

REKAYASA

**LAPORAN AKHIR TAHUN KE II  
HIBAH BERSAING**



**Optimalisasi Temperatur *Annealing* Pada Penumbuhan Film Tipis  
Ferroelektrik  $\text{LiTaO}_3$  dengan Metode *Spin Coating* Untuk Piranti Sensor  
Suhu**

**Drs. R. Aam Hamdani, MT. (Ketua)  
Dr. Ida Hamidah, M.Si.  
Drs. Mumu Komaro, M.T.  
Dr. Irzaman, M.Si.**

**Dibiayai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi  
Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan  
sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian Strategi  
Nasional  
Nomor : 032/SP2H/PP/Dit.Litabmas/III/2012 tanggal 7 Maret 2012**

**JURUSAN PENDIDIKAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN  
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA (UPI)  
NOPEMBER 2012**

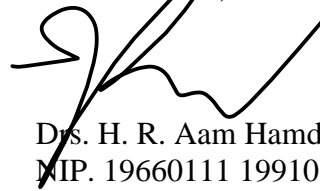
## HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Usulan :Optimalisasi Temperatur Anneal Pada Penumbuhan Film Tipis Ferroelektrik LiTaO<sub>3</sub> dengan Metode *Spin Coating* Untuk Piranti Sensor Suhu
  
2. Ketua Peneliti
  - a. Nama Lengkap : Drs. H. R. Aam Hamdani, MT
  - b. Jenis kelamin : Laki-laki
  - c. NIP : 19660111 199101 1 001
  - d. Jabatan Struktural : -
  - e. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
  - f. Fakultas/ Jurusan : FPTK/ Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Universitas Pendidikan Indonesia
  - g. Pusat Penelitian : Lembaga Penelitian UPI
  - h. Alamat : Jln. Dr. Setiabudhi 229 Bandung
  - i. Telp/Fax : 022-2020162
  - j. Alamat Rumah : Jl. Rd. Ganda II No. 114 RT 2/09 Cimindi 40175
  - k. Telpon/Fax/E-mail : 022. 6656644/ [aam\\_hamdani@upi.edu](mailto:aam_hamdani@upi.edu)
3. Jangka Waktu Penelitian : 2 tahun
4. Pembiayaan
  - a. Jumlah biaya yang diajukan ke Dikti Rp. 100.000.000,00
  - b. Jumlah biaya tahun ke 1 Rp. 50.000.000,00
  - Biaya tahun ke 1 yang diajukan ke Dikti Rp. 50.000.000,00
  - Biaya tahun ke 1 dari Institusi lain -

Mengetahui  
Dekan FPTK UPI

Prof. Dr. H. Mukhidin, M.Pd.  
NIP. 19531110 198002 1 001

Bandung, 16 September 2011  
Ketua Peneliti,



Drs. H. R. Aam Hamdani, MT.  
NIP. 19660111 199101 1 001

Menyetujui  
Ketua Lembaga Penelitian UPI

Prof. Dr. H. Sumarto, MSIE  
NIP. 195507051981031005

## I. Identitas Penelitian

1. Judul Usulan : Optimalisasi Temperatur Anneal Pada Penumbuhan Film Tipis Ferroelektrik  $\text{LiTaO}_3$  dengan Metode *Spin Coating* Untuk Piranti Sensor Suhu
2. Ketua Peneliti
  - a) Nama Lengkap : Drs. H. R. Aam Hamdani, MT
  - b) Bidang Keahlian : Material Teknik
  - c) Jabatan Struktural : -
  - d) Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
  - e) Unit Kerja : Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FPTK  
Universitas Pendidikan Indonesia
  - f) Alamat Surat : Jl. PMI III No. 1 RT 9/23 Pondok Mutiara  
Pasantren Cibabat Cimahi
  - g) Telpon/Fax : 08122122052
  - h) E-mail : [aam\\_hamdani@upi.edu](mailto:aam_hamdani@upi.edu)

### 3. Anggota Peneliti

No	Nama dan Gelar Akademik	Bidang Keahlian	Instansi	Alokasi Waktu (jam/minggu)
1	Dr. Irzaman, M.Si	Fisika	IPB	10 jam
2	Dr. Ida Hamidah, M.Si	Fisika Elektronik	UPI	10 jam
3	Drs. Mumu Komaro, M.T	Ilmu Bahan	UPI	10 jam

4. Objek Penelitian : Material yang akan diteliti dan dikembangkan adalah ferroelektrik  $\text{LiTaO}_3$  yang didadah Niobium yang ditumbuhkan di atas substrat Si(100) tipe *p* dengan metode *Chemical solution deposition* (CSD) dan *Spin coating*. Penelitian difokuskan pada pengembangan material ferroelektrik dan karakterisasi unjuk kerjanya sehingga dapat diaplikasikan sebagai piranti sensor suhu.
5. Masa Pelaksanaan Penelitian:
  - \* Mulai : Maret 2011
  - \* Berakhir : Desember 2012
6. Anggaran yang diusulkan:
  - \* Tahun pertama : Rp. 50.000.000,-
  - \* Anggaran : Rp. 90.000.000,-

- keseluruhan
7. Lokasi Penelitian : a. Universitas Pendidikan Indonesia  
(pengembangan material piranti sensor suhu  
berbahan  $\text{LiTaO}_3$ , karakterisasi XRD)  
b. Pusat Penelitian Geologi Laut Bandung  
(Karakterisasi SEM)
  8. Hasil yang ditargetkan : Pembuatan film tipis LNT dan penerapannya  
pada piranti sensor suhu.
  9. Institusi lain yang terlibat : PPPGL Bandung.
  10. Keterangan lain yang dianggap perlu : Dasar pemilihan material LNT dalam penelitian ini, dikarenakan bahan ferroelektrik/piroelektrik LNT belum ada kelompok yang meneliti lebih mendalam secara sistematis. Sehingga diharapkan peluang untuk mengembangkannya dalam proyek penelitian cukup tinggi.

## II. Substansi Penelitian

### Abstrak

Tiga hal penting yang mendasari penelitian bahan ferroelektrik  $\text{LiTaO}_3$  yang didoping Niobium. Pertama, bahan ferroelektrik  $\text{LiTaO}_3$  memiliki kepekaan (responsivitas) tinggi terhadap panas dibanding dengan bahan ferroelektrik  $\text{LiTaO}_3$ ,  $\text{NaNbO}_3$ . Kedua, daerah operasi sensor berada di sekitar suhu kamar dan pembuatannya layak dilakukan di laboratorium sederhana karena tidak memerlukan pendinginan (seperti  $\text{HgCdTe}$  dengan daerah operasi pada suhu nitrogen cair = 77 K). Ketiga, sensor suhu dengan bahan lain seperti bahan ferroelektrik  $\text{LiTaO}_3$  yang didoping Niobium perlu dikembangkan, sehingga dapat digunakan, misalnya sebagai mitigasi bencana alam (kebakaran Hutan). Metode penelitian ini terdiri dari empat tahap. Tahap I pembuatan larutan yang siap untuk diteteskan ke atas substrat Si (100) tipe-p berdasarkan model teoritis; tahap II melakukan eksperimen pembuatan film tipis menggunakan *Spin Coating*; tahap III karakterisasi struktur mikro (XRD dan SEM), Uji sifat listrik C-V, I-V, tahap IV pembuatan piranti sensor suhu sebagai pemanfaatannya. Tujuan dari penelitian ini adalah pembuatan film tipis LNT yang penerapannya sebagai piranti sensor suhu yang mudah dibuat, dapat diandalkan, biaya murah, menggunakan komponen-komponen ada yang di pasaran. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dipatenkan baik di Indonesia maupun di luar negeri. Pada penelitian ini, dibuat sampel hasil pembuatan fotodiode berbasis  $\text{LiTaO}_3$  dengan variasi komposisi pendadah yaitu 0%Nb, 2,5% Nb, dan 5% Nb dengan variasi temperatur *anneal*. Variasi temperatur *anneal* diambil 1000°C, 1100°C, dan 1200°C. Berdasarkan data yang dihasilkan, temperatur *anneal* yang paling optimum dimana lapisan film

tipis dapat digunakan sebagai devais sensor suhu ataupun saklar cahaya yaitu pada temperatur  $1100^{\circ}\text{C}$ .

Kata kunci : sensor suhu, ferroelektrik  $\text{LiTaO}_3$

## **BAB I**

### **PENDAHUUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Sensor suhu menurut fenomena yang mendasarinya dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu sensor foton berdasarkan cahaya dan sensor termal berdasarkan perubahan suhu. Termasuk dalam sensor foton adalah sensor fotovoltaiik seperti :  $\text{HgCdTe}$  atau MCT (Mercury Cadmium Telenida) atau  $\text{GaAs/AlGaAs}$  dan sensor fotokonduktor mencakup  $\text{PbS}$  dan  $\text{PbSe}$ . Dalam sensor fotovoltaiik, arus foton dijadikan arus listrik, sedangkan dalam fotokonduktor : cahaya mengubah hambatan semikonduktor.

Dalam sensor termal, sinar yang diserap akan mengubah suhu dari sensor lalu diubah menjadi suatu parameter yang berkait, misalnya konduktivitas. Contoh dari sensor termal adalah bahan ferroelektrik (tercakup didalamnya pyroelektrik) seperti  $\text{LiTaO}_3$ ,  $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$  dan turunannya ( $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$  didadad dengan Indium). Pyroelektrik adalah gejala terjadinya perubahan polarisasi listrik pada bahan bila menerima panas, panas yang diserap akan mengubah suhu dari sensor lalu diubah menjadi suatu konduktivitas.

Sensor-sensor ini berbeda dalam suhu lingkungan. Ada yang dapat beroperasi pada suhu kamar dan suhu rendah. Pengelompokan hubungan antara suhu operasi dan panjang gelombang mencakup : SWIR (Short Wave Infra Red = Infra Merah Gelombang Pendek), MWIR (Medium Wave Infra Red = Infra Merah Gelombang Sedang) dan LWIR (Long Wave Infra Red (Infra Merah Gelombang Panjang)).<sup>1</sup>  $\text{HgCdTe}$  atau MCT, mempunyai efisiensi kuantum yang tinggi, tetapi kerugiannya daerah operasi pada suhu nitorgen (77 K). Sedangkan daerah operasi sensor ferroelektrik (yang juga pyroelektrik) di sekitar suhu kamar selama di bawah suhu Curie ( $T_c = 490^{\circ}\text{C}$ ). Oleh karena itu dalam penelitian ini dipilih bahan

pyroelektrik sebagai bahan untuk sensor. Di samping itu cara pembuatan bahan pyroelektrik ini lebih mudah dibandingkan dengan MCT. Walaupun bahan pyroelektrik ini mempunyai kelemahan-kelemahan seperti waktu responnya tidak secepat sensor fotovoltaik, namun mempunyai kelebihan dalam lingkungan yang tidak memerlukan pendinginan, berarti pembuatannya lebih layak dilakukan di laboratorium kampus Indonesia.

Tujuan umum dari penelitian ini adalah tinjauan teoristis dan pembuatan film tipis  $\text{LiTaO}_3$  dan penerapannya sebagai sensor suhu yang mudah dibuat, dapat diandalkan, biaya murah, menggunakan komponen-komponen ada yang di pasaran, dengan pengontrolan terpusat, mudah diinstalasi, dan mudah dikembangkan serta mempatenkannya di Indonesia maupun di luar negeri.

## 1.2 Tujuan

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam mengembangkan bahan ferroelektrik yang dapat digunakan untuk bahan sensor suhu yaitu mengatur optimalisasi fraksi mol pendadahan niobium kedalam  $\text{LiTaO}_3$ , variasi suhu *annealing* dan membuat sensor suhu dengan efisiensi yang baik. Masalah tersebut akan diatasi dalam proses penumbuhan lapisan film tipis yang optimum. Adapun tujuan selengkapnya dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan film tipis  $\text{LiTaO}_3$  atau LNT dengan fraksi mol bahan pendadahan Niobium yang sesuai.
2. Mendapatkan film tipis  $\text{LiTaO}_3$  atau LNT dengan perlakuan *annealing* yang cocok sehingga berunjuk kerja tinggi
3. Membuat dan menerapkan film tipis fotovoltaik  $\text{LiTaO}_3$  atau LNT sebagai sensor suhu dengan efisiensi tinggi.

## 1.3 Urgensi penelitian

Peranan bahan ferroelektrik  $\text{LiTaO}_3$  sangat menarik untuk diteliti karena dalam penerapannya dapat digunakan sebagai piranti sensor suhu. Bahan ferroelektrik adalah bahan memiliki polarisasi spontan walau bahan tersebut tidak

diberi medan listrik luar. Oleh karena sifat-sifat tersebut maka bahan ferroelektrik melalui sifat histerisis dan nilai dielektrik yang tinggi dapat diterapkan pada sensor suhu (Itskovsky, 1999). Sedangkan daerah operasi sel surya ferroelektrik di sekitar suhu kamar selama di bawah suhu Curie ( $T_c = 490^\circ\text{C}$ ). Oleh karena itu dalam penelitian ini dipilih bahan ferroelektrik sebagai bahan piranti sensor suhu. Di samping itu cara pembuatan bahan ferroelektrik ini lebih mudah dibandingkan dengan MCT. Walaupun bahan ferroelektrik ini mempunyai kelemahan-kelemahan seperti waktu responnya tidak secepat sensor fotovoltaiik, namun mempunyai kelebihan dalam lingkungan yang tidak memerlukan pendinginan, berarti pembuatannya mudah dilakukan di laboratorium kampus Indonesia.

Penerapan hasil karakterisasi film tipis  $\text{LiTaO}_3$  ini digunakan sebagai saklar otomatis sensor suhu. Keunggulan sensor  $\text{LiTaO}_3$  ini yakni sangat peka dalam spektrum emisi CO pada selang bilangan gelombang  $2000 - 2100 \text{ cm}^{-1}$  berarti tercakup dalam panjang gelombang sedang infra merah.<sup>17</sup> Tatkala sensor suhu untuk mengesan (mendeteksi) adanya termal dari CO, maka akan mengaktifkan saklar otomatis dalam rangkaian elektronik dengan ditandai hidupnya lampu alarm.

Berkaitan dengan itu, hasil penelitian ini juga dapat digunakan untuk mitigasi bencana alam yang sering dialami di Indonesia seperti seringnya kebakaran hutan. Diharapkan sensor suhu dapat mendeteksi secara dini adanya titik api yang merupakan awal terjadinya kebakaran hutan.

Kegunaan dari penelitian ini adalah dapat menumbuhkembangkan penguasaan dalam membuat film tipis  $\text{LiTaO}_3$  yang didoping Nb dan penerapannya sebagai sebagai piranti sensor suhu.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sensor Suhu LiTaO<sub>3</sub>

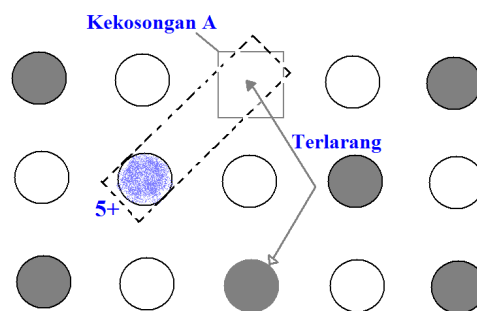
Struktur *perovskite* LiTaO<sub>3</sub>, ion litium (Li<sup>2+</sup>) terletak di ujung rusuk-rusuk kubus, ion titanium (Ta<sup>4+</sup>) terletak di diagonal ruang dan ion oksigen terletak di diagonal bidang kubus. Penambahan niobium ke dalam LiTaO<sub>3</sub> (LNT) akan mendapatkan bahan ferroelektrik/piroelektrik bersifat menyerupai semikonduktor tipe-*n* (*donor doping*), karena ion niobium (Nb<sup>5+</sup>) akan menempati posisi ion niobium (Ta<sup>4+</sup>) yang berarti struktur tersebut memiliki kelebihan ion negatif (tipe-*n*) yang disebut ion *soft dopant* atau *donor dopant* (Uchino, 2000). Ion *soft dopant* ini dapat menghasilkan material ferroelektrik yang bersifat lebih *soft*, seperti konduktivitas elastis lebih tinggi, sifat medan koersif lebih rendah, faktor kualitas mekanik lebih rendah dan kualitas arus listrik yang lebih rendah (Uchino, 2000, Sunandar, 2006).

Gambar 2.1 menjelaskan keadaan *donor dopant* yang berperan penting dalam pembentukan ruang kosong pada posisi A (Li<sup>2+</sup>) dari struktur *perovskite* akibat proses elektrostatis, dan mengakibatkan ion Li tidak dapat dengan mudah melompat ke ruang kosong A karena terhalang ikatan ionik oksigen (Uchino, 2000, Hastio *dkk*, 2006).

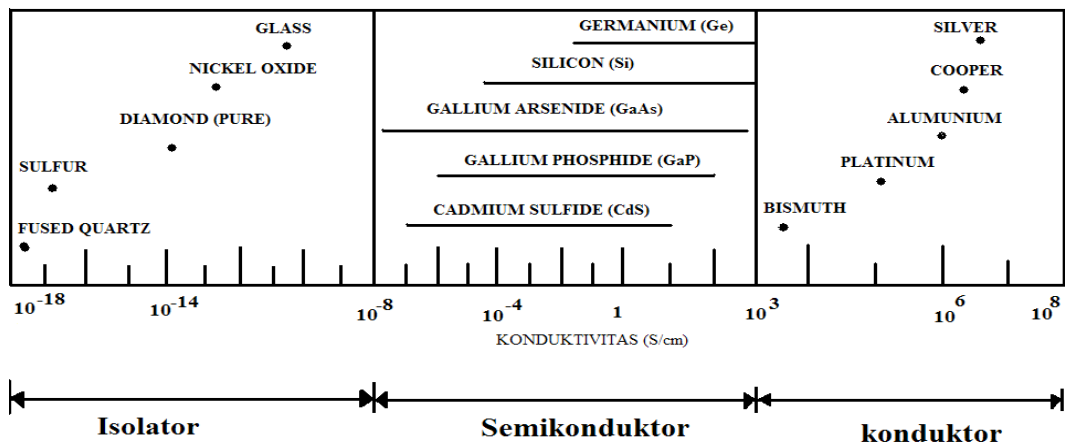
Salah satu karakteristik terbentuk sambungan *p-n* dalam sel surya fotovoltaik adalah uji sifat konduktivitas listrik dan uji arus fotovoltaik film tipis. Berdasarkan nilai konduktivitas listrik suatu material dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu konduktor, semikonduktor dan isolator. Gambar 2.2 memperlihatkan untuk material isolator berada dalam selang nilai 10<sup>-18</sup> S/m sampai 10<sup>-8</sup> S/m, semikonduktor berada dalam selang nilai 10<sup>-8</sup> S/m sampai 10<sup>3</sup>



S/m dan konduktor berada dalam selang nilai  $10^3$  S/m sampai  $10^8$  S/m (Kwok, 1995).



Gambar 2.1. Donor dopant (Uchino, 2000, Hastio dkk, 2006).



Gambar 2.2. Pembedaan material berdasarkan konduktivitas listrik (Kwok,

Hasil paten luar negeri menunjukkan bahwa Imada *et.al.*<sup>19</sup> telah berhasil membuat sensor pyroelektrik termal  $\text{LiTaO}_3$  dan desain roda Chopper dengan selisih antara frekuensi resonansi *arm section* ( $f_{r1}$ ) dengan frekuensi resonansi

*driving section* ( $f_{r2}$ ) sebesar 10 % pada alat ukur pyroelektrik sensor infra merah. Sedangkan Fraden *et.al.*,<sup>20</sup> telah berhasil membuat sensor pyroelektrik termal  $\text{LiTaO}_3$  untuk mengukur suhu tubuh manusia dengan menyentuh maupun tanpa menyentuh tubuh. Sensor ini dirakit dalam rangkaian JFET dan *I/V converter* dengan karakterisasi sensor berupa waktu respon listrik sebesar 2 detik pada kapasitor = 40 pF dan hambatan = 50  $\text{G}\Omega$  serta respon frekuensi 3 dB di atas frekuensi *cut off*-nya. Taniguchi *et.al.*,<sup>21</sup> telah berhasil mendesain sensor foton bahan pyroelektrik ukuran mikro sehingga menghasilkan mutu kepekaan sensor infra merah yang sangat tinggi dan menekan gangguan frekuensi seperti *noise*.

Dalam US Patent terdapat sebanyak 746 buah dan 27 buah dalam Europe Patent tentang sensor pyroelektrik gas, namun sensor suhu dengan bahan LNT belum dilakukan secara seksama dalam pelestarian lingkungan, berarti masih ada celah harapan hasil penelitian ini untuk dipatenkan baik di dalam maupun di luar negeri.

Hasil paten dalam United States Patent tentang  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  menyatakan bahwa 0,36 gram (0,02 mol)  $\text{H}_2\text{O}$  yang dicampur ke dalam 27 gram etanol, lalu dimasukkan 4,06 gram Tantalum alkoksida ( $\text{Ta}(\text{OC}_2\text{H}_5)_5$ ) dan diaduk merata selama 10 menit dalam suhu kamar. Kemudian larutan tersebut ditetaskan sebanyak 1 tetes asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) pekat diperoleh 7 % berat  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ . Larutan ini menghasilkan film tipis yang ditumbuhkan di atas substrat Si dengan metode *spin coating* berkecepatan 2500 rpm dan dipanggang dalam tungku bersuhu  $400^\circ\text{C}$  selama 5 menit, ternyata dapat meningkatkan efisiensi solar sel sebesar 42 % dibandingkan dengan Si solar sel tanpa pendadahan (*doping*) 7 % berat  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ .<sup>22</sup>

Perbedaan mendasar penelitian ini dengan paten luar negeri adalah pelarut (2-metoksietanol) dan penerapannya sebagai sensor gas infra merah untuk spektrum emisi gas CO.

Penerapan hasil karakterisasi film tipis LNT ini digunakan sebagai saklar otomatis sensor suhu. Keunggulan sensor LNT ini yakni sangat peka dalam spektrum emisi CO pada selang bilangan gelombang 2000 - 2100  $\text{cm}^{-1}$  berarti tercakup dalam panjang gelombang sedang infra merah.<sup>17</sup> Tatkala sensor suhu

untuk mengesan (mendeteksi) adanya termal dari CO, maka akan mengaktifkan saklar otomatis dalam rangkaian elektronik dengan ditandai hidupnya lampu alarm.

Masalah penelitian ini difokuskan pada kajian teoritis dan kajian eksperimen dari penerapan film tipis LNT sebagai saklar otomatis sensor gas CO menggunakan metode *CSD* dan *spin coating* mencakup :

1. Variasi pendadahan massa tantalum ke dalam  $\text{LiNbO}_3$  sebanyak 0 % (sebagai blangko), 2,5 %, 5 % (terdapat 3 perlakuan),
2. Variasi suhu *annealing* pada  $1.000^{\circ}\text{C}$ ,  $1.100^{\circ}\text{C}$ ,  $1.200^{\circ}\text{C}$  (terdapat 3 perlakuan). Berarti riset dasar ini terdapat 2 variasi, setiap variasi dengan 3 perlakuan, di mana setiap perlakuan dilakukan 3 ulangan, berarti terdapat 27 buah film tipis.

Dari 9 percobaan (2 variasi 3 perlakuan =  $3^2$  percobaan) akan dianalisis sifat fotodiodenya sehingga diperoleh parameter penumbuhan film yang terbaik dalam sifat ferroelektrik, sifat piroelektrik dan konduktivitas listrik. Selanjutnya dilakukan penumbuhan film tipis pada percobaan terbaik tersebut menggunakan metode *CSD* dan *spin coating* untuk saklar otomatis sensor gas CO yang berkepekaan tinggi serta biaya relatif murah.

Model teoritis dan eksperimen dari 9 percobaan di atas bertujuan untuk meningkatkan mutu film tipis LNT sensor suhu yang ditumbuhkan dengan metode chemical solution deposition (*CSD*) dan *spin coating* berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Frutos *et.al*,<sup>17</sup> Lim *et.al*,<sup>18</sup> dan IBM J. Res. Develop<sup>26</sup>, kemudian dimodifikasi dengan memperhitungkan faktor-faktor meliputi tegangan permukaan, viskositas film, kerapatan larutan, kecepatan alir fluida, kecepatan berputar, waktu penumbuhan, bentuk substrat, dan proses penguapan pelarut.<sup>27,28,29,30,31</sup> Tinjauan teoritis persamaan gerak fluida film di atas permukaan substrat dinyatakan dengan notasi vektor seperti tampak dalam persamaan (2.1)  
.26,27

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \nabla \cdot \tau - \nabla P + \rho g , \quad (2.1)$$

keterangan :  $\frac{Dv}{Dt}$  = turunan vektor kecepatan fluida terhadap waktu;  $\tau$  = tensor

*stress*;  $\nabla P$  = vektor tekanan;  $\rho g$  = vektor gravitasi bahan;  $\rho$  = rapat jenis bahan.

Persamaan (2.1) merupakan fenomena gerak fluida dan harus digabungkan dengan persamaan yang sesuai dengan sifat bahan film, sehingga hasil pemecahan dari persamaan (4.1) menjadi lengkap. Bahan sederhana dari fluida yang memenuhi hukum viskositas Newton dalam satu dimensi yaitu hubungan antara *fluid shear stress*  $\tau$  dengan *shear rate*, sedangkan viskositas bebas dari *shear rate* dinyatakan seperti dalam persamaan (2.2) :<sup>26,27</sup>

$$\tau = \mu \frac{\partial v}{\partial z} , \quad (2.2)$$

keterangan :  $\mu$  = viskositas dinamik;  $\frac{\partial v}{\partial z}$  = *shear rate* dalam arah sumbu z

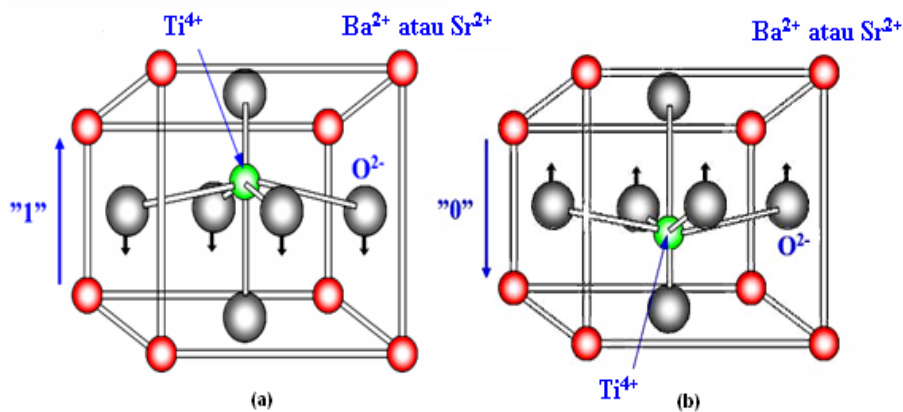
(ketebalan film tipis). *Shear rate* dapat pula dihubungkan dengan *volumetric flow rate*, diameter substrat

$$Re = \frac{4Q}{\pi Dv} , \quad (2.3)$$

keterangan : Q = *volumetric flow rate*; D = diameter substrat; v = viskositas kinematika.

Prinsip kerja sensor suhu dari bahan ferroelektrik LNT mirip seperti sensor suhu BST yakni memanfaatkan keadaan momen dipol bahan ferroelektrik tatkala vektor polarisasi dominan ke atas ("1") dan tatkala vektor polarisasi dominan ke bawah ("0") seperti tampak dalam struktur kristal BSIT pada Gambar 2.3. Tampak dalam Gambar 2.3 menunjukkan ion barium ( $Ba^{2+}$  atau Li) terletak di ujung rusuk kubus, ion titanium ( $Ti^{4+}$  atau Ta) terletak pada diagonal ruang sedangkan ion oksigen terletak pada diagonal bidang unit sel yang berbentuk kubus. Bilangan ("1") menunjukkan keadaan rangkaian listrik teraliri arus ("on"), sedangkan bilangan ("0") menunjukkan keadaan rangkaian listrik tidak teraliri arus listrik ("off") serta dalam bidang teknologi informasi dan komunikasi elektronik disebut dengan bilangan biner.

Impedansi bahan ferroelektrik bergantung dari nilai resistansi dan kapasitansi bahan. Analisis impedansi bahan dalam domain waktu didasarkan pada respon penurunan arus terhadap waktu setelah diterapkan tegangan step dc. Bentuk tegangan step yang diterapkan pada analisis impedansi dalam domain waktu terdiri dari waktu pengisian muatan (*charging time*) dan waktu pengosongan muatan (*discharging time*)<sup>32</sup>.



Gambar 2.3 Struktur Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub>  
 (a) Polarisasi ke atas ("1")  
 (b) Polarisasi kebawah ("0")

Peluruhan muatan pyrrroelektrik serupa dengan hubungan relaksasi Debye yang dirumuskan dalam persamaan (2.4) :

$$q = Qe^{-\frac{t}{RC}} \quad (2.4)$$

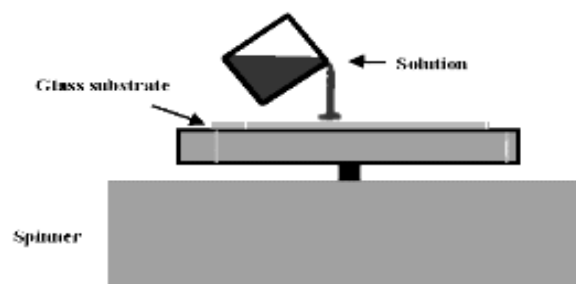
Nilai konstanta waktu ( $t$ ) akan bernilai sama dengan perkalian hambatan dan kapasitansi ( $RC$ ) ketika nilai muatan yang meluruh sama dengan muatan awal dibagi nilai  $e$  ( $Q/e$ ). Ketika tegangan saklar yang diterapkan dalam keadaan off, arus polarisasi berubah tanda menjadi negatif sampai terjadi pengosongan muatan pada elemen kapasator.<sup>32</sup>

Hasil penelitian awal menunjukkan bahwa bahan LNT memiliki konstan waktu ( $t$ ) = 5 mikrodetik, periode pengisian dan pengosongan muatan ( $T$ ) sebesar

100 mikrodetik, konstanta dielektrikum sebesar 12,5. Ini berarti respon waktu yang cukup sesuai untuk proses sensor suhu sebesar 100 mikrodetik<sup>25</sup>.

## 2.2 Metode *Chemical Solution Deposition*

Alat *spin coating* digambarkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. 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.

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.

Model teoritis dan eksperimen untuk meningkatkan mutu film tipis  $\text{LiTaO}_3$  dengan metode *chemical solution deposition* (CSD) dan *spin coating* berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Washo *dkk* (1977), dengan memperhitungkan faktor-faktor meliputi tegangan permukaan, viskositas film,

kerapatan larutan, kecepatan alir fluida, kecepatan berputar, waktu penumbuhan, bentuk substrat, dan proses penguapan pelarut.

### 2.3 Hasil penelitian Terdahulu

Penguasaan ilmu dasar dan teknologi film tipis sangat penting dalam pengembangan ilmu bahan masa mendatang. Peranan bahan ferroelektrik  $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{LiTaO}_3$ , BTST, PZT dan bahan sensor foton MCT,  $\text{HgCdTe}$ ,  $\text{GaAs/AlGaAs}$  sangat menarik untuk diteliti karena dalam penerapannya dapat digunakan pada DRAM, *switching* (saklar) otomatis, sensor suhu dan sel surya. Bahan pyroelektrik dan piezoelektrik merupakan sub-kelompok dari bahan ferroelektrik. Oleh karena sifat-sifat tersebut maka bahan ferroelektrik melalui sifat histerisis dan nilai dielektrik yang tinggi dapat diterapkan pada *dynamic random access memory* (DRAM) dan *switching* saklar otomatis (Wu *dkk*, 1997, Irzaman *dkk*, 2003, Irzaman *dkk*, 2007), *non-volatile random access memory* (NVRAM) (Lee, 1999), dan sel surya (Itskovsky, 1999). Sedangkan daerah operasi sensor ferroelektrik di sekitar suhu kamar selama di bawah suhu Curie ( $T_c = 490^\circ\text{C}$ ) (Whitaker, 1998). Dalam penelitian ini dipilih bahan ferroelektrik sebagai bahan untuk piranti sensor suhu. Di samping itu cara pembuatan bahan ferroelektrik ini lebih mudah dibandingkan dengan MCT. Walaupun bahan ferroelektrik ini mempunyai kelemahan-kelemahan seperti waktu responnya tidak secepat sensor fotovoltaiik, namun mempunyai kelebihan dalam lingkungan yang tidak memerlukan pendinginan, berarti pembuatannya mudah dilakukan di laboratorium kampus Indonesia.

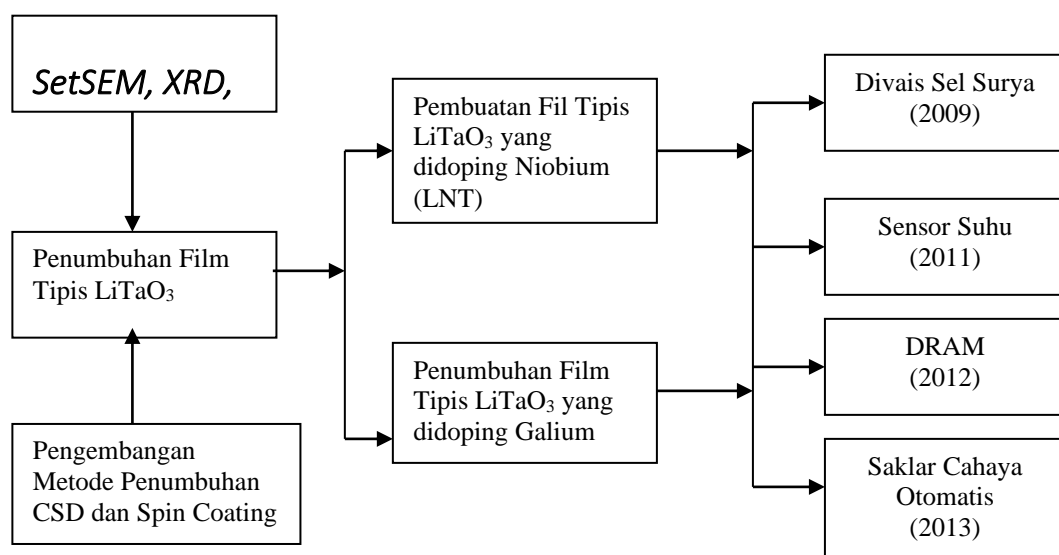
Penambahan niobium ke dalam  $\text{LiTaO}_3$  (LNT) akan mendapatkan bahan ferroelektrik bersifat menyerupai semikonduktor tipe-*n* (*donor doping*), karena ion niobium ( $\text{Nb}^{5+}$ ) akan menempati posisi ion tantalum ( $\text{Ta}^{4+}$ ) yang berarti struktur tersebut memiliki kelebihan ion negatif (tipe-*n*) yang disebut ion *soft dopant* atau *donor dopant* (Uchino, 2000). Ion *soft dopant* ini dapat menghasilkan material ferroelektrik yang bersifat lebih *soft*, seperti konduktivitas elastis lebih tinggi, sifat medan koersif lebih rendah, faktor kualitas mekanik lebih rendah dan

kualitas arus listrik yang lebih rendah (Uchino, 2000, Sunandar, 2006).  $\text{LiTaO}_3$  (LNT) mempunyai kemampuan untuk mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik saat sel surya disinari cahaya (Aam, 2009). Film tipis  $\text{LiTaO}_3$  dan LNT 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 Al/  $\text{LiTaO}_3$  / $n$ -Si adalah sebagai cikal bakal pembuatan protipe sel surya. *Devais* ini mampu membentuk kurva arus-tegangan sel surya (Aam, 2009).

#### 2.4 Roadmap Penelitian

Dasar pemilihan material  $\text{LiTaO}_3$  dalam penelitian ini, karena bahan ferroelektrik  $\text{LiTaO}_3$  yang didoping Niobium (LNT) belum ada kelompok yang meneliti lebih mendalam secara sistematis. Peranan bahan ferroelektrik  $\text{LiTaO}_3$  sangat menarik untuk diteliti karena dalam penerapannya dapat digunakan pada DRAM, *switching* (saklar) otomatis, sensor suhu dan sel surya.

*Roadmap* penelitian material ferroelektrik  $\text{LiTaO}_3$  yang akan dikembangkan dapat dilihat pada bagan berikut :





Gambar 2.5 *Roadmap* Penelitian FerroelektrikLiTaO<sub>3</sub>

### **BAB III**

#### **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian yang dilakukan menggunakan eksperimen murni yang dilakukan di laboratorium Material Teknik Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FPTK UPI. Keunggulan riset ini adalah dapat menerangkan secara mendasar gejala-gejala fisika yang terjadi pada proses sifat listrik film tipis dan penerapannya sebagai sensor suhu. Kegiatan eksperimen tersebut akan dilakukan dalam waktu 10 bulan dan terbagi menjadi empat tahap. Tahap I pembuatan larutan LNT dengan memperhatikan faktor-faktor penumbuhan meliputi tegangan permukaan, viskositas film, kerapatan larutan, kecepatan alir fluida, kecepatan berputar, waktu penumbuhan, bentuk substrat, dan proses penguapan pelarut; tahap II melakukan eksperimen pembuatan film tipis LNT di atas substrat Si (100) tipe-*p* menggunakan metode *Chemical Solution Deposition (CSD)*; tahap III karakterisasi sifat ferroelektrik, piroelektrik, konduktivitas listrik gelap dan terang, *fill factor* dan efisiensi fotovoltaiik; tahap IV pembuatan sensor suhu sebagai penerapannya. Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Metode yang akan digunakan untuk kegiatan eksperimen tersebut, diuraikan sebagai berikut:

#### **3.2 Penumbuhan Film Tipis $\text{LiTaO}_3$ yang didadah Niobium (LNT)**

Film tipis LNT akan ditumbuhkan di atas substrat Si dengan orientasi (100), tipe *p* dengan *spin coating*. Kondisi optimum penumbuhan film tipis LNT seperti fraksi mol bahan pendadah niobium, putaran alat *spin coating* dan variasi temperatur *annealing* sangat diperlukan sebagai dasar untuk menumbuhkan struktur LNT hingga diperoleh struktur yang memiliki karakteristik yang sesuai dengan persyaratan sensor suhu. Selain itu, untuk mendapatkan lapisan film tipis yang tangguh, pengadukan larutan (litium asetat, lantanum isoproksida,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  dalam larutan 2-methoxythanol) harus merata dan suasana tungku *annealing* bersifat oksigen.

Secara lebih rinci, penumbuhan film tipis LNT adalah sebagai berikut:

- Optimasi penumbuhan film tipis LNT untuk mendapatkan film tipis yang baik dengan mengatur putaran mesin *spin coating*
- Optimasi penumbuhan film tipis LNT untuk mendapatkan film tipis yang baik dengan melakukan penambahan konsentrasi bahan pendadah yang sesuai.
- Optimasi penumbuhan film tipis LNT untuk mendapatkan film tipis yang baik dengan melakukan variasi temperaturus *annealing*.

### 3.2 Karakterisasi Film Tipis LNT

*Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui sifat kekristalan, sifat ferroelektrik, piroelektrik, konduktivitas listrik dan fill factor, efisiensi sel fotovoltaik*

Penjelasan untuk masing-masing karakterisasi tersebut diuraikan sebagai berikut:

#### a. Sifat kekristalan LNT

Sifat kekristalan LNT dikarakterisasi dengan SEM (*scanning electron microscopy*) digunakan untuk menganalisis morfologi permukaan film dimana yang diperlihatkan adalah kerataan, ketebalan dan ukuran butir kristal. EDS digunakan untuk mengetahui Kandungan Nb dalam LNT.

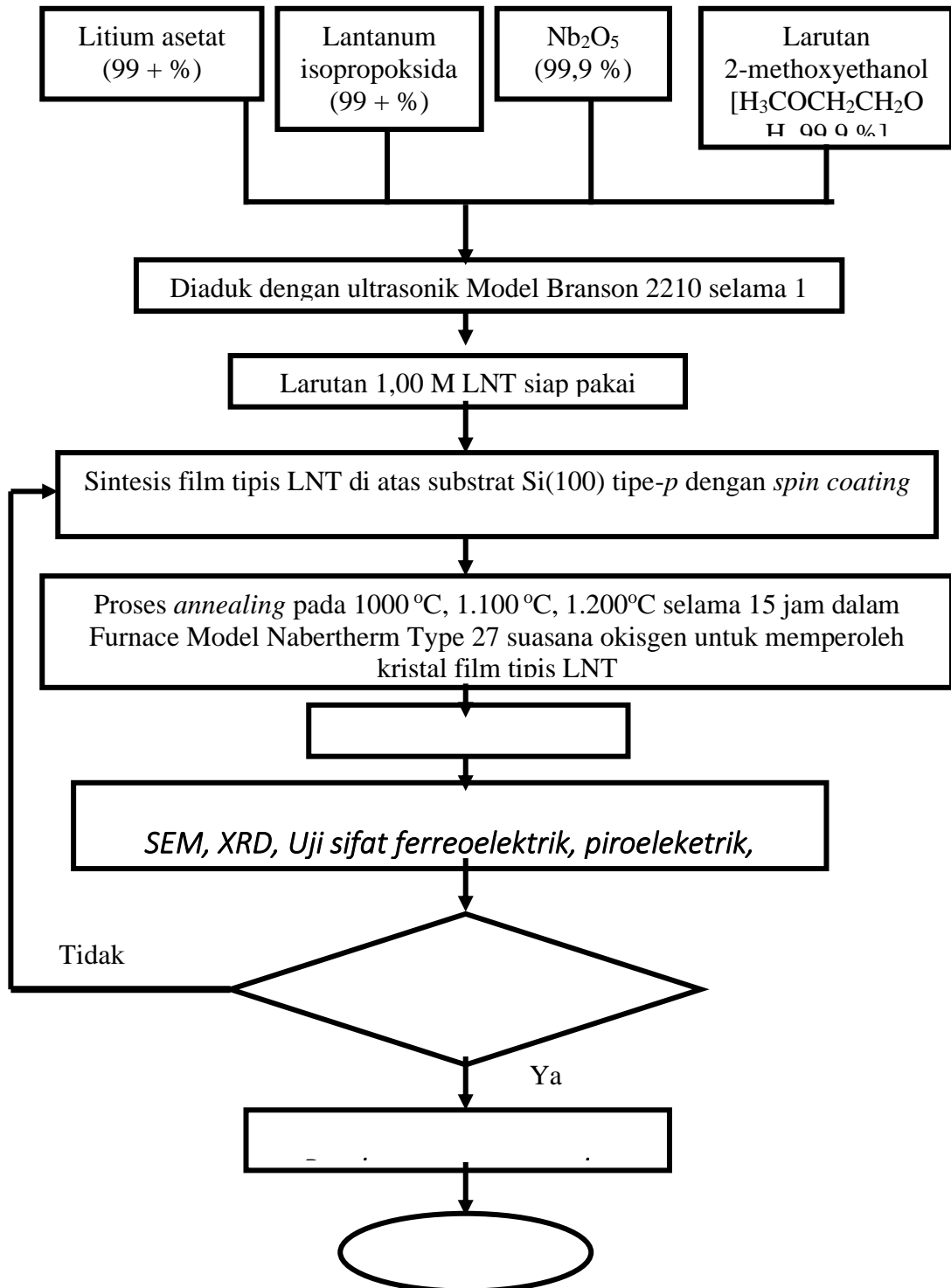
#### b. Uji sifat konduktivitas listrik film tipis

Film tipis LNT yang telah melalui proses *annealing* dibentuk dalam sturktur MFM diukur nilai resistansinya. Resistansi suatu material bergantung dengan panjangnya  $L$  dan berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas listrik dan luas penampang lintangnya  $A$  sesuai persamaan 3.1 : (Griffiths, 1995, Tipler, 1991)

$$R = \frac{L}{\sigma A} \quad (3.1)$$

keterangan  $\sigma$  adalah konduktivitas listrik material yang bergantung pada temperatur. Konduktivitas listrik adalah salah satu konstanta empiris yang dimiliki

setiap material dan nilainya berbeda-beda untuk setiap bahan (Griffiths, 1995, Tippler, 1991).



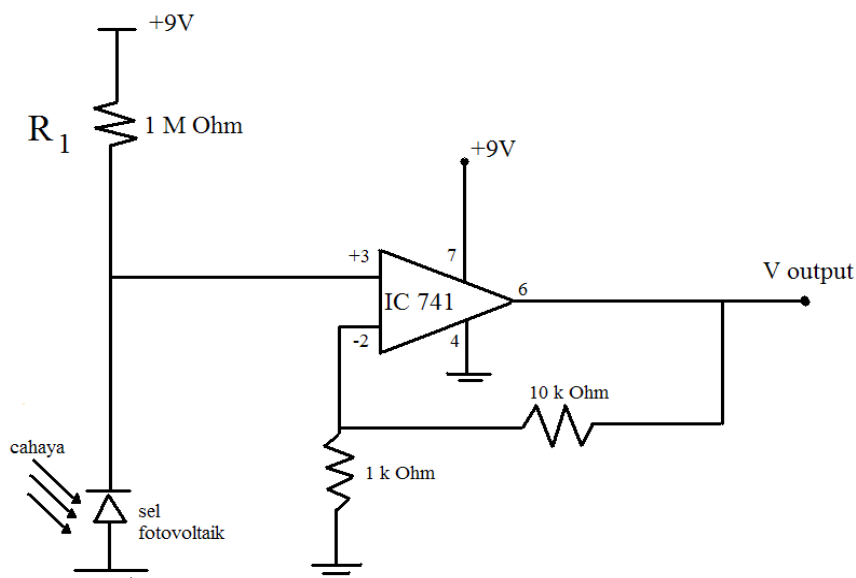
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

Pengukuran resistansi film tipis LNT dilakukan dengan menggunakan rangkaian elektronik *OP-Amp* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Nilai resistansi yang terukur, berasal dari konversi dari nilai tegangan dengan menggunakan persamaan 3.2 : (Neamen, 2001)

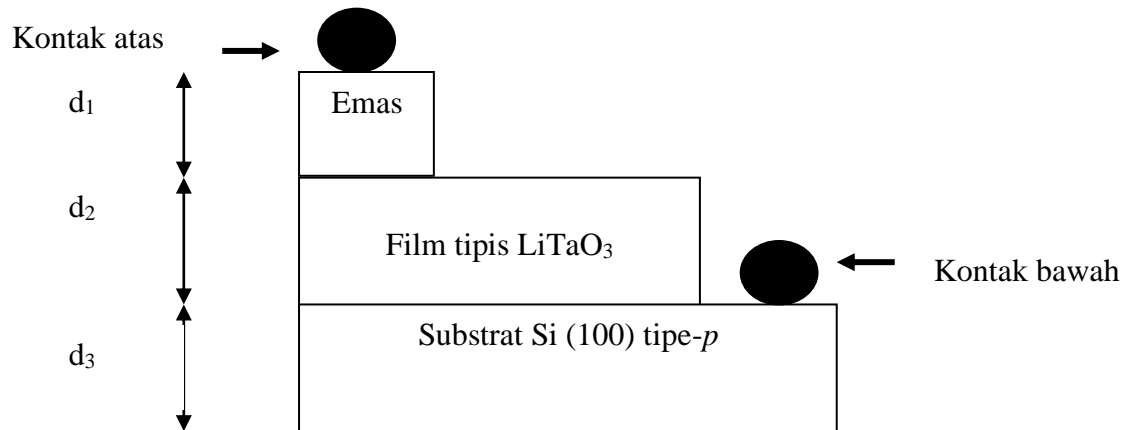
$$R_{ft} = \frac{V_{ft} R_1}{V_{total} - V_{ft}} \quad (3.2)$$

di mana  $R_{ft}$  merupakan adalah hambatan film tipis,  $V_{ft}$  adalah tegangan film tipis yang terukur pada multimeter setelah dibagi penguat tegangan (penelitian ini menggunakan penguat tegangan sebesar 10 kali),  $V_{total}$  adalah tegangan total (tegangan 9V ditambah tegangan film tipis) dan  $R_1$  adalah hambatan yang digunakan.

Perhitungan nilai konduktivitas  $\sigma$  film tipis berdasarkan pengukuran nilai resistensi dengan menggunakan persamaan 3.1. Hasil perhitungan nilai konduktivitas film tipis LTN yang didapat diklasifikasikan berdasarkan Gambar 2.2 agar diketahui bersifat semikonduktor, atau isolator atau konduktor.



Gambar 3.2. Rangkaian elektronik *Op-Amp* pengukuran resistansi (Neamen, 2001).



Gambar 3.2. Model devais sensor suhu LiTaO<sub>3</sub> prinsip kapasitor.

### 3.3. Hasil yang diharapkan

Luaran hasil penelitian yang diharapkan terkait erat dengan temuan yang ditargetkan, kontribusi mendasar dalam bidang ilmu untuk pemajuan IPTEK/pembangunan dan tolok ukur keberhasilan. Agar memperoleh hasil/luaran penelitian yang ditargetkan, maka dilakukan program penelitian yang berpedoman pada tolok ukur/indikator kinerja keberhasilan.

Indikator kinerja keberhasilan didukung oleh indikator setiap kegiatan yakni sebanyak 8 program kegiatan mencakup :

- 1) Pengalaman penelitian tim peneliti dalam penumbuhan film tipis bahan ferroelektrik yang ditumbuhkan dengan metode *chemical solution deposition (CSD)* sebagai ketua peneliti maupun anggota peneliti,
- 2) Ketersediaan peralatan dan bahan penelitian dalam pengembangan penelitian lebih lanjut,

- 3) Terwujudnya penelitian mandiri oleh tim peneliti dalam tindak lanjut hipotesis dan metodologi baru untuk meningkatkan mutu sensor suhu berefisiensi tinggi dengan metode *chemical solution deposition (CSD)*,
- 4) Publikasi ilmiah dalam jurnal nasional terakreditasi

Tabel III.1. Rincian kegiatan, luaran, dan indikator pencapaian penelitian

Tahun	Rincian Kegiatan	Luaran	Indikator Pencapaian	Metodologi	Penanggung Jawab	Tempat kegiatan
I.1	Penumbuhan film tipis LNT kandungan Nb	Prosedur dan parameter penumbuhan optimum	Didapatkan film tipis LNT yang terkontrol komposisinya	Penumbuhan LNT yang bervariasi dengan bahan pendadah Nb	AH/MK	UPI
I. 2	Penumbuhan film tipis LNT dengan kualitas kristal terbaik	Prosedur dan parameter penumbuhan optimum	Didapatkan film tipis LNT yang memiliki kualitas kekristalan, sifat ferroelektrik, konduktivitas listrik, fill factor dan efisiensi sensor suhu	- Penumbuhan LNT dengan berbagai variasi putaran dan temperatur <i>annealing</i> .	AH/MK	UPI
I.3	Observasi Struktur kristal dan morfologi permukaan	Prosedur dan parameter penumbuhan optimum	Didapatkan film tipis LNT dengan struktur kristal dan morfologi permukaan yang sesuai	- Observasi kandungan Nb melalui karakterisasi EDS - Observasi morfologi permukaan melalui karakterisasi SEM	AH/IH	UPI PPPGL PPPGL
I.4	Pengukuran sifat konduktivitas listrik	Prosedur dan parameter penumbuhan optimum	Didapatkan film tipis LNT dengan sifat konduktivitas yang baik untuk digunakan pada sensor suhu	Pengukuran sifat konduktivitas listrik dan resistansi listrik dengan menggunakan rangkaian elektronik <i>OP-Amp</i>	AH/IH	UPI
I.5	Pengukuran efisiensi sensor suhu	Prosedur dan parameter penumbuhan optimum	Didapatkan film tipis LNT yang baik untuk digunakan pada sensor suhu	Pengukuran efisiensi sensor suhu dengan metoda <i>I/V converter</i>	AH/MK	UPI



II.1	Pengukuran koefisien pyroelektrik dan dielektrik LNT	Prosedur dan parameter pyroelektrik dan dielektrik LNT	Didapat data pyroelektrik dan dielektrik LNT	Perhitungan koefisien pyroelektrik dan dielektrik.	AH/IH	
II.2	Optimasi kepekaan sensor suhu	Prosedur dan parameter kepekaan sensor suhu	Didapat data kepekaan sensor suhu	Pengukuran/pengujian kepekaan sensor suhu dengan menggunakan variasi temperatur.	AH/MK	
II.3	Pengukuran responsivitas arus dan tegangan sensor suhu	Prosedur dan parameter responsivitas sensor suhu	Didapat data responsivitas sensor suhu LNT	Pengukuran/pengujian responsivitas sensor suhu dengan menggunakan alat ukur arus dan tegangan	AH/IH	
II.4	Peningkatan kendali mutu fabrikasi devais sensor suhu	Mutu devais sensor suhu	Didapat sensor suhu dengan mutu yang baik	Membuat rangkaian (fabrikasi) sensor suhu skala laboratorium	AH/MK	



## BAB IV HASIL PENELITIAN

### 4.1 Penumbuhan lapisan film LiTaO<sub>3</sub>

Sebelum kegiatan penumbuhan dilakukan persiapan membuat larutan film dengan bahan-bahan sebagai berikut : Metoksi etanol (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>), Aseton (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O), Methanol (CH<sub>4</sub>O), *Hydrofluoric acid*(HF), Litium asetat (LiO<sub>2</sub>C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>), Tantalum pentaoksida (Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), Niobium pentaoksida (Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), dan Substrat Si (100)tipe-p. Larutan yang dihasilkan disaring untuk memisahkan larutan dan endapannya. Dengan menggunakan *Spin Coater*, dilakukan penumbuhan film tipis di atas substrat Si. Putaran optimum *Spin Coater*, dilakukan pada 3000 rpm. Larutan yang dibuat di dadah dengan Nb dengan variasi 0%, 2,5%, 5% dan 7,5%. Tiap komposisi dibuat sampel sebanyak 15 buah sampel. Kegiatan pembuatan larutan hingga menjadi lapisan film tipis dilakukan di Laboratorium Fisika IPB.

#### a. *Annealing*

Tahap *anneal* dilakukan terhadap seluruh lapisan film tipis. Temperatur *anneal* yang diambil adalah 1000<sup>0</sup>C, 1100<sup>0</sup>C, 1200<sup>0</sup>C. Tiap sampel dengan komposisi Nb (0%, 2,5%, 5% dan 7,5%) di-*anneal* pada temperatur tersebut dengan lama penahanan dalam tungku selama 8 jam setelah temperatur *anneal* dicapai. Kegiatan *anneal* ini dilakukan di laboratorium Pengujian Material di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin UPI.

#### b. Karakterisasi SEM dan EDS

Karakterisasi SEM dan EDS dilakukan untuk mengetahui keadaan morfologi permukaan dan komposisi kimia lapisan film tipis. Data keadaan permukaan lapisan film tipis akan menunjang terhadap penentuan pada temperatur *anneal* mana yang paling optimum sehingga lapisan film tipis dapat digunakan sebagai saklar cahaya dan sensor suhu. Karakterisasi SEM dan EDS dilakukan di laboratorium Pusat penelitian Geologi Laut (PPGL).

#### c. Pembuatan kontak untuk Model devais sensor suhu LiTaO<sub>3</sub> prinsip kapasitor.

Kegiatan ini dilakukan di Laboratorium Fisika ITB. Hasil dari kegiatan ini adalah dihasilkannya devais sensor suhu dengan prinsip kapasitor.

#### d. Karakterisasi I-V

Karakterisasi I-V dilakukan untuk mengetahui nilai resistansinya. Resistansi suatu material bergantung dengan panjangnya  $L$  dan berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas listrik dan luas penampang lintangnya  $A$ . Hasil dari karakterisasi ini didapat

grafik yang menyatakan hubungan antara kuat arus dan tegangan masing-masing dari setiap sampel lapisan film tipis. Proses karakterisasi kurva karakteristik I-V fotodioda tersebut diberikan dua *treatment* yang berbeda yaitu tanpa penyinaran (dalam kondisi gelap) serta dengan penyinaran (dalam kondisi terang).

#### 4.2 Deskripsi Hasil Penelitian.

- a. Mengukur responsivitas arus dan tegangan sensor suhu

Pada penelitian ini, dibuat sampel hasil pembuatan fotodioda berbasis  $\text{LiTaO}_3$  dengan variasi komposisi pendadah yaitu 0%Nb, 2,5% Nb, dan 5% Nb dengan variasi temperatur *anneal*. Variasi temperature *anneal* diambil  $1000^\circ\text{C}$ ,  $1100^\circ\text{C}$ , dan  $1200^\circ\text{C}$ . Karakterisasi yang telah dilakukan berupa karakterisasi karakteristik I-V dari film tersebut. Proses karakterisasi ini ditujukan untuk mengetahui sifat listrik dari fotodioda berbasis  $\text{LiTaO}_3$  yang dihasilkan.

Dari hasil karakterisasi fotodioda yang dilakukan, diperoleh kurva hubungan arus-tegangan yang mirip dengan karakteristik kurva dioda untuk keseluruhan film tipis dan seluruh kombinasi kontak pada film tipis, seperti terlihat pada gambar 4.1 samapi 4.3. Film tipis yang telah dibuat merupakan persambungan antara dua buah semikonduktor yang berbeda yaitu silikon dan  $\text{LiTaO}_3$ . Silikon yang digunakan merupakan semikonduktor tipe-*p*, sedangkan lapisan tipis  $\text{LiTaO}_3$  merupakan semikonduktor tipe-*n*. Persambungan semikonduktor tipe-*p* dan tipe-*n* dikenal dengan nama *p-n junction* (J. A. Blackburn, 2001). Dengan adanya *p-n junction*, maka karakteristik dari film tipis yang dibuat sama dengan karakteristik dari dioda yang merupakan gabungan antara dua elektroda yaitu anoda dan katoda (P.A. Tippler, 1991).

Dari karakteristik I-V yang terbentuk, terlihat bahwa pemberian tegangan yang sama pada ketiga fotodioda yang dibuat menunjukkan nilai arus yang berbeda. Nilai arus yang ditunjukkan oleh karakteristik I-V untuk fotodioda dengan suhu *anneal*  $1000^\circ\text{C}$  lebih kecil dibandingkan dengan dua fotodioda lainnya. Sedangkan nilai arus untuk fotodioda dengan suhu *anneal*  $1100^\circ\text{C}$  memiliki arus yang paling besar. Hal ini sesuai dengan tegangan *barrier* yang dihasilkan dari ketiga fotodioda tersebut.

Tabel 4.1 Tegangan *Barrier* dan *Photocurrent*

Temp <i>Anneal</i>	<i>Barrier Potential</i> (V)	<i>Photocurrent</i> (A)
--------------------	------------------------------	-------------------------

	Gelap	Terang	
1000	0.76	0.68	$9.0 \times 10^{-7}$
1100	0.59	0.57	$1.2 \times 10^{-6}$
1200	0.98	0.91	$1.8 \times 10^{-7}$

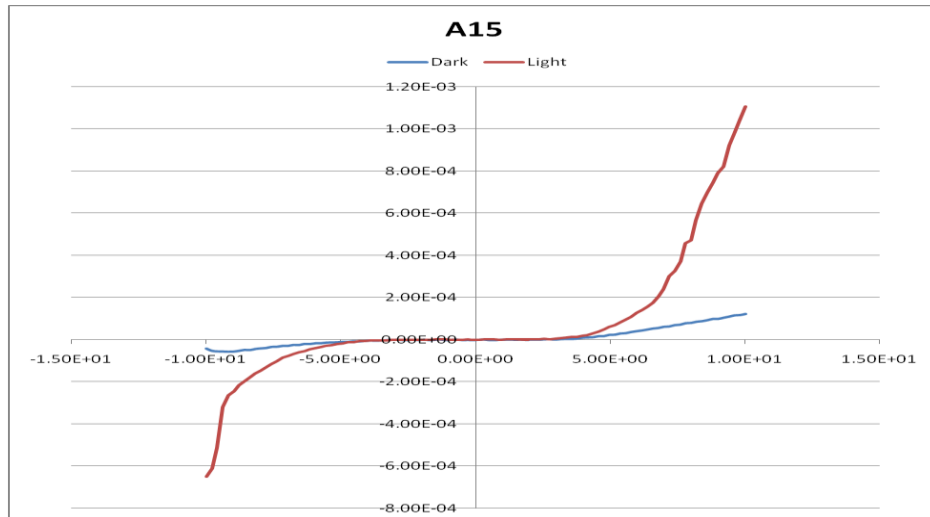
Nilai tegangan yang menyebabkan arusnya naik secara signifikan (tegangan *barrier*) bervariasi untuk semua *film* dan juga untuk variasi kombinasi kaki kontak yang ada pada satu *film* tipis yang sama. Pada bahan semikonduktor mempunyai keterbatasan dalam menampung tegangan, sehingga mencapai tegangan *breakdown* (Cari, A. Supriyanto, 2004). Dari data tegangan *barrier* yang terdapat pada tabel 1 terlihat bahwa pemberian suhu *annealing* yang berbeda pada fotodioda yang sama memberikan nilai tegangan *barrier* yang berbeda pula.

#### b. Optimasi responsivitas sensor suhu LNT

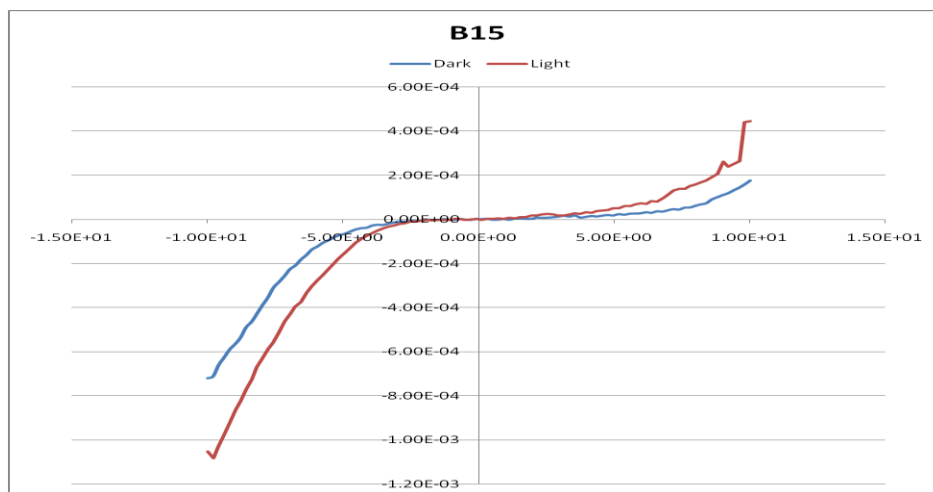
Proses karakterisasi kurva karakteristik I-V fotodioda tersebut diberikan dua *treatment* yang berbeda yaitu tanpa penyinaran (dalam kondisi gelap) serta dengan penyinaran (dalam kondisi terang). Dari kurva I-V tersebut, kedua perlakuan yang telah diberikan menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu membentuk karakteristik dioda. Pada kondisi terang, tegangan *barrier* lebih cepat dicapai dibandingkan pada kondisi gelap. Hal ini dikarenakan pemberian cahaya pada fotodioda akan menyebabkan film tersebut menjadi lebih konduktif. Sifat konduktif pada fotodioda terjadi karena energi foton yang dipancarkan oleh lampu diserap oleh elektron sehingga *barrier* potensial yang dimiliki oleh persambungan *p-n* dari material tersebut mengecil yang akan mengakibatkan lebih banyaknya muatan pembawa yang berdifusi dari tipe *p* ke tipe *n* (untuk *hole*) serta dari tipe *n* ke tipe *p* (untuk elektron). Hal ini mengakibatkan terjadinya arus difusi yang lebih besar yang pada akhirnya akan mempercepat tercapainya tegangan *barrier*. Dari karakteristik I-V yang dilakukan maka dapat diketahui bahwa persambungan *p-n* yang dibuat mempunyai sifat sebagai dioda. Selain itu dengan adanya perbedaan kurva ketika diberikan cahaya dan tanpa cahaya, maka persambungan *p-n* yang dibuat juga mempunyai sifat sebagai fotodioda.

Selain itu, dari data karakteristik I-V yang didapat kita dapat memperoleh nilai arus penyinaran (*photocurrent*) yang ditunjukkan dengan selisih nilai arus pada saat tidak ada panjar yang diberikan ( $V = 0$ ). Nilai *photocurrent* yang didapat dari fotodioda yang dihasilkan ditunjukkan oleh pada tabel 1.

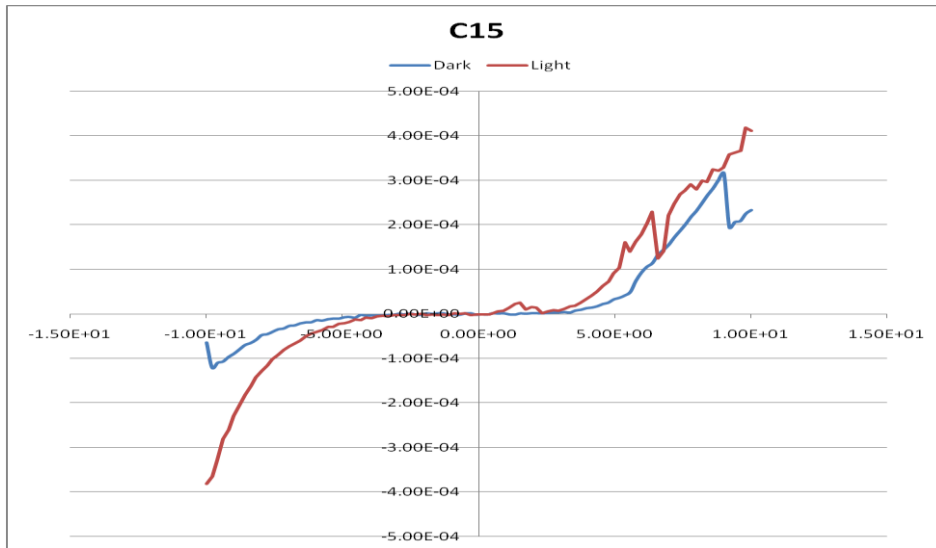
Berdasarkan data di tabel 4.1, temperatur *anneal* yang paling optimum dimana lapisan film tipis dapat digunakan sebagai devais sensor suhu ataupun saklar cahaya yaitu pada temperatur 1100°C.



Gambar 4.1 Kurva I-V untuk LiTaO<sub>3</sub> dengan 5%Nb pada T=1000°C



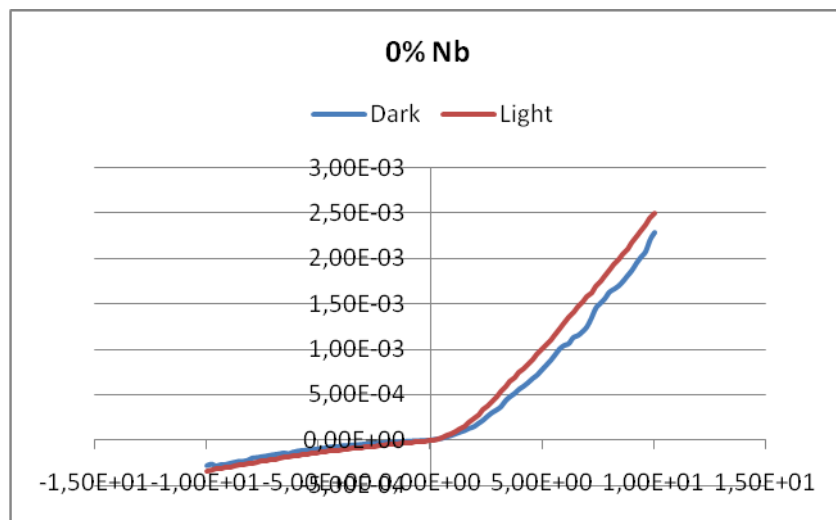
Gambar 4.2 Kurva I-V untuk LiTaO<sub>3</sub> dengan 5%Nb pada T=1100°C



Gambar 4.3 Kurva I-V untuk LiTaO<sub>3</sub> dengan 5%Nb pada T=1200°C

Sebelum dilakukan uji coba dimana Lapisan film tipis LiTaO<sub>3</sub> akan digunakan sebagai piranti sensor suhu, pada kesempatan penelitian juga dilakukan uji coba penggunaan lapisan film tipis LiTaO<sub>3</sub> pada saklar cahaya. Berikut adalah beberapa hasil penelitian tambahan yang akan dibahas penggunaan pendadah Nb yang paling optimum yang dapat digunakan sebagai saklar cahaya.

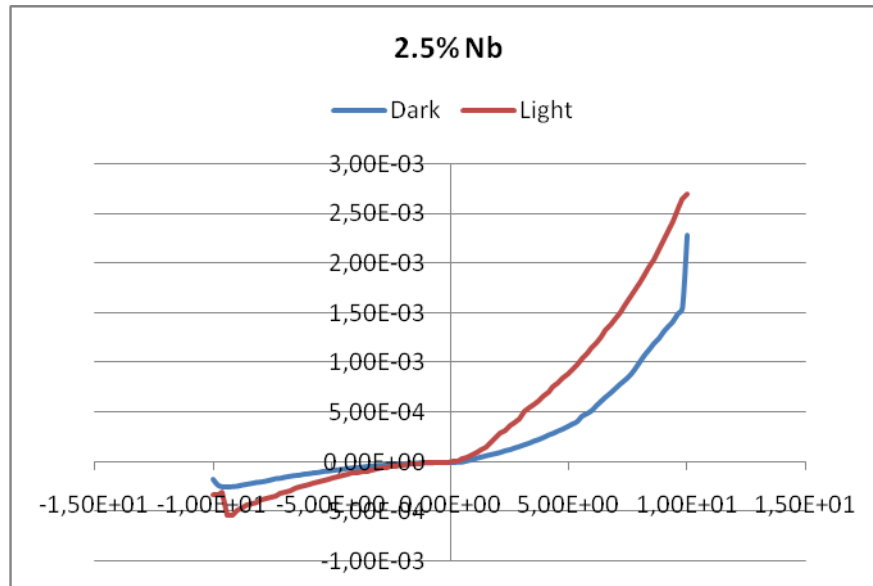
Berikut adalah hasil karakterisasi I-V dari masing-masing sampel yang telah di buat.



Gambar 4.4. Hasil karakterisasi I-V untuk LiTaO<sub>3</sub> dengan 0% Nb.

Dari gambar 4.4, menunjukkan bahwa bahan LiTaO<sub>3</sub> yang digunakan termasuk ke dalam piranti fotodiode, hal ini diperlihatkan dari lengkung kurva dan perbedaan arus listrik yang dihasilkan antara kondisi penyinaran gelap dan terang. Namun, saklar cahaya

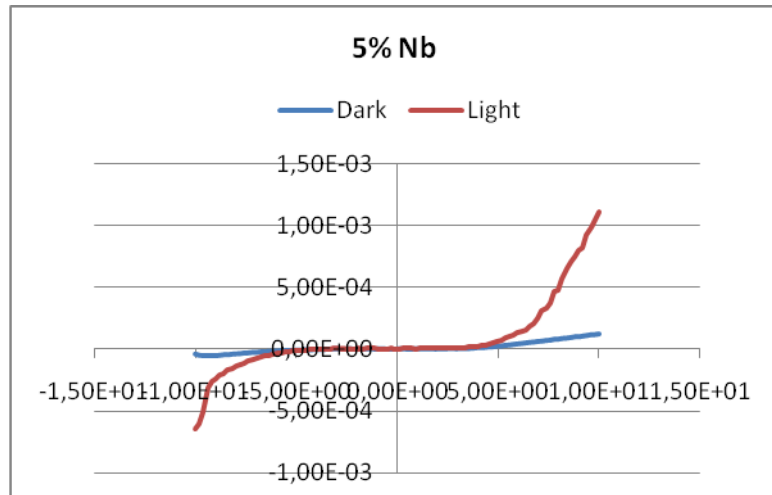
yang terbentuk dari karakteristik seperti ini memiliki sensitivitas terhadap cahaya yang kurang baik walaupun piranti ini menghasilkan arus listrik yang cukup tinggi dibandingkan dengan sampel lainnya.



Gambar 4.5 Hasil karakterisasi I-V untuk LiTaO<sub>3</sub> dengan 2.5% Nb.

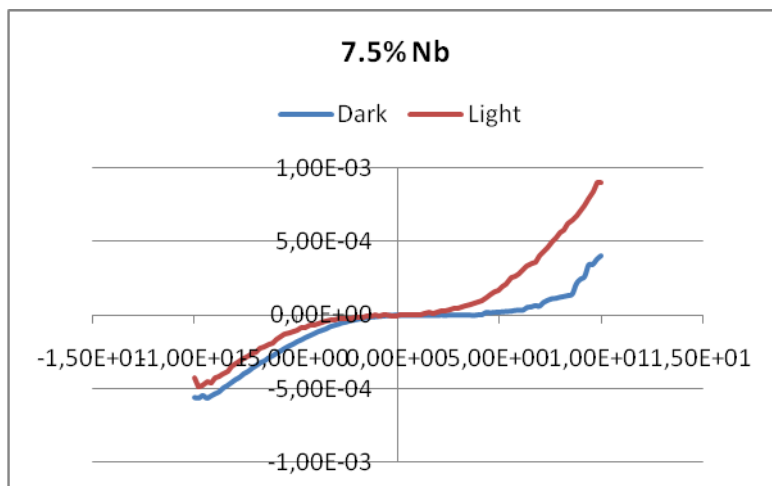
Dari gambar 4.5, menunjukkan bahwa piranti ini lebih baik dari sampel yang pertama, hal ini diperlihatkan dari perbedaan kelengkungan I-V yang dihasilkan. Sampel ini juga mampu menghasilkan arus listrik yang cukup saat kondisi penyinaran. Dari sini terlihat bahwa penambahan pendadah niobium dapat memberikan pengaruh positif terhadap bahan LiTaO<sub>3</sub>.





Gambar 4.6 Hasil karakterisasi I-V untuk LiTaO<sub>3</sub> dengan 5% Nb.

Dari gambar 4.6, dapat terlihat bahwa inilah hasil yang paling baik. Terlihat bahwa perbedaan arus yang dihasilkan pada kondisi gelap dan terang sangat signifikan. Walau demikian arus yang dihasilkannya relatif lebih rendah dibandingkan kedua sampel sebelumnya. Hasil ini sudah cukup baik apabila ingin digunakan sebagai piranti saklar cahaya.



Gambar 4.7 Hasil karakterisasi I-V untuk LiTaO<sub>3</sub> dengan 7.5% Nb.

Dari gambar 4.7, arus yang dihasilkan tidak jauh berbeda dari sampel ketiga, selain itu juga terlihat kurva yang dihasilkan dari kondisi gelap dan terang tidak terlalu berbeda. Hal ini menunjukkan penurunan kualitas pada saat pendadah niobium ditambahkan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pendadah yang paling optimal yang dapat diberikan pada film tipis LiTaO<sub>3</sub> adalah 5% niobium.

Hasil percobaan tersebut selanjutnya dibuatkan rangkaian saklar cahaya dan menunjukkan bahwa lapisan film tipis LiTaO<sub>3</sub> dapat digunakan sebagai lapisan film tipis alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan saklar cahaya yang mempunyai nilai jual.

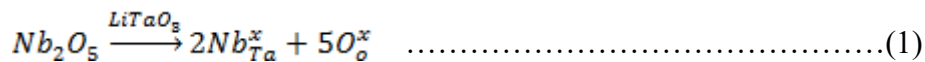
c. Perhitungan Konstanta Dielektrik

Konstanta dielektrik hasil perhitungan masing-masing komposisi ditunjukkan oleh Tabel. 4.1.

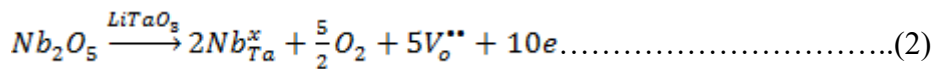
Tabel. 4.1. Konstanta dielektrik film tipis LNT yang diukur pada frekuensi 1kHz dengan LCR meter

Komposisi	Konstanta dielektrik
LiTaO <sub>3</sub>	31.65
LiTaO <sub>3</sub> + 5% Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	36.22
LiTaO <sub>3</sub> + 7.5% Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	298.63

Dari Tabel.4.1 terlihat bahwa konstanta dielektrik meningkat dengan signifikan pada komposisi 7.5% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Hal ini disebabkan oleh reaksi substitusi Nb<sup>+5</sup> dari Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> yang membuat film tipis LNT memiliki karakteristik semikonduktor tipe-n. Persamaan reaksi yang memenuhi adalah



Dimana reaksi reduksi dapat berlangsung sehingga,

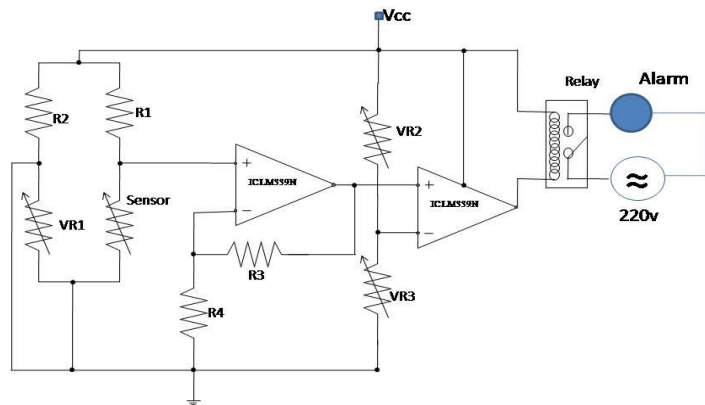


Berdasarkan persamaan 2 semakin banyak konsentrasi Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> semakin tinggi electron yang dihasilkan dan polarisasi muatan electron dan hole memberikan sumbangsih dalam peningkatan konstanta dielektrik film tipis LNT.

d. Uji Pyroelektrik

Pada saat dilakukan pengujian pertama pada bulan April yaitu uji pyroelektrik, sampel LNT memiliki sensitivitas yang baik. Karakterisasi dengan menggunakan jembatan wheatstone menunjukkan bahwa beda potensial output berubah dengan berubahnya suhu dan kecenderungan perubahannya bersifat linear. Perubahan tegangan output terhadap perubahan suhu cukup signifikan. Hasil ini membuktikan bahwa sampel LNT dapat diaplikasikan sebagai sensor suhu.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan skema rangkaian sebagai berikut :



Tabel 4.2 Hasil pengujian Pyroelektrik terhadap sampel LiTaO<sub>3</sub> dengan komposisi Nb 7,5%

T(oC)	Vo(Volt)	Vf(Volt)	V1 (Volt)	If(Ampere)	dIf (Ampere)	dIf/A (Ampere/m <sup>2</sup> )	dT/dt (oC/s)
36	0,32	2,84	3,16	0,000320487	0,000000000	0,0000	0
37	0,36	2,80	3,20	0,000324544	0,000004057	0,3381	1
38	0,42	2,74	3,26	0,000330629	0,000010142	0,8452	2
39	0,45	2,71	3,29	0,000333671	0,000013184	1,0987	3
40	0,43	2,73	3,27	0,000331643	0,000011156	0,9297	4
41	0,46	2,70	3,30	0,000334686	0,000014199	1,1832	5
42	0,44	2,72	3,28	0,000332657	0,000012170	1,0142	6
43	0,56	2,60	3,40	0,000344828	0,000024341	2,0284	7
44	0,57	2,59	3,41	0,000345842	0,000025355	2,1129	8
45	0,58	2,58	3,42	0,000346856	0,000026369	2,1974	9
46	0,59	2,57	3,43	0,000347870	0,000027383	2,2819	10
47	0,61	2,55	3,45	0,000349899	0,000029412	2,4510	11
48	0,62	2,54	3,46	0,000350913	0,000030426	2,5355	12
49	0,54	2,62	3,38	0,000342799	0,000022312	1,8593	13
50	0,35	2,81	3,19	0,000323529	0,000003042	0,2535	14
51	0,38	2,78	3,22	0,000326572	0,000006085	0,5071	15
52	0,33	2,83	3,17	0,000321501	0,000001014	0,0845	16
53	0,36	2,80	3,20	0,000324544	0,000004057	0,3381	17
54	0,40	2,76	3,24	0,000328600	0,000008113	0,6761	18
55	0,46	2,70	3,30	0,000334686	0,000014199	1,1832	19
56	0,48	2,68	3,32	0,000336714	0,000016227	1,3522	20
57	0,53	2,63	3,37	0,000341785	0,000021298	1,7748	21
58	0,55	2,61	3,39	0,000343813	0,000023326	1,9439	22
59	0,49	2,67	3,33	0,000337728	0,000017241	1,4368	23
60	0,52	2,64	3,36	0,000340771	0,000020284	1,6903	24
61	0,40	2,76	3,24	0,000328600	0,000008113	0,6761	25

62	0,34	2,82	3,18	0,000322515	0,000002028	0,1690	26
63	0,47	2,69	3,31	0,000335700	0,000015213	1,2677	27
64	0,49	2,67	3,33	0,000337728	0,000017241	1,4368	28
65	0,45	2,71	3,29	0,000333671	0,000013184	1,0987	29
66	0,53	2,63	3,37	0,000341785	0,000021298	1,7748	30
67	0,54	2,62	3,38	0,000342799	0,000022312	1,8593	31
68	0,70	2,46	3,54	0,000359026	0,000038539	3,2116	32
69	0,60	2,56	3,44	0,000348884	0,000028397	2,3664	33
70	0,69	2,47	3,53	0,000358012	0,000037525	3,1271	34
71	0,65	2,51	3,49	0,000353955	0,000033468	2,7890	35
72	0,53	2,63	3,37	0,000341785	0,000021298	1,7748	36
73	0,57	2,59	3,41	0,000345842	0,000025355	2,1129	37
74	0,62	2,54	3,46	0,000350913	0,000030426	2,5355	38
75	0,46	2,70	3,30	0,000334686	0,000014199	1,1832	39

Dari tabel tersebut di atas terlihat bahwa lapisan film tipis LiTaO<sub>3</sub> menunjukkan adanya sensitivitas adanya perubahan temperatur terhadap tegangan yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan film tipis LiTaO<sub>3</sub> dapat digunakan sebagai sensor suhu.

#### 4.3. Kesimpulan

- a) Berdasarkan hasil pengujian terhadap Tegangan *Barrier* dan *Photocurrent*, temperatur *anneal* yang paling optimum dimana lapisan film tipis dapat digunakan sebagai devais sensor suhu ataupun saklar cahaya yaitu pada temperatur 1100<sup>0</sup>C.
- b) Semakin banyak konsentrasi Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> semakin tinggi electron yang dihasilkan dan polarisasi muatan electron dan hole memberikan sumbangsih dalam peningkatan konstanta dielektrik film tipis LNT.
- c) Hasil percobaan karakteristik I-V dibuatkan rangkaian saklar cahaya dan menunjukkan bahwa lapisan film tipis LiTaO<sub>3</sub> dapat digunakan sebagai bahan saklar cahaya yang mempunyai nilai jual
- d) Berdasarkan hasil pengujian karakteristik pyroelektrik, lapisan film tipis LiTaO<sub>3</sub> menunjukkan adanya sensitivitas adanya perubahan temperatur terhadap tegangan yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan film tipis LiTaO<sub>3</sub> dapat digunakan sebagai sensor suhu.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Fraden, J. and L. Jolla. 2000. *Infrared (IR) Thermometer*. US Patent No. 6,129,673, (October 10, 2000).
- Griffiths, D. J. 1995. *Introduction To Electrodynamics*, Prentice-Hall of India Private Limited.
- Imada, K., N. Takahiro and K. Osamu. 1998. *Pyroelectric IR Sensor*. US Patent No. 5,739,532, (April 14, 1998).
- Irzaman, Y. Darvina, A. Fuad, P. Arifin, M. Budiman, and M. Barmawi. 2003. *Physical and Pyroelectric Properties of Tantalum Oxide Doped Lead Zirconium Titanate [Pb<sub>0.9950</sub>(Zr<sub>0.525</sub>Ti<sub>0.465</sub>Ta<sub>0.010</sub>)O<sub>3</sub>] Thin Films and Its Application for IR Sensor*. *Physica Status Solidi (a)*, Germany, **199** (3), page 416 – 424.
- Irzaman, H. Darmasetiawan, M Hikam, P. Arifin, M. Budiman and M. Barmawi. 2003. *Pyroelectric Properties of Lead Zirconium Titanate (PbZr<sub>0.525</sub>Ti<sub>0.475</sub>O<sub>3</sub>) Metal-Ferroelectric-Metal Capacitor and Its Application for IR Sensor*. Accepted for Presentation in the 3<sup>rd</sup> Asian Meeting on Electro Ceramic (AMEC-3) the Symposium E of International Conference on Materials for Advanced Technology (ICMAT2003), Singapore, December 7 – December 12,
- Irzaman, M. N. Indro dan R.I. Priatna. 2007. *Sifat Ferroelektrik Lapisan Tipis PZT dan PNZT yang Ditumbuhkan dengan Metode CSD*. *Jurnal Agritek IPM Malang*, **15**, no. 1, 157 - 164.
- Itskovsky, M.A. 1999. *Kinetics of Ferroelectric Phase Transition : Nonlinear Pyroelectric Effect and Ferroelectric Solar Cell*. *Jpn. J. Appl. Phys.* **38** (8), page 4812 – 4817.
- Jasruddin, D.M, W.W. Wenas, T. Winata and M. Barmawi. 2001. *Growth Study of n-Type Delta-Doped for p-i-n Solar Cell Application Based Amorphous Silicon and Its Alloy*. Proceedings of the International Conference on Electrical Electronics Communication and Information (CECI 2001), Jakarta, Indonesia, page MD42 – MD44.
- Kwok, K. N. 1995. *Complete Guide To Semiconductor Device*. McGraw-Hill, inc.,
- Lee, B.T, W.D. Kim, K.H. Lee, H.J. Lim, C.S. Kang, H. Hideki. *Electrical Properties of Sputtered BST Thin Films Prepared by Two Step Deposition Method*. *Journal of electronic Materials*. **28** (4), page L9 – L12.
- Neamen, D. A. 2001. *Electronic Circuit Analysis and Design*, New York. Mc Graw Hill, International Edition.
- Sunandar, C. 2006. *Penumbuhan Film Ba<sub>x</sub>Sr<sub>1-x</sub>TiO<sub>3</sub> dan BaFeSrTiO<sub>3</sub> dan Observasi Sifat Ferroelektriknya*, *Skripsi, Departemen Fisika, Institut Pertanian Bogor*.
- Taniguchi, R., M. Ikara, T. Matsushima, H. Yagyū. 1997. *Pyroelectric Type Infrared Receiving and Infrared Sensor Utilizing The Same*. Europe Patent No. EP 0802402, (October 22, 1997).
- Tippler, P. A. 1991. *Physics for Scientist and Engineers*. Worth Publisher, Inc.,
- Uchino, K. 2000. *Ferroelectric Devices*. Marcel Dekker, Inc. New York. page 23.
- Washo, B.D. 1977. *Reology and Modelling of the Spin Coating Process*. IBM Res. Develop. page 190 – 198.
- Whitaker, T. 1998. *Focal Plane Arrays Fabricated from Compound Semiconductor Materials are at The Heart of Many Infrared Imaging Systems and Nighth Vision Cameras*. *Compound Semiconductor Spring II*, **4** (4), page 17 –23.
- Wu, N.J, Y.S. Chen, S. Dorderic, A. Ignatiev. 1997. *Pyroelectric IR Sensor Based on Oxide Heterostructures on Si (100) and LaAlO<sub>3</sub> (100) Substrates*. Proceeding Third International Conference on Thin Film Physics and Applications. SPIE Vol. **3175**, page 256 –