

BAB I PENDAHULUAN

Film tipis ferroelektrik banyak digunakan dalam aplikasi untuk piranti elektrooptik dan elektronik. Beberapa material film tipis ferroelektrik yang penting antara lain BaSrTiO_3 , PbTiO_3 , $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$, SrBiTaO_3 , $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ dan $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$. Aplikasi-aplikasi film tipis ferroelektrik menggunakan sifat dielektrik, pyroelektrik, dan elektrooptik yang khas dari bahan ferroelektrik. Sebagian dari aplikasi elektronik yang paling utama dari film tipis ferroelektrik di antaranya: *non-volatile* memori yang menggunakan kemampuan polarisasi (*polarizability*) yang tinggi, kapasitor film tipis yang menggunakan sifat dielektrik, dan sensor pyroelektrik yang menggunakan perubahan konstanta dielektrik karena suhu dan aktuator piezoelektrik yang menggunakan efek piezoelektrik yang tersusun perovskite banyak mendapat perhatian karena memiliki kemungkinan untuk menggantikan memori berbasis material SiO_2 yang sekarang digunakan sebagai *Ferroelectric Random Acces Memory* (FRAM) [1].

Di antara material film tipis ferroelektrik yang disebutkan di atas, $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$ (BST) banyak digunakan sebagai FRAM karena memiliki konstanta dielektrik yang tinggi dan kapasitas penyimpanan muatan yang tinggi (*high charge storage capacity*) [1]. Suatu ferroelektrik RAM, jika bahan itu memiliki nilai polarisasi sekitar $10\mu\text{C}\cdot\text{cm}^{-2}$ maka ia mampu menghasilkan muatan sebanyak 10^{14} elektron per cm^{-2} untuk proses pembacaan memori [2]. BST juga dipilih karena pembuatannya dapat dilakukan di laboratoruim dengan peralatan yang sederhana dan belum ada kelompok yang meneliti bahan BST dengan didadah seperti pada penelitian ini secara sistematis.

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan film tipis BST yang didadah dengan galium oksida (Ga_2O_3) dengan metode *chemical solution deposition* (CSD) yang kemudian diuji sifat fotovoltaiik dan karakterisasi awal sifat sel suryanya.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menguji dan mempelajari sifat fotovoltaiik film tipis, melakukan penumbuhan film tipis dari bahan $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ yang didadah galium (BGST) di atas substrat Si (100) tipe-*n* dengan metode *chemical solution deposition*

(CSD). Menganalisis karakterisasi sifat listrik dari film tipis, dan mempelajari karakteristik awal prototipe sel surya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

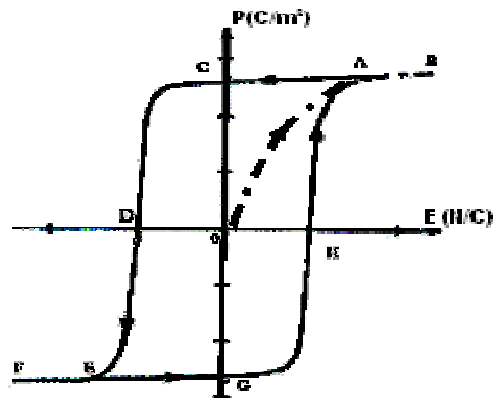
Bahan Ferroelektrik

Ferroelektrik adalah gejala terjadinya perubahan polarisasi listrik secara spontan pada material tanpa gangguan medan listrik dari luar [3].

Ferroelektrifitas merupakan fenomena yang ditunjukkan oleh kristal dengan suatu polarisasi spontan dan efek histerisis yang berkaitan dengan perubahan dielektrik dalam menanggapi penerapan medan listrik [4].

Ferroelektrik merupakan kelompok material dielektrik dengan polarisasi listrik internal yang lebar P (C/m^2) yang dapat diubah dengan menggunakan medan listrik yang sesuai. Material ferroelektrik dicirikan oleh kemampuan untuk membentuk kurva histerisis yaitu kurva yang menghubungkan antara medan listrik dan polarisasi [5].

Kurva hubungan antara polarisasi listrik (P) dan kuat medan listrik (E) ditunjukkan pada gambar 2.1. Ketika kuat medan listrik ditingkatkan maka polarisasi meningkat cepat (OA) hingga material akan mengalami kondisi saturasi (AB). Jika kuat medan diturunkan, polarisasinya tidak kembali lagi ketitik O, melainkan mengikuti garis BC. Ketika medan listrik tereduksi menjadi nol, material akan memiliki polarisasi remanan (P_r) (OC). Nilai remanensi merupakan nilai rapat fluks magnetik yang tersisa di dalam bahan setelah medan jenuh diturunkan menjadi nol dan merupakan ukuran kecenderungan pola domain magnet untuk tetap menyimpang, walaupun medan penyimpang telah dihilangkan. Nilai polarisasi dari material dapat dihilangkan dengan menggunakan sejumlah medan listrik pada arah yang berlawanan (negatif). Harga dari medan listrik untuk mereduksi nilai polarisasi menjadi nol disebut medan koersif (E_c). Jika medan listrik kemudian dinaikkan kembali, material akan kembali mengalami saturasi, hanya saja bernilai negatif (EF). Putaran kurva akan lengkap jika, medan listrik dinaikkan lagi dan pada akhirnya akan didapatkan kurva hubungan polarisasi (P) dengan medan koersif (E_c) yang ditunjukkan loop histerisis [5].



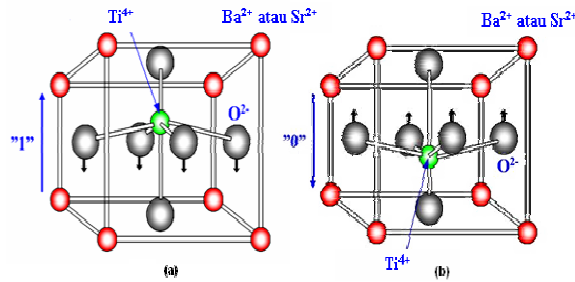
Gambar 2.1 Kurva histerisis

Bahan Barium Stronsium Titanat (BST)

Film tipis $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$ (BST) merupakan material ferroelektrik yang banyak diaplikasikan menjadi sebuah piranti karena variasi karakteristik yang dimilikinya. Antara lain aplikasi FRAM karena memiliki konstanta dielektrik dan kapasitas penyimpanan muatan yang tinggi (*high charge storage capacity*) [1], aplikasi *Dynamic Random Acces Memory* (DRAM) dan *Non-Volatile Random Acces Memory* (NVRAM) karena kebocoran arus yang rendah (*low leakage current*) [6].

Beberapa penelitian juga berpendapat kalau BST memiliki potensi untuk mengganti lapisan tipis SiO_2 pada sirkuit *metal oxide semiconductor* (MOS) di masa depan. Namun konstanta dielektrik yang dimiliki lapisan tipis BST jauh lebih rendah dibandingkan dengan bentuk *bulknya* hal ini berkaitan dengan struktur mikro butir yang baik, tingkat tekanan yang tinggi, kekosongan oksigen, formasi lapisan *interfacial*, dan oksidasi pada *bottom electrode* atau Si [7].

Struktur BST dapat dilihat pada gambar 2.2.



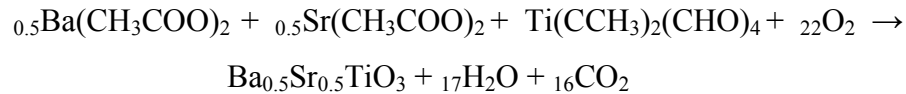
Gambar 2.2. Struktur $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$

(a) Polarisasi ke atas

(b) Polarisasi kebawah.

Ion barium (Ba^{2+}) terletak di ujung rusuk kubus, ion titanium (Ti^{4+}) terletak pada diagonal ruang sedangkan ion oksigen terletak pada diagonal bidang unit sel yang berbentuk kubus. Film tipis BST dapat dibuat dengan berbagai teknik diantaranya proses sol gel [6], *chemical solution deposition*, *sputtering*, laser ablasi, dan *metal oxide chemical vapour deposition* [8].

Berikut Persamaan reaksi barium stronsium titanat (BST).



Bahan Pendadah Galium

Bahan pendadah material ferroelektrik dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *soft dopant* dan *hard dopant*. Ion *soft dopant* dapat menghasilkan material ferroelektrik menjadi lebih *softer*, seperti koefisien elastis lebih tinggi, sifat medan koersif, kualitas listrik, dan faktor kualitas mekanik yang lebih rendah. *Soft dopant* disebut juga dengan istilah *donor dopant* karena menyumbang valensi yang berlebih pada struktur kristal BST [5,9].

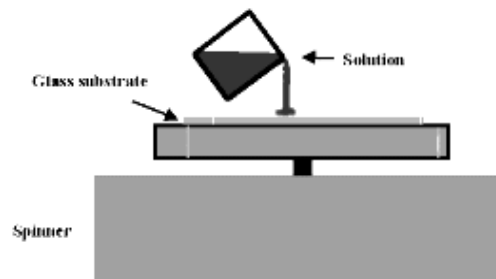
Ion *hard dopant* dapat menghasilkan material ferroelektrik menjadi lebih *hardness*, seperti *loss dielectric* yang rendah, *bulk resistivitas* lebih rendah, sifat medan

koersif lebih tinggi, faktor kualitas mekanik lebih tinggi dan faktor kualitas listrik lebih tinggi.

Galium merupakan bahan pendadah jenis *hard dopant* yang akan menghasilkan film tipis bertipe-*p*. Atom galium merupakan atom yang hanya memiliki tiga elektron dalam kulit terluarnya yang berkonfigurasi $(Ne) 3d^{10} 4s^2 4p^1$, kehadirannya menimbulkan kekosongan yang disebut juga *hole* dalam struktur elektron kristal itu. Kestabilan galium dicapai dengan menerima valensi yang berlebihan dalam struktur kristal BST, hal ini disebut dengan istilah *acceptor dopant* atau disebut juga sebagai *hard dopant*[10].

Metode *Chemical Solution Deposition*

Alat *spin coating* digambarkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Alat *spin coating*

Metode *Chemical Solution Deposition* (CSD) merupakan cara pembuatan film tipis dengan pendeposisian larutan bahan kimia di atas substrat, kemudian dipreparasi dengan *spin coating* pada kecepatan putar tertentu [11].

Proses *spin coating* dapat dipahami dengan perilaku aliran larutan pada piringan substrat yang berputar. Mula-mula aliran volumetrik cairan dengan arah radial pada substrat diasumsikan bervariasi terhadap waktu. Pada saat $t = 0$, penggenangan awal dan pembasahan menyeluruh pada permukaan substrat (tegangan permukaan diminimalisasi yakni tidak ada getaran, tidak ada noda kering dan sebagainya). Piringan lalu dipercepat dengan kecepatan rotasi yang spesifik, menyebabkan *bulk* dari cairan terdistribusi merata [12].

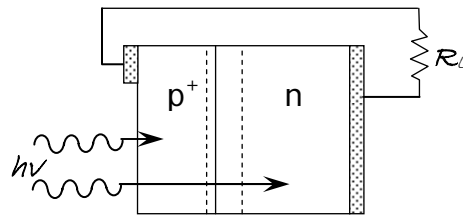
Efek Fotovoltaik

Tabel 2.1. Variasi efek pada material ferroelektrik [9]

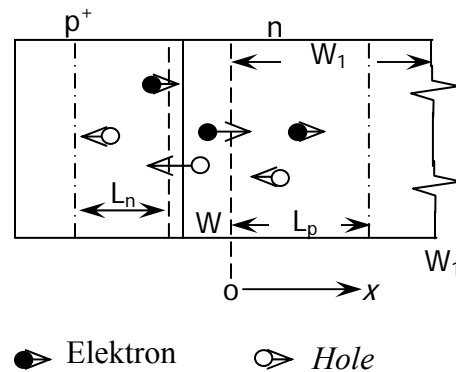
OUTPUT INPUT	MUATAN ARUS	SIFAT MAGNET	REGANGAN	TEMPERATUR	CAHAYA
MEDAN LISTRIK	Permitivitas Konduktivitas	Efek Listrik-Magnet	Efek Kebalikan Piezoelektrik	Efek Listrik-Kalori	Efek Listrik- Optik
MEDAN MAGNET	Efek Magnet-Listrik	Permeabilitas	Magnet- regangan	Efek Magnet-Kalori	Efek Magnet- Optik
TEGANGAN	Efek Piezoelektrik	Efek Piezomagnetik	Konstanta Elastis	---	Efek Fotoelastik
PANAS	Efek Pyroelektrik	---	Ekspansi Termal	Kalor Spesifik	---
CAHAYA	Efek Fotovoltaik	---	Foto-regangan	---	Indeks Refraksi

Efek fotovoltaik, yaitu konversi energi cahaya menjadi energi listrik secara langsung [13]. Fenomena ini terjadi pada piranti sel surya yang terdiri dari komponen dasar bahan semikonduktor. Hingga saat ini telah dikenal berbagai struktur sel surya yang memanfaatkan fenomena persambungan $p-n$ semikonduktor (lihat Tabel.2.1) [14].

Cahaya yang datang dengan panjang gelombang tertentu yang mengenai daerah persambungan $p-n$ sel surya pada gambar 2.4 menyebabkan absorpsi foton oleh bahan semionduktor, dan pasangan elektron-*hole* dihasilkan oleh sisi- n dan sisi- p dari persambungan. Cahaya ini juga menyebabkan masing-masing pembawa muatan minoritas yakni elektron dan *hole* berdifusi melewati daerah p (L_p) dan daerah n (L_n) hingga batas persambungan daerah deplesi (W) dan memungkinkan untuk melewati daerah ini akibat adanya medan listrik (Gambar 2.5). Dengan demikian, *hole* dan elektron masing-masing terlokalisasi pada sisi- p dan sisi- n . Lokalisasi dari muatan tersebut menimbulkan arus listrik (*photocurrent*) melewati hambatan yang terhubung dengan sel [15].



Gambar 2.4. Absorpsi cahaya oleh sel surya



Gambar 2.5. Difusi elektron dan *hole* untuk memproduksi arus (*photocurrent*) [15]

Keterangan

Aktuator

Sensor

Coupling diagonal Off-Diagonal Coupling

Resistansi dan Konduktivitas Listrik

Arus I akan mengalir dalam konduktor logam bila terdapat perbedaan potensial V pada kedua ujungnya, dalam suatu daerah yang cukup lebar, berbanding lurus dengan V . Hubungan empiris ini disebut hukum Ohm yang dinyatakan dalam persamaan 2.1 [10] :

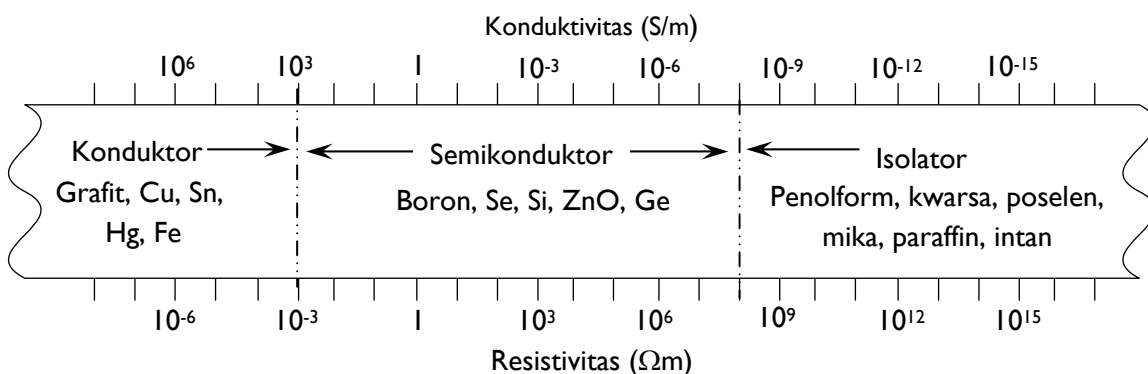
$$I = \frac{V}{R} \quad (2.1)$$

Dengan R menyatakan resistansi (hambatan) konduktor yang bergantung dari ukuran, komposisi, dan temperaturnya, tetapi tidak bergantung dari V .

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.2)$$

Persamaan 2.2 menunjukkan bahwa R suatu konduktor harus berbanding lurus dengan panjangnya L dan berbanding terbalik dengan luas penampang A . Kuantitas ρ kurang dalam persamaan 2.2 dikenal dengan resistivitas dari logam dan konstan untuk suatu logam tertentu pada temperatur tertentu. Kebalikan resistivitas disebut konduktivitas [16]. Secara matematis dapat dituliskan dalam persamaan 2.3

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (2.3)$$



Gambar 2.6. Spektrum konduktivitas listrik (dan resistivitas) [17]

Konduktivitas listrik adalah kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik [16]. Persamaan 2.4 merupakan hubungan konduktivitas listrik dan resistansi :

$$R = \frac{L}{\sigma A} \quad (2.4)$$

Berbagai material alami maupun buatan yang terdapat di alam dapat diklasifikasikan menjadi konduktor, semikonduktor, dan isolator. Logam merupakan konduktor yang baik namun isolator memiliki resistivitas yang tinggi [15]. Variasi skala dari material dalam ditunjukkan pada gambar 2.6. Pada skala ini, material semikonduktor memiliki range konduktivitas listrik 10^{-8} hingga 10^3 S/m [17].

Karakterisasi Arus dan Tegangan Sel Surya

Karakteristik sel surya ditentukan beberapa faktor diantaranya efisiensi konversi sel surya (η) dan stabilitas dari sel surya tersebut. Efisiensi konversi sel surya merupakan

aspek yang menjadi perhatian utama dalam sel surya. Hal ini dapat ditunjukkan melalui kuantitas arus dan tegangan [14].

Hubungan arus dan tegangan sel surya $p-n$ dalam semikonduktor dalam keadaan tanpa cahaya, sama dengan karakteristik arus tegangan sebuah diode ideal yang dapat dinyatakan dalam persamaan 2.5.

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2.5)$$

dimana q adalah elemen muatan, k adalah konstanta Boltzmann ($k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K), T adalah temperatur mutlak dan I adalah arus jenuh (saturasi) dari persambungan.

Saat sel surya terkena cahaya, maka akan dihasilkan arus foto (*photocurrent*) yang terjadi karena pembangkitan elektron oleh cahaya dengan energi tertentu. Sehingga persamaan 2.5 dapat ditulis menjadi

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] - I_{ph} \quad (2.6)$$

dengan I_{ph} adalah arus foto. I_0 adalah arus saturasi pada kesetimbangan, V adalah tegangan bias dan n adalah faktor dioda karena adanya penyimpangan dari dioda ideal. Bila $I_{ph} \gg I_0$, maka persamaan 2.6 dapat disederhanakan menjadi :

$$I \approx I_0 e^{(-qV/nkT)} - I_{ph} \quad (2.7)$$

Arus Sirkuit Singkat (I_{sc})

Arus sirkuit singkat (I_{sc}) merupakan arus maksimum yang dicapai jika sel surya dihubungkan singkat dimana tidak ada potensial yang melintasi sel. Arus tersebut sama dengan jumlah absolut dari foton yang dikonversikan menjadi pasangan *electron-hole* [18].

Potensial Sirkuit Terbuka (V_{oc})

Potensial sirkuit terbuka (V_{oc}) merupakan potensial maksimum yang dicapai ketika hambatannya maksimum agar pengabaian arus yang mengalir dari sel surya dapat terjadi dan yang terbaca hanya perbedaan potensialnya saja [18].

Fill Factor

Fill factor didefinisikan sebagai luasan efektif yang didapatkan dari kurva hubungan antara tegangan terhadap arus sel surya [14].

Nilai *fill factor* merupakan perbandingan dari daya keluaran yang optimal, P_{max} dengan perkalian V_{oc} dan I_{sc} , [14]

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} \quad (2.8)$$

Efisiensi Konversi (η)

Efisiensi sel surya merupakan kemampuan piranti sel surya untuk mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik dalam bentuk arus dan tegangan listrik. Efisiensi konversi ini bergantung pada sifat absorbansi bahan semikonduktor pada sel surya terhadap foton yang diserapnya [19].

Nilai efisiensi sel surya adalah perbandingan dari output listrik fotovoltaik tergenerasi dan energi dari cahaya yang masuk.

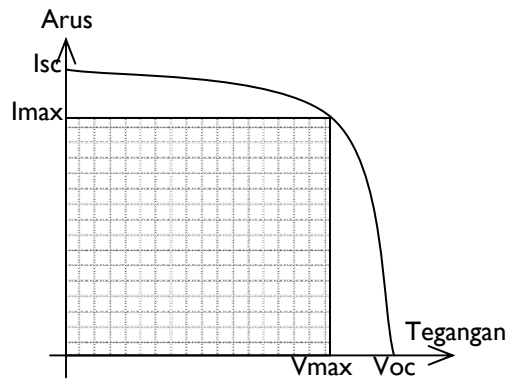
Efisiensi konversi energi sebuah sel surya ditulis dalam persamaan 2.9:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100 \% \quad (2.9)$$

Dengan P_{max} merupakan daya maksimum yang dihasilkan, dirumuskan dalam persamaan 2.10:

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (2.10)$$

Penentuan V_{max} dan I_{max} dapat diperoleh seperti gambar 2.7.



Gambar 2.7. Penentuan arus maksimum (I_{max}), tegangan maksimum (V_{max}), dan daya maksimum (P_{max}) [19]

BAB III BAHAN DAN METODE

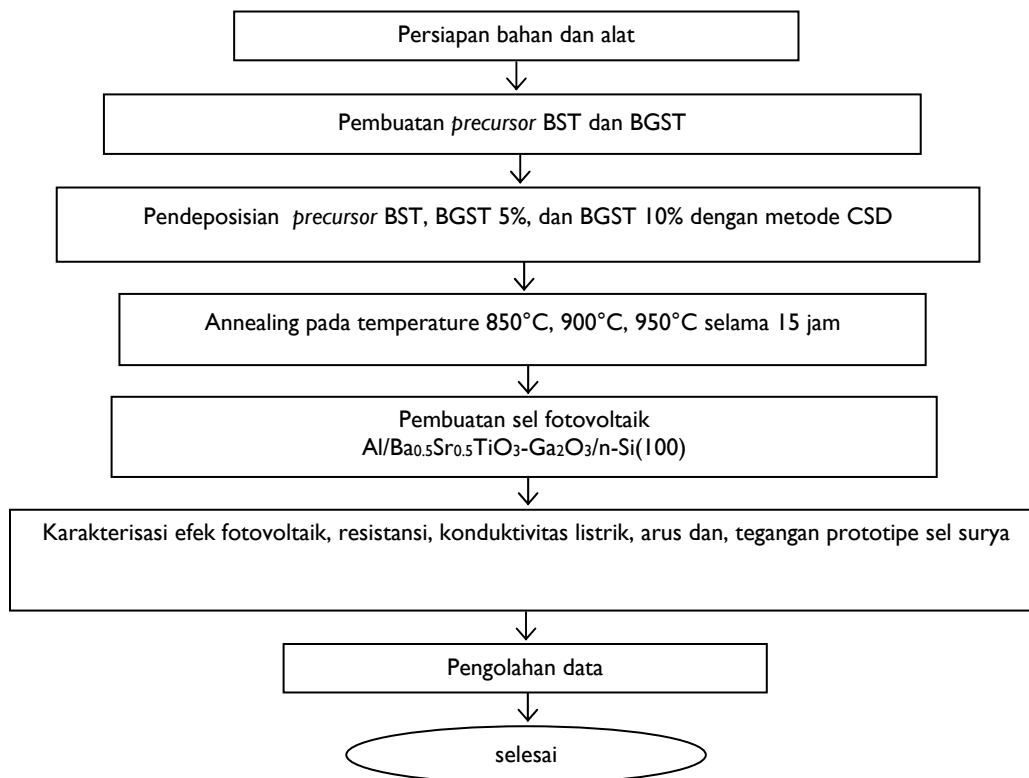
Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material Departemen Fisika IPB Bogor dan Laboratorium Material JPTM UPI dari bulan Januari hingga bulan Oktober 2007

Bahan dan Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah neraca analitik, *spin coating*, mortar, pipet, gelas ukur Iwaki 10 ml, pemanas, pinset, gunting, spatula, *stop watch*, tabung reaksi, sarung tangan karet, cawan petritis, isolasi, dan *blower* PT310AC, potensiometer $1M\Omega$, resistor $1K\Omega$, $10K\Omega$, $100K\Omega$, IC Op Amp 741, kawat atau kabel.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bubuk barium asetat [$Ba(CH_3COO)_2$, 99%], stronsium asetat [$Sr(CH_3COOH)_2$, 99%], titanium isopropoksida [$Ti(C_{12}O_4H_{28})$, 99%], galium oksida, pelarut 2-metoksietanol [$H_3COCH_2CH_2OH$, 99%], dan substrat Si (100) tipe-*n*. Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir penelitian.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

Persiapan Substrat

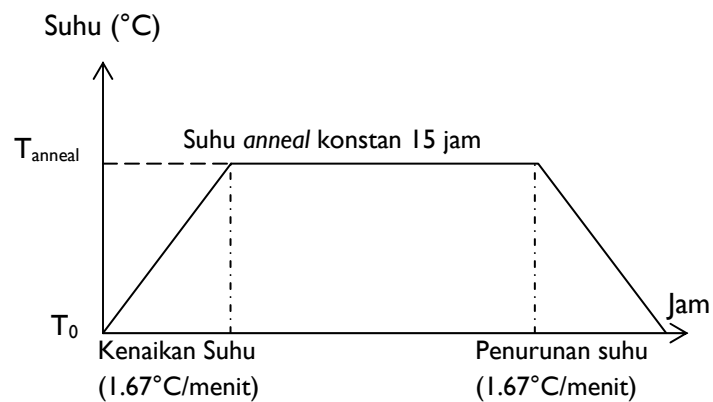
Substrat yang digunakan adalah substrat Si (100) tipe-*n*. Substrat dipotong membentuk segi empat dengan ukuran 2 cm x 2 cm. Lalu substrat-substrat tersebut dicuci. Kebersihan substrat sebagai tempat penumbuhan film tipis perlu dijaga agar film tipis dapat tumbuh dengan baik dan merata. Tahapan pencucian substrat Si (100) tipe-*n* diawali dengan mencelupkan substrat Si(100) tipe-*n* dalam larutan aseton. Setelah itu substrat dicuci lagi dengan menggunakan larutan etanol. Kemudian substrat dibersihkan dengan aquades atau *dye water* selama 1 menit. Setelah proses pencucian, dilakukan pengeringan substrat dengan *blower* hingga tidak terdapat debu maupun noda pada permukaannya.

Pembuatan Larutan BST dan BGST

Film tipis BaSrTiO₃ yang ditumbuhkan di atas substrat dengan metode CSD dibuat dengan menggunakan barium asetat [Ba(CH₃COO)₂, 99%] + stronsium asetat [Sr(CH₃COO)₂, 99%] + titanium isopropoksida [Ti(C₁₂O₄H₂₈), 99%] + bahan pendadah Ga₂O₃ sebagai *precursor* dan 2-metoksietanol [H₃COOCH₂CH₂OH, 99%] digunakan sebagai bahan pelarut. Setelah bahan-bahan dicampur, larutan dikocok selama 1 jam. Larutan atau *precursor* yang didapat kemudian dipanaskan agar bahan-bahannya lebih banyak tercampur. Setelah itu larutan disaring untuk mendapatkan larutan yang bersifat homogen.

Proses Penumbuhan Film Tipis

Substrat Si(100) tipe-*n* yang telah dibersihkan diletakan di atas piringan reaktor *spin coating* yang telah di tempel dengan isolasi ditengahnya, lalu substrat ditetesi larutan BST sebanyak 2 tetes. Kemudian dilakukan pemutaran reaktor *spin coating* yang diset 3000 rpm selama 30 detik. Proses penetesan dilakukan sebanyak 5 kali agar didapat 5 lapisan pada substrat. Setelah itu substrat diambil dengan menggunakan pinset dan selanjutnya dipanaskan di atas setrika selama 1 jam. Tahapan penumbuhan film tipis selanjutnya adalah *annealing* dengan menggunakan *furnace* model Vulcan 3-310.

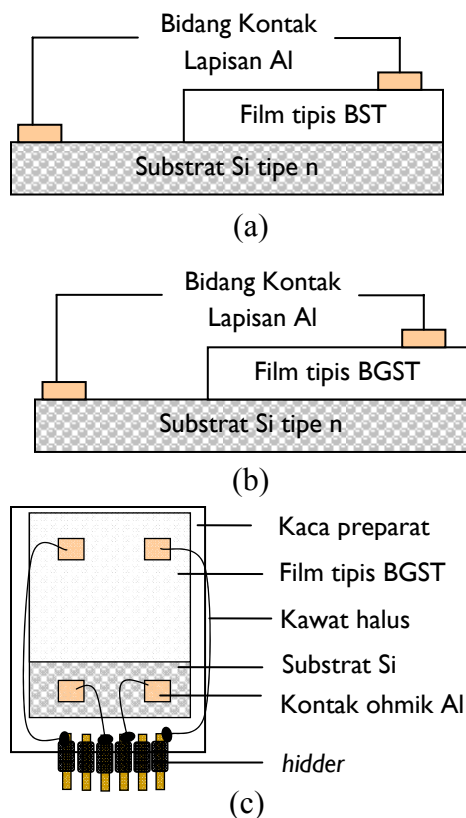


Gambar 3.2. Proses *annealing*

Proses *annealing* dilakukan secara bertahap. Pemanasan dimulai dari suhu ruang kemudian dinaikkan hingga suhu *annealing* yang diinginkan dengan kenaikan suhu pemanasan yang disesuaikan ($1.67^{\circ}\text{C}/\text{menit}$) setelah didapatkan suhu 850°C , 900°C , dan 950°C kemudian suhu pemanasan tersebut ditahan konstan hingga 15 jam. Selanjutnya dilakukan *furnace cooling* sampai didapatkan kembali suhu ruang. Proses *annealing* dapat ditunjukkan seperti terlihat pada gambar 3.2

Pembuatan Sel Fotovoltaik

Setelah melakukan proses *annealing* pada prototipe sel fotovoltaik, selanjutnya dilakukan pembuatan kontak ohmik yang berbahan aluminium dengan cara evaporasi di atas permukaan substrat Si tipe-*n* ($\text{Al}/\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3/n\text{-Si}$) dan film tipis BST dan BGST. Setelah itu setiap kontak ohmik yang dibuat dihubungkan dengan *holder* menggunakan kawat halus. Prototipe fotovoltaik dapat dilihat pada gambar 3.3.

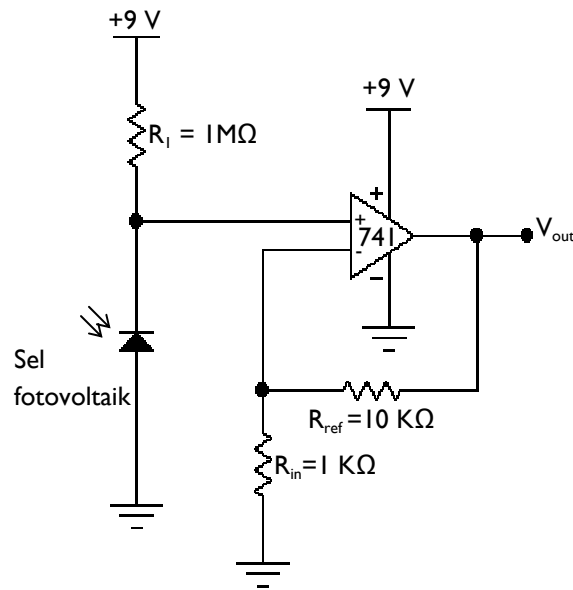


Gambar 3.3. Prototipe sel fotovoltaik
 (a) $\text{Al}/\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3/n\text{-Si}$.
 (b) $\text{Al}/\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-Ga}_2\text{O}_3/n\text{-Si}$.
 (c) tampak atas

Karakterisasi Resistansi dan Konduktivitas Listrik Film Tipis BGST

Karakterisasi resistansi dan konduktivitas listrik dari film tipis BST dan BGST berstruktur metal-feroelektrik-metal dilakukan dengan menggunakan rangkaian aplikasi *Op Amp: resistance* [20] pada gambar 3.4. Pada karakterisasi tersebut digunakan variasi intensitas lampu yang menyinari prototipe sel surya dengan daya lampu 0 W (kondisi ruang gelap), 100 W, 400 W.

Fungsi karakterisasi ini adalah mengklasifikasikan jenis bahan dari film tipis yang digunakan dengan membandingkan gambar 2.6.



Gambar 3.4. Rangkaian karakterisasi resistansi dan konduktivitas listrik film tipis BGST[20]

Persamaan umum dari rangkaian *Op Amp* rumuskan dalam persamaan 3.1. Dimana R_{TF} merupakan nilai resistansi film tipis, V_{total} merupakan tegangan referensi yang digunakan, V_{TF} adalah tegangan output setelah dibagi dengan penguatan sinyal 11 kali dan R_I adalah hambatan yang digunakan dalam rangkaian

$$R_{TF} = \frac{V_{TF} \cdot R_1}{V_{Total} - V_{TF}} \quad (3.1)$$

Nilai R_{TF} yang diperoleh dapat dihubungkan dengan nilai konduktivitas listrik berdasarkan pada persamaan 2.4. Pada penelitian ini panjang film tipis $L = 4 \cdot 10^{-3}$ m. Penampang tetap film tipis $A = 1,35 \cdot 10^{-9}$ m² sedangkan tebal film tipis $0,675 \mu\text{m}$ [21].

Karakterisasi Efek Fotovoltaik

Karakterisasi ini bertujuan untuk menentukan hubungan antara besaran suhu *annealing* dan konsentrasi pendadah galium dengan tegangan dan arus yang dihasilkan oleh prototipe sel fotovoltaik. Dalam karakterisasi ini prototipe disinari dengan variasi daya lampu 0, 100, dan 400 watt kemudian kontak ohmik metal-ferroelektrik-

semikonduktor (MOS) dihubungkan dengan rangkaian aplikasi op amp: *current to voltage converter* [20] seperti pada gambar 3.5.

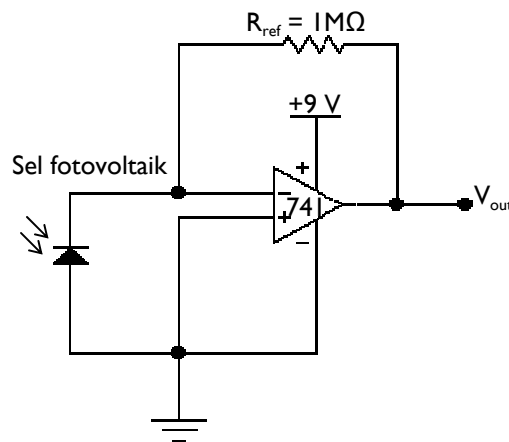
Besaran keluaran yang dihasilkan dari rangkaian tersebut merupakan besaran tegangan dimana tegangan ini dianggap sebagai tegangan keluaran film tipis. Hubungan tegangan dan arus yang dihasilkan oleh film tipis dapat dituliskan dalam persamaan 3.2 :

$$V_{out} = I_{TF} \cdot R_{ref} \quad (3.2)$$

Dimana $R_{ref} = 1 \text{ M}\Omega$, sehingga

$$V_{out} = I_{TF} \cdot 1 \text{ M}\Omega \quad (3.3)$$

Dimana V_{out} merupakan tegangan keluaran dari rangkaian *Op Amp* dan I_{TF} merupakan besarnya arus yang dihasilkan oleh prototipe sel fotovoltaik yang didapatkan secara perhitungan.

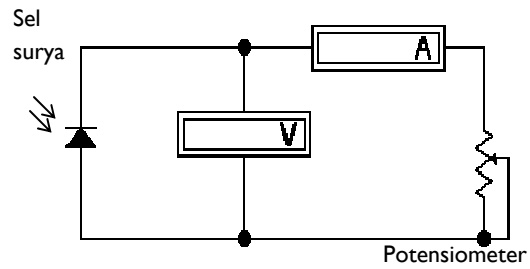


Gambar 3.5. Rangkaian karakterisasi efek Fotovoltaik [20]

Karakterisasi Arus dan Tegangan Prototipe Sel Surya

Gambar 3.6 adalah rangkaian pengukuran arus tegangan sel surya dimana sel surya tersebut dihubungkan dengan voltmeter (V), ampermeter (A), dan potensiometer. Sebuah sumber cahaya dengan intensitas 30 mW/cm^2 ditempatkan pada jarak tertentu dari prototipe sel surya sehingga cahaya mengenai seluruh permukaan sel surya. Posisi potensiometer mula-mula pada nilai minimum, kemudian dinaikan hingga mencapai titik maksimum. Nilai pembacaan masing-masing alat ukur dicatat pada setiap perubahan

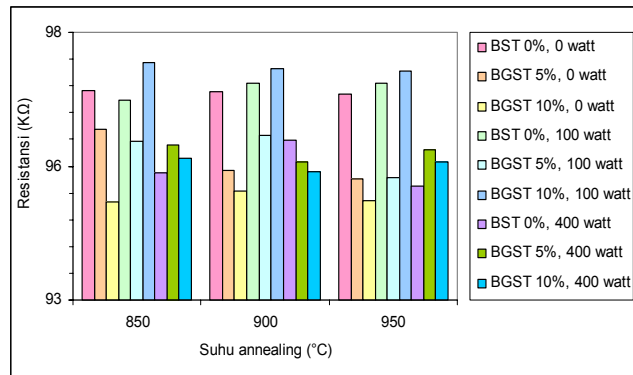
resistansi. Dari pengukuran ini diperoleh hubungan arus tegangan sehingga dapat ditentukan efisiensi konversi energi sel surya. Rangkaian pengukuran karakteristik I-V ditunjukkan pada gambar 3.6.



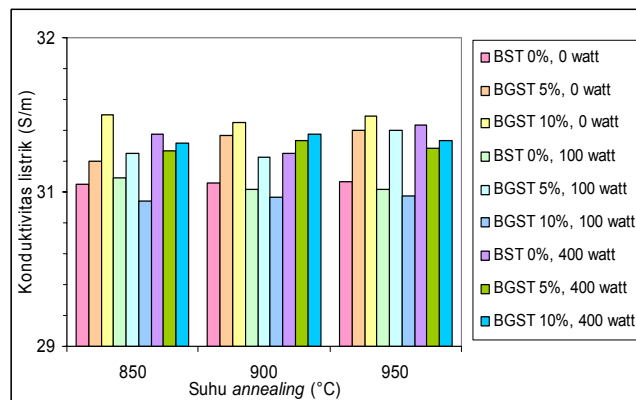
Gambar 3.6 Rangkaian pengukuran arus - tegangan sel surya [14]

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi Resistansi dan Konduktivitas Listrik



Gambar 4.1. Hasil pengukuran resistansi film tipis BST, BGST 5%, dan BGST 10% (MFM)



Gambar 4.2. Hasil pengukuran konduktivitas film tipis BST, BGST 5%, dan BGST 10% (MFM)

Pengukuran besaran resistansi film tipis BGST dilakukan dengan menyinari sel tersebut dengan variasi daya lampu 0, 100, dan 400 watt kemudian kontak ohmik alumunium yang terletak di atas BST maupun BGST 5% dan 10% dihubungkan dengan rangkaian aplikasi *Op Amp: resistance*.

Pada rangkaian aplikasi *Op Amp* tersebut digunakan hambatan referensi sebesar 10 K Ω dan hambatan input 1 K Ω . Hambatan yang digunakan tidak terlalu besar hal ini dilakukan guna mengurangi sinyal *noise* yang dapat mempengaruhi nilai keluaran yang

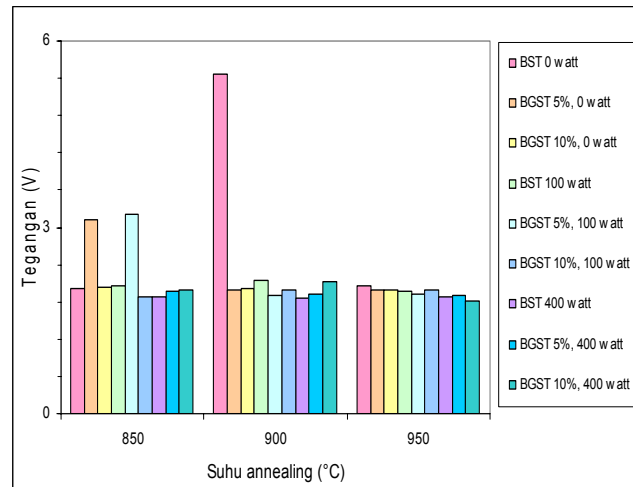
dihasilkan oleh rangkaian. Penguatan yang dihasilkan dari rangkaian tersebut sebesar 11 kali.

Berdasarkan gambar rangkaian 3.4 didapatkan bahwa sinyal keluaran yang dihasilkan dari rangkaian ini merupakan besaran tegangan namun melalui persamaan 3.1 dilakukan konversi dari tegangan menjadi resistansi dan berdasarkan persamaan 2.4 didapat konduktivitas listrik .

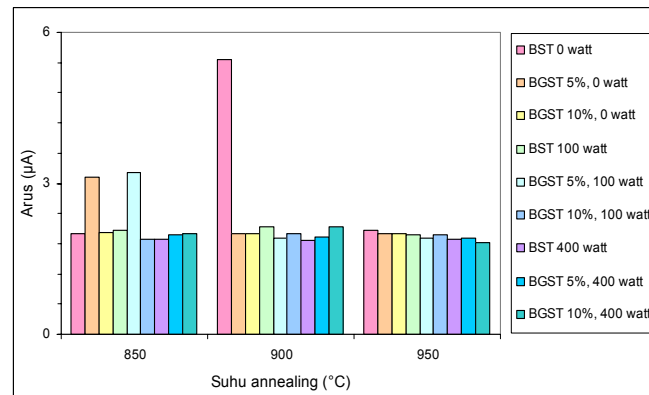
Gambar 4.1 dan 4.2. merupakan hasil pengukuran resistansi dan konduktivitas film tipis BST dan BGST berstruktur metal-ferroelektrik-metal. Pada gambar 4.2 didapatkan nilai konduktivitas dari film tipis BST dan BGST yang digunakan memiliki orde minimum 30,00 S/m sampai 31,25 S/m. Maka film yang digunakan merupakan bahan semikonduktor berdasarkan gambar 2.6. Data lengkap hasil pengukuran resistansi dan perhitungan konduktivitas listrik tertera dalam lampiran 1. Pada hasil tersebut dapat dilihat pengaruh konsentrasi bahan pendadah terhadap nilai resistansi film tipis. Ketika sel fotovoltaik pada kondisi penyinaran 0 watt tampak bahwa kenaikan konsentrasi pendadah Ga menurunkan nilai resistansi tetapi meningkatkan nilai konduktivitas listrik namun pada 100 watt dan 400 watt kenaikan konsentrasi pendadah Ga justru menaikkan nilai resistansi dan menurunkan konduktivitas listrik. Hal ini terjadi karena peningkatan konsentrasi pendadah menyebabkan peningkatan cacat kristal pada film tipis yang digunakan, dimana dengan adanya pendadah maka struktur ketakteraturan cukup banyak sehingga mengganggu penjalaran elektron.

Pengaruh temperatur terhadap nilai konduktivitas listrik (lihat gambar 4.2) memiliki hubungan yang berbanding lurus, artinya peningkatan suhu *annealing* menimbulkan kenaikan nilai konduktivitas listrik. Hal ini terjadi akibat peningkatan suhu *annealing* menyebabkan peningkatan evaporasi lapisan film tipis sehingga ketebalan lapisan film tipis berkurang dan cacat strukturnya menurun. Kenaikan konduktivitas akibat elektron yang mengalir akan meningkat karena terjadinya hamburan dengan cacat kristal yang cenderung menurun.

Hasil karakterisasi Efek Fotovoltaik



Gambar 4.3. Hasil pengukuran tegangan sel fotovoltaik berstruktur MFS



Gambar 4.4. Hasil pengukuran arus sel fotovoltaik berstruktur MFS

Pengukuran nilai arus dan tegangan dari sel fotovoltaik dilakukan dengan menggunakan rangkaian pada gambar 3.5. Tegangan keluaran yang terukur oleh rangkaian merupakan tegangan yang dihasilkan sel fotovoltaik. Dengan menggunakan persamaan 3.2 maka dapat ditentukan besarnya nilai arus yang dihasilkan oleh sel fotovoltaik yang digunakan.

Pada pengukuran resistansi dan konduktivitas listrik sebelumnya telah diketahui bahwa film tipis BST dan BGST yang digunakan merupakan bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor yang membentuk persambungan $p-n$ memungkinkan untuk menghasilkan arus dan tegangan ketika diberikan energi yang sesuai bagi elektron dan

hole berdifusi, fenomena ini disebut sebagai efek fotovoltaiik. Pada pengukuran selanjutnya dianalisis efek fotovoltaiik pada film tipis BST dan BGST yang dideposisi di atas substrat Si(100) tipe-*n* dan hubungannya dengan konsentrasi bahan pendadah galium dan pengaruh suhu *annealing* yang digunakan.

Hasil pengukuran tegangan dan arus pada gambar 4.3 dan 4.4 mengindikasikan bahwa ketika film tipis BST dan BGST dideposisikan di atas substrat Si(100) tipe-*n* dapat menimbulkan persambungan *p-n*. Arus dan tegangan yang dihasilkan sel fotovoltaiik ini merupakan adanya gerak difusi dari elektron dan *hole* yang memperoleh energi foton akibat penyinaran dari sumber cahaya.

Tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel fotovoltaiik masing-masing memiliki orde satu volt dan mikro ampere, tegangan dan arus optimal terjadi pada sel fotovoltaiik BST tanpa pemberian bahan pendadah dengan suhu *annealing* 900°C. Data lengkap hasil karakterisasi efek fotovoltaiik tertera dalam lampiran 2.

Efek penambahan konsentrasi pendadah pada sel fotovoltaiik yang digunakan pada penelitian ini memiliki kecenderungan untuk menurunkan nilai arus. Penambahan konsentrasi galium pada film tipis BST menyebabkan kecenderungan film tipis tersebut bersifat *p*. Galium merupakan ion dengan elektron valensi terluar sebanyak tiga, untuk menuju kestabilan maka galium berinteraksi dengan oksigen pada campuran BaSrTiO. Interaksi elektron dari oksigen dengan *hole* pada galium menyebabkan *hole* baru yang ditimbulkan oleh perpindahan elektron yang berinteraksi tersebut. *Hole* ini dapat berpindah dalam struktur kristal karena kemudahan bagi elektron tetangga untuk berekombinasi dan selanjutnya meninggalkan hole baru akibat perpindahan tersebut [22]. Jadi, Rekombinasi *hole*-elektron akan mengakibatkan elektron yang berdifusi dari pita valensi menuju pita konduksi akan berkurang dan menyebabkan arus yang dihasilkan oleh sel fotovoltaiik berkurang.

Pengaruh suhu *annealing* terhadap nilai konduktivitas listrik dapat dilihat pada gambar 4.4, dimana nilai konduktivitas listrik optimal ketika suhu *annealing* 900°C namun nilai konduktivitas listrik menurun ketika suhu *annealing* dilakukan pada suhu 950°C. Penurunan nilai konduktivitas listrik terkait dengan suhu *annealing* disebabkan oleh penguapan yang dialami oleh film tipis BGST. Atom-atom yang telah tersusun

ketika proses pendeposisian mengalami penguapan dan menyebabkan penurunan kualitas kristal.

Hasil Karakterisasi Arus dan Tegangan Prototipe Sel Surya

Pengukuran arus-tegangan sel surya dilakukan dengan menggunakan rangkaian pada gambar 3.6 dan sumber cahaya yang digunakan adalah lampu 240V 400watt dengan intensitas penyinaran 30mW/cm^2 . Luas penampang prototipe sel surya BST murni, BGST 5%, dan BGST 10% yang disinari adalah 4 cm^2 . Jarak antara sumber cahaya (lampu) dengan prototipe sel surya sebesar 10 cm, jarak tersebut diatur untuk mengurangi panas yang dihasilkan oleh lampu yang dapat mengakibatkan kerusakan pada sel surya akibat berlebihnya efek panas yang diterima sel surya.

Nilai arus tertinggi (I_{sc}) didapatkan ketika tegangannya bernilai minimum, nilai tersebut didapatkan dengan menghubungkan kaki pada bagian substrat Si tipe- n dengan kaki pada bagian film tipis BST murni, BGST 5%, dan BGST 10% berstruktur metal-ferroelektrik-semikonduktor (MFS) dengan ampermeter. Sedangkan Hubungan pengukuran untuk mendapatkan nilai tegangan maksimum (V_{oc}) juga dilakukan dengan cara yang sama namun pada pengukuran tersebut digunakan voltmeter. Potensiometer yang digunakan pada rangkaian ini membutuhkan hambatan berkisar antara 10 K Ω hingga 20 M Ω .

Hasil dan karakterisasi arus tegangan yang dilakukan pada prototipe sel surya BST 0%, BGST 5%, dan BGST 10% sesuai dengan karakterisasi sel surya pada umumnya dimana hubungan antara arus dan tegangan berbanding terbalik secara eksponensial. Artinya, ketika tegangan yang terukur voltmeter mengalami kenaikan maka besarnya nilai arus yang terukur pada ampermeter akan mengalami penurunan dan begitu pula sebaliknya.

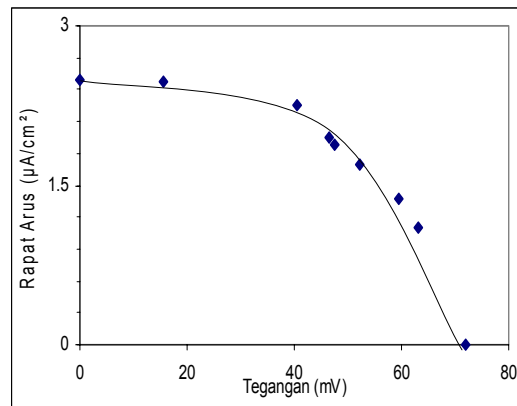
Gambar karakterisasi $I-V$, sebagai hubungan terbalik antara arus dan tegangan didapatkan dengan memvariasikan nilai potensiometer yang digunakan. Berdasarkan pada gambar 2.7 dan jika dihubungkan dengan hasil penelitian dapat dihitung besarnya daya maksimal dan nilai efisiensi dari prototipe sel surya BST murni, BGST 5%, dan BGST 10%. Daya maksimal merupakan daya yang dihasilkan oleh prototipe sel surya BST dan BGST yang merupakan nilai terbesar dari hubungan arus dan tegangan yang

teramati (luasan daerah maksimum), sedangkan efisiensi menunjukkan besarnya kemampuan untuk mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik saat sel surya disinari cahaya. Semakin tinggi efisiensi konversinya semakin baik pula sel surya tersebut. Dalam pembahasan selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan suhu *annealing* (850°C, 900°C, 950°C).

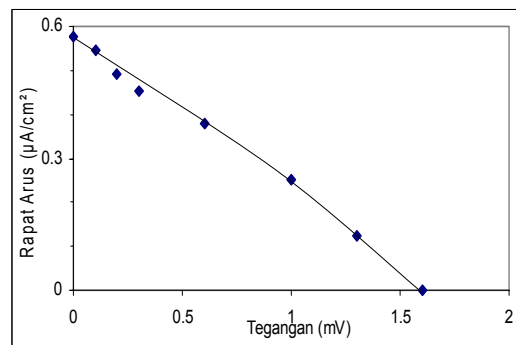
Karakterisasi arus-tegangan film tipis BGST yang dipreparasi pada suhu *annealing* 850°C

Gambar 4.5, 4.6, 4.7, dan tabel 4.1 menunjukkan kurva karakterisasi arus-tegangan pada variasi penambahan konsentrasi bahan pendadah.

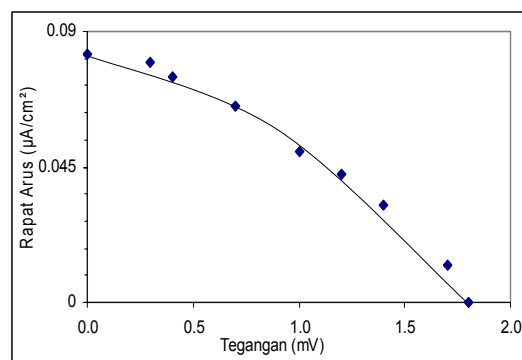
Pada karakterisasi *I-V* prototipe sel surya BST murni, BGST 5%, dan BGST 10% dengan suhu *annealing* yang sama yakni 850°C didapatkan nilai efisiensi konversi berdasarkan persamaan 2.9, efisiensi konversi optimal sebesar 0.000318% yang dihasilkan dari prototipe sel surya BST 0%. Jika dibandingkan dengan variasi penambahan konsentrasi bahan pendadah galium yang berbeda pada suhu *annealing* tersebut, pengaruhnya menyebabkan mengecilnya nilai efisiensi (lihat tabel 4.1). Hal ini disebabkan karena dengan adanya penambahan prosentase pendadah maka akan menimbulkan cacat kristal dimana cacat kristal tersebut menyebabkan banyaknya ketakteraturan struktural yang menghalangi aliran elektron untuk berdifusi dari film tipis BST menuju substrat Si (100) tipe-*n* sehingga menyebabkan arus yang mengalir semakin menurun. Penurunan arus listrik sel surya menyebabkan menurunnya daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya (lihat persamaan 2.10) dan berdasarkan persamaan 2.9 hal ini menyebabkan nilai efisiensi konversi dari sel fotovoltaik tersebut cenderung menurun.



Gambar 4.5. Kurva rapat arus-tegangan prototipe sel surya BST 0%, dengan suhu *annealing* 850°C



Gambar 4.6. Kurva rapat arus - tegangan prototipe sel surya BGST 5%, dengan suhu *annealing* 850°C



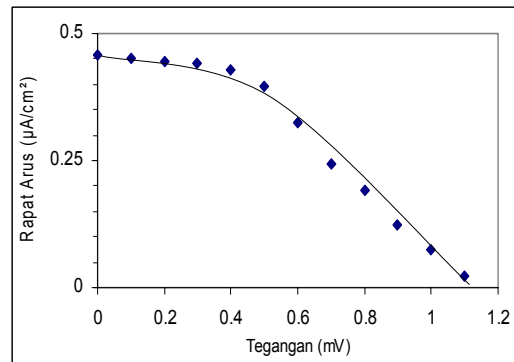
Gambar 4.7. Kurva rapat arus - tegangan prototipe sel surya BGST 10%, dengan suhu *annealing* 850°C

Tabel 4.1. Hasil karakterisasi arus - tegangan prototipe sel surya BST 0%, BGST 5%, dan BGST 10% pada suhu *annealing* 850°C dengan sumber cahaya lampu 400 watt.

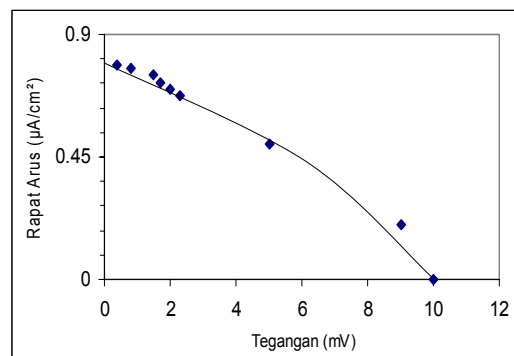
Karakterisasi - V	Suhu <i>annealing</i> 850°C		
	BST 0%	BGST 5%	BGST 10%
Isc (μA)	9.90	2.30	0.33
Voc (mV)	72.00	1.60	1.85
I _{max} (μA)	7.20	1.25	0.19
V _{max} (mV)	53.00	0.80	1.15
P _{max} (mW)	3.82E-04	1.00E-06	2.18E-07
I _{lamp} (mW/cm ²)	30.00	30.00	30.00
L _{TF} (cm ²)	4.00	4.00	4.00
Pin (mW)	120	120	120
Fill factor	53.54	27.17	34.85
Efisiensi (%)	3.18E-04	8.33E-07	1.82E-07

Karakterisasi arus-tegangan film tipis BGST yang dipreparasi pada suhu *annealing* 900°C

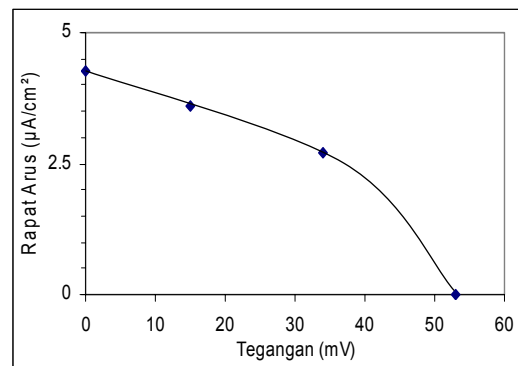
Gambar 4.8, 4.9, 4.10, dan tabel 4.2 menunjukkan kurva karakterisasi arus-tegangan pada variasi penambahan konsentrasi bahan pendadah. Pada karakterisasi prototipe sel surya dengan suhu *annealing* 900°C didapatkan nilai efisiensi konversi yang optimal yakni pada prototipe sel surya BGST 10%. Peningkatan efisiensi terjadi pada prototipe sel surya BST 0% dan BGST 5% pada suhu *annealing* 900°C. Peningkatan efisiensi konversi pada sel surya yang di preparasi dengan suhu *annealing* 900°C berkaitan dengan konsentrasi bahan pendadah dimana penambahan ion pendadah *acceptor* menyebabkan peningkatan sifat kelistrikan film tipis ferroelektrik [9]. Hal ini disebabkan karena konsentrasi *hole* sebagai tempat bagi elektron bereksitasi semakin banyak sehingga dapat meningkatkan aliran difusi elektron yang sebanding dengan besarnya arus yang dihasilkan dari sel surya tersebut.



Gambar 4.8. Kurva rapat arus -tegangan prototipe sel surya BST 0% dengan suhu *annealing* 900°C



Gambar 4.9. Kurva rapat arus-tegangan prototipe sel surya BGST 5% dengan suhu *annealing* 900°C



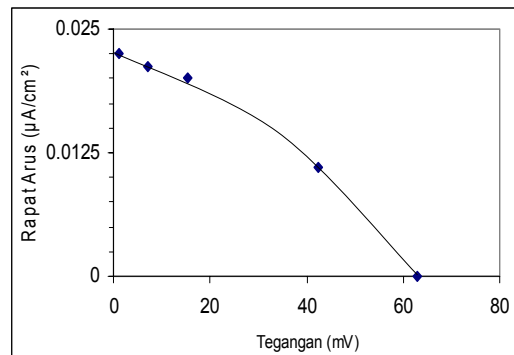
Gambar 4.10. Kurva rapat arus-tegangan prototipe sel surya BGST 10% dengan suhu *annealing* 900°C

Tabel 4.2. Hasil karakterisasi arus-tegangan pada prototype sel surya BST 0%, BGST 5%, dan BGST10% pada suhu *annealing* 900°C dengan sumber cahaya lampu 400 watt.

Karakterisasi I-V	Suhu <i>annealing</i> 900°C		
	BST 0%	BGST 5%	BGST 10%
Isc (μA)	1.83	3.15	17.10
Voc (mV)	1.1	10.00	52.90
I _{max} (μA)	1.2	1.80	10.80
V _{max} (mV)	0.64	5.90	34.00
P _{max} (mW)	7.68E-07	1.06E-05	3.67E-04
I _{lamp} (mW/cm ²)	30.00	30.00	30.00
L _{TF} (cm ²)	4.00	4.00	4.00
Pin (mW)	120	120	120
Fill factor	38.15	33.71	40.59
Efisiensi (%)	6.40E-07	8.85E-06	3.06E-04

Karakterisasi arus-tegangan film tipis BGST yang dipreparasi pada suhu *annealing* 950°C

Gambar 4.11 dan tabel 4.3 menunjukkan kurva karakterisasi arus-tegangan pada variasi penambahan konsentrasi bahan pendadah. Pada sel surya dengan suhu *annealing* yang sama yakni 950°C, namun diberikan variasi bahan pendadah galium maka didapatkan efisiensi pada prototipe BST 0% saja. Sedangkan untuk prototipe BGST 5% dan 10% didapatkan hubungan dan arus yang kecil dan tidak stabil. Kondisi ini dapat terjadi karena pada sel surya tersebut tidak terjadi hubungan persambungan *p-n*. Diketahui dari penelitian sebelumnya bahwa bahan semikonduktor yang digunakan adalah Si (100) tipe-*n* dan bahan ferroelektrik BGST 5% dan 10% yang di *annealing* pada suhu 950°C merupakan film tipis tipe-*n*. Artinya ketika bahan ferroelektrik tersebut kita deposisikan di atas permukaan semikonduktor maka persambungan yang terjadi merupakan persambungan *n-n*. Hal ini menyebabkan tidak adanya aliran difusi elektron dan *hole* yang melintasi daerah deplesi.



Gambar 4.11. Kurva rapat arus-tegangan prototipe sel surya BST 0% dengan suhu *annealing* 950°C

Tabel 4.3. Hasil karakterisasi I-V pada prototype sel surya BST 0% pada suhu *annealing* 950°C dengan sumber cahaya lampu 400 watt

Karakterisasi I-V	Suhu <i>annealing</i> 950°C
	BST 0%
Isc (Ma)	0.09
Voc (mV)	62.80
Imax (μA)	0.06
Vmax (mV)	38.00
Pmax (mW)	2.28E-6
I _{lamp} (mW/cm ²)	30.00
L _{TF} (cm ²)	4.00
Pin (mW)	120.00
Fill factor	36.98
Efisiensi (%)	1.90E-6

Hubungan suhu *annealing* dengan nilai efisiensi konversi. Pada perbandingan suhu *annealing*, diketahui bahwa dengan meningkatkan suhu *annealing* maka berpengaruh pada meningkatnya nilai efisiensi konversi. Hal ini terjadi pada prototipe sel surya BGST 5% dan BGST 10%. Peningkatan suhu *annealing* akan berpengaruh pada evaporasi yang terjadi pada lapisan film tipis. Suhu *annealing* menyebabkan ketebalan film tipis berkurang sehingga lebar daerah difusi dari semikonduktor tipe-*p* untuk film tipis BGST semakin mengecil, akibatnya aliran elektron dari semikonduktor tipe-*n* yang

bergerak menuju semikonduktor tipe-*p* cenderung lebih mudah berdifusi. Proses difusi elektron-*hole* bisa optimum walaupun menggunakan energi foton minimum dengan panjang gelombang tertentu.

Hasil penelitian ini secara umum diperoleh bahwa efisiensi dari semua prototipe sel surya memiliki orde maksimum 10^{-4} dan orde minimum 10^{-7} . Artinya kemampuan konversi sel surya tersebut dalam mengubah energi cahaya menjadi energi listrik kurang baik. Kemampuan konversi energi ini dipengaruhi oleh beberapa hal di antaranya pengaruh lapisan yang berinteraksi langsung dengan energi cahaya, pengaruh kontak ohmik aluminium, dan ketebalan film tipis.

Pada literatur yang didapatkan tentang sel surya, bahwasannya energi cahaya dengan panjang gelombang yang sesuai umumnya akan menyinari daerah semikonduktor tipe-*n* sebagai lapisan yang berinteraksi langsung dengan cahaya, lapisan ini disebut juga sebagai '*window layer*'. Interaksi antara energi cahaya yang memiliki panjang gelombang yang sesuai dengan lapisan semikonduktor tipe-*n* akan menghasilkan difusi elektron dari semikonduktor tipe-*n* menuju lapisan semikonduktor tipe-*p*. Dengan demikian menimbulkan aliran elektron yang menyebabkan adanya aliran arus listrik.

Pada penelitian ini digunakan sel surya dengan lapisan monolayer di mana '*window layer*' dari sel surya ini merupakan semikonduktor tipe-*p* dengan *hole* sebagai pembawa muatan mayoritas dan elektron sebagai muatan minoritasnya. Pada kondisi ini, energi foton memiliki kecenderungan untuk memberikan energi cukup bagi difusi *hole*, sehingga peningkatan difusi ini mengakibatkan terjadinya rekombinasi elektron *hole* lebih banyak. Pada sel surya tersebut sebagian elektron yang tidak berekombinasi dapat pindah menuju pita konduksi dan kemudian dapat menghasilkan arus listrik.

Lapisan yang berinteraksi dengan cahaya pada prototipe sel surya ini terdiri atas dua bagian dengan luasan yang berbeda yakni luasan lapisan film tipis tipe-*p* dan luasan substrat tipe-*n* yang relatif lebih kecil. Energi foton yang berinteraksi dengan sel surya lebih banyak menumbuk pada luasan film tipis tipe-*p* di mana pada lapisan ini diketahui bahwa elektron yang dapat menimbulkan aliran arus merupakan muatan minoritas. Elektron sebagai muatan minoritas akan berdifusi melawan aliran difusi minoritas *hole* dari substrat, hal ini menyebabkan terhambatnya aliran elektron sehingga penurunan arus tersebut akan berbanding lurus dengan penurunan efisiensi konversi sel surya.

Faktor lain yang mempengaruhi efisiensi konversi salah satunya dipengaruhi oleh kontak ohmik. Pengukuran arus-tegangan sel surya berstruktur Al/BST/*n*-Si pada penelitian ini menggunakan kontak ohmik Al yang dibuat di atas permukaan substrat Si(100) tipe-*n*. Konsentrasi dari elektron pada substrat Si(100) tipe-*n* cenderung lebih rendah hal ini menyebabkan konduktivitas dari kontak ohmik yang dibuat kurang optimal [23].

Terdapat dua hal berkaitan Nilai Efisiensi konversi yang dipengaruhi oleh ketebalan film tipis. Pertama, peningkatan suhu *annealing* menyebabkan evaporasi atom-atom organik dari film tipis sehingga kerapatan struktur mikro dari film tipis semakin baik dan menyebabkan nilai konduktivitas listrik sel surya meningkat. Kedua, peningkatan suhu *annealing* menyebabkan ketebalan film tipis semakin menurun sehingga terjadi penyempitan lebar daerah difusi, akibatnya kecenderungan elektron untuk berdifusi lebih mudah dan menimbulkan arus listrik yang berkaitan dengan besarnya nilai efisiensi konversi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Telah berhasil ditumbuhkan film tipis $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ dan $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-Ga}_2\text{O}_3$ di atas substrat Si (100) tipe-*n* dengan menggunakan metode *chemical solution deposition* (CSD). Film tipis BST dan BGST merupakan bahan semikonduktor yang memiliki nilai konduktivitas listrik sekitar 30 S/m. Ketika film tipis ini dideposisi di atas permukaan Si (100) tipe-*n*, maka *devais* ini dapat menimbulkan persambungan *p-n* yang memungkinkan terjadinya difusi elektron dan *hole* yang menyebabkan arus saat diberikan energi tertentu seperti energi foton. Arus dan tegangan yang dihasilkan pada sel fotovoltaik cenderung menurun dengan penambahan bahan pendadah.

Penerapan dari piranti $\text{Al}/\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3/n\text{-Si}$ adalah pembuatan protipe sel surya. *Devais* ini mampu membentuk kurva arus-tegangan sel surya. Efisiensi konversi prototipe sel surya ini memiliki orde minimum 10^{-7} hingga maksimum 10^{-4} . Efisiensi konversi sel surya antara lain dipengaruhi oleh 'window layer', ketebalan film tipis, efek konsentrasi bahan pendadah, dan kontak ohmik yang dibuat pada sel surya.

Saran

Efisiensi sel dipengaruhi oleh ketebalan film tipis yang digunakan. Untuk mencapai efisiensi sel yang optimal, maka disarankan untuk mencoba menggunakan ketebalan film tipis kurang dari 1 μm . Keefektifan sel surya dapat saja dipengaruhi oleh radiasi termal dari lingkungan sekitar sehingga disarankan untuk mencari pengaruh radiasi termal terhadap efisiensi dan karakteristik resistansi-konduktivitas sel surya.

Karakteristik listrik dari $\text{Al}/\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3/n\text{-Si}$ dan $\text{Al}/\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-Ga}_2\text{O}_3/n\text{-Si}$ mengindikasikan bahwa piranti tersebut dapat menghantarkan arus dan tegangan pada suhu ruang sehingga disarankan pada penelitian selanjutnya piranti tersebut dapat diaplikasikan dalam pembuatan transistor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Y. Seo, S. W. Park. Chemical Mechanical Planarization Characteristic of Ferroelectric Film for FRSM Applications. *Journal of Korean Physical Society*, Vol **45**, No.3, Page 769-772, (2004).
- [2] M. E. Lines, A. M. Glass. Principles and Applications of Ferroelectric and Related Materials. *Clarendon Press*. Great Britain, (1977).
- [3] www.kompas.com/kompas-cetak/0212/03/ipitek/memo29.htm
- [4] S. O'Brien, L. Brus, C. B. Murray. Synthesis of Monodisperse Nanoparticles of Barium Titanate : Toward a Generalized Strategy of Oxide Nanoparticles Synthesis. *J. Am. Chem. Soc.* 2001, 123, 12085-12086, (2001).
- [5] Irzaman, Studi Lapisan Tips Pyroelektrik $\text{PbZr}_{0.25}\text{Ti}_{0.75}\text{O}_3$ (PZT) yang Didadah Tantalum dan Penerapannya Sebagai Infra Merah, Dsertasi, (2005).
- [6] N.V. Girindharan, Structural, Morphological and Electrical Studies on Barium Stronsium Titanate Films by Sol-Gel Technique. *Crystal Research Technology*. Vol **36(1)** page 65-72. (2001).
- [7] V. J. Craciun, M. Howard, E. S. Lambers, R. K. Singh, Low Temperature Growth of Barium Stronsium Titanate Films by Ultraviolet-Assisted Pulsed Laser Deposition. *Mat. Res. Soc. Symp.* Vol **167**. *Materials Research Society*. (2000).
- [8] H. Darmasetiawan, Optimasi Penumbuhan Film Tipis BaTiO_3 yang didadah Indium dan Vanadium (BIVT) serta Penerapannya sebagai Sel Surya, *Institut Pertanian Bogor*, (2005).
- [9] K. Uchino, Ferroelectric Devices. *Marcel Dekker. Inc. USA*. [2000].
- [10] A. Beiser, Konsep Fisika Modern, *Erlangga*, (1992).
- [11] T. Sumardi, Penumbuhan Film Tipis Bahan $\text{PbZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ Doping In_2O_3 (PIZT) dengan Metode Chemical Solution Deposition (CSD). Skripsi, *Institut Pertanian Bogor*, (2004)
- [12] D. Krisyanto, Penumbuhan Lapisan Tipis Tantalum Oksida di atas Substrat Pt (200)/ SiO_2 /Si(100) dengan metode Deposisi Larutan Kimia dengan Bantuan Alat *Spin Coating*, Skripsi, *Institut Pertanian Bogor*, (2004).
- [13] R. W. Miles, Photovoltaic Solsr Cells; Choice Materials and Production Methods, *Science Direct*, Vacuum, 80, 1090-1097, (2006).
- [14] A. Maddu, Pedoman Praktikum Eksperimen Fisika II, *Laboratorium Fisika Lanjut*, Departemen Fisika FMIPA Institut Pertanian Bogor, (2006).
- [15] M.S. Tyagi, Introduction to Semiconductor Materials an Devices, *John Wiley & Sons*, (1991).
- [16] P. A. Tipler, PHYSICS for Scientist and Engineers, Worth Publisher, Inc, (1991).
- [17] V. Vlack, Ilmu dan Teknologi Bahan, *Erlangga*, (1987).
- [18] S. T. Nurdianto, Pembuatan dan Karakterisasi Sel Surya Fotoelektrokimia Tersensitiasi Sye Berbasis Elektroda ZnO , Skripsi, Institut Pertanian Bogor, (2003).

- [19] S. M. Sze. *Physics of Semiconductor Devices*, *Jhon Wiley & Sons Inc*, USA, (1981).
- [20] D. A. Neamen, *Electronc Circuit Analysis and Design*, New York. *Mc Graw Hill*, (international Edition), (2001).
- [21] H. Frimasto, Irzaman, M Kurniati, Sifat Optik Film Tipis Bahan Ferroelektrik BaTiO₃ yang didadah tantalum (BTT), *Prosiding seminar nasional keramik V*, ISSN : 1693.7163.146157, (2006).
- [22] <http://electronics-for-beginners.com>
- [23] S. R. Rio dan M. Iida, *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, (1999).

