

# UJI STRUKTUR KRISTAL DAN SIFAT LISTRIK FILM $Ba_{0.55}Sr_{0.45}TiO_3$ DENGAN VARIASI PENDADAHAN $La_2O_3$

Tantan Taopik Rohman<sup>1\*)</sup>, Irzaman<sup>2</sup>, Husin Alatas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Sarjana Departemen Fisika IPB, Dramaga, Bogor dan 16680

<sup>2</sup>Departemen Fisika IPB, Dramaga, Bogor dan 16680

\*) Email: tantantr20@gmail.com

## Abstrak

Telah dibuat film  $Ba_{0.55}Sr_{0.45}TiO_3$  di atas substrat Si (111) tipe-n dengan metode CSD dan *spin coating* berkecepatan putar 3000 rpm selama 30 detik dalam kelarutan sebesar 1 M. Film BST didadah  $La_2O_3$  dengan variasi 0%, 1%, 3%, 5% serta di *annealing* pada suhu 850 °C selama 15 jam dengan laju kenaikan 1.67 °C/menit. Karakterisasi struktur film berupa pengujian XRD. Hasil yang diperoleh memperlihatkan intensitas difraksi tertinggi dimiliki oleh film dengan variasi pendadahan 5% sedangkan intensitas difraksi terendah dimiliki oleh film dengan variasi pendadahan 0%. Pendadahan meningkatkan intensitas difraksi sinar-X pada film. Analisis struktur kristal BST menggunakan metode XRD menunjukkan bahwa struktur kristal BST berbentuk tetragonal. Hasil uji sifat listrik menunjukkan karakteristik film BST termasuk material semikonduktor.

**Kata kunci:** BST, sifat listrik, struktur kristal, *annealing*,  $La_2O_3$

## Abstract

*Ba<sub>0.55</sub>Sr<sub>0.45</sub>TiO<sub>3</sub> (BST) thin film, was doped by lanthanum oxide (La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), has been made with doping variations 0%, 1%, 3%, and 5% above substrat Si (111) n-type by using chemical solution deposition methods by spin coating technique at 3000 rpm for 30 seconds in 1 M concentration and 850 °C annealing temperature at 15 hour with rate 1.7 °C/minute. Structure characterization was using XRD. Result of XRD showed 5% doping has highest diffraction intensity and 0% is the lowest. Diffraction intensity increased by doping on film. Crystal structure analysis showed BST and BFST are tetragonal. Electrical properties showed that BST and BSLT thin film are semiconductor material.*

**Key words :** BST, electrical properties, crystal structure, annealing,  $La_2O_3$

## 1. Pendahuluan

Perkembangan sains dan teknologi yang semakin maju terutama di bidang material elektronika telah menantang manusia untuk mendapatkan piranti berukuran kecil dengan performa tinggi. Film ferroelektrik ialah salah satu komponen elektronika yang banyak dikembangkan. Penggunaan untuk fabrikasi dalam bentuk lapisan tipis dapat sangat luas, hal ini karena sifat-sifat bahan ferroelektrik yang dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan dalam bentuk devais.<sup>1, 2</sup>

Material dielektrik memiliki kemampuan untuk menyimpan muatan listrik seperti halnya kapasitor. Material ferroelektrik, piroelektrik, dan piezoelektrik termasuk dalam material dielektrik. Beberapa lapisan tipis ferroelektrik yang banyak dikembangkan oleh para peneliti saat ini antara lain  $BaZrTiO_3$ ,  $PbSrTiO_3$ , dan  $BaSrTiO_3$ . Pengaplikasian dalam elektronika yakni *Ferroelectric Random Access Memory* (FRAM) yang memanfaatkan kemampuan polarisasi tinggi pada material ferroelektrik.<sup>3</sup>

Saat ini pengembangan BST dilakukan oleh para peneliti dengan menambahkan bahan lain sebagai pendadah. Pendadah BST menimbulkan

perubahan dielektrik secara drastis pada karakteristik bahannya sehingga dapat bermanfaat untuk meningkatkan kualitas dan fungsi dalam pengaplikasiannya.<sup>1</sup>

Semikonduktor adalah bahan dasar untuk komponen aktif dalam alat elektronika, digunakan misalnya untuk membuat dioda, transistor, dan IC (*Integrated Circuit*). Dewasa ini bahan semikonduktor yang paling banyak digunakan adalah kristal silikon. BST yang telah dikembangkan secara luas dapat digunakan dalam perangkat *microwave tuneable*, seperti pada *phase shifter*, *tunable filter*, *resonator*, *antenna*, dan *delay line* serta sensor suhu dan cahaya.<sup>4,5,6</sup>

Substrat yang digunakan yakni Si (111) tipe-n. Suhu *annealing* yang digunakan ialah 850 °C dengan penahanan selama 15 jam.<sup>7,8,9</sup> Variasi pembuatan film yaitu film tanpa pendadahan dan film yang didadah. Bahan dadah yang digunakan pada penelitian ini adalah lantanum oksida ( $La_2O_3$ ).

## 2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian adalah bubuk barium asetat [ $Ba(CH_3COO)_2$ , 99%], strontium asetat [ $Sr(CH_3COO)_2$ , 99%], titanium

isopropoksida [ $\text{Ti}(\text{C}_{12}\text{O}_4\text{H}_{28})$ , 99.999%],  $\text{La}_2\text{O}_3$ , aquabides, kaca preparat, 2-metoksietanol [ $\text{H}_3\text{COCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ], 99%], substrat Si (111) tipe-n, dan *aluminium foil*.

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah neraca, reaktor *spin coating*, gelas ukur 10 mL, *beaker glass*, *furnace* model Vulcan™ 3-130, masker, pipet, ultrasonik model Branson 2210, pinset, gunting, spatula, *stopwatch*, tabung reaksi, sarung tangan karet, cawan petri, tisu, isolasi, multimeter, *X-Ray Diffraction* (XRD), LCR Meter HiTESTER HIOKI 3533-50, komputer, *soft ware PowderX*.<sup>10,11</sup>

### Persiapan substrat Si

Substrat yang digunakan adalah silikon tipe-n. Substrat dipotong membentuk persegi dengan ukuran 1 cm x 1 cm sebanyak 16 buah. Kemudian substrat tersebut dicuci menggunakan aquabides. Massa bubuk bahan pada penelitian dihitung menggunakan stoikiometri dengan kelarutan 1M pada penambahan pelarut 2-metoksietanol sebanyak 2.5 mL.<sup>12,13</sup>

### Pembuatan larutan BST

Larutan BST yang ditumbuhkan di atas substrat dengan metode CSD dibuat dari 0.3512 g barium asetat, 0.2314 g strontium asetat, 0.7105 g titanium isopropoksida, dan 2.5 mL 2-metoksietanol sebagai pelarut mendapatkan 1 M.  $\text{La}_2\text{O}_3$  sebanyak 0.0053 g untuk pendadahan 1%, 0.0158 g untuk 3%, dan 0.0264 g untuk 5%. Kemudian seluruh bahan tersebut disonikasi menggunakan ultrasonik model Branson 2210 selama 1 jam (campuran disebut prekursor).

### Penumbuhan film

Proses penumbuhan film dilakukan dengan menggunakan reaktor *spin coating*, dimana substrat tipe-n yang telah dicuci sebelumnya diletakkan di bagian tengahnya. Kemudian 2/5 permukaan substrat yang telah ditempelkan pada permukaan piringan *spin coating* ditutupi dengan merekatkan isolasi. Perekatan isolasi bertujuan untuk menghindari agar tidak semua permukaan substrat terlapisi atau tertutupi oleh larutan BST sehingga didapatkan film BST tipe-p dan substrat Si untuk tipe-n. Penempelan *double tape* bertujuan agar substrat tidak terlepas saat piringan reaktor *spin coating* berputar.<sup>15</sup>

Substrat yang telah ditempelkan di atas piringan kemudian ditetesi *sol-gel* BST sebanyak 3 tetes, lalu diputar dengan menggunakan *spin coating* selama 30 detik. Penetesan dilakukan 3 kali dengan jeda setiap ulangan selama 60 detik. Lalu substrat diambil menggunakan pinset dan disimpan di cawan petri.

### Proses Annealing

Proses *annealing* bertujuan untuk mendifusikan larutan BST dengan substrat. Proses ini dilakukan dengan menggunakan *furnace* Vulcan™ 3-130 dan dilakukan secara bertahap. Pemanasan dimulai dari suhu ruang kemudian dinaikkan hingga suhu *annealing* yang diinginkan yaitu sebesar 850 °C dengan kenaikan suhu pemanasan yang disesuaikan (1.7 °C/menit), kemudian suhu *annealing* ditahan selama 15 jam. Selanjutnya dilakukan *furnace cooling* sampai kembali ke suhu ruang. Proses *annealing* yang bertujuan untuk memberi perlakuan suhu agar terbentuk struktur kristal yang diinginkan pada film.

### Pembuatan Kontak

Lubang kontak pada film dibuat persegi dengan ukuran 2 mm x 2 mm pada lapisan BST dan *aluminium foil* digunakan untuk menutupi bagian lain dari film BST yang tersisa. Proses selanjutnya adalah metalisasi menggunakan Al 99.99% sebagai media kontak film yang dilakukan dengan metode *metal organic chemical vapour deposition* (MOCVD) pada ruang vakum udara. Kemudian pemasangan *hidder* dan kawat tembaga yang berukuran halus dengan menggunakan pasta perak.

### Sifat Listrik

Pengujian sifat listrik film menggunakan LCR Meter HiTESTER untuk mendapatkan data-data 14 parameter listrik, yakni Kapasitansi ( $C_s$  dan  $C_p$ ), Resistansi ( $R_p$  dan  $R_s$ ), Induktansi ( $L_s$  dan  $L_p$ ), Impedansi ( $Z$ ), Sudut Fasa (Phase), Konduktansi ( $G$ ),  $Y$ ,  $D$ ,  $Q$ ,  $X$ , dan  $B$ . Parameter peubah bebasnya ialah frekuensi (Hz) yang digunakan sebesar 1 kHz hingga 4001 kHz dengan  $5 \times 10^{-4}$  A dan mengambil 100 titik. Listrik digunakan untuk melihat karakteristik film yang ditumbuhkan tersebut dapat digunakan untuk pengaplikasian sensor dan melihat respon film saat dialiri arus listrik.

### X-Ray Diffraction

Karakterisasi XRD merupakan metode untuk menganalisis struktur kristal film BST. Sifat-sifat material film BST dapat ditentukan jika telah diketahui struktur kristalnya. Data hasil karakterisasi XRD diolah dengan *software PowderX* lalu data itu digunakan untuk menentukan index Miller dari pola difraksi sinar-X dan menghitung nilai parameter kisi film. Dari pengujian diperoleh data intensitas dan sudut  $2\theta$ .<sup>16,17,18</sup>

## 3. Hasil dan Pembahasan

Pemilihan substrat Si tipe-n agar dapat dipasangkan dengan film BST dengan variasi pendadahan  $\text{La}_2\text{O}_3$  sebagai tipe-p untuk *p-n junction* semikonduktor sehingga elektron dapat

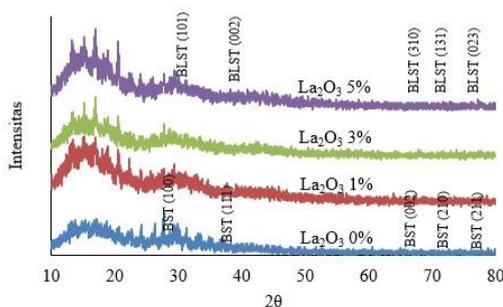
berpindah. Pendadahan dilakukan agar semikonduktor bertambah daya konduksinya, karena adanya penambahan atom-atom tidak murni ke dalam kristal intrinsik untuk mengubah daya konduksi listrik.

Tahap *annealing* telah memberikan perlakuan suhu untuk film sehingga kristal-kristal akan memiliki struktur yang baik. Suhu menyebabkan jarak antar atom meregang. *Annealing* telah menghilangkan ketidakragaman mikrostruktur, mengeliminasi tegangan sisa, meningkatkan keseragaman dan penghalusan ukuran butir. Perubahan warna film sebelum dengan setelah *annealing* yang dapat diamati mata telanjang yakni perubahan warna pada permukaan film dari warna putih sedikit kusam menjadi putih bersih. Perubahan warna ini diakibatkan adanya penguapan molekul air (H<sub>2</sub>O) dan keseragaman struktur akibat perlakuan suhu. Ketebalan film BST berada pada nilai 0.5 μm sampai 0.8 μm dengan perhitungan menggunakan Metode Volumetrik. Film yang dibuat termasuk film karena ketebalannya lebih kecil dari 1 μm.

**Struktur kristal**

Pengukuran XRD dilakukan untuk menganalisis struktur film yang dibuat. Pengukuran di ruang vakum bertujuan mengurangi tumbukan antar partikel. Hasil yang diperoleh menunjukkan intensitas difraksi tertinggi dimiliki oleh film BST dengan variasi pendadahan 5% sedangkan intensitas difraksi terendah dimiliki oleh film BST dengan variasi pendadahan 0%. Analisis struktur kristal BST menggunakan metode XRD menunjukkan bahwa struktur kristal BST berbentuk tetragonal.

Puncak-puncak difraksi ditunjukkan Gambar 1 yang mengidentifikasi partikel film BST memiliki distribusi orientasi kristal. Pada variasi pendadahan La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0% terdapat 5 puncak 29.393°, 59.285°, 65.191°, 73.843°, dan 77.436°. Pada 1% yaitu 29.075°, 39.956°, 67.671°, 71.459°, dan 77.639°. Puncak pada 3% yaitu 28.836°, 40.431°, 67.899°, 71.957°, dan 77.418°. Sedangkan pada variasi 5% yaitu 29.193°, 41.656°, 69.083°, 72.860°, dan 77.581°.



Gambar 1 Pola XRD film BST dengan pendadahan lantanum 0%, 1%, 3%, dan 5%

Index miller film BST didapatkan dari puncak-puncak difraksi sinar-X. Index miller yang diperoleh digunakan untuk menentukan parameter kisi struktur kristal film. Tabel 1 menampilkan nilai parameter kisi film. BST dengan pendadahan La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0% memiliki parameter kisi a sebesar 4.589 Å dan c sebesar 4.001 Å. Sedangkan sampel BST yang didadah La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1%, 3%, dan 5% memiliki parameter kisi a berturut-turut 4.740 Å, 4.755 Å, 4.938 Å dan parameter kisi c sebesar 4.075 Å, 4.112 Å, 4.304 Å.

Parameter kisi c lebih kecil dari pada parameter kisi a, dengan nilai c/a masing-masing film kurang dari 1. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa struktur film BST didadah La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang dibuat adalah pseudo tetragonal. Hal tersebut menunjukkan telah terjadinya perubahan fasa pada film dari struktur tetragonal menjadi pseudo tetragonal.

Tabel 1 Parameter kisi film BST

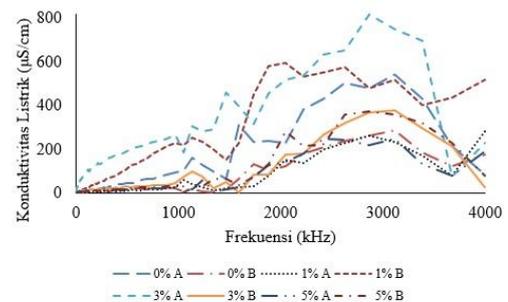
Variasi dadah	a = b	c	c/a	JCPDS	
				a = b	c
0%	4.589	4.001	0.872	3.977	3.988
1%	4.740	4.075	0.860		
3%	4.755	4.112	0.865		
5%	4.938	4.304	0.872		

**Sifat listrik**

**Konduktivitas listrik**

Nilai konduktivitas listrik suatu material menunjukkan sifat material tersebut, yakni konduktor, isolator, dan semikonduktor. Nilai konduktivitas listrik berbanding terbalik dengan resistansinya. Gambar 2 menunjukkan hubungan frekuensi dengan konduktivitas listrik. Berdasarkan literatur, suatu material dikatakan bersifat semikonduktor jika nilai konduktivitas listriknya berkisar antara 10<sup>-8</sup> S/cm sampai 10<sup>3</sup> S/cm.<sup>5</sup>

Dari data yang diperoleh dapat dikatakan bahwa film yang dibuat pada penelitian ini merupakan material semikonduktor karena nilai konduktivitas listriknya ada dalam rentang nilai konduktivitas listrik semikonduktor. Dari gambar terlihat bahwa konduktivitas listrik film BST pada orde mikro S/cm atau 10<sup>-6</sup> S/cm.



Gambar 2 Hubungan frekuensi dengan konduktivitas listrik film

### Konstanta Dielektrik

Suatu material non-konduktor, seperti kaca, kertas atau kayu disebut dielektrik. Ketika suatu dielektrik diletakkan diantara keping-keping kapasitor, medan listrik dari kapasitor mempolarisasikan molekul-molekul dielektrik. Hasilnya adalah terdapat suatu muatan terikat pada permukaan dielektrik yang menghasilkan medan listrik berlawanan dengan medan listrik luar.

Kemampuan material untuk polarisasi dinyatakan sebagai permitivitas ( $\epsilon$ ), dan permitivitas relatif ( $\kappa$ ) adalah rasio antara permitivitas material ( $\epsilon$ ) dengan permitivitas vakum ( $\epsilon_0$ ). Nilai konstanta dielektrik merupakan gambaran dimana material tersebut dapat menyimpan muatan listrik seiring dengan salah satu fungsi kapasitor sebagai penyimpan muatan.

Perhitungan konstanta dielektrik film berdasarkan data kapasitansi film melalui pengujian listrik. Besar konstanta dielektrik sebanding dengan nilai kapasitansinya, seperti pada Persamaan 4.2:

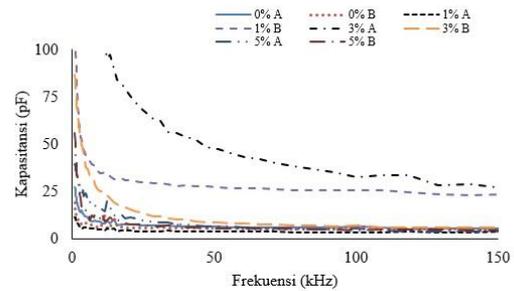
$$\epsilon = C_{BST} \cdot d / (\epsilon_0 \cdot A_{kontak}) \quad (4.2)$$

Keterangan:  $\epsilon$  adalah konstanta dielektrik material,  $C$  adalah kapasitansi (F),  $d$  adalah ketebalan film,  $\epsilon_0$  adalah permitivitas vakum,  $A$  adalah luas kontak aluminium.

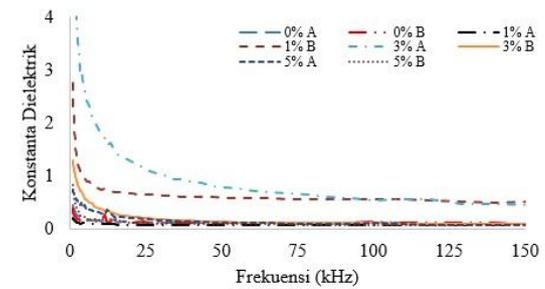
Metode Volumetrik yang digunakan untuk mengitung ketebalan film sangat penting dalam perhitungan konstanta dielektrik film. Sifat kapasitor pada film muncul akibat adanya *p-n junction* antara substrat silikon dan BST. Gambar 3 menunjukkan besar frekuensi terhadap nilai kapasitansi film. Film yang bertipe-p memiliki muatan positif bebas yaitu *hole* sedangkan substrat silikon yang bertipe-n memiliki muatan negatif bebas yaitu elektron. Pada persambungan terjadi proses difusi yang mengakibatkan adanya rekombinasi, yakni penggabungan elektron dan *hole* lalu hilang. Sehingga pada persambungan tidak ada lagi muatan bebas dan tersisa ion-ion statik, yaitu ion-ion dari atom donor dan akseptor. Daerah persambungan seperti ini disebut lapisan deplesi, karena mengandung muatan positif statik pada satu sisi dan pada sisi lain terdapat muatan negatif, maka timbul medan listrik pada daerah deplesi tersebut.

Kapasitansi mempengaruhi nilai dielektrik. Nilai kapasitansi yang meningkat akan meningkatkan nilai dielektriknya, begitu pula sebaliknya seperti pada Gambar 4. Data dianalisis pada rentang 1 kHz hingga 150 kHz.<sup>15</sup>

Nilai konstanta dielektrik film BST pada Gambar 4 terlihat bahwa nilai tertinggi dimiliki sampel 3% A dan 1% B dengan nilai di atas 1. Sampel-sampel lain memiliki konstanta dielektrik dibawah 1. Hal ini menunjukkan perlakuan pendadahan  $\text{La}_2\text{O}_3$  dengan jumlah pendadah yang tepat dan tidak berlebih pada film akan meningkatkan nilai kapasitansi dan konstanta dielektriknya.



Gambar 3 Hubungan frekuensi dengan kapasitansi film



Gambar 4 Hubungan frekuensi dengan konstanta dielektrik film

### 4. Kesimpulan

Film BST telah berhasil dibuat dengan waktu *annealing* 15 jam pada suhu 850 °C dengan variasi pendadahan  $\text{La}_2\text{O}_3$  0%, 1%, 3%, dan 5%. Pengujian struktur kristal berupa karakterisasi XRD disimpulkan film yang ditumbuhkan membentuk kristal yang memiliki puncak-puncak difraksi dan berstruktur pseudo tetragonal dengan parameter kisi a untuk 0%, 1%, 3%, dan 5% berturut-turut sebesar 4.589 Å, 4.740 Å, 4.755 Å, dan 4.938 Å. Sedangkan parameter kisi c berturut-turut 4.001 Å, 4.075 Å, 4.112 Å, dan 4.304 Å. Pendadahan meningkatkan intensitas difraksi pada film. Ketebalan film BST ada pada rentang 0.5 µm sampai 0.8 µm.

Hasil karakterisasi sifat listrik menunjukkan bahwa film yang telah dibuat memiliki konduktivitas listrik yang berada pada orde  $10^{-6}$  S/cm sehingga termasuk material semikonduktor yang memiliki kemampuan menyimpan muatan seperti halnya kapasitor. Sampel 3% A dan 1% B memiliki nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik lebih tinggi dibanding variasi lain. Variasi pendadahan  $\text{La}_2\text{O}_3$  pada film meningkatkan nilai konduktivitas listrik, kapasitansi, dan konstanta dielektrik suatu material dengan jumlah pendadahan yang tepat dan tidak berlebih.

### Daftar Acuan

#### Jurnal

- [1] N. Nurhadi, A. Jamaluddin, dan Y. Iriani, Pengaruh variasi dadah lantanum pada barium

titanat ( $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ ) terhadap struktur mikro dan sifat ferroelektrik, Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika. Vol. 1, No. 2 (2013).

- [2] H. Darmasetiawan, Irzaman, M.N. Indro, S.G. Sukaryo, M. Hikam, N.B. Peng, Optical properties of crystalline  $Ta_2O_3$  thin film, *Physica Status Solidi Germany*. 193 (2002), p. 54-60.
- [3] A.W. Nuayi, Husin Alatas, Irzaman, M. Rahmat, Enhancement of photon absorption on  $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$  thin film semiconductor using photonic crystal, *International Journal of Optics* (2014).

#### Prosiding

- [4] H. Syafutra, Irzaman, I.D.M. Subarata, Integrated visible light sensor based on thin film ferroelectric material BST to microcontroller ATmega6535, The International Conference on Material Science and Technology BATAN. 1 (2010), p. 291-296.
- [5] Irzaman, H. Syafutra, A. Arif, H. Alatas, M.N. Hilaluddin, A. Kurniawan, J. Iskandar, M. Dahrul, A. Ismangil, D. Yosman, Aminullah, L.B. Prasetyo, A. Yusuf, T.M. Kadri, Formation of solar cells based on  $Ba_{0.55}Sr_{0.45}TiO_3$  (BST) ferroelectric thick film, *AIP Proceedings*, 1586 (2014), p. 24-34.

#### Jurnal

- [6] R. Siskandar, Irmansyah, Irzaman, Sensor suhu berbasis bahan ferroelektrik film  $Ba_{0.55}Sr_{0.45}TiO_3$  (BST) berbantuan mikrokontroler ATmega8535, *Jurnal Biofisika*. 9 (2013), p. 1-12.
- [7] F. Umar, Teknologi proses produksi sensor cahaya untuk pengembangan robotik berbasis teknologi lapisan tipis bahan ferroelektrik barium stronsium titanat ( $Ba_{0.55}Sr_{0.45}TiO_3$ ), *Jurnal Media Elektro*. 1 (2013).

#### Prosiding

- [8] F. Umar, A.W. Nuayi, R. Siskandar, H. Syafutra, H. Alatas, Irzaman, Uji sifat optik pada film  $Ba_{0.55}Sr_{0.45}TiO_3$ . Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains (SNIPS), Bandung (2013).
- [9] F. Umar, A.W. Nuayi, R. Siskandar, H. Syafutra, H. Alatas, Irzaman, Analisis struktur kristal pada lapisan tipis  $Ba_{0.55}Sr_{0.45}TiO_3$ . Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains (SNIPS), Bandung (2013).
- [10] H. Akbar, Maimuna, Nurhasanah, Hisyam, Analisis energi gap pada film  $Ba_{0.55}Sr_{0.45}TiO_3$  di atas substrat silikon (100) tipe-p. Prosiding Semirata FMIPA IPB, Bogor (2014).

#### Jurnal

- [11] Irzaman, H. Syafutra, E. Racansa, A.W. Nuayi, Tb. Gamma, N. Aisyah, I. Supu, Sugianto, F. Tumimor, Surianty, O.

Muzikarno, Masrur, The effect of Ba/Sr ratio on electrical and optical properties of  $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$  ( $x = 0.25; 0.35; 0.45; 0.55$ ) thin film semiconductor, *Journal Ferroelectrics*. 445 (2013), p. 4-17.

- [12] H. Syafutra, Irzaman, I.D.M. Subarata, Development of luxmeter based on BST ferroelectric material. The 4th Asian Physics Symposium, American Institut of Physics (AIP), 1325 (2010), p. 75-78.
- [13] M. Dahrul, H. Syafutra, A. Arif, Irzaman, M. N. Indro, Siswadi, Synthetis and characterization photodiode thin film barium strontium titanat (BST) doped niobium and iron as light sensor. The 4th Asian Physics Symposium, American Institut of Physics (AIP), 1325 (2010), p. 43-46.
- [14] Irzaman, H. Darmasetiawan, H. Hardhienata, M. Hikam, P. Arifin, S.N. Jusoh, S. Talking, Z. Jamal, M.A. Idris, Surface roughness and grain size characterization of annealing temperature effect for growth galium and tantalum doped  $Ba_{0.55}Sr_{0.45}TiO_3$  thin film, *Jurnal Atom Indonesia*, 35 (2009), p. 57-62.
- [15] Irzaman, Y. Darvina, A. Fuad, P. Arifin, M. Budiman, M. Barmawi, Physical and pyroelectric properties of tantalum oxide doped lead zirconium titanate [ $Pb_{0.9950}(Zr_{0.525}Ti_{0.465}Ta_{0.010})O_3$ ] thin films and its application for IR sensor, *Physica Status Solidi Germany*. 199 (2003), p. 416-426.
- [16] M.N. Indro, B. Sastri, L. Nady, E. Ridwan, H. Syafutra, Irzaman, Siswadi, Uji sifat listrik film  $LiTaO_3$  dan  $LiTaFe_2O_3$ , *Berkala Fisika*. 13 (2010), p. C5-C12.
- [17] Irzaman, R. Erviansyah, H. Syafutra, A. Maddu, Siswadi, Studi konduktivitas listrik film  $Ba_{0.25}Sr_{0.75}TiO_3$  yang didadah ferium oksida (BFST) menggunakan metode chemical solution deposition, *Berkala Fisika*. 13 (2010), p. 33-38.
- [18] Irzaman, H. Syafutra, H. Darmasetiawan, H. Hardhienata, R. Erviansyah, F. Huriawati, A. Maddu, M. Hikam, P. Arifin, Electrical properties of photodiode  $Ba_{0.25}Sr_{0.75}TiO_3$  (BST) thin film doped with ferric oxide on p-type Si (100) substrate using chemical solution deposition method, *Journal Atom Indonesia*. 37 (2011), p. 133-138.