0.81660	141.227	0.1
193	4	2	6	0.81340	142.529	0.5
194	3	5	8	0.81020	143.888	1.7
195	4	4	5	0.81020	143.888	1.7
196	2	2	11	0.80810	144.812	0.6
197	1	5	11	0.80580	145.859	0.1
198	1	9	8	0.80420	146.609	0.3

PDF CARD 00-045-0533

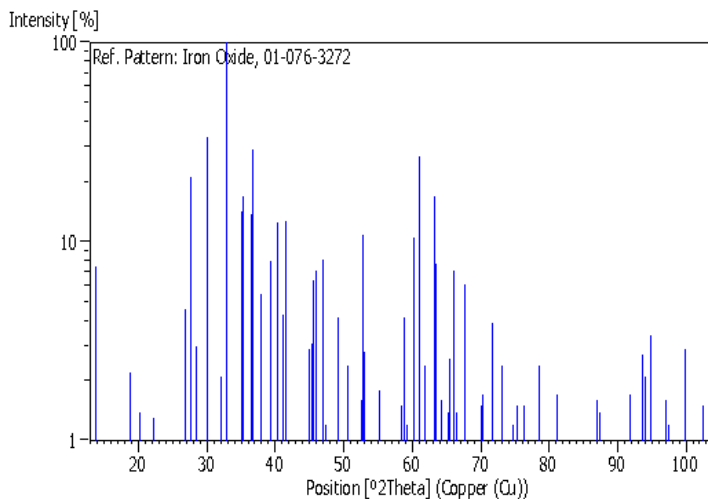


No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	10.61360	8.324	14.0
2	0	0	1	6.51710	13.576	35.0
3	-1	0	1	5.94290	14.895	12.0
4	1	0	1	5.22880	16.943	18.0
5	-2	0	1	4.43290	20.014	5.0
6	2	0	1	3.85610	23.046	16.0
7	1	1	0	3.58830	24.792	3.0
8	3	0	0	3.53970	25.138	16.0
9	-3	0	1	3.31340	26.886	6.0
10	-1	0	2	3.24870	27.432	35.0
11	-1	1	1	3.20800	27.787	25.0
12	2	1	0	3.09670	28.807	30.0
13	1	1	1	3.07890	28.977	30.0
14	1	0	2	2.99700	29.787	40.0
15	3	0	1	2.93990	30.379	25.0
16	-2	1	1	2.89140	30.902	100.0
17	2	1	1	2.71070	33.019	14.0
18	4	0	0	2.65480	33.734	20.0
19	2	0	2	2.61730	34.232	4.0
20	-3	0	2	2.58900	34.618	30.0
21	-3	1	1	2.50350	35.840	3.0
22	-1	1	2	2.47220	36.310	18.0
23	1	1	2	2.35650	38.159	20.0

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
24	-2	1	2	2.34420	38.367	18.0
25	3	1	1	2.32930	38.623	4.0
26	3	0	2	2.24380	40.156	9.0
27	-4	0	2	2.21890	40.627	6.0
28	-1	0	3	2.19020	41.183	7.0
29	4	1	0	2.17860	41.412	25.0
30	0	0	3	2.17180	41.548	16.0
31	2	1	2	2.15710	41.844	8.0
32	-4	1	1	2.14240	42.145	9.0
33	-5	0	1	2.11020	42.820	9.0
34	1	0	3	2.07120	43.667	6.0
35	4	1	1	1.99730	45.371	6.0
36	-3	0	3	1.98120	45.760	6.0
37	4	0	2	1.92860	47.082	6.0
38	0	2	0	1.90640	47.664	18.0
39	-1	1	3	1.89910	47.859	12.0
40	1	2	0	1.87600	48.486	3.0
41	5	1	0	1.85510	49.068	25.0
42	-2	1	3	1.85300	49.127	12.0
43	-5	1	1	1.84590	49.329	8.0
44	0	2	1	1.82910	49.813	4.0
45	1	1	3	1.81970	50.088	6.0
46	-4	0	3	1.81220	50.309	3.0

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]	No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
47	1	2	1	1.79140	50.935	3.0	69	4	2	0	1.54870	59.654	7.0
48	-6	0	1	1.77320	51.496	9.0	70	-4	2	1	1.53540	60.224	10.0
49	6	0	0	1.77020	51.589	8.0	71	5	1	2	1.53240	60.354	9.0
50	-3	1	3	1.75810	51.971	4.0	72	7	0	0	1.51720	61.023	3.0
51	-2	2	1	1.75190	52.169	2.0	73	-5	1	3	1.50660	61.499	9.0
52	3	0	3	1.74420	52.417	10.0	74	-2	1	4	1.49400	62.075	10.0
53	5	1	1	1.72890	52.916	9.0	75	-4	0	4	1.48630	62.432	10.0
54	4	1	2	1.72080	53.185	8.0	76	4	2	1	1.47920	62.766	5.0
55	2	1	3	1.71290	53.450	20.0	77	-6	0	3	1.47920	62.766	5.0
56	-5	1	2	1.70670	53.659	7.0	78	1	1	4	1.45730	63.819	9.0
57	3	2	0	1.67810	54.649	5.0	79	3	2	2	1.45250	64.055	4.0
58	-6	0	2	1.65750	55.386	4.0	80	-4	2	2	1.44600	64.378	3.0
59	-3	2	1	1.65230	55.576	10.0	81	-1	2	3	1.43790	64.784	6.0
60	6	0	1	1.65010	55.656	9.0	82	7	0	1	1.43310	65.028	6.0
61	-1	2	2	1.64420	55.873	8.0	83	5	0	3	1.42100	65.651	3.0
62	0	0	4	1.62930	56.430	12.0	84	-5	2	1	1.41440	65.996	4.0
63	-2	0	4	1.62370	56.642	4.0	85	3	0	4	1.40600	66.442	3.0
64	-6	1	1	1.60820	57.238	18.0	86	2	1	4	1.39500	67.034	5.0
65	1	2	2	1.60820	57.238	18.0	87	-3	2	3	1.37390	68.204	4.0
66	3	2	1	1.59960	57.574	7.0	88	2	2	3	1.35170	69.483	4.0
67	4	0	3	1.57540	58.544	5.0	89	-5	2	2	1.34850	69.672	4.0
68	-3	0	4	1.56760	58.864	3.0							

PDF CARD 01-076-3272



No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	1	6.43890	13.742	7.5
2	0	0	2	4.73540	18.724	2.2
3	0	2	0	4.40260	20.153	1.4
4	1	1	0	4.40260	20.153	1.4
5	1	1	1	3.99230	22.250	1.3
6	1	2	0	3.32400	26.799	4.6
7	0	2	2	3.21940	27.687	21.0
8	1	1	2	3.21940	27.687	21.0
9	1	2	1	3.13640	28.435	3.0
10	0	1	3	2.97080	30.056	33.4
11	0	3	1	2.79630	31.980	2.1
12	1	2	2	2.72060	32.895	100.0
13	1	1	3	2.56560	34.944	14.3
14	2	0	0	2.54420	35.248	16.9
15	1	3	0	2.53700	35.351	8.2
16	2	0	1	2.45710	36.541	13.7
17	1	3	1	2.45060	36.641	28.9
18	2	1	1	2.36770	37.972	5.5
19	0	0	4	2.36770	37.972	5.5
20	1	2	3	2.28910	39.329	8.0
21	2	0	2	2.24120	40.205	6.0
22	1	3	2	2.23630	40.297	12.5
23	0	4	0	2.19500	41.089	4.3
24	2	1	2	2.17160	41.552	12.7
25	0	3	3	2.14410	42.110	0.5
26	2	2	1	2.14410	42.110	0.5
27	1	1	4	2.08530	43.357	0.4
28	0	2	4	2.08530	43.357	0.4
29	1	4	0	2.01550	44.939	2.9
30	2	2	2	1.99620	45.397	3.1
31	0	4	2	1.99150	45.510	6.4
32	1	3	3	1.97760	45.848	7.2
33	2	1	3	1.93240	46.984	8.1
34	2	3	0	1.92010	47.304	1.2
35	2	3	1	1.88190	48.324	0.5
36	1	4	2	1.85450	49.085	4.2
37	0	1	5	1.85160	49.167	3.1
38	2	2	3	1.80570	50.503	2.4
39	2	3	2	1.77940	51.303	0.1
40	1	1	5	1.74000	52.553	1.6
41	2	0	4	1.73330	52.772	10.9
42	1	3	4	1.73330	52.772	10.9
43	0	5	1	1.72660	52.992	2.8
44	1	4	3	1.70050	53.871	0.9
45	2	1	4	1.70050	53.871	0.9
46	3	1	0	1.66540	55.101	0.6
47	2	4	0	1.66200	55.223	1.8
48	1	5	0	1.66200	55.223	1.8

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
49	1	2	5	1.64570	55.818	0.2
50	3	1	1	1.64020	56.022	0.1
51	2	3	3	1.64020	56.022	0.1
52	2	4	1	1.63700	56.141	0.3
53	1	5	1	1.63500	56.216	0.3
54	0	4	4	1.60970	57.180	0.7
55	0	3	5	1.59020	57.947	1.0
56	0	0	6	1.57850	58.418	1.5
57	3	1	2	1.57100	58.724	4.2
58	1	5	2	1.56820	58.839	2.2
59	2	4	2	1.56820	58.839	2.2
60	3	2	1	1.56060	59.154	1.2
61	1	4	4	1.53460	60.259	10.5
62	0	5	3	1.53460	60.259	10.5
63	1	3	5	1.51780	60.996	26.9
64	2	0	5	1.51780	60.996	26.9
65	3	2	2	1.50060	61.772	2.4
66	2	1	5	1.49710	61.932	1.1
67	2	3	4	1.49140	62.195	0.5
68	0	2	6	1.48540	62.474	0.5
69	1	1	6	1.48540	62.474	0.5
70	1	5	3	1.46750	63.324	17.0
71	3	3	0	1.46750	63.324	17.0
72	0	6	0	1.46340	63.522	7.7
73	3	3	1	1.45020	64.169	1.6
74	2	2	5	1.43580	64.891	0.1
75	2	5	1	1.42870	65.253	1.4
76	1	2	6	1.42590	65.397	2.6
77	3	2	3	1.41450	65.991	7.2
78	1	6	0	1.40640	66.420	1.4
79	3	3	2	1.40180	66.666	0.2
80	0	6	2	1.39810	66.866	0.1
81	1	6	1	1.39110	67.247	0.2
82	2	5	2	1.38230	67.733	6.1
83	2	4	4	1.36030	68.981	0.4
84	1	5	4	1.36030	68.981	0.4
85	2	3	5	1.34850	69.672	0.5
86	1	6	2	1.34850	69.672	0.5
87	1	3	6	1.34020	70.166	1.5
88	2	0	6	1.34020	70.166	1.5
89	0	1	7	1.33720	70.347	1.7
90	3	3	3	1.33080	70.736	0.1
91	3	4	1	1.32890	70.852	0.1
92	2	1	6	1.32590	71.037	0.4
93	3	2	4	1.31410	71.773	3.9
94	2	5	3	1.31410	71.773	3.9
95	1	1	7	1.29330	73.112	2.4
96	0	5	5	1.28780	73.475	0.1

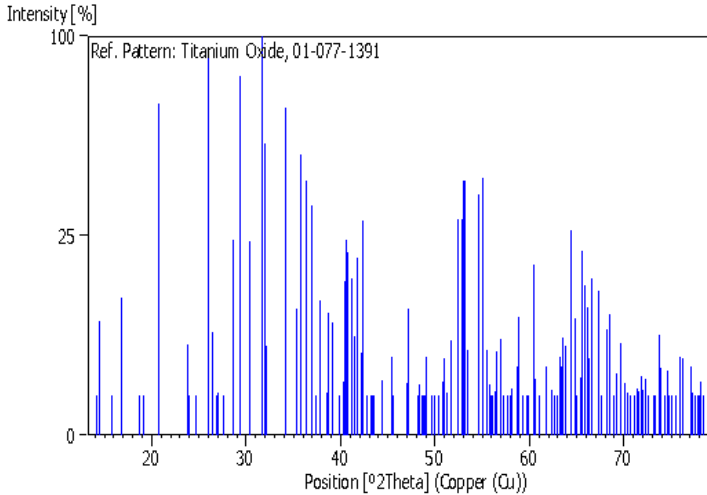
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
97	0	4	6	1.28280	73.809	0.2
98	2	2	6	1.28280	73.809	0.2
99	2	6	0	1.26850	74.782	1.2
100	4	0	1	1.26080	75.318	1.5
101	4	1	0	1.25900	75.445	0.5
102	2	6	1	1.25730	75.564	0.8
103	1	2	7	1.25320	75.855	0.8
104	2	4	5	1.24930	76.134	0.6
105	4	1	1	1.24740	76.271	1.5
106	3	3	4	1.24740	76.271	1.5
107	0	6	4	1.24480	76.459	0.5
108	0	7	1	1.24270	76.612	0.3
109	1	4	6	1.24270	76.612	0.3
110	3	4	3	1.23520	77.162	0.5
111	2	5	4	1.23360	77.281	0.3
112	4	0	2	1.22860	77.654	0.4
113	0	3	7	1.22860	77.654	0.4
114	2	6	2	1.22530	77.903	0.4
115	4	1	2	1.21670	78.559	2.4
116	1	7	0	1.21670	78.559	2.4
117	3	2	5	1.21430	78.745	0.4
118	4	2	1	1.21180	78.939	0.2
119	3	5	1	1.20920	79.142	0.8
120	1	6	4	1.20920	79.142	0.8
121	1	7	1	1.20790	79.244	0.5
122	2	0	7	1.19380	80.369	0.1
123	1	3	7	1.19380	80.369	0.1
124	2	1	7	1.18370	81.197	1.7
125	4	2	2	1.18370	81.197	1.7
126	3	5	2	1.18140	81.389	0.2
127	1	7	2	1.17990	81.514	0.4
128	4	0	3	1.17990	81.514	0.4
129	2	6	3	1.17700	81.758	0.4
130	4	3	0	1.16670	82.636	0.2
131	0	7	3	1.16670	82.636	0.2
132	3	3	5	1.16010	83.210	0.7
133	2	2	7	1.15270	83.865	0.4
134	2	5	5	1.14900	84.197	0.1
135	3	1	6	1.14560	84.505	0.2
136	0	2	8	1.14300	84.742	0.3
137	1	1	8	1.14300	84.742	0.3
138	4	2	3	1.13950	85.063	0.3
139	3	5	3	1.13800	85.202	0.1
140	1	7	3	1.13620	85.369	0.2
141	4	3	2	1.13280	85.687	0.1
142	1	6	5	1.12920	86.026	0.2
143	2	7	0	1.12500	86.426	0.1
144	1	4	7	1.12340	86.579	0.1

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
145	2	7	1	1.11820	87.082	1.6
146	2	6	4	1.11820	87.082	1.6
147	1	2	8	1.11520	87.376	1.4
148	4	1	4	1.11160	87.731	0.1
149	3	6	0	1.10800	88.089	0.1
150	2	3	7	1.10600	88.290	0.1
151	4	4	0	1.10050	88.847	0.2
152	3	6	1	1.10050	88.847	0.2
153	0	8	0	1.09750	89.154	0.1
154	4	3	3	1.09510	89.402	0.5
155	3	4	5	1.09510	89.402	0.5
156	4	2	4	1.08580	90.377	0.1
157	3	5	4	1.08450	90.516	0.1
158	1	7	4	1.08300	90.676	0.1
159	3	6	2	1.07890	91.117	0.1
160	3	3	6	1.07480	91.564	0.7
161	1	3	8	1.07320	91.740	0.4
162	0	6	6	1.07320	91.740	0.4
163	0	5	7	1.07180	91.894	1.7
164	4	4	2	1.07180	91.894	1.7
165	2	5	6	1.06590	92.552	0.9
166	2	1	8	1.06590	92.552	0.9
167	2	7	3	1.05980	93.243	0.1
168	4	0	5	1.05610	93.669	2.7
169	2	6	5	1.05400	93.913	2.1
170	1	5	7	1.04930	94.464	0.6
171	2	4	7	1.04930	94.464	0.6
172	0	7	5	1.04630	94.820	3.4
173	1	8	2	1.04630	94.820	3.4
174	2	2	8	1.04200	95.335	0.3
175	0	4	8	1.04200	95.335	0.3
176	4	4	3	1.03930	95.663	0.3
177	3	2	7	1.02830	97.025	1.6
178	4	5	1	1.02440	97.520	1.2
179	1	7	5	1.02440	97.520	1.2
180	1	4	8	1.02080	97.982	0.1
181	2	7	4	1.01580	98.632	0.5
182	1	8	3	1.01580	98.632	0.5
183	5	1	0	1.01090	99.281	0.1
184	3	7	0	1.00850	99.602	0.7
185	4	5	2	1.00670	99.845	2.9
186	3	7	1	1.00320	100.321	0.2
187	1	2	9	1.00320	100.321	0.2
188	4	4	4	0.99810	101.026	0.1
189	0	8	4	0.99580	101.347	0.1
190	3	3	7	0.99470	101.502	0.1
191	4	0	6	0.99050	102.099	0.2
192	0	3	9	0.99050	102.099	0.2

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
193	2	6	6	0.98870	102.357	0.8
194	5	1	2	0.98870	102.357	0.8
195	2	5	7	0.98770	102.502	1.5

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
196	2	8	2	0.98640	102.690	0.5
197	3	7	2	0.98640	102.690	0.5
198	4	1	6	0.98430	102.996	0.2

PDF CARD 01-077-1391



No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	1	6.24430	14.172	0.2
2	0	0	2	6.12290	14.455	8.1
3	0	1	3	5.59730	15.820	0.1
4	1	0	3	5.24910	16.877	11.8
5	-1	1	0	4.75190	18.658	0.3
6	1	-1	2	4.64250	19.102	0.2
7	1	0	1	4.28030	20.735	69.1
8	1	0	5	3.74360	23.749	5.1
9	0	-1	1	3.70820	23.979	0.2
10	1	1	4	3.59250	24.763	0.5
11	-1	2	1	3.42430	26.000	92.6
12	0	2	4	3.36230	26.488	6.6
13	0	1	5	3.30520	26.954	0.7
14	1	1	6	3.29440	27.044	1.1
15	-1	1	2	3.23560	27.545	0.2
16	0	2	2	3.12220	28.567	24.1
17	1	-2	1	3.04580	29.299	81.4
18	1	1	2	2.93470	30.435	23.8

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
19	-1	2	3	2.93470	30.435	23.8
20	-1	0	1	2.81470	31.766	100.0
21	0	2	6	2.79860	31.953	53.8
22	2	-1	3	2.78160	32.154	5.0
23	2	0	6	2.62450	34.136	67.5
24	2	0	4	2.53940	35.317	10.0
25	2	-2	2	2.53940	35.317	10.0
26	1	1	8	2.50190	35.864	49.5
27	1	0	7	2.50190	35.864	49.5
28	1	2	7	2.46770	36.378	40.7
29	0	2	0	2.42490	37.043	33.0
30	1	2	5	2.42490	37.043	33.0
31	0	-1	3	2.40320	37.390	0.8
32	-2	2	0	2.37600	37.834	11.4
33	-1	3	2	2.37600	37.834	11.4
34	1	-2	3	2.33340	38.552	1.1
35	2	-2	4	2.32120	38.763	9.5
36	-1	3	4	2.30250	39.090	8.0

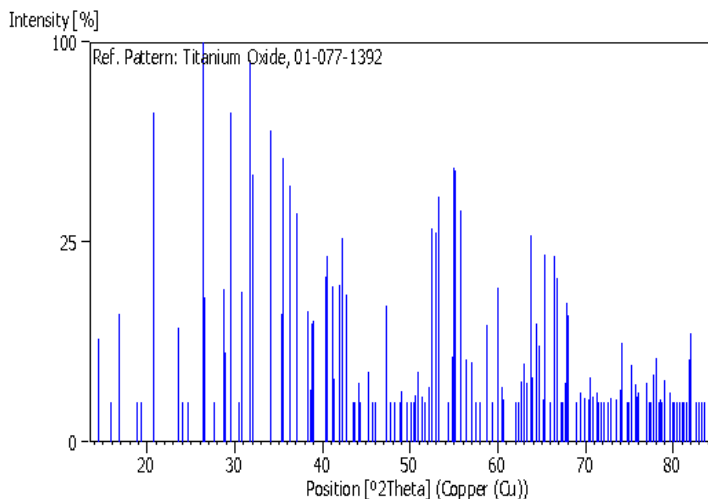
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I[%]
37	2	0	8	2.30250	39.090	8.0
38	0	3	5	2.25710	39.910	0.3
39	-1	1	4	2.23440	40.333	1.8
40	-1	2	5	2.23440	40.333	1.8
41	2	1	7	2.22550	40.501	14.9
42	2	-1	7	2.21630	40.676	24.1
43	0	1	7	2.21130	40.773	21.1
44	1	1	0	2.19150	41.157	15.5
45	1	2	9	2.17280	41.528	6.2
46	0	3	7	2.15610	41.865	19.7
47	2	0	2	2.14010	42.193	4.2
48	0	2	8	2.13080	42.386	28.9
49	-1	3	0	2.13080	42.386	28.9
50	2	1	9	2.10840	42.858	0.4
51	1	2	3	2.08940	43.267	0.1
52	0	3	3	2.08140	43.442	0.1
53	2	-3	1	2.07520	43.578	0.1
54	2	1	5	2.07520	43.578	0.1
55	0	0	6	2.04100	44.347	1.9
56	-1	0	3	1.99520	45.421	3.9
57	-1	3	6	1.99520	45.421	3.9
58	-2	2	2	1.98840	45.585	1.0
59	-2	1	1	1.93060	47.031	1.7
60	2	-2	6	1.92510	47.173	10.0
61	1	1	10	1.88480	48.245	0.8
62	2	-3	3	1.88060	48.360	1.6
63	2	0	10	1.87180	48.602	0.6
64	3	-1	6	1.86730	48.727	0.7
65	0	3	9	1.86470	48.799	0.8
66	1	3	8	1.86470	48.799	0.8
67	-2	3	3	1.86060	48.913	0.4
68	0	-2	2	1.85410	49.096	3.9
69	3	-2	5	1.83590	49.616	0.1
70	1	0	9	1.82170	50.029	0.9
71	2	1	11	1.82170	50.029	0.9
72	3	-1	8	1.80870	50.414	1.0
73	3	-2	3	1.79390	50.859	1.8
74	-1	4	5	1.79390	50.859	1.8
75	1	2	11	1.78780	51.045	3.7
76	1	-2	5	1.78780	51.045	3.7
77	1	3	10	1.78230	51.214	1.1
78	3	-1	4	1.76460	51.765	5.6
79	-1	4	3	1.76460	51.765	5.6
80	3	0	7	1.74560	52.371	29.2
81	2	0	0	1.72790	52.949	29.4
82	3	-2	7	1.72520	53.039	40.5
83	-1	2	7	1.72050	53.195	40.7
84	-2	4	2	1.71220	53.473	4.5

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I[%]
85	1	2	1	1.71220	53.473	4.5
86	0	4	6	1.67940	54.603	36.3
87	-1	4	7	1.67940	54.603	36.3
88	-2	4	0	1.66790	55.012	41.6
89	2	2	6	1.66520	55.108	34.6
90	0	2	10	1.65260	55.565	4.6
91	2	2	12	1.64720	55.763	1.6
92	-1	3	8	1.64720	55.763	1.6
93	0	1	9	1.64220	55.947	0.8
94	1	-1	8	1.63780	56.111	0.4
95	-2	4	4	1.63060	56.381	1.2
96	3	-1	10	1.62670	56.528	4.4
97	3	0	11	1.62670	56.528	4.4
98	3	0	5	1.61580	56.944	5.8
99	-2	2	4	1.61580	56.944	5.8
100	2	-3	5	1.60670	57.296	0.3
101	1	3	4	1.59470	57.768	0.1
102	1	3	12	1.59040	57.939	0.3
103	-3	3	0	1.58330	58.224	1.4
104	3	1	10	1.58330	58.224	1.4
105	0	4	10	1.57020	58.757	3.0
106	2	-2	8	1.56660	58.905	8.7
107	0	3	11	1.55650	59.325	0.3
108	-2	1	3	1.54700	59.726	0.2
109	3	-3	6	1.54700	59.726	0.2
110	3	1	8	1.54150	59.961	0.5
111	0	0	8	1.53070	60.428	18.2
112	-1	0	5	1.52580	60.643	2.0
113	3	1	12	1.52580	60.643	2.0
114	2	0	12	1.51520	61.112	0.4
115	3	-4	1	1.50130	61.740	2.9
116	2	3	11	1.48860	62.325	1.3
117	-1	4	9	1.48860	62.325	1.3
118	1	1	12	1.48060	62.700	0.2
119	0	-3	1	1.47450	62.989	0.5
120	1	4	9	1.47080	63.165	3.8
121	2	2	4	1.46730	63.334	2.9
122	-2	4	6	1.46730	63.334	2.9
123	1	-3	4	1.46320	63.532	5.9
124	1	2	13	1.46320	63.532	5.9
125	2	3	9	1.45820	63.775	5.0
126	-3	4	1	1.45820	63.775	5.0
127	2	2	14	1.44660	64.348	26.3
128	3	0	13	1.43790	64.784	8.5
129	2	3	13	1.43280	65.043	0.7
130	3	0	3	1.42680	65.351	2.1
131	2	-1	11	1.42680	65.351	2.1
132	1	0	11	1.42070	65.667	21.2

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
133	1	-2	7	1.42070	65.667	21.2
134	-3	2	1	1.41570	65.928	14.2
135	-2	5	3	1.41570	65.928	14.2
136	1	-4	1	1.41260	66.091	10.2
137	-2	0	2	1.40740	66.367	3.7
138	-1	-2	1	1.40400	66.548	12.4
139	-1	5	8	1.40190	66.661	15.4
140	1	4	7	1.40190	66.661	15.4
141	4	-2	6	1.39080	67.264	13.1
142	4	-1	9	1.39080	67.264	13.1
143	0	4	2	1.38860	67.384	4.2
144	3	2	11	1.38340	67.672	0.4
145	1	3	14	1.37460	68.164	7.1
146	1	4	13	1.37460	68.164	7.1
147	3	2	13	1.36910	68.476	9.2
148	0	-1	7	1.36910	68.476	9.2
149	2	3	7	1.36040	68.976	0.3
150	-1	3	10	1.36040	68.976	0.3
151	4	-1	11	1.35710	69.167	2.4
152	4	-1	7	1.35710	69.167	2.4
153	-3	4	3	1.34810	69.695	5.4
154	3	-4	5	1.34810	69.695	5.4
155	4	-3	7	1.34080	70.130	1.7
156	2	-4	4	1.34080	70.130	1.7
157	-2	3	7	1.33670	70.377	1.1
158	4	-2	10	1.33670	70.377	1.1
159	0	2	12	1.33060	70.748	0.8
160	3	2	9	1.33060	70.748	0.8
161	-1	1	8	1.32530	71.074	0.1
162	0	5	11	1.31920	71.453	1.4
163	3	-2	11	1.31920	71.453	1.4
164	2	3	15	1.31760	71.553	1.2
165	4	-2	4	1.31760	71.553	1.2
166	4	0	12	1.31230	71.887	2.2

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
167	4	-3	3	1.31230	71.887	2.2
168	-2	5	7	1.31020	72.020	1.3
169	1	-1	10	1.30520	72.339	2.0
170	-3	5	0	1.30520	72.339	2.0
171	0	1	11	1.30140	72.584	0.7
172	0	3	13	1.30140	72.584	0.7
173	2	-2	10	1.29270	73.151	0.3
174	3	2	15	1.29270	73.151	0.3
175	-1	5	2	1.29130	73.244	0.3
176	-1	4	11	1.28950	73.363	0.3
177	-2	4	8	1.28440	73.702	6.3
178	1	4	5	1.28170	73.883	2.8
179	2	1	15	1.27600	74.268	0.3
180	4	-4	4	1.27130	74.589	2.6
181	4	-1	5	1.26790	74.824	0.6
182	2	2	2	1.26790	74.824	0.6
183	4	-1	13	1.26510	75.018	0.3
184	4	-3	9	1.26510	75.018	0.3
185	2	-5	1	1.25900	75.445	0.2
186	2	0	14	1.25090	76.020	3.9
187	1	4	15	1.24830	76.206	3.7
188	2	4	12	1.24830	76.206	3.7
189	4	-4	6	1.23660	77.059	2.9
190	3	1	16	1.23660	77.059	2.9
191	2	4	14	1.23380	77.266	1.1
192	-1	0	7	1.22980	77.564	0.5
193	3	2	7	1.22980	77.564	0.5
194	2	3	5	1.22640	77.820	0.2
195	0	0	10	1.22460	77.956	0.4
196	1	-3	6	1.22250	78.115	1.8
197	0	4	14	1.22250	78.115	1.8
198	4	-3	1	1.21900	78.383	1.0
199	-3	2	3	1.21900	78.383	1.0

PDF CARD 01-077-1392



No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]	No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	2	6.16070	14.365	6.6	26	-1	3	2	2.34860	38.293	10.8
2	0	1	3	5.59750	15.820	0.1	27	-2	2	0	2.34860	38.293	10.8
3	1	0	3	5.25740	16.850	10.2	28	1	-2	3	2.32790	38.647	1.7
4	-1	1	0	4.69720	18.877	0.1	29	2	0	8	2.31470	38.876	8.7
5	1	-1	2	4.60870	19.243	0.1	30	2	-2	4	2.30440	39.057	9.2
6	1	0	1	4.27400	20.766	68.3	31	2	1	7	2.23280	40.363	17.2
7	1	0	5	3.77120	23.572	8.2	32	-1	1	4	2.23280	40.363	17.2
8	0	-1	1	3.71240	23.951	0.1	33	-1	2	5	2.22470	40.516	21.6
9	1	1	4	3.60240	24.694	0.1	34	0	1	7	2.22470	40.516	21.6
10	-1	2	1	3.37710	26.370	100.0	35	2	-1	7	2.22020	40.602	19.7
11	0	2	4	3.34710	26.611	13.0	36	1	1	0	2.19520	41.085	15.1
12	-1	1	2	3.22310	27.654	0.1	37	1	2	9	2.18540	41.278	2.5
13	0	2	2	3.10750	28.705	14.6	38	0	3	7	2.14930	42.003	15.5
14	0	0	4	3.08030	28.964	5.0	39	0	2	8	2.13800	42.236	26.1
15	1	-2	1	3.01840	29.571	68.0	40	2	0	2	2.13800	42.236	26.1
16	1	1	2	2.93690	30.411	0.4	41	-1	3	0	2.11190	42.783	13.5
17	-1	2	3	2.90740	30.727	14.0	42	2	1	5	2.07760	43.526	0.1
18	-1	0	1	2.81720	31.737	90.6	43	0	3	3	2.07170	43.656	0.1
19	0	2	6	2.79880	31.951	44.7	44	0	0	6	2.05360	44.061	2.2
20	2	0	6	2.62870	34.079	60.9	45	2	-3	1	2.05360	44.061	2.2
21	2	0	4	2.53600	35.365	10.3	46	-2	3	1	2.04070	44.354	0.1
22	1	0	7	2.52260	35.560	50.6	47	-1	0	3	2.00020	45.301	3.1
23	1	1	8	2.52260	35.560	50.6	48	-1	3	6	1.97990	45.792	0.2
24	1	2	7	2.47540	36.261	41.2	49	-2	2	2	1.97330	45.954	0.9
25	0	2	0	2.42150	37.097	32.6	50	2	-2	6	1.92140	47.270	11.6

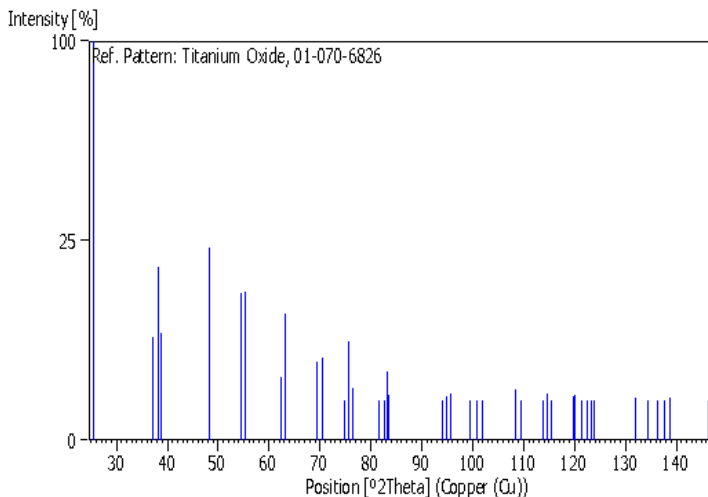
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
51	-2	1	1	1.92140	47.270	11.6
52	1	1	10	1.90150	47.795	0.1
53	2	0	10	1.88560	48.223	0.1
54	2	-3	3	1.86560	48.774	0.1
55	1	3	8	1.86560	48.774	0.1
56	0	-2	2	1.85620	49.037	1.6
57	2	1	11	1.83600	49.613	0.1
58	1	0	9	1.83600	49.613	0.1
59	3	-2	5	1.82090	50.052	0.2
60	3	-1	8	1.80620	50.488	0.4
61	2	2	8	1.80110	50.641	1.4
62	1	2	11	1.80110	50.641	1.4
63	1	-2	5	1.79030	50.969	3.1
64	3	-2	3	1.77710	51.375	1.3
65	1	-3	2	1.76970	51.605	0.2
66	0	3	1	1.76690	51.693	0.3
67	3	0	9	1.75240	52.153	1.9
68	3	0	7	1.74450	52.407	28.7
69	-1	4	3	1.74450	52.407	28.7
70	2	0	0	1.72740	52.966	27.4
71	-1	2	7	1.72100	53.178	36.9
72	3	-2	7	1.71690	53.315	37.8
73	-2	4	2	1.68860	54.281	0.9
74	0	4	8	1.67350	54.812	4.6
75	-1	1	6	1.67350	54.812	4.6
76	0	4	6	1.66750	55.026	47.2
77	2	2	6	1.66750	55.026	47.2
78	-1	4	7	1.66580	55.087	46.0
79	3	-3	2	1.66580	55.087	46.0
80	1	-1	8	1.64730	55.759	33.7
81	-2	4	0	1.64730	55.759	33.7
82	3	0	11	1.63230	56.317	4.3
83	-2	2	4	1.61310	57.048	4.0
84	3	0	5	1.61310	57.048	4.0
85	2	-3	5	1.60040	57.543	0.9
86	-1	4	1	1.60040	57.543	0.9
87	3	1	10	1.58820	58.027	0.1
88	2	-2	8	1.56920	58.798	8.5
89	0	4	4	1.55380	59.439	0.6
90	0	0	8	1.54020	60.017	15.0
91	-1	0	5	1.53100	60.415	1.9
92	3	1	12	1.53100	60.415	1.9
93	2	0	12	1.52760	60.564	1.1
94	3	-2	9	1.52760	60.564	1.1
95	2	3	11	1.49300	62.121	0.1
96	1	1	12	1.49300	62.121	0.1
97	2	1	1	1.48750	62.376	0.2
98	-1	4	9	1.48070	62.695	2.3

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
99	3	-4	1	1.48070	62.695	2.3
100	1	2	13	1.47470	62.979	3.8
101	0	-3	1	1.47470	62.979	3.8
102	1	4	9	1.46930	63.237	2.2
103	2	2	4	1.46930	63.237	2.2
104	2	2	14	1.45840	63.765	26.8
105	-2	4	6	1.45370	63.996	2.6
106	3	0	13	1.44680	64.338	8.7
107	-3	4	1	1.43860	64.749	5.8
108	2	3	13	1.43860	64.749	5.8
109	1	0	11	1.43020	65.176	1.1
110	3	0	3	1.42540	65.423	22.0
111	1	-2	7	1.42540	65.423	22.0
112	3	-1	12	1.41520	65.954	0.6
113	-3	2	1	1.40740	66.367	21.6
114	1	-4	1	1.40740	66.367	21.6
115	0	4	12	1.39980	66.774	16.8
116	1	4	7	1.39980	66.774	16.8
117	-1	5	8	1.39060	67.275	0.9
118	4	-2	8	1.39060	67.275	0.9
119	4	-1	9	1.38800	67.417	1.0
120	3	2	11	1.38800	67.417	1.0
121	0	4	2	1.38430	67.622	2.2
122	-1	5	4	1.38100	67.805	12.1
123	4	-2	6	1.38100	67.805	12.1
124	-1	2	9	1.37750	68.001	8.2
125	1	4	13	1.37750	68.001	8.2
126	0	-1	7	1.37600	68.085	10.0
127	3	2	13	1.37600	68.085	10.0
128	-1	3	10	1.36160	68.906	0.1
129	2	3	7	1.36160	68.906	0.1
130	2	-3	7	1.35180	69.477	1.5
131	4	-1	7	1.35180	69.477	1.5
132	-3	1	0	1.34420	69.927	1.2
133	4	-3	5	1.34420	69.927	1.2
134	0	2	12	1.33630	70.401	1.1
135	3	-4	5	1.33630	70.401	1.1
136	-2	3	7	1.33270	70.620	2.6
137	-3	4	3	1.33270	70.620	2.6
138	-2	2	6	1.32890	70.852	1.3
139	4	-3	7	1.32890	70.852	1.3
140	0	5	7	1.32150	71.309	1.5
141	3	-2	11	1.32150	71.309	1.5
142	4	0	10	1.31980	71.415	0.9
143	0	5	11	1.31430	71.760	0.6
144	4	0	12	1.31430	71.760	0.6
145	4	-2	4	1.30820	72.147	0.9
146	3	2	15	1.30200	72.545	0.4

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
147	2	-2	10	1.29650	72.902	1.2
148	-2	5	7	1.29650	72.902	1.2
149	-1	4	11	1.28720	73.515	1.1
150	-3	5	0	1.28720	73.515	1.1
151	1	4	5	1.28020	73.984	1.7
152	-3	5	2	1.28020	73.984	1.7
153	-2	4	8	1.27670	74.221	6.2
154	-2	1	5	1.26940	74.720	0.5
155	2	2	2	1.26940	74.720	0.5
156	4	-1	13	1.26730	74.865	0.2
157	2	2	16	1.26130	75.283	3.7
158	2	0	14	1.26130	75.283	3.7
159	3	0	15	1.25610	75.649	2.1
160	4	-4	4	1.25610	75.649	2.1
161	4	0	14	1.25360	75.827	1.3
162	1	4	15	1.25200	75.941	1.5
163	2	4	12	1.25050	76.048	1.0
164	3	0	1	1.23770	76.978	2.2
165	2	4	14	1.23770	76.978	2.2
166	-1	0	7	1.23470	77.200	0.5
167	3	2	7	1.23210	77.393	0.3
168	0	0	10	1.23210	77.393	0.3
169	4	1	13	1.22710	77.767	2.8
170	1	2	15	1.22710	77.767	2.8
171	4	-4	6	1.22420	77.986	4.4
172	1	-3	6	1.22420	77.986	4.4
173	1	1	14	1.21890	78.390	1.0

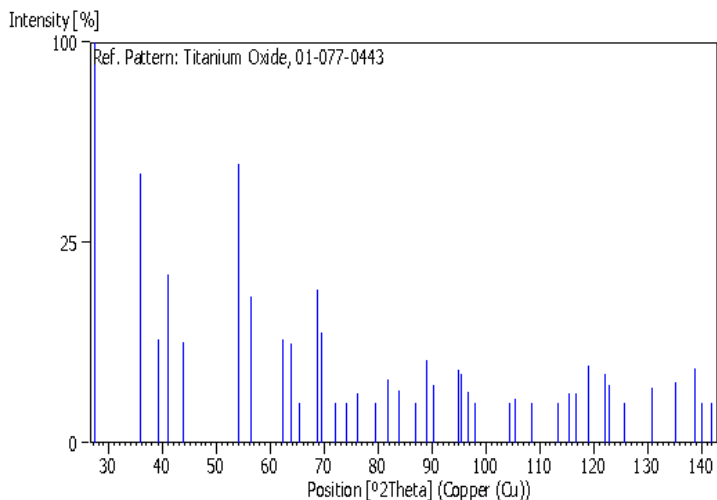
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
174	1	-4	3	1.21740	78.505	1.1
175	3	-1	14	1.21740	78.505	1.1
176	2	4	10	1.21450	78.729	0.4
177	-3	2	3	1.21450	78.729	0.4
178	0	4	0	1.21070	79.025	2.4
179	3	3	14	1.21070	79.025	2.4
180	3	-4	7	1.20300	79.631	1.5
181	1	5	10	1.20300	79.631	1.5
182	-3	4	5	1.19910	79.942	0.2
183	3	-3	10	1.19780	80.046	0.1
184	4	-2	2	1.19780	80.046	0.1
185	4	1	15	1.19360	80.385	0.1
186	2	-1	13	1.19030	80.654	0.1
187	1	3	0	1.18610	80.999	0.9
188	-2	5	9	1.18340	81.222	0.8
189	1	5	14	1.18340	81.222	0.8
190	2	4	16	1.17950	81.547	0.5
191	-1	-2	3	1.17640	81.808	4.2
192	4	0	6	1.17640	81.808	4.2
193	-1	6	9	1.17430	81.986	7.4
194	-4	4	0	1.17430	81.986	7.4
195	1	0	13	1.16740	82.576	0.2
196	2	-4	6	1.16400	82.870	0.2
197	-1	5	0	1.15920	83.289	0.7
198	4	1	9	1.15590	83.581	0.1
199	3	-5	4	1.15590	83.581	0.1

PDF CARD 01-070-6826



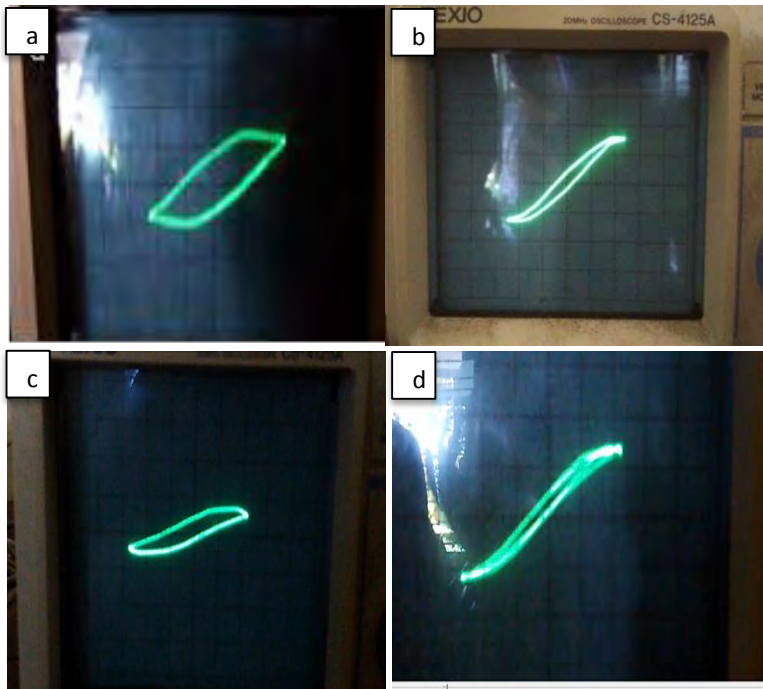
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]	No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	1	3.50140	25.418	100.0	22	1	0	9	1.00950	99.468	0.9
2	1	0	3	2.41450	37.209	6.6	23	2	0	8	0.99950	100.831	0.6
3	0	0	4	2.35750	38.143	19.0	24	3	2	3	0.99240	101.828	0.5
4	1	1	2	2.32100	38.766	7.2	25	3	1	6	0.95000	108.357	1.6
5	2	0	0	1.88550	48.226	23.4	26	4	0	0	0.94280	109.578	0.8
6	1	0	5	1.68680	54.344	13.7	27	3	0	7	0.91900	113.900	0.1
7	2	1	1	1.66010	55.292	13.9	28	3	2	5	0.91470	114.732	1.4
8	2	1	3	1.48610	62.441	2.5	29	4	1	1	0.91030	115.602	0.9
9	2	0	4	1.47250	63.084	10.0	30	2	1	9	0.89000	119.881	1.2
10	1	1	6	1.35400	69.348	3.9	31	1	1	10	0.88900	120.104	1.3
11	2	2	0	1.33320	70.589	4.3	32	2	2	8	0.88310	121.447	0.4
12	1	0	7	1.26860	74.775	0.4	33	4	1	3	0.87820	122.597	0.4
13	2	1	5	1.25720	75.572	6.1	34	4	0	4	0.87540	123.270	1.0
14	3	0	1	1.24600	76.372	1.7	35	3	3	2	0.87340	123.758	0.3
15	0	0	8	1.17880	81.606	0.3	36	2	0	10	0.84320	131.999	1.1
16	3	0	3	1.16710	82.602	0.5	37	4	2	0	0.84320	131.999	1.1
17	2	2	4	1.16050	83.175	3.0	38	1	0	11	0.83590	134.299	0.2
18	3	1	2	1.15610	83.563	1.3	39	4	2	2	0.83010	136.238	0.1
19	2	1	7	1.05260	94.076	0.4	40	3	2	7	0.82610	137.641	0.2
20	3	0	5	1.04600	94.855	1.2	41	4	1	5	0.82290	138.807	1.1
21	3	2	1	1.03950	95.638	1.4							

PDF CARD 01-077-0443

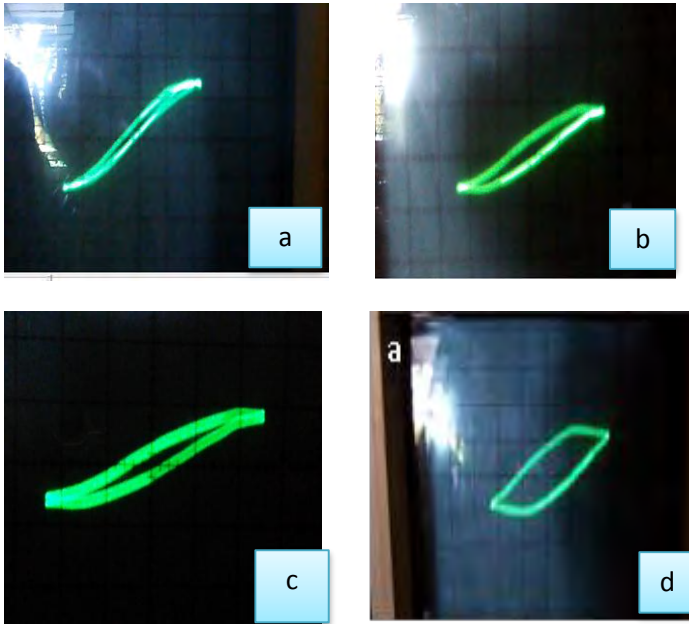


No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]	No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	3.26030	27.333	100.0	23	3	1	2	1.04090	95.468	2.9
2	1	0	1	2.49870	35.911	45.3	24	4	2	0	1.03100	96.686	1.6
3	2	0	0	2.30540	39.039	6.6	25	3	3	1	1.02070	97.995	0.1
4	1	1	1	2.19690	41.052	17.7	26	4	2	1	0.97410	104.517	0.3
5	2	1	0	2.06200	43.872	6.3	27	1	0	3	0.96890	105.315	1.2
6	2	1	1	1.69440	54.080	48.7	28	3	2	2	0.96890	105.315	1.2
7	2	2	0	1.63010	56.400	13.4	29	1	1	3	0.94820	108.659	0.3
8	0	0	2	1.48660	62.418	6.7	30	4	3	0	0.92210	113.310	0.1
9	3	1	0	1.45800	63.785	6.1	31	4	0	2	0.91090	115.483	1.5
10	2	2	1	1.42940	65.217	0.4	32	5	1	0	0.90420	116.841	1.5
11	3	0	1	1.36530	68.693	14.6	33	4	1	2	0.89320	119.175	3.7
12	1	1	2	1.35260	69.430	7.6	34	2	1	3	0.89320	119.175	3.7
13	3	1	1	1.30910	72.090	0.8	35	5	0	1	0.88080	121.983	2.9
14	3	2	0	1.27880	74.078	0.2	36	3	3	2	0.87730	122.812	2.1
15	2	0	2	1.24940	76.127	1.5	37	5	1	1	0.86510	125.851	0.1
16	2	1	2	1.20590	79.401	0.9	38	2	2	3	0.84720	130.798	1.9
17	3	2	1	1.17470	81.952	2.5	39	4	2	2	0.84720	130.798	1.9
18	4	0	0	1.15270	83.865	1.7	40	3	0	3	0.83290	135.289	2.3
19	4	1	0	1.11830	87.073	0.6	41	5	2	1	0.82280	138.844	3.5
20	2	2	2	1.09840	89.062	4.3	42	3	1	3	0.81960	140.052	0.1
21	3	3	0	1.08680	90.271	2.1	43	4	4	0	0.81510	141.831	0.4
22	4	1	1	1.04670	94.772	3.3							

HASIL UJI FERROELEKTRIK



Gambar Kurva Histeresis Uji Ferroelektrik PbTiO_3 pada Temperatur 950°C (a) PbTiO_3 tanpa doping (b) 0.2 mol (c) 0.3 mol (d) 0.4 mol



Gambar Hasil Kurva Histeresis Uji Ferroelektrik dari PbTiO_3 yang didoping Fe_2O_3 pada 0.4 mol (a) 950°C , (b) 1050°C , (c) 1150°C , (d) PbTiO_3 tanpa doping

Tabel 4. 4 Hasil Uji ferroelektrik

No	Doping	Temperatur ($^\circ\text{C}$)	Medan Listrik Koersif	Polarisasi Remanensi
1	0.2 mol	950	0.541	16.56×10^{-12}
2	0.3 mol	950	0.564	36.23×10^{-12}
3	0.4 mol	950	0.588	67.29×10^{-12}
4	0.4 mol	1050	0.5850	46.58×10^{-12}
5	0.4 mol	1150	0.564	44×10^{-12}

Persiapan Serbuk

Serbuk PbO dan TiO₂ ditimbang menggunakan timbangan digital yang dilakukan di Laboratorium Kimia Terapan Teknik Material dan Metalurgi ITS dengan massa PbO adalah 7.4 gram dan TiO₂ adalah 2.6 gram. Berikut adalah perhitungan komposisi Titanium dan Aluminium:

PbO : 74%at, massa atom = 223.2

TiO₂ : 26%at, massa atom = 79.9

Perbandingan PbO dan TiO₂ = 1:1

$$\%wt \text{ PbO} = \frac{(0.5 \times 223.2)}{(0.5 \times 79.9) + (0.5 \times 223.2)} \times 100\%$$

$$\%wt \text{ PbO} = \frac{(111.6)}{(39.95) + (111.6)} \times 100\%$$

$$\%wt \text{ PbO} = \frac{(111.6)}{(151.55)} \times 100\%$$

$$\%wt \text{ PbO} = 0.74 \times 100\%$$

$$\%wt \text{ PbO} = 74\%$$

$$\%wt \text{ TiO}_2 = \frac{(0.5 \times 79.9)}{(0.5 \times 79.9) + (0.5 \times 223.2)} \times 100\%$$

$$\%wt \text{ TiO}_2 = \frac{(39.95)}{(39.95) + (111.6)} \times 100\%$$

$$\%wt \text{ TiO}_2 = \frac{(39.95)}{(151.55)} \times 100\%$$

$$\%wt \text{ TiO}_2 = 0.26 \times 100\%$$

$$\%wt \text{ TiO}_2 = 26\%$$

Total dari PbTiO_3 yang didoping Fe_2O_3 adalah 12 gram. Karena PbO tidak mengalami substitusi oleh Fe_2O_3 , maka PbO yang digunakan adalah

$$= \frac{74}{100} \times 12 = 8,88 \text{ gram}$$

Sedangkan, karena Fe_2O_3 mensubstitusi Ti^{+4} perhitungannya adalah sebagai berikut

$$\text{TiO}_2 = \frac{26}{100} \times 12 = 3,12 \text{ gram}$$

Untuk 5 % dari TiO_2 maka perhitungannya adalah

$$\text{Berat dari } \text{Fe}_2\text{O}_3 = 0.05 \times 3.12 = 0.156 \text{ gram}$$

$$\text{Berat dari Ti} = 3.12 - 0.0312 = 2.97 \text{ gram}$$

Untuk 1.25 % dari TiO_2 maka perhitungannya adalah

$$\text{Berat dari } \text{Fe}_2\text{O}_3 = 0.0125 \times 3.12 = 0.039 \text{ gram}$$

$$\text{Berat dari Ti} = 3.12 - 0.039 = 3.081 \text{ gram}$$

Untuk 0.75% dari TiO_2 maka perhitungannya adalah

$$\text{Berat dari } \text{Fe}_2\text{O}_3 = 0.0075 \times 3.12 = 0.0234 \text{ gram}$$

$$\text{Berat dari Ti} = 3.12 - 0.0234 = 0.097 \text{ gram}$$

BIODATA PENULIS



Jennis Fitria, wanita kelahiran Bandar Lampung, 01 April 1993, merupakan anak terakhir dari empat bersaudara. Memulai pendidikan formal di TK Sejahtera IV, Bandar Lampung. Kemudian melanjutkan pendidikan di SD Sejahtera IV Bandar Lampung. Studi setelah itu dilanjutkan di SMPN 1 Bandar Lampung. Kemudian studi berlanjut di SMAN 12 Bandar Lampung dan melanjutkan studinya di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis aktif dalam beberapa kegiatan organisasi kampus maupun luar kampus. Pada organisasi kampus penulis pernah menjabat sebagai staff Departemen Riset dan Teknologi Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT FTI-ITS) periode 2012/2013. Penulis juga pernah menjabat sebagai sekretaris pada tahun 2011/2012 pada kepengurusan UKM Kendo ITS. Pada tahun berikutnya penulis menjabat sebagai Ketua UKM Kendo ITS 2012/2013. Pada tahun 2013/2014, penulis tetap menjadi Ketua UKM Kendo ITS. Penulis menjabat sebagai Ketua UKM Kendo ITS selama dua periode kepengurusan. Organisasi luar kampus, penulis mengikuti organisasi daerah Lampung (SACOM) dengan jabatan sebagai sekretaris pada tahun 2012/2013. Dalam memulai keprofesiannya, penulis melaksanakan kerja praktek di PT. Dirgantara Indonesia, Bandung dengan tema NDT dari trailing Edge Pesawat Terbang. Material yang selalu berkembang dan tidak monoton, menyebabkan penulis untuk tertarik mengambil Tugas Akhir Material Inovatif.

E-mail : jennisfitria.jf@gmail.com

