TESIS SF-185301

ANALISIS PENGARUH WAKTU TAHAN ANIL TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN SIFAT OPTIK MATERIAL PEROVSKITE BARIUM TITANAT UNTUK SEL SURYA

RASMIANTI
NRP 01111850010016

DOSEN PEMBIMBING
DR. YOYOK CAHYONO, M.SI

PROGRAM MAGISTER
BIDANG FISIKA MATERIAL
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

TESIS - SF185301

ANALISIS PENGARUH WAKTU TAHAN ANIL TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN SIFAT OPTIK MATERIAL PEROVSKITE BARIUM TITANAT UNTUK SEL SURYA

RASMIANTI
NRP 01111850010016

DOSEN PEMBIMBING
DR. YOYOK CAHYONO, M.SI

PROGRAM MAGISTER
BIDANG FISIKA MATERIAL
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

TESIS - SF185301

ANALYSIS HOLD TIME ANNEALING EFFECT ON CRYSTAL STRUCTURE AND OPTICAL PROPERTIES OF MATERIAL PEROVSKITE BARIUM TITANATE FOR SOLAR CELL

RASMIANTI
NRP 01111850010016

ADVISOR
DR. YOYOK CAHYONO, M.SI

MASTER PROGRAM
FIELD OF MATERIAL PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE AND DATA ANALYTICS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh :
RASMIANTI
NRP : 01111850010016

Tanggal Ujian : 14 Agustus 2020
Periode Wisuda : September 2020

Disetujui oleh :
Pembimbing :

1. Dr. Yoyok Cahyono, M.Si .....
   NIP 19630127 199002 1 003

Penguji :

1. Dr. rer. nat Triwikantoro, M.Sc .....
   NIP 19660114 199002 1 001

2. Dr. Mashuri, M.Si .....
   NIP 19691216 199402 1 001

Kepala Departemen Fisika
Fakultas Sains

Drs. Gatut Yudoyono, M.T
NIP 19640016 198903 1 004

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISIS PENGARUH WAKTU TAHAN ANIL TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN SIFAT OPTIK MATERIAL PEROVSKITE BARIUM TITANAT UNTUK SEL SURYA

Nama	:	Rasmianti
NRP	:	01111850010016
Pembimbing	:	Dr. Yoyok Cahyono, M.Si

ABSTRAK

Material sel surya berbasis perovskite saat ini masih banyak berfokus pada sintesis, karakterisasi dan fabrikasi. Barium titanat ($BaTiO_3$) termasuk dalam group perovskite yang terbukti memiliki keunggulan dapat meningkatkan efisiensi sel surya dan ramah terhadap lingkungan. Namun, struktur kristalnya sangat tidak stabil terhadap perubahan suhu dan waktu tahan. Oleh peneliti sebelumnya ditemukan suhu terbaik pada 500 °C pada waktu tahan 1 jam. Sehingga perlu diteliti lebih lanjut terkait efek dari waktu tahan anil yang diberikan. Pada proses sintesis barium titanat pemilihan bahan prekursor dan metode yang digunakan juga sangat berpengaruh. Pada penelitian ini material barium titanat disintesis menggunakan prekursor $TiCl_3$ dan $Ba(OH)_2.8H_2O$ dengan metode *sol-gel* dan teknik *spin coating*. Berdasarkan hasil sintesis dan karakterisasi yang dilakukan diperoleh struktur kristal barium titanat dengan puncak intensitas tertinggi pada sudut 2θ yaitu 30° dari uji XRD. Ukuran kristal mengalami penurunan akibat penambahan waktu tahan anil. Sedangkan untuk sifat optik, UV-Vis menunjukkan semakin lama waktu tahan anil maka absorbansi semakin meningkat tetapi nilai energi gap menurun. Hasil FTIR menunjukkan daerah serapan dari ikatan gugus fungsi material yang disintesis berhasil membentuk barium titanat. Berdasakan pada hasil analisis dari beberapa parameter yang ada dipilih waktu tahan anil terbaik untuk Barium Titanat pada suhu 500 °C ini yaitu 90 menit karena memiliki ukuran kristal yang paling kecil dan Eg yang paling rendah sehingga pada keadaan tersebut, film dapat menyerap energi foton lebih banyak.

Kata Kunci: *perovskite*, barium titanat, waktu tahan, *spin coating*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALYSIS HOLD TIME ANNEALING EFFECT ON CRYSTAL STRUCTURE AND OPTICAL PROPERTIES OF MATERIAL PEROVSKITE BARIUM TITANATE FOR SOLAR CELL

Name	:	Rasmianti
Student Identity Number	:	01111850010016
Supervisor	:	Dr. Yoyok Cahyono, M.Si

ABSTRACT

Perovskite solar cell materials nowadays focus on synthesis, characterization and fabrication. Barium titanate belongs to the perovskite group which is proven to have the advantage of increasing efficiency and friendly to environment. But, it had very sensitive crystal structure on temperature change and hold time effect. The experiment before was founded that the best temperature is 500 °C in one hours hold time. So that, we need to observe more about the hold time annealing effect by doing some variation hold time. Beside that, the precursor and method also important to choose cause it can impact the crystal structure and optical properties of barium titanate material. Materials $TiCl_3$ and $Ba(OH)_2.8H_2O$ was choosen as a precursor for synthesis barium titanate by using sol-gel and spin coating methods. The best parameters were obtained from the result of XRD, FTIR, and UV-Vis characterization on barium titanate that have been treated with hold time variation 30 minutes, 60 minutes, 90 minutes, and 120 minutes at 500 °C temperature. According to the XRD analysis the crystal structure show higher intensity on 2θ is 30° and crystal size will decreased due to increased hold time. The result of UV-Vis for optical properties show that when the hold time incease then the absorbance will be increase but the gap energy value was decreased. The FTIR it show the absorption area of the bonding group of material function successfully forms barium titanate. According to the result information about the best selection of hold time annealing can improve the efficiency of perovskite-based solar cells.

Keywords: perovskite, barium titanate, hold time, spin coating.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kepada ALLAH *Subhana wata'ala* karena atas berkah, rahmat, petunjuk dan pertolongan-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan Tesis ini dengan optimal setelah melewati perjalanan penelitian yang tidak mudah. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan agung Nabi Muhammad *Shallallahu alaihi wasallam* yang telah menuntun dari gelapnya kebodohan menuju terangnya cahaya kebenaran.

Tesis ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan Pascasarjana Departemen Fisika Fakultas Sains dan Analitika Data ITS. Tesis dengan judul :

"ANALISIS PENGARUH WAKTU TAHAN ANIL TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN SIFAT OPTIK MATERIAL PEROVSKITE BARIUM TITANAT UNTUK SEL SURYA"

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang membantu penyusunan laporan Tesis dan proses penelitiannya.

1. Kedua orang tua tercinta penulis yang telah memberikan semua hal terbaik bagi penulis sejak kecil sampai dewasa dan memberikan doa ditiap malam.
2. Keempat saudara tersayang, Rustan, Harianti, Haris dan Irfan serta keluarga besar yang telah memberikan support doa dan finansial kepada penulis.
3. Bapak Dr. Yoyok Cahyono, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah memberi pengarahan dan bimbingan dengan sabar selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
4. Bapak Dr. rer. nat Triwikantoro, M.Sc dan Dr. Mashuri, M.Si selaku dosen penguji atas segala masukan, kritik serta saran yang telah diberikan demi kesempurnaan penulisan tesis ini.
5. Bapak Dr. Gatut Yudhoyono M.T selaku Ketua Departemen Fisika ITS.
6. Pak Ghofar sebagai laboran Laboratorium Optik dan EM Terapan yang telah banyak membantu sejak awal hingga proses penelitian.
7. Segenap dosen-dosen Departemen Fisika Fakultas Sains dan Analitika Data yang telah mengajarkan berbagai ilmu kepada penulis. Semoga ilmu nya bermanfaat dan mendapatkan pahala yang mengalir terus menerus.
8. Shahabat Ukhuwah Untill Jannah yang selalu mendoakan, dan mendukung penulis selama menjalani studi magister.

9. Akhwat tarbiyah Surabaya yang tetap setia mendoakan yang terbaik untuk penulis.
10. Anisa Ratnasari, S.Si dan Rahmi Intan Utami, S.Si, M.Si atas segala bantuan dan supportnya selama menyelesaikan program magister di ITS.
11. Teman-teman green house kos dan tentu ibu kos tercinta Bu Ella rachma yang senantiasa membantu dan menyemangati penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
12. Akhwat tarbiyah Makassar (Khususnya ka ainun yang telah memberikan sarannya), teman-teman akhwat alumni unhas dan adik-adik yang senantiasa mendoakan penulis.
13. Segenap teman-teman Pascasarjana Tahun 2018, terutama teman satu perjuangan di Lab Material dan Fisika Medis Departemen Fisika Fakultas Sains dan Analitika Data ITS (Amel, Akifah, Nura, dan Zahro) yang telah menjadi penyemangat terbaik bagi penulis selama ini.
14. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan ini masih terdapat kesalahan. Mohon kritik dan saran pembaca guna menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga laporan Tesis ini bermanfaat bagi semua pihak. Amiin Ya Rabbal Alamiin.

"Tidak ada yang terlalu sulit jika berusaha dan berdoa dengan sungguh-sungguh"

Surabaya, 30 Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ii

HALAMAN JUDUL iv

LEMBAR PENGESAHAN TESIS vi

ABSTRAK viii

ABSTRACT x

KATA PENGANTAR xii

DAFTAR ISI xvi

DAFTAR GAMBAR xvi

DAFTAR TABEL xviii

DAFTAR LAMPIRAN xviii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 3

1.3 Tujuan Penelitian 3

1.4 Manfaat Penelitian 4

1.5 Batasan Masalah 4

BAB II KAJIAN PUSTAKA 5

2.1 Sel Surya 5

2.2 Perovskite 7

2.2.1 Struktur Kristal *Perovskite* 8

2.2.2 Sifat Kristal dan Sifat Optik Material *Perovskite* 9

2.3 Barium Titanat ($BaTiO_3$) 9

2.3.1 Struktur dan Sifat Kristal Barium Titanat 9

2.3.2 Material Prekursor Barium Titanat 11

2.4 Metode *Sol-gel* 14

2.4.1 Proses Kimia 15

2.4.2 Metode *Spin Coating* 16
BAB III METODE PENELITIAN 19
3.1 Diagram Alir Penelitian 19
3.2 Bahan dan Alat Penelitian 20
3.3 Prosedur Penelitian 20
3.3.1 Persiapan Substrat 21
3.3.2 Pembuatan Larutan Barium Titanat 21
3.3.3 Pembuatan Film Barium Titanat 22
3.4 Pengujian Film Barium Titanat 23
3.4.1 Pengujian Menggunakan XRD 23
3.4.2 Pengujian Menggunakan UV-Vis 25
3.4.3 Pengujian Menggunakan FTIR 26
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN 29
4.1 Hasil Sintesis Barium Titanat 29
4.2 Struktur Kristal Barium Titanat 29
4.3 Ikatan Gugus Fungsi Film Barium Titanat 33
4.4 Sifat Optik Film Barium Titanat 36
4.5 Penentuan Parameter Terbaik Film $BaTiO_3$ 41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 43
5.1 Kesimpulan 43
5.2 Saran 43
DAFTAR PUSTAKA 45
LAMPIRAN 49
BIODATA PENULIS 57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ketersediaan Sumber Energi Terbarukan 5
Gambar 2.2 Perkembangan Efisiensi Sel Surya dari Tahun ke Tahun 6
Gambar 2.3 Struktur Dasar Kristal *Perovskite*..... 8
Gambar 2.4 Contoh Jenis Ion-Ion Penyusun *Perovskite*..... 9
Gambar 2.5 Stuktur Dasar Kristal $BaTiO_3$..... 10
Gambar 2.6 Perubahan Kristalogrfi BaTiO3. a) Kubik, b) Tetragonal, c) Orthorombic, dan d) Rhombohedral (Nayak S, et al. 2014) 11
Gambar 2.7 Pemodelan Struktur Kristal Titanium Menggunakan *Ball and Stick Beta* 8.1 (BS). a) Struktur Anatase TiO_2 dan b) Struktur Rutil TiO_2 13
Gambar 2.8 a) Tampilan dari Sisi Kristal, dan b) Tampilan dalam 3D 14
Gambar 2.9 Proses *Sol-gel* 15
Gambar 3.1 Diagram Alir Sintesis dan Karakterisasi Film $BaTiO_3$ 19
Gambar 3.2 Proses Persiapan Substrat ITO 21
Gambar 3.3 Pembuatan Larutan Barium Titanat 21
Gambar 3.4 Alur Singkat Pembuatan Film Barium Titanat..... 22
Gambar 3.5 Alat *Spin Coater* yang Digunakan 23
Gambar 3.6 Alat *X-Ray Diffractometer* tipe Xpert MPD 24
Gambar 3.7 Alat Spectrophotometer UV-Vis tipe N2S..... 25
Gambar 4.1 Sampel Hasil Sintesis yang Siap Dikarakterisasi..... 29
Gambar 4.2 Struktur Kristal dengan Variasi Waktu Tahan Anil Film $BaTiO_3$ 30
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Ukuran Kristal dan Variasi Waktu Tahan Film $BaTiO_3$ 31
Gambar 4.4 Spektrum IR Barium Titanat (Singh, 2016)..... 33
Gambar 4.5 Daerah Serapan Ikatan Gugus Fungsi Film Barium Titanat 34
Gambar 4.6 Absorbansi dengan Variasi Waktu Tahan Anil Film $BaTiO_3$..... 36
Gambar 4.7 Nilai Energi Gap Film $BaTiO_3$ dengan Variasi Waktu Tahan Anil menggunakan Metode *Taut Plot*, (a) tanpa *annealing* (suhu ruang), (b) 30 menit, (c) 60 menit, dan (d) 90 menit, dan (e) 120 menit. 38
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Ketebalan dan Absorbansi Film $BaTiO_3$..... 39
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Antara Besar Energi Gap (Eg) dengan Variasi Waktu Tahan Anil Film $BaTiO_3$ 40

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perbandingan Analisis Ukuran Kristal dari Barium Titanat 30
Tabel 4.2 Ikatan Gugus Fungsi Film Barium Titanat 31
Tabel 4.3 Parameter Hasil Karakterisasi Struktur Kristal dan Sifat Optik 39

DAFTAR LAMPIRAN

Tabel 1 Nilai Absorbansi dan Ketebalan 49
Tabel 2 Nilai Energi Gap 51
Tabel 3. Hasil XRD..... 53
Tabel 4. Hasil FTIR..... 54
A. Penentuan Ukuran Kristal Film $BaTiO_3$ 56

"*Halaman ini sengaja dikosongkan*"

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Adanya kebutuhan energi yang terus meningkat sehingga menyebabkan kelangkaan sumber daya energi non terbarukan seperti bahan bakar fosil dan minyak bumi. Sementara terdapat sumber daya energi yang dapat diperbaharui seperti sel surya. Hal ini dibuktikan dari penelitian yang dilakukan di Akeena, Amerika Serikat, yang melakukan penggantian sumber energy listrik dari konvensional menadi berbasis sel surya selama satu tahun. Hasil yang diperoleh ternyata memuaskan karena terbukti bahwa sel surya berpotensi untuk mengganti energi konvensional. Namun, kendala yang ditemui saat ini berupa harganya yang masih mahal jika dibandingkan dengan energy konvensional lainnya. Sehingga perlu dilakukan upaya untuk menekan harga dengan memilih jenis material yang lain seperti thin film atau *Dye Sensitizer Solar Cell* (DSSC). Akan tetapi, kendala lain yang ditemui dari kedua material tersebut adalah efisiensinya yang masih rendah. Sehingga dipilih material lain yang menggabungkan keunggulan dari kedua material tersebut yaitu *Perovskite* (Sharma, et al. 2015).

Material *Perovskite* menjadi material yang menjanjikan karena memiliki banyak kelebihan diantaranya harga yang murah dan efisiensi yang tinggi bahkan diprediksi mencapai 30%. Hingga saat ini material *Perovskite* yang dengan efisiensi tertinggi sebesar 22.1% berasal dari material $CH_3NH_3PbI_3$ (Jay Prakash, et al 2018). Namun, meski memiliki efisiensi yang cukup tinggi material ini sangat tidak stabil karena rentan terhadap perubahan suhu dan kelembapan. Selain itu, dalam material tersebut juga terdapat bahan beracun yaitu Timbal (Pb) yang tidak ramah lingkungan. Sementara, ditemukan bahan lain yang dapat menggantikan Pb ternyata mampu menghasilkan struktur yang sama yaitu Barium (Ba) (Shi Jayatisa, et al. 2018). Sehingga dipilih material lain dari group *Perovskite* yaitu Barium titanat ($BaTiO_3$) yang lebih ramah lingkungan, proses fabrikasinya yang lebih murah (Sadikin, et al. 2017), terbukti mampu

meningkatkan efisiensi (Dahrul, M. 2010), serta memiliki konstanta dielektrik yang paling baik diantara material *Perovskite* lainnya. Akan tetapi, sifat material ini sangat tidak stabil sama seperti material *Perovskite* lainnya. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh dari struktur kristalnya (Pambudi, et al. 2016). Sedangkan, faktor-faktor yang mempengaruhi sifat kristalnya sangat bergantung pada metode yang digunakan dalam proses sintesis (Vijatović, Bobić, and Stojanović. 2008).

Berbagai metode penelitian dalam sintesis Barium titanat telah banyak dilakukan sebagian besar menggunakan metode kimia seperti metode *sol-gel*. Pemilihan material prekursor terbaik menjadi hal penting karena dapat mempengaruhi struktur kristal dan sifat optiknya. Sehingga oleh (Sobha, et al. 2018) melakukan sintesis Barium titanat dengan prekursor yang berbeda-beda antara lain Barium asetat ($Ba(CH_3COO)_2$) dan Barium hidroksida ($Ba(OH)_2.8H_2O$) dan Barium karbonat ($BaCO_3$) dengan TiO_2 menggunakan metode *sol-gel* dan *solid state*. Hasil penelitian tersebut melaporkan material terbaik untuk prekursor pada sintesis Barium titanat dengan metode *sol-gel* adalah $Ba(OH)_2.8H_2O$ karena mampu menghasilkan kristalisasi yang tinggi. Sementara itu, untuk sintesis TiO_2 dipilih larutan prekursor $TiCl_3$.

Adapun pada penelitian lain terkait material barium titanat telah dilakukan oleh (Hadiwijaya, 2010) yang memberi perlakuan variasi suhu anil mulai dari 800 °C hingga 1000 °C selama 4 jam dan diperoleh suhu pemanasan optimal untuk sintesis barium titanat dari campuran $Ba(OH)_2$ dan TiO_2 dengan metode *sol-gel* adalah 800 °C. Penelitian terkait variasi suhu anil juga dilakukan oleh (Yuningtyas, 2019) dengan memilih suhu anil sebesar 400 °C, 500 °C dan 600 °C pada waktu tahan 1 jam untuk material barium titanat dari $Ba(OH)_2.8H_2O$ dan $TiCl_3$ menggunakan metode *sol-gel*, suhu terbaik yang dilaporkan adalah 500 °C. Hasil tersebut didasarkan pada parameter-parameter terbaik yang diperoleh dari analisis struktur kristal dan sifat optiknya. Terbukti dengan pemilihan suhu terbaik tersebut terjadi peningkatan efisiensi dari 3% menadi 5%.

Pemilihan suhu anil pada material barium titanat telah berhasil mengoptimalkan efisiensi sel surya berbasis *Perovskite*. Namun, waktu tahan yang digunakan pada suhu anil terbaik tersebut perlu untuk diteliti lebih lanjut. Sebab berdasarkan penelitian yang lain lama waktu tahan anil mampu mempengaruhi derajat kristalinitas, ukuran kristal dan nilai parameter kisi (Safitri R, et al. 2016), serta lebar celah pita energi dan perubahan fasa (Cahyono, Y et al. 2017). Sehingga, pemilihan suhu dan waktu tahan terbaik ini memungkinkan untuk efisiensi sel surya berbasis *Perovskite* menggunakan material barium titanat dapat dioptimalkan.

Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian yang dilakukan adalah menganalisis pengaruh waktu tahan anil terhadap struktur kristal dan sifat optik material *Perovskite* barium titanat. Adapun material barium titanat disintesis menggunakan prekursor $TiCl_3$ menggantikan TiO_2 dan $Ba(OH)_2$ dari prekursor $Ba(OH)_2.8H_2O$, menggunakan metode *sol-gel* dengan teknik *spin coating* yang mudah dan berbiaya rendah.

1.2 Perumusan Masalah

Didasari oleh latar belakang yang telah dijelaskan di atas, maka perumusan masalah pada penelitian ini antara lain; Pemilihan prekursor yang digunakan dalam sintesis barium titanat. Metode sintesis yang digunakan untuk membuat film tipis barium titanat. Perlakuan yang diberikan pada film barium titanat, serta analisis yang dilakukan setelah karakterisasi film barium titanat.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membuat film tipis barium titanat dengan menggunakan metode *sol-gel* dan *spin coating*. Serta menganalisis pengaruh pemberian variasi waktu tahan anil terhadap struktur kristal dan sifat optik barium titanat berdasarkan hasil karakterisasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan akan memberi informasi terkait karakterisasi material *Perovskite* barium titanat, serta parameter terbaik dari variasi waku tahan anil sehingga dapat mengoptimalkan efisiensi dalam pembuatan sel surya berbasis *Perovskite* barium titanat.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

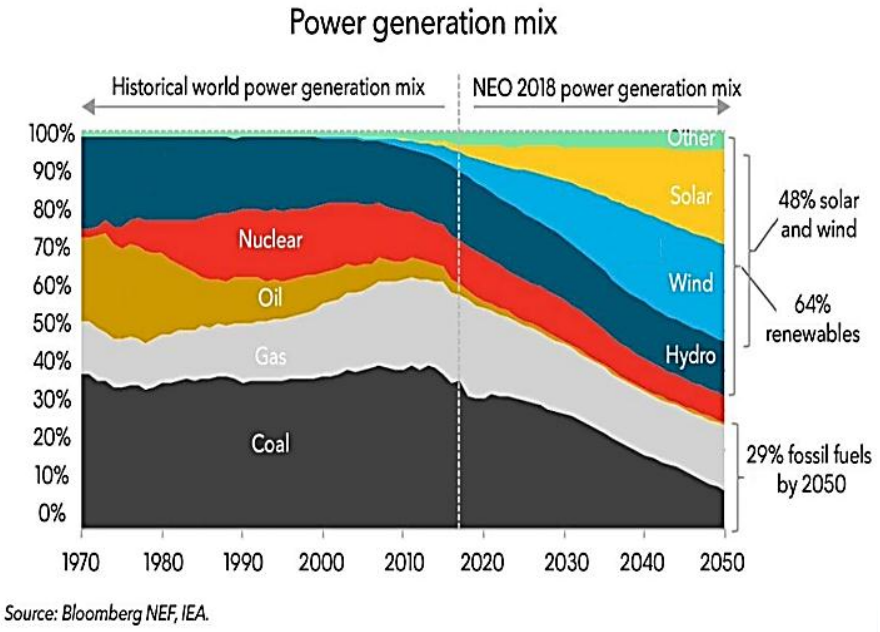
1. Material yang digunakan adalan barium titanat yang disintesis menggunakan prekursor $TiCl_3$ dan $Ba(OH)_2.8H_2O$ dengan metode sol-gel dan *spin coating*
2. Perlakuan yang diberikan pada film barium titanat berupa variasi waktu tahan selama 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit pada suhu 500 °C.
3. Karakterisasi yang digunakan adalah XRD, FTIR dan UV-Vis.

   Analisis yang dilakukan antara lain struktur kristal, ukuran kristal, absorbansi, energi gap, ketebalan lapisan, dan ikatan gugus fungi.

BAB II
KAJIAN PUSTAKA

2.1 Sel Surya

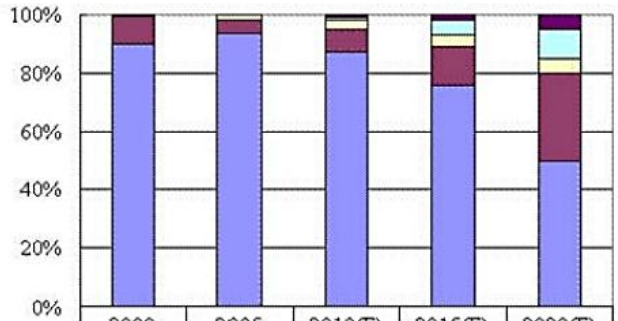
Sel Surya atau energi matahari terus mengalami perkembangan dalam kurun waktu beberapa tahun terakhir karena kemanfaatannya sebagai salah satu sumber energi terbarukan. Hadirnya energi terbarukan diprediksi mampu menggantikan energi konvensional. Hal ini sebagaimana yang terdapat pada Gambar 2.1 yang menunjukkan adanya ketersediaan sumber energi terbarukan yang terus mengalami peningkatan dibandingkan dengan energi konvensional seperti bahan bakar fosil dan minyak bumi.



Gambar 2.1 Ketersediaan Sumber Energi Terbarukan

Sel surya terus menjadi perhatian para peneliti di seluruh dunia. Sejak awal dikenalkan oleh seorang ilmuwan berkebangsaan Prancis Edmond Becquerel pada tahun 1839 (Sze, 1981). Selanjutnya, pada tahun 1946 sel surya modern pertama yang terbuat dari silikon ditemukan oleh Russel Ohl (Green, 1987). Tahun ke tahun terus mengalami perkembangan baik dari segi optimalisasi

efisiensi maupun sisntesis yang dilakukan sebagaimana yang terlihat pada Gambar 2.2 berikut.



	2000	2005	2010(F)	2015(F)	2020(F)
New Type(incl. GaAs, DSSC, Organic, etc.)	0.0%	0.0%	1.0%	2.0%	5.0%
CIS/CIGS	0.2%	0.2%	1.0%	5.0%	10.0%
CdTe	0.3%	1.4%	3.0%	4.0%	5.0%
a-Si/mc-Si	9.6%	4.7%	8.0%	13.0%	30.0%
c-Si(incl. mono, multi, ribbon, sheet)	89.9%	93.6%	87.0%	76.0%	50.0%

Gambar 2.2 Perkembangan Efisiensi Sel Surya dari Tahun ke Tahun

Berbagai jenis material yang digunakan untuk sel surya fotovoltaik kemudian dikelompokkan ke dalam beberapa generasi antara lain:

a) Sel surya generasi pertama yang diproduksi berupa wafer silikon. Sel surya ini menjadi yang tertua dengan teknologi paling populer karena memiliki efisiensi daya tertinggi sebesar 28% dan bahan dasar yang melimpah di alam. Namun, pada proses fabrikasinya masih sangat mahal. Teknologi berbasis wafer silikon selanjutnya dikategorikan ke dalam dua sub kelompok yaitu; Monokristal dan polikristal (Sharma, et al. 2015).
b) Sel surya berbasis film tipis menjadi sel surya generasi kedua yang lebih ekonomis dan tentu memiliki lapisan penyerap cahaya yang sangat tipis. Hal ini menjadi keuggulan dari sel surya berbasis film tipis ini. Namun, terdapat material yang berbahaya pada salah satu film tipis ini yaitu *Cadmium* pada *Cadmium Telluride* yang beracun sehingga tidak ramah terhadap lingkungan. Selanjutnya jenis-jenis material yang termasuk dalam sel surya film tipis beserta besar efisiensinya ini antara lain sebagai berikut; 1) *Copper Indium*

Gallium Selenide (CIGS) solar cel sebesar 20%, 2) *Cadmium Telluride (CdTe) Thin Film solar cell* sebesar 16,5%, 3) *Amorphous Silicon (a-Si) Thin Film solar cell* sebesar 12,9% (Matsui, T et al. 2015).

c) Sel Surya generasi ketiga merupakan teknologi baru yang menjanjikan tetapi masih perlu diselidiki secara komersial dan terperinci. Bila dibandingkan dengan beberapa material sel surya sebelumnya, material ini termasuk yang paling murah dalam proses fabrikasinya. Akan tetapi, masalah pada material ini adalah efisiensinya yang masih sangat rendah sekitar 3,43% (Adrianto, Muharam et al, 2018). Sebagian besar jenis sel surya generasi ketiga yang dikembangkan saat ini adalah sel surya berbasis kristal nano, sel surya berbasis polimer dan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC).

d) Sel surya generasi terbaru berbasis *Perovskite* yang memiliki beberapa keunggulan dibandingkan sel surya silikon konvensional maupun sel surya berbasis film tipis. Kelebihan dari segi harga fabrikasi yang murah sebab bahannya mudah diperoleh dan proses sintesis yang mudah, serta diprediksi dapat mencapai efisiensi hingga 30% (Shi, Dai et al. 2015).

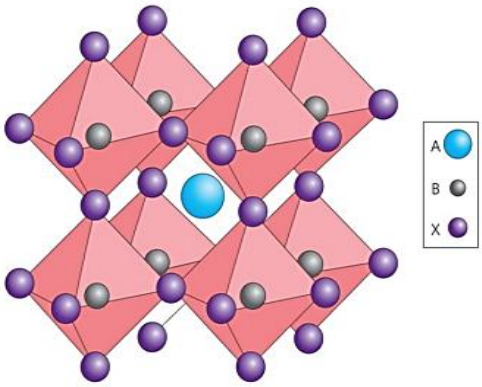
2.2 Perovskite

Perovskite merupakan suatu material yang pertama kali ditemukan oleh seorang ahli mineral Rusia yang bernama L.A Perovski dari unsur Calcium Titanium Oxide (CaTiO3) (Naveen Kumar, et al. 2016). Penelitian selanjutnya menemukan bahwa Perovskite dapat digunakan sebagai material solar sel. *Perovskite* umumnya tersusun dari bahan halida organik-anroganik dan telah terbukti memiliki dampak besar pada industri perangkat fotovoltaik karena memiliki nilai efisiensi yang sangat tinggi dibandingkan dengan sel surya jenis lain yang masih terus berkembang (Correa-Baena et al. 2017). Terbukti dalam kurun waktu tujuh tahun terakhir, efisiensi sel surya jenis *Perovskite* ini menujukkan peningkatan luar biasa dari 6,5% menjadi 22,1% (Prakash et al. 2018). Selain itu, keunggulannya yang lain adalah biaya fabrikasi yang murah

sehingga menarik minat banyak peneliti untuk meneliti terkait sel surya *Perovskite* (PSCs) (Prakash et al. 2018).

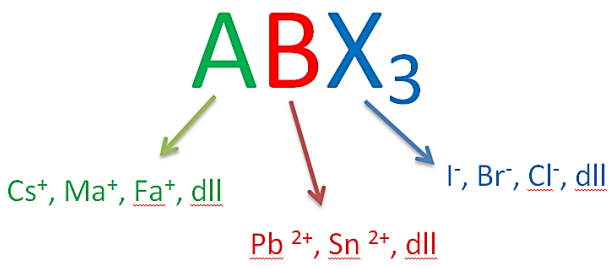
2.2.1 Struktur Kristal *Perovskite*

Struktur dasar kristal *Perovskite* secara umum memiliki rumus ABX_3 atau seperti struktur kubik pada kristal biasanya, dimana struktur dasar *Perovskite* ini terdiri dari A sebagai ion-ion logam yang berukuran lebih besar sedangkan B berasal dari ion-ion logam transisi sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.3. Beberapa material yang memiliki struktur *Perovskite* antara lain Strontium Titanat ($SrTiO_3$), Barium Titanat ($BaTiO_3$), dan Timbal Titanat ($PbTiO_3$) (Kour and Mehra. 2017).



Gambar 2.3 Struktur Dasar Kristal *Perovskite*

Pada bagian kation monokovalen A bisa diganti dengan Cesium (Cs^+), Methylammonium (MA^+), formamidium (FA^+). Adapun untuk kation divalen B disetiap posisi sudutnya bisa diganti dengan (Pb^{2+}), (Sn^{2+}), sementara anion X_3 contohnya (I^-), (Br^-), (Cl^-) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.4 yang merupakaan sebagian contoh ion-ion penyusun pada *Perovskite*. Total muatan ion dari keduaya harus +3 agar tetap seimbang dengan muatan -3 yang diperoleh dari 3 ion X, artinya total muatan tersebut harus tersusun dari kation bermuatan (1+2).



Gambar 2.4 Contoh Jenis Ion-Ion Penyusun *Perovskite*

Berdasarkan Gambar tersebut selain ion-ion di atas terdapat juga beberapa ion-ion dengan total muatan ion A+B adalah +6 hal ini jika ion yang terdapat pada anion X adalah ion oksida O_3. Sehingga jumlah muatan ion-ion lainnya harus +6 yang akan diperoleh dari (1+5), (2+4), atau (3+3). Contohnya material $BaTiO_3$ yang diperoleh dari muatan ion Ba^{2+} dan Ti^{4+} akan seimbang dengan -6 yang diperoleh dari 3 ion O^{2-}.

2.2.2 Sifat Kristal dan Sifat Optik Material *Perovskite*

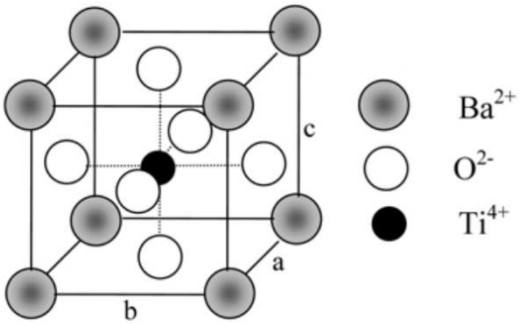
Ketidakstabilan struktur kristal pada material *Perovskite* terbukti dari adanya perubahan fase struktur kristal seiring dengan terjadinya perubahan temperatur. Hal ini terlihat pada saat suhu yang diberikan kurang dari 100 K maka kristal *Perovskite* berada pada fase *orthorhombic* yang stabil lalu seiring dengan meningkatnya suhu hingga 160 K fase tetragonal mulai muncul. Kemudian ketika suhu semakin ditingkatkan menjadi sekitar 330 K fase tetragonal mulai tergantikan oleh fase kubik yang lebih stabil. Transisi fase dari tetragonal menjadi kubik pada suhu yang lebih tinggi mempengaruhi stabilitas termal material *Perovskite* (Shi dan Jayatissa 2018). Selain itu, struktur kristal yang tidak stabil pada *Perovskite* juga mempengaruhi sifat optiknya.

2.3 Barium Titanat ($BaTiO_3$)

2.3.1 Struktur dan Sifat Kristal Barium Titanat

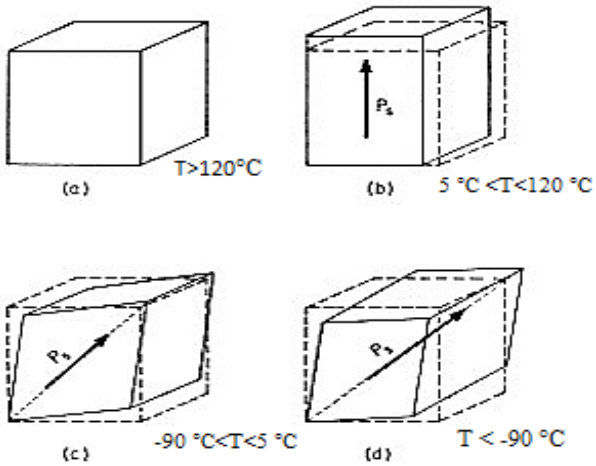
Barium Titanat memiliki struktur kristal Perovskite dengan rumus umum ABO3 dimana A adalah ion-ion logam yang ukurannya lebih besar, sedangkan B

merupakan ion logam transisi sementara untuk O3 adalah oksigen. Struktur BaTiO3 diperoleh dari +6 total muatan dari muatan ion Ba2+ dan Ti4+ yang akan stabil dengan -6 yang diperoleh dari 3 ion O2- sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 2.5. Barium titanat dengan struktur kristal Perovskite tetragonal dikenal bersifat material ferroelektrik (Safitri et al. 2016). Material ini telah banyak digunakan dibidang elektronik karena lebih ramah lingkungan dibandingkan material dielektrik lainnya serta memiliki konstanta dielektrik yang tinggi. Selain itu, Barium Titanat juga memiliki sifat kimia dan sifat mekanik yang stabil (Ertuğ 2013).



Gambar 2.5 Stuktur Dasar Kristal $BaTiO_3$

Sifat kristal Barium Titanat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya kemurnian, sistem kristal, homogenitas, dan sebaran ukuran serbuk kristal. Faktor-faktor tersebut sangat dipengaruhi oleh metode yang digunakan dalam proses sintesis. Pada proses sintesis Barium Titanat dapat dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya hidrotermal, sol-gel, dan teknik kering. Metode pemilihan untuk sintesis Barium Titanat tergantung pada biaya dan pada aplikasi akhir yang diinginkan. Oleh karena itu, kualitas sampel Barium Titanat tidak hanya dipengaruhi oleh alur sintesis tetapi juga oleh material dasar yang digunakan (Vijatović, Bobić, and Stojanović 2008). Struktur kristal dari Barium Titanat sangat dipengaruhi oleh perubahan suhu sebagaimana Gambar 2.6 berikut ini:



Gambar 2.6 Perubahan Kristalogrfi BaTiO3. a) Kubik, b) Tetragonal, c) Orthorombic, dan d) Rhombohedral (Nayak S, et al. 2014)

Selain tidak stabil pada perubahan suhu struktur kristal Barium Titanat juga dapat dipengaruhi oleh pemberian waktu tahan. Hal ini terbukti dengan semakin meningkatnya kristalinitas, intensitas, ukuran kristal dan konstanta dielektrik seiring dengan bertambahnya waktu tahan (Safitri R, et al. 2016)

2.3.2 Material Prekursor Barium Titanat

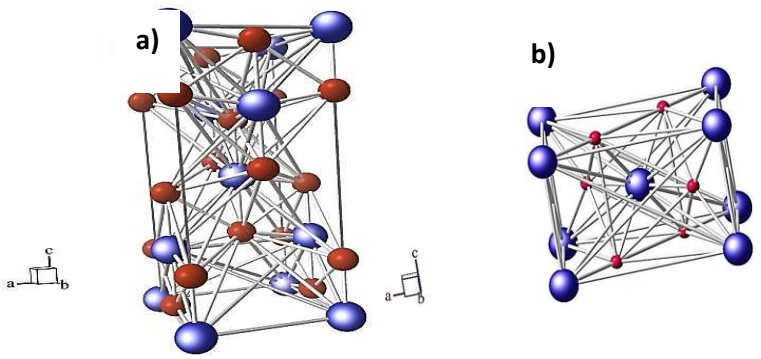
Material prekursor adalah senyawa yang digunakan dalam reaksi kimia untuk menghasilkan senyawa lain. Berikut ini material prekursor yang digunakan untuk menghasilkan material Titanium dan Barium.

a. Material Prekursor untuk Titanium

Material prekursor yang dapat digunakan untuk Titanium dapat diperoleh dari serbuk TiO_2 atau dari larutan kimia $TiCl_3$,$TiCl_4$, dan TTIP (Titanium Tetra Iso Propoxide). Pemilihan serbuk TiO_2 untuk sintesis *Perovskite* lebih sulit dikarenakan material ini tidak dapat larut dalam air dan sangat berpotensi untuk menghasilkan *aglomerasi* atau penggumpalan pada sampel. Sedangkan, dengan menggunakan larutan jauh lebih mudah dan dapat larut secara sempurna. Efek pemilihan prekursor ini juga dapat mempengaruhi morfologi dari TiO_2 yang

dihasilkan seperti luas spesifik permukaan, tingkat kristalinits, dan ukuran kristalnya. Larutan $TiCl_3$ merupakan material prekursor yang paling banyak digunakan untuk mensintesis TiO_2. Adapun sifat fisika dan kimia dari prekursor ini antara lain massa atom relatifnya sebesar 154,225 (g/mol), kelarutan dalam air: larut pada suhu 25 °C, densitas sebesar 1,12 (g/cm^3), dan titik lebur 425 menurut data yang diperoleh dari *Material Safety Data Sheet* (MSDS) (Mabrurotul, Uyun. 2015).

Titania adalah keluarga (IV) oksida yang merupakan semikonduktor dengan energi gap 3,0 eV untuk rutil dan 3,2 eV untuk fasa anatase. Secara kimia titanium dioksida dituliskan dengan lambang TiO_2. Kristal TiO_2 bersifat asam dan tidak larut dalam air, asam klorida, asam sulfat encer dan alkohol namun larut dalam asam sulfat pekat dan asam fluoride. Titanium dioksida menghasilkan dua bentuk alotropi atau dua struktur kristal yang berbeda dari unsur yang sama, yaitu anatase dan rutil. TiO_2 memiliki tiga fasa polymorpik yaitu rutil (tetragonal, 4,120 g/cm^3), anatase (tetragonal, 3,894 g/cm^3), dan brookite (4,120 g/cm^3 orthorombik). Fasa anatase dan rutil memiliki struktur kristal tetragonal, namum memiliki perbedaan grup ruang (*space group*) (Zhang et al. 2000). Jarak antara Ti-Ti lebih besar pada anatase, yaitu 3,79 Å dan 3,4 Å, sementara pada rutile adalah 3,57 dan 2,96 Å, jarak Ti-O lebih besar pada rutil. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi transisi fase pada TiO_2 antara lain impuritas, ukuran butir, serta suasana reaksi dan kondisi sintesis.



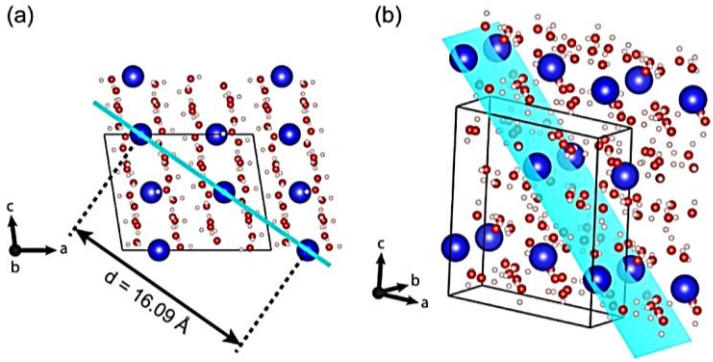
Gambar 2.7 Pemodelan Struktur Kristal Titanium Menggunakan *Ball and Stick Beta* 8.1 (BS). a) Struktur Anatase TiO_2 dan b) Struktur Rutil TiO_2

Pemberian variasi waktu kalsinasi pada TiO_2 mempengaruhi fase yang dihasilkan sebagaimana fase anatase yang terbentuk pada temperatur 600 °C selama 30 menit dan hingga 180 °C menit. Diduga bahwa fase anatase TiO_2 mulai terbentuk di suhu sebelumnya yaitu sekitar 100 °C. Namun bentuk kristalnya belum sempurna, akan tetapi ketika waktu kalsinasi ditingkatkan maka cenderung menyebabkan berkurangnya intensitas fasa antase yang terbentuk. Pembentukan fasa dapat di pengaruhi oleh perlakuan mekanik seperti pada proses pengadukan. Pengadukan yang dilakukan pada kondisi ruang dan berhubungan langsung dengan udara bebas. Jika waktu yang dilakukan pada proses pengadukan $TiCl_3$ lebih lama pada kondisi suhu ruang maka akan mendapatkan titania yang memiliki fasa rutile. Sebab waktu pengadukan yang lama dapat menyebabkan titanium berhubungan langsung dengan oksigen.

b. Material Prekursor untuk Barium

Material prekursor yang dapat digunakan untuk Barium salah satunya adalah Barium Hidroksida Oktahedrat atau $Ba(OH)_2.8H_2O$. Terdapat beberapa material prekursor lain yang biasanya digunakan dalam sintesis Barium Titanat diantaranya serbuk Barium hidroksida ($Ba(OH)_2$) (Hadiwijaya H, dkk, 2010), Barium Karbonat ($BaCO_3$) (H.Z.Akbas, dkk, 2016), dan Barium Asetat ($Ba(CH_3COO)_2$) (Sobha.2018). Berdasarkan pada beberapa penelitian tersebut diperoleh bahwa material $Ba(OH)_2.8H_2O$ merupakan material prekursor terbaik untuk sintesis $BaTiO_3$ dengan metode *sol-gel* dibandingkan dengan Barium Karbonat ($BaCO_3$) dan Barium Asetat ($Ba(CH_3COO)_2$). Hal ini dikarenakan material ($BaCO_3$) memiliki pori-pori dalam strukturnya, yang muncul disebabkan oleh adanya beberapa cacat pada morfologi berdasarkan hasil SEM-EDX. Sedangkan untuk material $Ba(CH_3COO)_2$ menghasilkan kristalisasi yang lemah dan konstanta dielektrik sangat rendah.

$Ba(OH)_2.8H_2O$ umumnya berupa kristal tidak berwarna pada suhu kamar dan termasuk larut dalam air. Selain itu, $Ba(OH)_2$ dapat digunakan dalam titrasi sebagai indikator asam lemah dan juga bersifat korosif. $Ba(OH)_2.8H_2O$ memiliki titik lebur sebesar 78℃ (172,4℉), titik didih 780℃ (1436℉), dan densitas 2,18 g/cm^3. Struktur kristal dari $Ba(OH)_2.8H_2O$ adalah monoklinik dengan space group P 21/c dan parameter kisi antara lain a= 9.274, b= 9.260, c= 11.817, α=γ=90°, dan β=98.95°. Berdasarkan pengukuran menggunakan aplikasi *Small Angle X-ray Scattering* (SAXS) bahwa Ba-Ba mendekati puncak difraksi dengan indeks miller (101) pada jarak d=16.09°.



Gambar 2.8 a) Tampilan dari Sisi Kristal, dan b) Tampilan dalam 3D

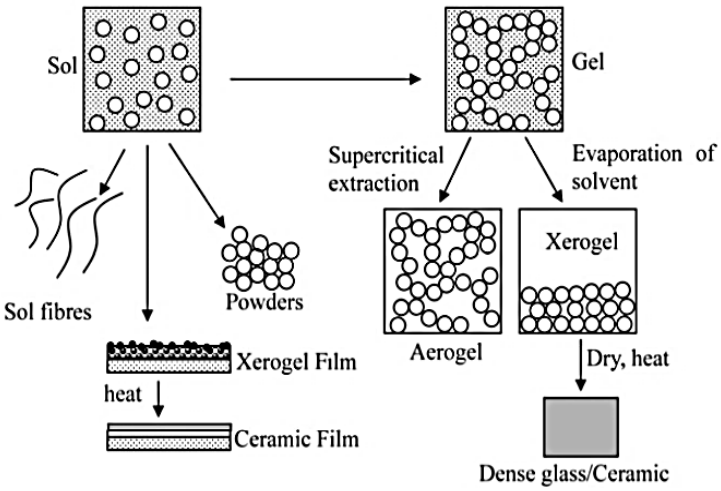
2.4 Metode *Sol-gel*

Metode kimia untuk sintesis nanomaterial dalam banyak kasus diketahui sangat baik. Keunggulan metode kimia untuk sintesis antara lain: teknik yang sederhana, murah, dapat dibuat pada temperatur yang rendah, dan material yang digunakan berupa larutan tapi dapat diubah ke bentuk bubuk kering maupun thin film. Perbedaan dari ukuran maupun bentuk partikel memungkinkan bergantung pada bahan kimia yang digunakan dan kondisi reaksinya. Temperatur yang rendah memungkinkan dalam banyak kasus partikel bisa di doping dengan ion-ion logam yang berbeda dengan sangat mudah yaitu, dengan proses ditambah, dilapisi, dan ditutup secara kimia. Metode *sol-gel* dibagi menjadi dua tahapan penting yaitu pembuatan larutan (*sol-gel*) atau proses kimia, pembuatan sampel menggunakan metode *Spin Coating*.

2.4.1 Proses Kimia

Proses kimia digunakan untuk mensintesis larutan Barium Titanat adalah metode *Sol-gel*. Proses *Sol-gel* sendiri didefinisikan sebagai proses pembentukan senyawa inorganik melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah di mana dalam proses tersebut terjadi perubahan fasa dari suspense koloid (*Sol*) membentuk fasa cair kontinyu (*gel*) (Hodes 2002).

Teknik *Sol-gel* merupakan metode yang umumnya digunakan untuk pembentukan larutan prekursor dari suatu senyawa dengan menggunakan pelarut organik yang melewati beberapa proses seperti polimerisasi larutan hingga pengeringan dan kalsinasi gel untuk menghilangkan senyawa organik yang ada serta membentuk material anorganik berupa oksida (Costa-Fernández, Diaz-Garcıa, and Sanz-Medel 1998). Bahan alkoxide yang digunakan secara umum memiliki rumus kimia M(ROH)n dimana M adalah kation dan R adalah group alkohol. Contoh dari (ROH) yang bisa digunakan adalah methanol, etanol, propanol, dan lain-lain (Sulabha. 2014).



Gambar 2.9 Proses *Sol-gel*

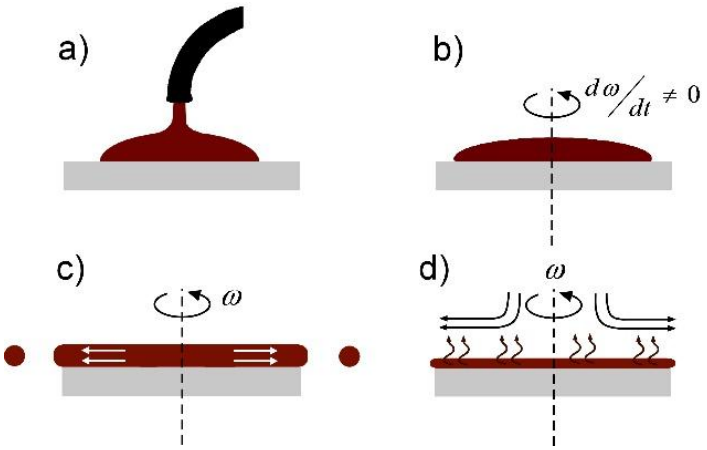
Kelebihan dari metode ini salah satunya adalah proses temperatur yang rendah, tidak perlu ruang vakum sehingga lebih murah, pembuatannya mudah

berarti penggunaan energi yang sedikit dan juga mengurangi polusi (Sulabha. 2014). Sangat baik untuk penelitian dalam skala laboratorium dan memiliki kontrol stoikiometri yang baik. Selain itu, bahan yang dapat dibuat dihasilkan pada komposisi campuran akhir pada level molekul sehingga waktu difusi bahan setelah mengalami proses pirolisis untuk mencapai kesetimbangan termodinamika cukup singkat dan stabil. Oleh karena itu, hasil atau larutan yang didapatkan merupakan campuran yang homogen (Hadiati et al. 2014).

2.4.2 Metode *Spin Coating*

Spin coating merupakan salah satu metode deposisi yang banyak digunakan untuk membuat film tipis dalam area laboratorium penelitian yang kecil. Umumnya pada proses pelapisan material *Perovskite* digunakan metode *Spin Coating two-step*. Namun, dalam metode tersebut, terlalu banyak parameter yang harus di control, seperti temperatur proses spin coat, kecepatan putaran dan waktu saat pelapisan. Sehingga untuk lebih efisien digunakan *Spin Coating one-step*.

Biasanya memiliki prinsip kerja dimana pelapisan yang dilakukan dengan putaran, pertama-tama sejumlah kecil larutan dijatuhkan ke substrat untuk membasahi permukaan media (sampel) sepenuhnya. Selanjutnya, substrat sepenuhnya ditutupi dengan lapisan dari larutan dan berputar untuk mempercepat penguapan pelarut tersebut. Substrat diputar dengan kecepatan tertentu yang konstan untuk memperoleh lapisan yang homogen. Ketebalan film dapat dikontrol oleh konsentrasi larutan dan kecepatan rotasi. Prinsip fisika yang ada pada *Spin Coating* adalah menggunakan keseimbangan antara gaya viskositas dengan gaya sentrifugal (Matsumura 1998).



Gambar 2.10 Tahapan-Tahapan dalam Proses *Spin Coating*

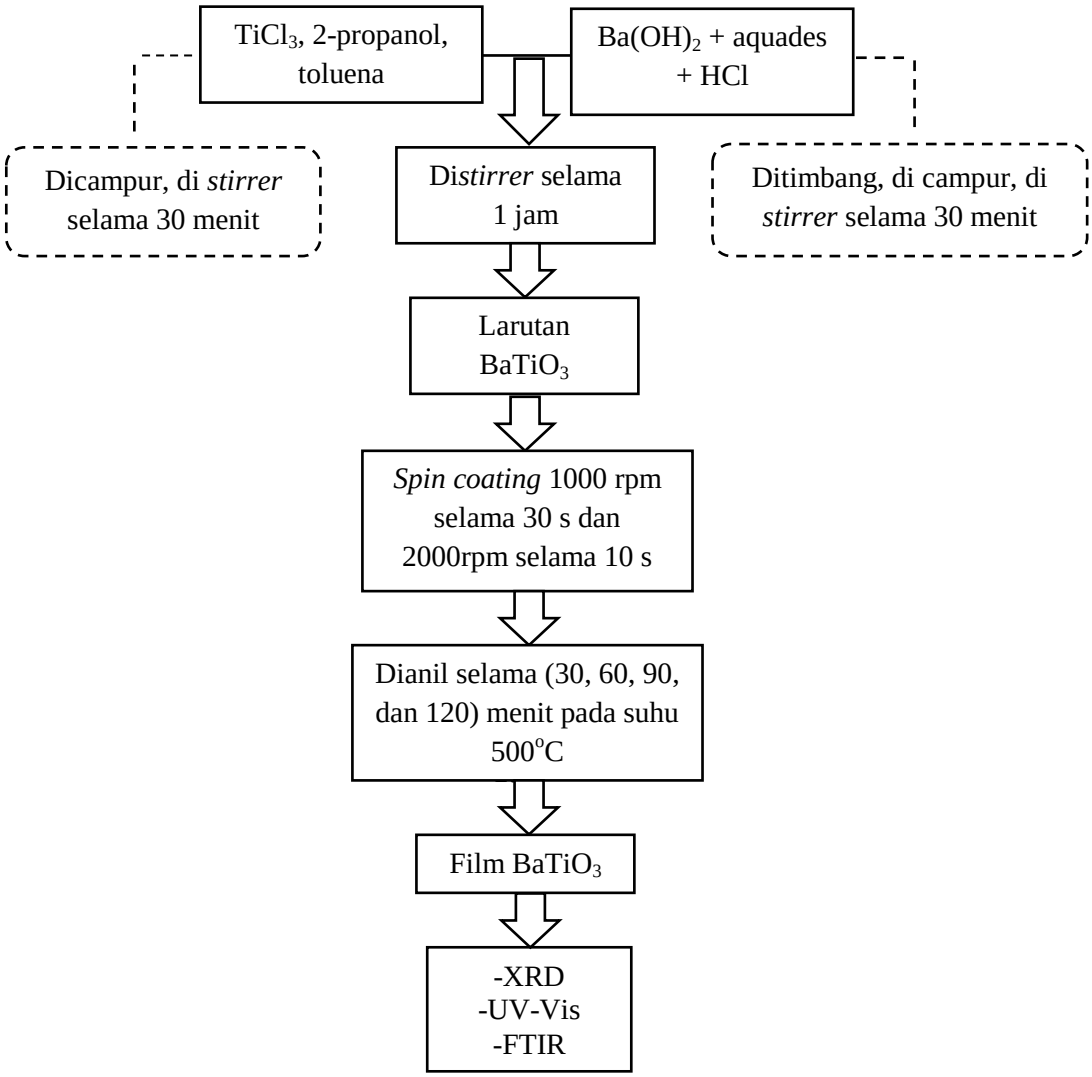
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III
METODE PENELITIAN

Adapun metode yang dilakukan pada penelitian ini akan ditunjukkan oleh diagram alir penelitian berikut.

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dalam proses sisntesis hingga karakterisasi



Gambar 3.1 Diagram Alir Sintesis dan Karakterisasi Film $BaTiO_3$

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

Berdasarkan diagram alir penelitian yang dijelaskan sebelumnya. Pertama kali dilakukan adalah menyiapkan bahan dan alat yang akan digunakan untuk sintesis larutan perovskite Barium Titanat. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Titanium (III) klorida [$TiCl_3$], 2-propanol, toluena, barium hidroksida [$Ba(OH)_2$, 99%], asam klorida [HCl 1M], aquades. Adapun untuk substrat yang digunakan adalah kaca *Indium Thin Oxide* (ITO) dengan ukuran 1,5 x 1,5 cm2 dan alkohol.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan digital untuk menimbang bahan, spatula lab untuk mengambil bahan dan sampel, gelas ukur 10 ml untuk mengukur volume larutan dan mencampur bahan di atas digital *Hotplate stirrer*, botol kaca vial untuk tempat larutan yang sudah jadi, pipet tetes untuk mengambil larutan, digital *Hotplate stirrer* untuk mencampur larutan dengan kecepatan yang diinginkan, *ultrasonic cleaner* untuk mencuci substrat kaca ITO, deposisi lapisan menggunakan *spin coater*, pinset untuk mengambil lapisan atau sampel yang telah di *spin coating*. Selanjutnya sampel dipanaskan dengan *furnace*. Kemudian sampel dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD) tipe Xpert MPD untuk mengetahui struktur kristalnya. Karakterisasi sifat optik menggunakan UV-Visible N2S dan karakterisasi ikatan gugus fungsi dengan *spekrtofotometer Inframerah*

3.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur yang dilakukan dalam penelitian kali ini dibagi menjadi tiga tahap antara lain; persiapan substrat, pembuatan larutan, dan proses pelapisan.

3.3.1 Persiapan Substrat

Gambar 3.2 Proses Persiapan Substrat ITO

Substrat yang digunakan adalah kaca *Indium Thin Oxide* (ITO) dengan ukuran 1,5 x 1,5 cm^2. Kaca ITO kemudian dibersihkan menggunakan *Ultrasonic Cleaner* lalu dikeringkan. Pembersihan dilakukan untuk mencegah partikel pengotor menempel sehingga dapat mengurangi kerataan lapisan yang akan dibuat. Selanjutnya dengan menggunakan multimeter ditentukan sisi konduktif dari substrat dimana deposisi akan dilakukan.

3.3.2 Pembuatan Larutan Barium Titanat

Gambar 3.3 Pembuatan Larutan Barium Titanat

Pembuatan larutan Barium Titanat ($BaTiO_3$) diawali dengan sintesis larutan Titanium Dioksida (TiO_2). Larutan titanium dioksida (TiO_2) dibuat dengan

mencampurkan larutan Titanium (III) Klorida ($TiCl_3$) sebanyak 1 ml, larutan 2-Propanol sebanyak 20 ml dan larutan Toluena sebanyak 5 ml. Ketiga karutan tersebut diletakkan ke dalam gelas ukur dan diaduk di atas *Hotplate Stirrer* selama 30 menit pada suhu 80 ^{o}C. Larutan Titanium dioksida (TiO_2) yang dihasilkan larut secara sempurna dan berwarna bening. Berikut persamaan reaksi untuk sintesis titanium oksida:

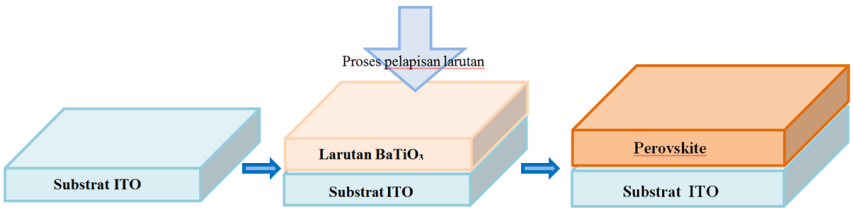
$$TiCl_3 + C_3H_8O + C_7H_8 \rightarrow TiO + C_{10}H_{16}(Cl_3) \qquad (3.1)$$

Selanjutnya serbuk Barium hidroksida sebanyak 2.5 gram dicampur dengan larutan HCl 1 M sebanyak 5 ml dan aquades sebanyak 5 ml. Ketiga bahan tersebut dicampur di dalam gelas ukur dan di aduk di atas *Hotplate Stirrer* selama 30 menit pada suhu 80 ^{o}C. Larutan yang dihasilkan larut secara sempurna dan berwarna bening. Setelah itu larutan yang terbentuk tersebut dicampur dengan larutan titanium dioksida (TiO_2) dan diaduk di atas *hotplate stirrer* selama 1 jam. Campuran dari kedua larutan tersebut akan berwarna keruh. Akan tetapi setelah di aduk di atas *hotplate stirrer* selama 1 jam, akan terbentuk larutan Barium Titanat ($BaTiO_3$) berwarna bening. Berikut ini persamaan reaksi dari sintesis Barium Titanat:

$$TiO_2 + C_{10}H_{16}(Cl_3) + Ba(OH)_2.8H_2O + HCl + H_2O$$

$$\rightarrow BaTiO_3 + C_{10}H_{19}(Cl_4).10H_4O \qquad (3.2)$$

3.3.3 Pembuatan Film Barium Titanat



Gambar 3.4 Alur Singkat Pembuatan Film Barium Titanat

Proses pembuatan film Barium Titanat menggunakan alat *Spin-Coater*. Pertama-tama pompa vakum dihidupkan lalu dilakukan proses pelapisan dengan cara substrat diletakkan diatas *Spin-Coater*. Substrat ditetesi dengan larutan sebanyak 1 tetes. Kemudian alat *Spinner* dihidupkan. Substrat diputar dengan kecepatan 1000 rpm selama 30 detik kemudian dipercepat menjadi 2000 rpm selama 10 detik. Setelah substrat terlapisi larutan Barium Titanat. Selanjutnya film tersebut dimasukkan ke dalam furnace untuk proses anil. Lalu diberi perlakuan waktu tahan anil yang selama 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit dengan suhu anil masing-masing 500° C sebagai suhu terbaik.

Gambar 3.5 Alat *Spin Coater* yang Digunakan

3.4 Pengujian Film Barium Titanat

Hasil sintesis berupa film Barium Titanat yang telah diberikan perlakuan variasi waktu tahan anil kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui struktur kristal, sifat optik dan ikatan gugus fugsinya menggunakan XRD, UV-Vis dan FTIR.

3.4.1 Pengujian Menggunakan XRD

Pengujian XRD pada film $BaTiO_3$ menggunakan metode difraksi sinar-x. Difraksi sinar x merupakan suatu metode untuk menganalisis struktur kristal dan komposisi suatu material. Karakterisasi struktur kristal film $BaTiO_3$ menggunakan

alat *X-Ray Diffractometer* tipe Xpert MPD yang terdapat di Laboratorium Material dan Metalurgi Fakultas Industri ITS Surabaya. Dipilih target $BaTiO_3$ memiliki panjang gelombang (λ) sebesar 1,54060 Å. Sudut 2θ dimulai 5° sampai 90° dengan step size 0,017° dan time per step 10,15 detik. Selanjutnya data yang diperoleh dari hasil XRD dianalisis dengan bantuan program search *Match* dan *Refinement* menggunakan *software Rietica* dengan data pembanding ICDD. Dari hasil analisis dapat diperoleh ukuran kristal, kristalinitas dan parameter kisi.

Gambar 3.6 Alat *X-Ray Diffractometer* tipe Xpert MPD

Hasil karakterisi XRD juga biasanya digunakan untuk menentukan ukuran kristalin dalam material. Ukuran kristalin ditentukan berdasarkan pelebaran puncak difraksi sinar-X yang muncul. Oleh karena itu, untuk memprediksi ukuran kristallinitas yang juga merupakan ukuran partikel dapat digunakan metode *Scherrer*. Berdasarkan metode *Scherrer*, semakin kecil ukuran kristal maka semakin lebar puncak difraksi yang dihasilkan. Hubungan antara ukuran kristal dengan lebar puncak difraksi sinar-X dihubungkan dengan persamaan *Scherrer* sebagai berikut:

$$D \approx \frac{\lambda}{B \cos \theta_B} \qquad (3.3)$$

Dimana D adalah ukuran kristal, λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, θ_B adalah *Sudut Bragg*, B adalah FWHM satu puncak yang dipilih (Abdullah dan Khairurrijal, 2009).

3.4.2 Pengujian Menggunakan UV-Vis

Pengujian UV-Vis film $BaTiO_3$ dilakukan dengan pengukuran spektrum serapan (absorbansi) dan mengamati daerah serapan panjang gelombang maksimum film. Alat yang digunakan adalah *Spektrofotometer* UV-Vis tipe N2S yang ada di Laboratorium Optik Fisika ITS.

Gambar 3.7 Alat Spectrophotometer UV-Vis tipe N2S

Data yang didapat dari karakterisasi UV-Vis adalah nilai absorbansi dan transmitansi terhadap panjang gelombang. Data hasil UV-Vis dapat digunakan untuk menganalisis sifat optik film $BaTiO_3$ berupa koefisien absorbsi dan energi gap dengan menggunakan persamaan berikut;

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln T \qquad (3.4)$$

Dimana (T) adalah transmitansi dan (α) adalah ketebalan film $BaTiO_3$. Ketebalan film dapat diperoleh karakterisasi AFM dan metode optik. Secara optik, tebal film (d) dihitung dengan pendekatan persamaan :

$$d = \frac{1}{2n_1(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2})} \tag{3.5}$$

Dimana (λ_1) dan (λ_2) adalah panjang gelombang pada puncak spektrum pertama dan kedua. Sedangkan (n_1) adalah indeks bias film yang dapat diperoleh dari persamaan beikut:

$$n_1 = \frac{(1 + n_0) + \sqrt{(1 + n_0)^2 - 4n_0 - T_0}}{2\sqrt{T_0}} \tag{3.6}$$

Dimana (n_0) adalah indeks bias kaca dan (T_0) adalah transmitansi minimum (%). Sementara itu untuk menghitung celah pita energi (*band gap*) dapat ditentukan dari hasil transmitansi pada panjang gelombang 300-900 nm yaitu dimulai dari cahaya ultraviolet sampai cahaya tampak. Nilai celah pita energi dari hasil pengujian transmitansi menggunakan persamaan (Abdullah dan Khairurrijal, 2009):

$$\alpha hv = A(hv - E_g)^2 \tag{3.7}$$

3.4.3 Pengujian Menggunakan FTIR

Pengujian FTIR digunakan untuk mengetahui ikatan gugus fungsi film $BaTiO_3$. Karakterisasi FTIR menggunakan spektroskopi infra merah yang bekerja berdasarkan vibrasi atom-atom dalam molekul yang mengabsopsi radiasi inframerah yang datang pada frekuensi yang bersesuaian dengan frekuensi alami molekul. Absorpsi radiasi inframerah ini terdeteksi dalam bentuk spektrum transmitansi atau absorbansi sebagai fungsi panjang gelombang. Pengujian FTIR

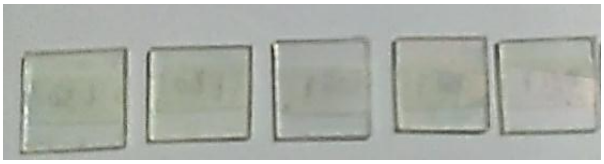
dilakukan di Laboratorium Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan menggunakan alat spektrometer FTIR dalam mode transmisi dengan rentang bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1}.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Sintesis Barium Titanat

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan yaitu sintesis Barium Titanat dari material prekursor $Ba(OH)_2.8H_2O$ dan $TiCl_3$ menggunakan metode *Sol-gel* dan *Spin Coating* diperoleh sampel material *Perovskite* Barium Titanat berupa film yang berwarna bening dan telah diberi perlakuan variasi waktu tahan anil sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 4.1 berikut ini.



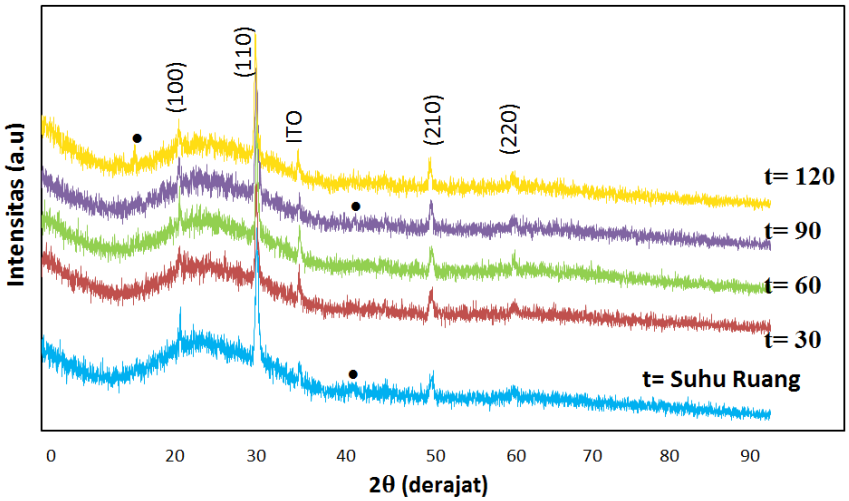
t=30 t=60 t=90 t=120

Gambar 4.1 Sampel Hasil Sintesis yang Siap Dikarakterisasi

Selama proses sintesis dilakukan untuk menghasilkan larutan *Perovskite* Barium Titanat berwarna bening terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan seperti suhu pada proses *stirer*, dan perbandingan jumlah pelarut yang digunakan.

4.2 Struktur Kristal Barium Titanat

Berdasarkan hasil karakterisasi XRD yakni berupa grafik hubungan antara sudut difraksi 2θ dengan intensitas sebagaimana terlihat pada Gambar 4.2. Pola hasil difraksi menunjukkan beberapa puncak difraksi yang muncul dimana masing-masing puncak menandakan suatu bidang dengan orientasi tertentu yang diketahui melalui indeks miller. Indeks miller dari masing-masing puncak yaitu 100, 110, 210, dan 220. Adapun untuk puncak tertinggi film berada pada sudut 30° (110).



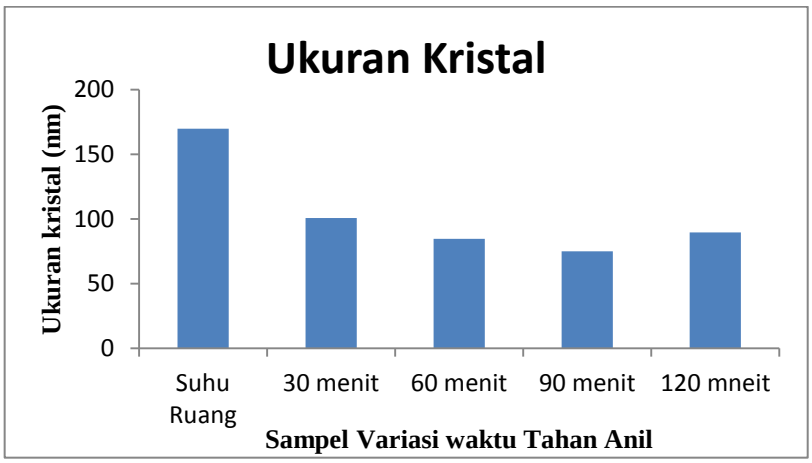
Gambar 4.2 Struktur Kristal dengan Variasi Waktu Tahan Anil Film $BaTiO_3$

Pola difraksi film $BaTiO_3$ tanpa adanya proses anil menghasilkan enam puncak $BaTiO_3$. Puncak-puncak $BaTiO_3$ yang muncul pada suhu ruang atau tanpa diberi perlakuan anil yaitu 21.36°, 30.25°, 35.25°, 41,58°, 50.73° dan 60.15° (Yuningtyas, 2019)(Nayak S, et al.2014). Munculnya puncak lain selain puncak $BaTiO_3$ diyakini berasal dari pengaruh substrat kaca yang digunakan yaitu kaca konduktif ITO pada sudut 35.25°. Sedangkan pada sudut 41,58° berasal dari bahan dasar yang digunakan yaitu TiO_2 yang terbentuk dalam fasa rutil (Nayak S, et al. 2014). Hal ini dikarenakan adanya pengaruh dari proses sintesis yang dilakukan pada suhu ruang. Proses pengadukan prekursor $TiCl_3$ yang lama pada suhu ruang akan menyebabkan titanium yang dihasilkan membentuk fasa rutil. Beberapa sudut yang lain yaitu 21.36°, 30.25°, 50.73° dan 60.15° diyakini sebagai puncak $BaTiO_3$ meskipun pada *Software Rietica* yang digunakan terjadi sedikit pergeseran dari puncak seharusnya.

Hasil difraksi untuk $BaTiO_3$ yang diberi perlakuan anil dengan waktu tahan selama 30 menit hingga 60 menit menunjukkan beberapa puncak yaitu 21.29°, 30.19°, 35.19°, 50.56° dan 60.11°. Pada film dengan waktu tahan anil 60 menit juga menghasilkan empat puncak yaitu 21.32°, 30.26°, 35.29°, 50.54° dan 60.09°. Hasil ini menunjukkan terbentuknya puncak-puncak $BaTiO_3$ dan puncak

ITO dengan intensitas yang berkurang pada hampir semua puncak jika dibandingkan dengan puncak yang diperoleh pada suhu ruang. Selain itu, puncak intensitas TiO_2 tidak ditemukan pada pemberian waktu tahan 30 menit hingga 60 menit.

Sedangkan untuk $BaTiO_3$ dengan waktu tahan anil 90 menit puncak-puncak yang dihasilkan antara lain 21.17°, 30.23°, 35.22°, 41.64°, 50.53°, dan 60.21°. Pada film dengan waktu tahan anil 120 menit juga menghasilkan beberapa puncak yaitu 16.13°, 21.18°, 30.10°, 35,11°, 50.39°, dan 60.02°. Pola difraksi pada waktu tahan 90 dan 120 menit menunjukkan adanya penambahan puncak baru selain puncak $BaTiO_3$ dan ITO yakni pada sudut 16.13° dan 41.64°. Munculnya fasa baru pada waktu tahan 120 menit diyakini berasal dari bahan dasar yang digunakan yaitu TiO_2 pada sudut 41.64°. Sementara untuk sudut 16.13° pada waktu tahan 90 menit ini belum diketahui jenis fasanya. Hal ini menunjukkan bahwa pada waktu tahan tertentu akan muncul fasa baru. Selain struktur kristal, hasil difraksi film $BaTiO_3$ juga dapat menentukan ukuran kristal berdasarkan metode persamaan *schererr*. Berikut Gambar 4.3 menunjukkan pengaruh waktu tahan anil terhadap ukuran kristal film $BaTiO_3$.



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Ukuran Kristal dan Variasi Waktu Tahan Film $BaTiO_3$

Gambar 4.3 memperlihatkan grafik ukuran kristal film $BaTiO_3$ dengan variasi waktu tahan anil 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit. Ukuran kristal diperoleh dengan menggunakan Persamaan *Schererr*. Pemberian waktu tahan anil mengakibatkan struktur kristal semakin teratur dan terpola sehingga fase amorf semakin kecil. Terlihat dari struktur kristal yang mengecil dari 169,8 nm menjadi 100,86 nm. Penambahan waktu tahan anil dari 30 menit ke 60 menit sampai 90 menit menyebabkan penurunan ukuran Kristal (Elqudsy, Mohammad, et al. 2017). Kemudian kenaikan struktur kristal pada waktu 120 menit disebabkan oleh adanya pengaruh dari kaca ITO yang digunakan sebagai substrat sehingga pada XRD ditemukan fasa baru. Ukuran kristal tertinggi berada pada waktu tahan 30 menit yaitu sebesar 100,86 nm. Kenaikan waktu tahan anil dapat memperkecil ukuran kristal. Tingkat absorpsivitas film dapat dipengaruhi oleh ukuran kristal. Film yang memiliki ukuran kristal paling besar dapat menyerap energi foton lebih baik dibandingkan film lainnya. Hal tersebut dikarenakan, semakin tinggi waktu anil dapat mengurangi fase amorf pada film sehingga ukuran kristalnya menjadi lebih kecil. Namun, pada penelitian ini penambahan waktu tahan tertentu akan menyebabkan munculnya impuritas baru.

Tabel 4.1 Perbandingan Analisis Ukuran Kristal dari Barium Titanat

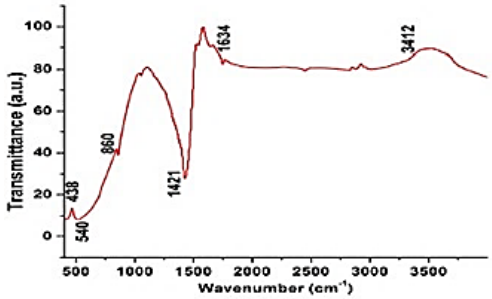
No.	Material	Metode	Ukuran Kristal	Ref.
1	*Barium carbonate, titanium diokside*	*Solid state reaction*	106 nm	Elqudsy, Mohammad, et al. 2017
3	*Barium acetate, titanium isopropoksida*	*Sol-gel*	165 nm	Taqiyah, Rohana. 2012
4	*Barium hidroksida, titanium (III) chloride*	*Sol-gel*	89,56 nm	Penelitian ini

Tabel 4.1 menunjukkan ukuran kristal dengan metode yang berbeda dan prekursor yang berbeda. Pada penelitian yang lain diperoleh ukuran Kristal yang

jauh lebih besar. Sedangkan pada penelitian ini diperoleh ukuran kristal yang lebih kecil. Sehingga hal ini membuktikan bahwa dengan metode dan prekursor yang digunakan mampu menghasilkan ukuran kristal yang kecil sesuai keperluan untuk sel surya. Sebab, dengan ukuran kristal yang lebih rendah maka akan memungkinkan energy foton yang terserap lebih banyak. Selain itu, waktu tahan lebih rendah akan lebih besar jika dibandingkan dengan ukuran kristal dengan waktu tahan yang lebih tinggi. Hal tersebut disebabkan adanya atom-atom yang terdifusi. Atom terdifusi dengan mudah jika terdapat impuritas atau pengotor pada sampel dimana pengotor tersebut akan menyebabkan jumlah *hole*. Struktur kristal juga dipengaruhi oleh ukuran kristal dan metode sintesis yang digunakan. Untuk ukuran partikel di atas 200 nm dengan metode *Sol-gel* menunjukkan struktur kristal $BaTiO_3$ dalam bentuk tetragonal. Sedangkan pada penelitian ini struktur Kristal yang diperoleh adalah kubus.

4.3 Ikatan Gugus Fungsi Film Barium Titanat

Spektroskopi FTIR akan diperoleh keluaran berupa grafik hubungan presentase transmisi (%T) terhadap bilangan gelombang (cm^{-1}). Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui ikatan gugus fungsi antar molekul dan nilai serapan energi spektrum inframerah pada film. Perlakuan yang dilakukan pada pengujian FTIR film $BaTiO_3$ adalah variasi waktu tahan anil 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit. Gambar 4.4 di bawah menunjukkan pola daerah serapa untuk Barium Titanat ($BaTiO_3$). Hasil karakterisasi spektrum inframerah film $BaTiO^3$ terlihat pada rentang nilai bilangan gelombang 400 cm^{-1} – 4000 cm^{-1}.

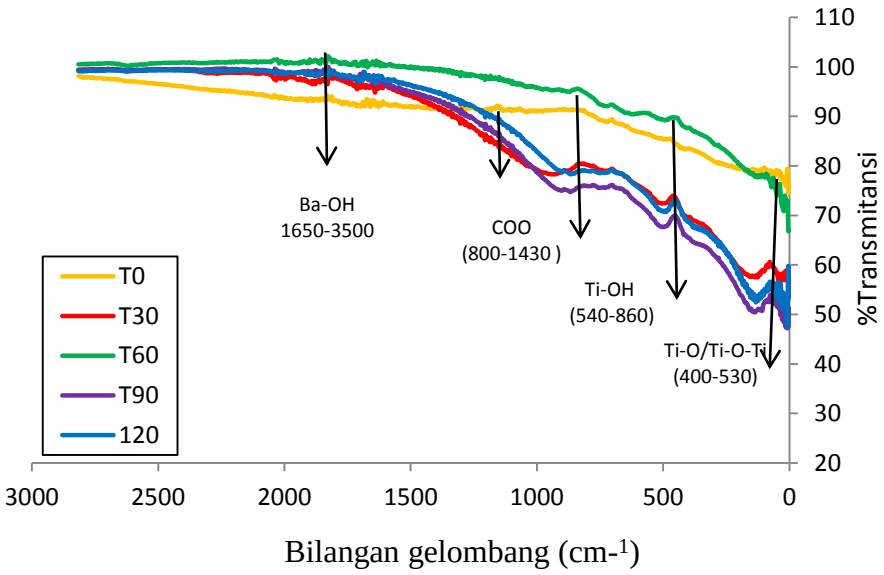


Gambar 4.4 Spektrum IR Barium Titanat (Singh, 2016).

Tabel 4.2 Ikatan Gugus Fungsi Film Barium Titanat

Daerah Serapan (cm^{-1})	**Ikatan dan Jenis Gugus Fungsi**
3412	O-H *stretching*
1634	C-H *stretching*
1421	COO- *bending vibration*
860	COO- *bending vibration*
540	Ti-O *normal vvibration*
438	Ti-O *bending vibration*

Sumber: Singh, 2016



Gambar 4.5 Daerah Serapan Ikatan Gugus Fungsi Film Barium Titanat

Gambar 4.5 menunjukkan beberapa vibrasi atom dibilangan gelombang tertentu, dimana setiap bilangan gelombang menunjukkan jenis ikatan gugus fungsi yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil karaketrisasi dari uji FTIR dapat diketahui daerah-daerah serapan untuk senyawa kimia yang digunakan. Puncak-puncak serapan pada sampel tanpa diberi perlakuan anil atau pada suhu ruang antara lain 432.72 cm^{-1}, 458.43 cm^{-1}, dan 516.86 cm^{-1} diyakini sebagai daerah serapan untuk TiO_2 atau terdapat ikatan [Ti-O-Ti] dan [Ti-O] yang bervibrasi di

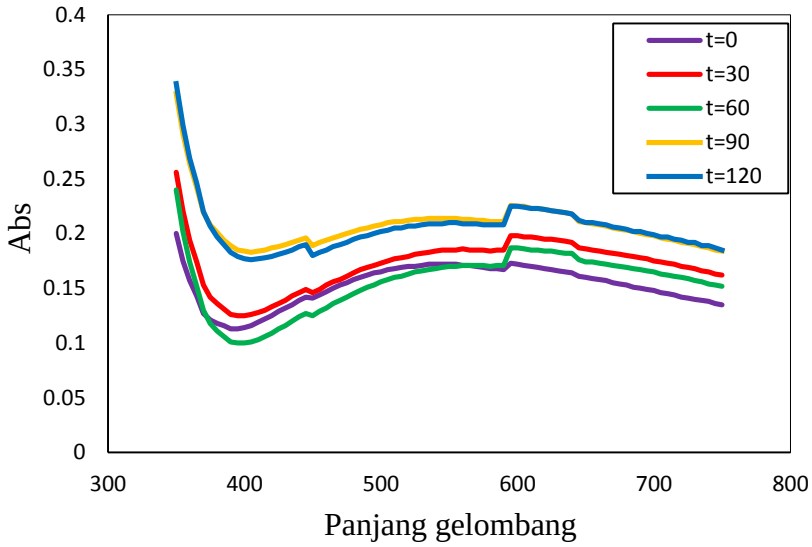
daerah tersebut. Puncak selanjutnya yaitu 1559.63 cm^{-1} merupakan daerah serapan CO_2 atau terdapat ikatan dari group [COO-] yang bervibrasi sebagai akibat dari penggunaan pelarut seperti etanol, propanol, maupun etilen glikol yang digunakan. Selanjutnya beberapa puncak mulai dari 1966.9 cm^{-1}, 1998.07 cm^{-1}, 2035.74 cm^{-1}, hingga 2238.77 cm^{-1} kemungkinan masing-masing terdapat ikatan C=O dan O=C=O (Shameer ahmed, et al. 2017).

Puncak serapan untuk sampel $BaTiO_3$ yang diberi perlakuan waktu tahan anil selama 30 menit tidak sebanyak pada saat sampel berada pada kondisi ruang atau suhu kamar. Puncak-puncak tersebut antara lain 417.98 cm^{-1} dan 528.45 cm^{-1} diyakini sebagai daerah serapan untuk TiO atau terdapat ikatan [Ti-O-Ti] dan [Ti-O] yang bervibrasi di daerah tersebut. Puncak lain yang muncul yaitu 1293.12 cm^{-1} yang merupakan daerah serapan untuk CO_2 atau terdapat ikatan gugus fungsi dari group [COO-] yang bervibrasi. Sedangkan untuk 2207.55 cm^{-1} kemungkinan terdapat ikatan C=O dan O=C=O. Sementara itu, untuk hasil dari waktu tahan 60 menit selain ikatan gugus fungsi [Ti-O-Ti] pada daerah serapan 419.57 cm^{-1} hingga 466.03 cm^{-1}, muncul pula daerah serapan lain yang lebih besar yaitu 2930.06 cm^{-1} yang merupakan daerah serapan untuk ikatan gugus fungsi [C-H] dan 3737.59 cm^{-1} yang merupakan karakteristik daerah serapan untuk ikatan gugus fungsi [O-H] dalam air (H.Z Akbaz, et al. 2016).

Puncak daerah serapan untuk waktu tahan 90 menit dan 120 menit masing-masing terdapat daerah serapan untuk TiO_2 atau ikatan gugus fungsi [Ti-O-Ti] dan [Ti-O] yakni mulai dari 405.03 cm^{-1} hingga 529.00 cm^{-1}. Selain daerah tersebut muncul juga daerah serapan untuk ikatan gugus fungsi [Ti, Ba] yaitu pada daerah 884.74 cm^{-1} untuk waktu tahan 90 menit dan 868.33 cm^{-1} untuk waktu tahan 120 menit. Namun pada penambahan waktu tahan ini tidak lagi ditemukan daerah [COO-] maupun [C-H] dan [O-H]. Adanya puncak yang terletak pada rentang antara 600-700 mengindikasikan bahwa komposisi larutan yang dibuat dari larutan $TiCl_3$, 2-propanol dan toluene berbentuk Titanium Dioksida (TiO_2).

4.4 Sifat Optik Film Barium Titanat

Hasil yang didapat pada pengujian sifat optik film $BaTiO_3$ dengan UV-Vis berupa grafik hubungan absorbansi terhadap panjang gelombang. Gambar 4.6 menunjukkan absorbansi film $BaTiO_3$ sebagai fungsi panjang gelombang dengan variasi waktu tahan anil 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit pada suhu 500 °C.

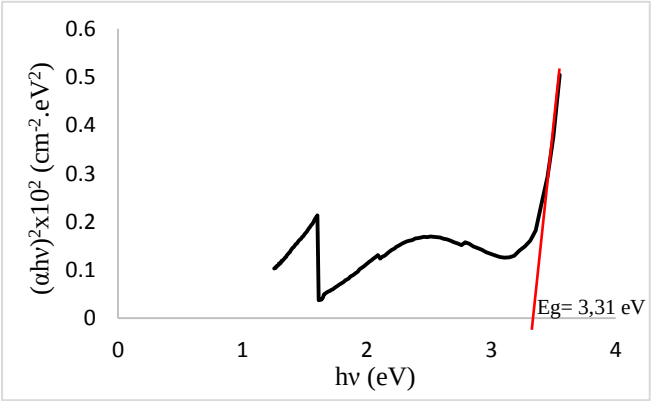


Gambar 4.6 Absorbansi dengan Variasi Waktu Tahan Anil Film $BaTiO_3$

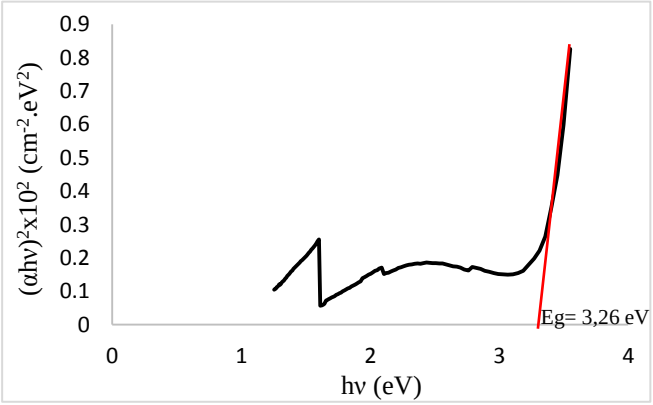
Absorbansi film $BaTiO_3$ terjadi pada rentang panjang gelombang 350 – 750 nm. Ketika film $BaTiO_3$ tidak mengalami proses *annealing* (suhu ruang), maka nilai absorbansi meningkat dari 0.114 menjadi 0.2. Kemudian saat film $BaTiO_3$ mengalami proses *annealing* pada suhu 500 °C dengan waktu tahan 30 menit nilai absorbansinya meningkat dari 0.125 menjadi 0.256. Selain itu pada saat film $BaTiO_3$ diberi waktu tahan anil 60 menit, nilai absorbansi meningkat dari 0.1 menjadi 0.24. Ketika penambahan waktu tahan anil selama 90 dan 120 menit diberikan pada film $BaTiO_3$ nilai absorbansinya meningkat dari 0.184 dan 0.177 menjadi 0.328 dan 0.337. Sehingga pengaruh dari suhu anil dapat meningkatkan absorbansi film $BaTiO_3$.

Film $BaTiO_3$ dengan pemberian waktu tahan anil menunjukkan bahwa absorbansi terbesar berada pada waktu tahan 120 menit sehingga energi foton yang diserap oleh film akan semakin besar pada waktu tersebut. Selain itu, semakin waktu lama tahan anil yang diberikan, maka nilai absorbansi minimal mengalami pergeseran ke panjang gelombang yang lebih pendek atau energi gap yang lebih besar. Perhitungan energi gap film $BaTiO_3$ menggunakan karakteristik optik absorbansi, yaitu melakukan plot terhadap $(\alpha h\nu)^2$ dan hν dengan metode *tauc plot* sehingga dihasilkan energi gap. Energi gap dihitung menggunakan nilai transisi tidak langsung yaitu n = 2. Pemilihan nilai transisi tersebut dikarenakan transisi elektron antara lembah pita konduksi dan puncak pita valensi terjadi secara tidak langsung melainkan menyerap atau memancarkan energi fonon (Singh, 2016). Pada Gambar 4.7 berikut menunjukkan besar energi gap berdasarkan metode *tauc plot* pada film $BaTiO_3$ dengan variasi waktu tahan anil (a) tanpa *annealing* (suhu ruang), (b) 30 menit, (c) 60 menit, dan (d) 90 menit, dan (e) 120 menit.

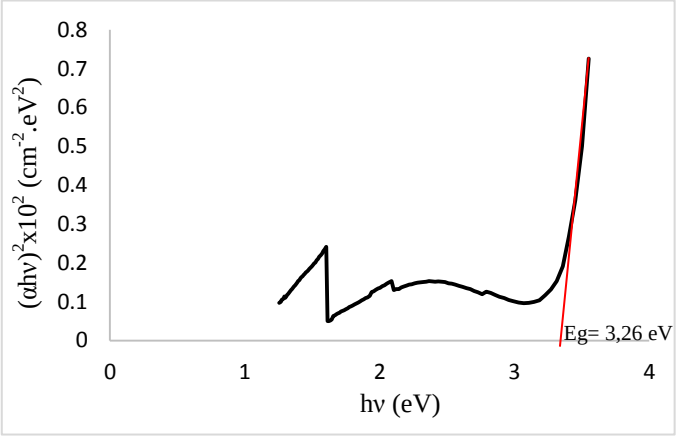
a)



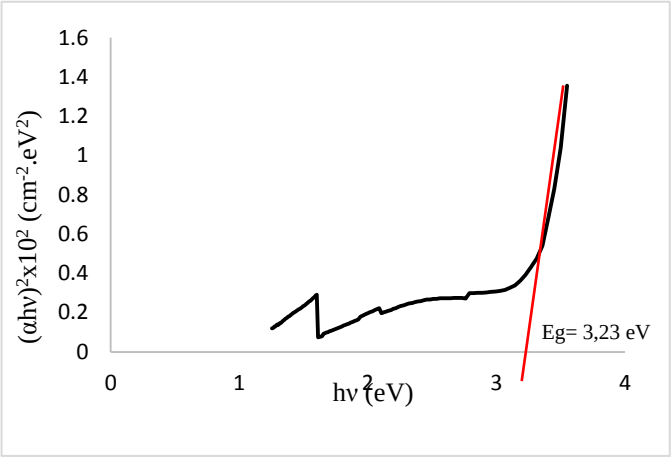
b)



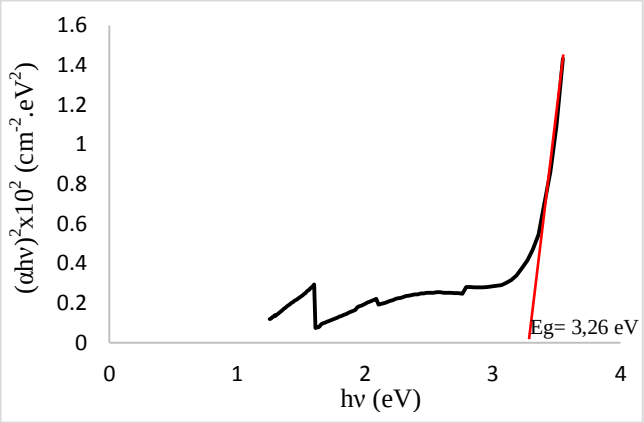
c)



d)

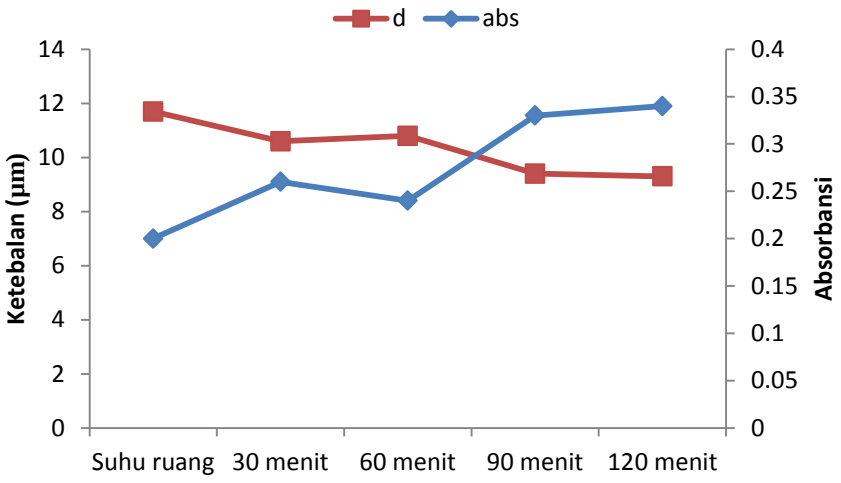


e)



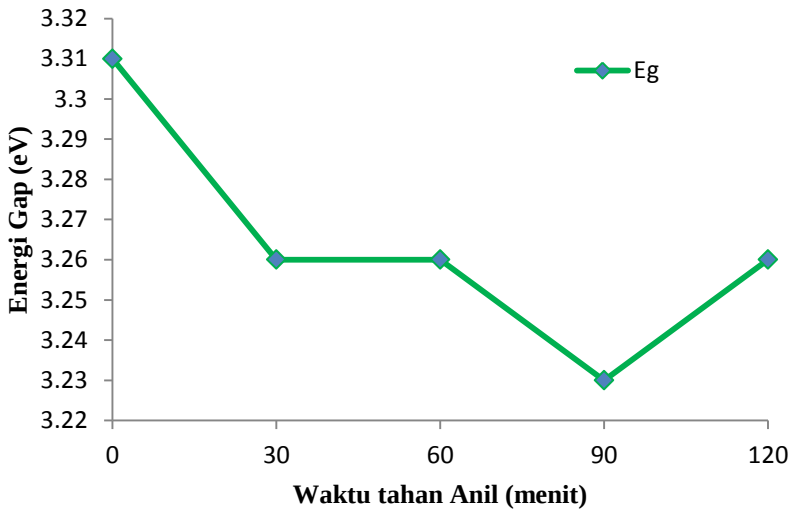
Gambar 4.7 Nilai Energi Gap Film $BaTiO_3$ dengan Variasi Waktu Tahan Anil menggunakan Metode *Taut Plot*, (a) tanpa *annealing* (suhu ruang), (b) 30 menit, (c) 60 menit, dan (d) 90 menit, dan (e) 120 menit.

Energi gap merupakan faktor yang mempengaruhi absorbansi suatu film. Namun, absorbansi tidak hanya dipengaruhi oleh energy gap tetap juga oleh ketebalan film. Grafik 4.2 berikut menunjukkan hubungan antara ketebalan film dengan absorbansi.



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Ketebalan dan Absorbansi Film $BaTiO_3$

Berdasarkan Gambar di atas menunjukkan bahwa grafik nilai absorbansi linear terhadap ketebalan pada sampel $BaTiO_3$ yang diberi perlakuan variasi waktu tahan anil selama 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit. Dimana semakin besar absorbansi memiliki ketebalan yang semakin kecil (Yuningtyas, 2019). Hal ini sesuai dalam persamaan yang digunakan pada bab 3. Selanjutnya Gambar grafik 4.9 berikut ini menunjukkan hubungan energi gap dengan variasi waktu tahan anil dari film $BaTiO_3$.



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Antara Besar Energi Gap (Eg) dengan Variasi Waktu Tahan Anil Film $BaTiO_3$

Berdasarkan pada Gambar grafik 4.9 diatas menunjukkan hasil perhitungan Eg menggunakan persamaan *taut plot* diperoleh Eg sebesar 3,31 eV pada saat sampel belum diberi perlakuan anil. Sedangkan setelah dilakukan variasi waktu tahan anil tidak banyak mempengaruhi perubahan energi gap sebagaimana terlihat pada grafik meski demikian pada waktu tahan 90 menit diperoleh energi gap sebesar 3,23 eV, dan termasuk Eg terkecil jika dibandingkan dengan semua sampel yang ada. Pemilihan kecepatan *Spin Coating* yaitu 2000 rpm juga dapat mempengaruhi panjang gelombang yang dihasilkan yaitu di bawah 380 nm, yang artinya akan mempengaruhi nilai absorbansi lebih besar. Selain itu, pada waktu tahan 90 menit diperoleh ukuran kristal terkecil sehingga menyebabkan Eg juga mengecil karena hanya sedikit energi foton yang diserap. Sementara pada waktu 120 menit terjadi penggumpalan atau *aglomerasi* sehingga amorf kembali meningkat terbukti dari adanya impuritas baru yang muncul dan menyebabkan Eg juga meningkat.

4.5 Penentuan Parameter Terbaik Film $BaTiO_3$

Berdasarkan hasil karakterisasi yang telah dilakukan terhadap $BaTiO_3$ yang diberi perlakuan waktu tahan anil. Maka setelah di analisis ikatan gugus fungsi, struktur kristal dan sifat oprtik sehingga dapat diperoleh beberapa parameter penting yang akan digunakan untuk mengoptimalkan fabrikasi sel surya berbasis perovskite $BaTiO_3$. Beberapa parameter hasil karakterisasi sifat optik, struktur dan ikatan gugus fungsi terhadap film $BaTiO_3$ terdapat pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Parameter Hasil Karaterisasi Struktur Kristal dan Sifat Optik

No.	Variasi aktu tahan anil	Parameter			
		Abs	d (µm)	Eg (eV)	Ukuran Kristal (nm)
1	Suhu Ruang	0.2	11.7	3.31	169,8
2	30 menit	0.26	10.6	3.26	100,86
3	60 menit	0.24	10.8	3.26	84,67
4	90 menit	0.33	9.4	3.23	74,89
5	120 menit	0.34	9.3	3.26	89,56

Berdasarkan Tabel 4.3, dapat dibandingkan mana film yang memiliki nilai parameter terbaik sehingga dapat digunakan untuk keperluan fabrikasi sel surya. Pemilihan film didasarkan pada nilai absorbansi tertinggi, energi gap terendah, ketebalan film tertinggi dan ukuran kristal tertinggi. Pemilihan film dengan nilai absorbansi tertinggi dikarenakan pada keadaan tersebut, film dapat menyerap energi foton lebih banyak. Energi gap yang rendah juga dapat meningkatkan kemampuan absorbsifitas film. Apabila energi gap rendah, maka film yang memiliki daya serap yang baik adalah film yang memiliki nilai ketebalan yang besar. Sehingga dalam penelitian ini parameter terbaik diperoleh pada pemberian waktu tahan 90 menit.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Material perovskite barium titanat telah berhasil disintesis mengggunakan prekursor $TiCl_3$ dan $Ba(OH)_2.8H_2O$ dengan metode *sol-gel* dan teknik *spin Coating*.
2. Variasi waktu tahan anil yang diberikan mempengaruhi perubahan struktur kristal dan ukuran kristal. Kenaikan waktu tahan anil dapat memperkecil ukuran kristal dan pada waktu tahan anil tertentu dapat memunculkan fasa baru pada sruktur kristal barium titanat. Sedangkan untuk analisis sifat optik menunjukkan bahwa absorbansi meningkat seiring bertambahnya waktu tahan anil sementara energi gap menurun. Daerah serapan dari ikatan gugus fungsi material yang disintesis berhasil membentuk barium titanat.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian terkait sel surya berbasis *perovskite* barium titanat selanjutnya adalah:

1. Melakukan fabrikasi sel surya berbasis perovskite dengan waktu tahan 90 menit pada suhu 500 °C.
2. Pada proses sintesis dapat dilakukan variasi yang lain seperti meneliti lebih jauh jumlah konsentrasi setiap prekursor dan pelarut yang diberikan.
3. Pada proses deposisi melakukan variasi kecepatan *spin coating* dan *step* yang digunakan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, Mikrajuddin, and Khairurrijal Khairurrijal. 2009. 'Karakterisasi Nanomaterial', *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 2: 1-9.

Andrianto Muharam, Waode Sukmawati Arsyad, Ida Usman, Rahmat Hidayat. 2018. Jurnal Material dan Energi Indonesia Vol. 08, No. 02 (2018) 13 – 20. Departemen Fisika FMIPA Universitas Padjadjaran. Bandung.

Cahyono, Yoyok, Fuad D Muttaqin, Umi Maslakah, Malik A Baqiya, Mochamad Zainuri, Eddy Yahya, Suminar Pratapa, and Darminto Darminto. 2017. 'Efek Staebler-Wronski dan Pengaruh Waktu Anil pada Lapisan Instrinsik Silikon Amorf Terhidrogenasi (a-Si: H)', *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 13: 59-62.

Correa-Baena, Juan-Pablo, Michael Saliba, Tonio Buonassisi, Michael Grätzel, Antonio Abate, Wolfgang Tress, and Anders Hagfeldt. 2017. 'Promises and challenges of perovskite solar cells', *Science*, 358: 739-44.

Costa-Fernández, JM, ME Diaz-Garcıa, and A Sanz-Medel. 1998. 'Sol–gel immobilized room-temperature phosphorescent metal-chelate as luminescent oxygen sensing material', *Analytica chimica acta*, 360: 17-26.

Dahrul, M. 2010. 'Karakterisasi Dan Optimasi Efisiensi Sel Surya BST/CuO Tergandeng Kristal Fotonik', Institut Pertanian Bogor.

Elqudsy M.A, Widodo, R. D, Rusiyanto, and Sumbodo, Wirwan.2017.” The particle and crystallite size analysis of BaTiO3 produced by conventional solid-state reaction process”.AIP Confrence Proceedings 1818, 020012 (2017); https://doi.org/10.1063/1.4976876.

Ertuğ, Burcu. 2013. 'The overview of the electrical properties of barium titanate', *American Journal of Engineering Research*, 2: 1-7.

Green, Martin A. 1987. "High efficiency silicon solar cells." In *Seventh EC Photovoltaic Solar Energy Conference*, 681-87. Springer.

Hadiati, S, AH Ramelan, VI Variani, M Hikam, B Soegijono, DF Saputri, and Y Iriani. 2014. 'Kajian Variasi Temperatur Annealing dan holding time pada Penumbuhan Lapisan Tipis BaZr0, 15Ti0, 85O3 dengan Metode Sol-Gel', *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 10: 37-43.

Hodes, Gary. 2002. *Chemical solution deposition of semiconductor films* (CRC press).

Kour, Navneet, and Rajesh Mehra. 2017. 'Recent Advances in Photovoltaic technology based on perovskite solar cell-A review', *Int. Res. J. Eng. Technol*, 4: 1284-96.

Mabrurotul Uyun. 2015. “Sintesis Nanopartikel TiO_2 Rutile dengan Prekursor $TiCl_3$ (Proses Hidrolisis dan Mineralisasi) dan Prekursor $TiCl_4$.ITS Press. Surabaya.

Matsui, T., Bidiville, A., Maejima, K., Sai, H., Koida, T., Suezaki, T.,Kondo, M. (2015). High-efficiency amorphous silicon solar cells: Impact of

deposition rate on metastability. Applied Physics Letters, 106(5), 053901. doi:10.1063/1.4907001.

Matsumura, Hideki. 1998. 'Formation of silicon-based thin films prepared by catalytic chemical vapor deposition (Cat-CVD) method', *Japanese Journal of Applied Physics*, 37: 3175.

Naveen Kumar, Md Arafat Mahmud, Dian Wang, and Ashraf Uddin. 2016. 'Perovskite solar cells: progress and advancements', *Energies*, 9: 861.

Nayak, S., Sahoo, B., Chaki, T. K., & Khastgir, D. (2014). Facile preparation of uniform barium titanate (BaTiO3) multipods with high permittivity: impedance and temperature dependent dielectric behavior. RSC Adv., 4(3), 1212–1224.

Pambudi, Dwi Ratna Setya, and Mochamad Zainuri. 2016. 'Pengaruh Waktu Tahan Proses Kalsinasi Prekursor Silika sebagai Material Pelapis Hidrofobik', *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 5.

Prakash, Jai, Arjun Singh, Govindasamy Sathiyan, Rahul Ranjan, Anand Singh, Ashish Garg, and Raju Kumar Gupta. 2018. 'Progress in tailoring perovskite based solar cells through compositional engineering: Materials properties, photovoltaic performance and critical issues', *Materials today energy*, 9: 440-86.

Sadikin SN, Rahman M. Y.A and Umar A.A.2017. "TiO_2-$BaTiO_3$ Composite Films as Photoanode for Dye Sensitized Solar Cell: Effect of BaTiO3 Content".Journal of new material for electrochemical systems. Vol 20 No 3 (2017): pages 089-149.

Safitri, Ramona D, Yunita Subarwanti, Agus supriyanto, Anif jamaluddin, Yofentina Iriani. 2016. "Pemuatan Material Ferroelektrik Barium Titanat ($BaTiO_3$) menggunakan Metode Kopresipitasi. Jurnal Fisika dan aplikasinya. VOLUME 12, NOMOR 3 OKTOBER 2016.

Sharma, A.K., Priyadarshini, B.G., Mehta, B.R., dan Kumar, D., (2015), "Amorphous Barium titanate thin film improves the light trapping in solar cells".

Shi, Dai, Yang Zeng, and Wenzhong Shen. 2015. 'Perovskite/c-Si tandem solar cell with inverted nanopyramids: realizing high efficiency by controllable light trapping', *Scientific reports*, 5: 16504.

Shi, Zhengqi, and Ahalapitiya H Jayatissa. 2018. 'Perovskites-based solar cells: A review of recent progress, materials and processing methods', *Materials*, 11: 729.

Singh, M., Ranjan, A., Yadav, B.A., Kaur, M., dan Gupta, S.K., (2016),"Synthesis and Characterization of Perovskite Barium Titanate Thin Film and Its Application as LPG sensor", Journal Elsevier.

Sobha, A and R. C. Sumangala. 2018 "Influence of Synthesis Method and the Precursor on the Preparationof Barium Titanate Nano Particles". Research & Reviews: Journal of Material Sciences, RRJOMS Volume 6 Issue 3.

Sulabha K, Kulkarni.2015. Nanotechnology: Principles and Practices Third Edition.Springer. Pune, India.

Sunendar, Bambang, Mery Agustina, and Arie Wibowo. 2009. 'Sintesis Barium Titanat ($BaTiO_3$) Nano Partikel Fasa Tetragonal Menggunakan Metode Proses Prekursor', *Journal of Industrial Research (Jurnal Riset Industri)*, 3.

Sze, Simon Min. 2008. *Semiconductor devices: physics and technology* (John wiley & sons).

Taqiyah, Rohana. 2012. "Perbandingan Struktur Kristal Dan Morfologi Lapisan Tipis Barium Titanat (Bt) Dan Barium Zirkonium Titanat (Bzt) Yang Ditumbuhkan Dengan Metode Sol-Gel". UNS-FMIPA Jur. Fisika-M.0207012-2012. Surakarta.

Vijatović, MM, JD Bobić, and BD Stojanović. 2008. 'History and challenges of barium titanate: Part I', *Science of Sintering*, 40: 155-65.

Yuningtyas N. K. 2019. 'Fabrikasi dan Karakterisasi Sel Surya Berbasis Barium Titanat/CuO', Intitut Teknologi Sepuluh November.

Zang, W.F, Zang, M.S, Z. Yin, and Q.Chen.2000. "Photoluminescence in anatase titanium dioxide nanocrystals". Appl. Phys. B 70, 261–265(2000) / Digital Object Identifier (DOI) 10.1007/s003409900161.Springer.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Tabel 1 Nilai Absorbansi dan Ketebalan

Wave	Abs.t=0	d	t=30	d	t=60	d	t=90	d	t=120	D
350	0.2	11.7	0.256	10.6	0.24	10.8	0.328	9.4	0.337	9.3
355	0.175	11.7	0.221	10.6	0.202	10.8	0.291	9.4	0.299	9.3
360	0.157	11.7	0.194	10.6	0.174	10.8	0.264	9.4	0.269	9.3
365	0.143	11.7	0.174	10.6	0.152	10.8	0.242	9.4	0.246	9.3
370	0.127	11.7	0.153	10.6	0.13	10.8	0.219	9.4	0.22	9.3
375	0.121	11.7	0.142	10.6	0.118	10.8	0.208	9.4	0.207	9.3
380	0.118	11.7	0.136	10.6	0.111	10.8	0.201	9.4	0.197	9.3
385	0.116	11.7	0.131	10.6	0.106	10.8	0.194	9.4	0.19	9.3
390	0.113	11.7	0.126	10.6	0.101	10.8	0.189	9.4	0.183	9.3
395	0.113	11.7	0.125	10.6	0.1	10.8	0.185	9.4	0.179	9.3
400	0.114	11.7	0.125	10.6	0.1	10.8	0.184	9.4	0.177	9.3
405	0.116	11.7	0.126	10.6	0.101	10.8	0.183	9.4	0.176	9.3
410	0.119	11.7	0.128	10.6	0.103	10.8	0.184	9.4	0.177	9.3
415	0.122	11.7	0.13	10.6	0.106	10.8	0.185	9.4	0.178	9.3
420	0.125	11.7	0.133	10.6	0.109	10.8	0.187	9.4	0.179	9.3
425	0.129	11.7	0.136	10.6	0.113	10.8	0.188	9.4	0.181	9.3
430	0.132	11.7	0.139	10.6	0.116	10.8	0.19	9.4	0.183	9.3
435	0.135	11.7	0.143	10.6	0.12	10.8	0.192	9.4	0.185	9.3
440	0.139	11.7	0.146	10.6	0.124	10.8	0.194	9.4	0.188	9.3
445	0.142	11.7	0.149	10.6	0.127	10.8	0.196	9.4	0.19	9.3
450	0.141	11.7	0.146	10.6	0.125	10.8	0.189	9.4	0.18	9.3
455	0.144	11.7	0.149	10.6	0.129	10.8	0.192	9.4	0.183	9.3
460	0.147	11.7	0.153	10.6	0.132	10.8	0.194	9.4	0.185	9.3
465	0.15	11.7	0.156	10.6	0.136	10.8	0.196	9.4	0.188	9.3
470	0.153	11.7	0.158	10.6	0.139	10.8	0.198	9.4	0.19	9.3
475	0.155	11.7	0.161	10.6	0.142	10.8	0.2	9.4	0.192	9.3
480	0.158	11.7	0.164	10.6	0.145	10.8	0.202	9.4	0.195	9.3
485	0.16	11.7	0.167	10.6	0.148	10.8	0.204	9.4	0.197	9.3
490	0.162	11.7	0.169	10.6	0.151	10.8	0.205	9.4	0.198	9.3
495	0.164	11.7	0.171	10.6	0.153	10.8	0.207	9.4	0.2	9.3
500	0.165	11.7	0.173	10.6	0.156	10.8	0.208	9.4	0.202	9.3
505	0.167	11.7	0.175	10.6	0.158	10.8	0.21	9.4	0.203	9.3
510	0.168	11.7	0.177	10.6	0.16	10.8	0.211	9.4	0.205	9.3
515	0.169	11.7	0.178	10.6	0.161	10.8	0.211	9.4	0.205	9.3

520	0.17	11.7	0.179	10.6	0.163	10.8	0.212	9.4	0.207	9.3
525	0.17	11.7	0.181	10.6	0.165	10.8	0.213	9.4	0.207	9.3
530	0.171	11.7	0.182	10.6	0.166	10.8	0.213	9.4	0.208	9.3
535	0.172	11.7	0.183	10.6	0.167	10.8	0.214	9.4	0.209	9.3
540	0.172	11.7	0.184	10.6	0.168	10.8	0.214	9.4	0.209	9.3
545	0.172	11.7	0.185	10.6	0.169	10.8	0.214	9.4	0.209	9.3
550	0.172	11.7	0.185	10.6	0.17	10.8	0.214	9.4	0.21	9.3
555	0.172	11.7	0.185	10.6	0.17	10.8	0.214	9.4	0.21	9.3
560	0.171	11.7	0.186	10.6	0.171	10.8	0.213	9.4	0.209	9.3
565	0.171	11.7	0.185	10.6	0.171	10.8	0.213	9.4	0.209	9.3
570	0.17	11.7	0.185	10.6	0.171	10.8	0.212	9.4	0.209	9.3
575	0.169	11.7	0.185	10.6	0.171	10.8	0.212	9.4	0.208	9.3
580	0.168	11.7	0.184	10.6	0.17	10.8	0.211	9.4	0.208	9.3
585	0.168	11.7	0.185	10.6	0.171	10.8	0.211	9.4	0.208	9.3
590	0.167	11.7	0.185	10.6	0.171	10.8	0.211	9.4	0.208	9.3
595	0.173	11.7	0.198	10.6	0.187	10.8	0.226	9.4	0.225	9.3
600	0.172	11.7	0.198	10.6	0.187	10.8	0.225	9.4	0.225	9.3
605	0.171	11.7	0.197	10.6	0.186	10.8	0.225	9.4	0.224	9.3
610	0.17	11.7	0.197	10.6	0.185	10.8	0.223	9.4	0.223	9.3
615	0.169	11.7	0.196	10.6	0.185	10.8	0.223	9.4	0.223	9.3
620	0.168	11.7	0.195	10.6	0.184	10.8	0.222	9.4	0.222	9.3
625	0.167	11.7	0.195	10.6	0.184	10.8	0.221	9.4	0.221	9.3
630	0.166	11.7	0.194	10.6	0.183	10.8	0.22	9.4	0.22	9.3
635	0.165	11.7	0.193	10.6	0.182	10.8	0.219	9.4	0.219	9.3
640	0.164	11.7	0.192	10.6	0.182	10.8	0.218	9.4	0.218	9.3
645	0.161	11.7	0.187	10.6	0.176	10.8	0.211	9.4	0.212	9.3
650	0.16	11.7	0.186	10.6	0.174	10.8	0.21	9.4	0.21	9.3
655	0.159	11.7	0.185	10.6	0.174	10.8	0.209	9.4	0.21	9.3
660	0.158	11.7	0.184	10.6	0.173	10.8	0.208	9.4	0.209	9.3
665	0.157	11.7	0.183	10.6	0.172	10.8	0.207	9.4	0.208	9.3
670	0.155	11.7	0.182	10.6	0.171	10.8	0.205	9.4	0.206	9.3
675	0.154	11.7	0.181	10.6	0.17	10.8	0.204	9.4	0.205	9.3
680	0.153	11.7	0.18	10.6	0.169	10.8	0.203	9.4	0.204	9.3
685	0.151	11.7	0.179	10.6	0.168	10.8	0.202	9.4	0.202	9.3
690	0.15	11.7	0.178	10.6	0.167	10.8	0.2	9.4	0.202	9.3
695	0.149	11.7	0.177	10.6	0.166	10.8	0.199	9.4	0.2	9.3
700	0.148	11.7	0.175	10.6	0.165	10.8	0.198	9.4	0.199	9.3
705	0.146	11.7	0.174	10.6	0.163	10.8	0.196	9.4	0.197	9.3
710	0.145	11.7	0.173	10.6	0.162	10.8	0.195	9.4	0.197	9.3
715	0.144	11.7	0.172	10.6	0.161	10.8	0.194	9.4	0.195	9.3

720	0.142	11.7	0.17	10.6	0.16	10.8	0.192	9.4	0.194	9.3
725	0.141	11.7	0.169	10.6	0.159	10.8	0.191	9.4	0.192	9.3
730	0.14	11.7	0.168	10.6	0.157	10.8	0.19	9.4	0.192	9.3
735	0.139	11.7	0.166	10.6	0.156	10.8	0.188	9.4	0.189	9.3
740	0.138	11.7	0.165	10.6	0.154	10.8	0.187	9.4	0.189	9.3
745	0.136	11.7	0.163	10.6	0.153	10.8	0.185	9.4	0.187	9.3
750	0.135	11.7	0.162	10.6	0.152	10.8	0.184	9.4	0.185	9.3

Tabel 2 Nilai Energi Gap

Eg	αhv. t=0	αhv. t=30	αhv. t=60	αhv. t=90	αhv.t=120
3.549643	0.709928571	0.906971429	0.85028571	1.164283	1.19623
3.499648	0.61243838	0.771943662	0.70557746	1.018398	1.046395
3.451042	0.541813542	0.668222222	0.59933333	0.911075	0.92833
3.403767	0.486738699	0.591123288	0.51638356	0.823712	0.837327
3.35777	0.426436824	0.512756757	0.43567568	0.735352	0.738709
3.313	0.400873	0.469546667	0.39018667	0.689104	0.685791
3.269408	0.385790132	0.443789474	0.36221053	0.657151	0.644073
3.226948	0.374325974	0.421922078	0.3414026	0.626028	0.61312
3.185577	0.359970192	0.400615385	0.32112821	0.602074	0.582961
3.145253	0.355413608	0.392405063	0.31392405	0.581872	0.563
3.105938	0.354076875	0.3875	0.31	0.571493	0.549751
3.067593	0.355840741	0.385777778	0.30923457	0.561369	0.539896
3.030183	0.360591768	0.387121951	0.3115122	0.557554	0.536342
2.993675	0.365228313	0.388433735	0.31672289	0.55383	0.532874
2.958036	0.369754464	0.392666667	0.32180952	0.553153	0.529488
2.923235	0.377097353	0.3968	0.32969412	0.549568	0.529106
2.889244	0.381380233	0.400837209	0.33451163	0.548956	0.528732
2.856034	0.385564655	0.407632184	0.34206897	0.548359	0.528366
2.82358	0.392477557	0.411454545	0.34945455	0.547774	0.530833
2.791854	0.396443258	0.415191011	0.35388764	0.547203	0.530452
2.760833	0.3892775	0.402311111	0.34444444	0.521798	0.49695
2.730495	0.393191209	0.406065934	0.35156044	0.524255	0.49968
2.700815	0.397019837	0.412434783	0.35582609	0.523958	0.499651
2.671774	0.400766129	0.416	0.36266667	0.523668	0.502294
2.643351	0.404432713	0.416851064	0.3667234	0.523384	0.502237
2.615526	0.405406579	0.420294737	0.37069474	0.523105	0.502181
2.588281	0.408948438	0.423666667	0.37458333	0.522833	0.504715
2.561598	0.40985567	0.426969072	0.37839175	0.522566	0.504635

2.535459	0.410744388	0.427673469	0.38212245	0.519769	0.502021
2.509848	0.411615152	0.428363636	0.38327273	0.519539	0.50197
2.48475	0.40998375	0.42904	0.38688	0.516828	0.50192
2.460149	0.410844802	0.42970297	0.3879604	0.516631	0.49941
2.436029	0.409252941	0.430352941	0.38901961	0.514002	0.499386
2.412379	0.40769199	0.428582524	0.38765049	0.509012	0.494538
2.389183	0.406161058	0.426846154	0.38869231	0.506507	0.494561
2.366429	0.402292857	0.427504762	0.38971429	0.504049	0.489851
2.344104	0.400841745	0.425811321	0.38837736	0.499294	0.487574
2.322196	0.399417757	0.424149533	0.38706542	0.49695	0.485339
2.300694	0.395719444	0.422518519	0.38577778	0.492349	0.480845
2.279587	0.392088991	0.420917431	0.38451376	0.487832	0.476434
2.258864	0.388524545	0.417090909	0.38327273	0.483397	0.474361
2.238514	0.385024324	0.413333333	0.37981982	0.479042	0.470088
2.218527	0.37936808	0.411857143	0.37864286	0.472546	0.463672
2.198894	0.376010841	0.406017699	0.37529204	0.468364	0.459569
2.179605	0.370532895	0.40245614	0.372	0.462076	0.455538
2.160652	0.365150217	0.398956522	0.36876522	0.458058	0.449416
2.142026	0.359860345	0.39337931	0.36344828	0.451967	0.445541
2.123718	0.356784615	0.392136752	0.36246154	0.448104	0.441733
2.10572	0.351655297	0.388813559	0.35938983	0.444307	0.43799
2.088025	0.361228361	0.412638655	0.38971429	0.471894	0.469806
2.070625	0.3561475	0.4092	0.38646667	0.465891	0.465891
2.053512	0.35115062	0.403768595	0.38122314	0.46204	0.459987
2.03668	0.346235656	0.400459016	0.37606557	0.45418	0.45418
2.020122	0.34140061	0.395186992	0.37300813	0.450487	0.450487
2.003831	0.336643548	0.39	0.368	0.44485	0.44485
1.9878	0.3319626	0.38688	0.365056	0.439304	0.439304
1.972024	0.327355952	0.38184127	0.36019048	0.433845	0.433845
1.956496	0.32282185	0.37688189	0.35540157	0.428473	0.428473
1.941211	0.318358594	0.372	0.352625	0.423184	0.423184
1.926163	0.310112209	0.359503876	0.33835659	0.40642	0.408347
1.911346	0.305815385	0.354830769	0.33193846	0.401383	0.401383
1.896756	0.30158416	0.350229008	0.32940458	0.396422	0.398319
1.882386	0.297417045	0.34569697	0.3250303	0.391536	0.393419
1.868233	0.293312594	0.341233083	0.3207218	0.386724	0.388592
1.854291	0.287415112	0.336835821	0.31647761	0.38013	0.381984
1.840556	0.283445556	0.332503704	0.3122963	0.375473	0.377314
1.827022	0.279534375	0.328235294	0.30817647	0.370885	0.372713
1.813686	0.273866606	0.324029197	0.30411679	0.366365	0.366365

1.800543	0.270081522	0.319884058	0.30011594	0.360109	0.36371
1.78759	0.266350899	0.315798561	0.29617266	0.35573	0.357518
1.774821	0.262673571	0.31	0.29228571	0.351415	0.353189
1.762234	0.25728617	0.306042553	0.28669504	0.345398	0.34716
1.749824	0.253724472	0.302140845	0.28292958	0.341216	0.344715
1.737587	0.250212587	0.298293706	0.27921678	0.337092	0.33883
1.725521	0.245023958	0.292777778	0.27555556	0.3313	0.334751
1.713621	0.241620517	0.289048276	0.27194483	0.327302	0.329015
1.701884	0.238263699	0.285369863	0.26668493	0.323358	0.326762
1.690306	0.234952551	0.280054422	0.26318367	0.317778	0.319468
1.678885	0.231686149	0.276486486	0.25805405	0.313952	0.317309
1.667617	0.226795973	0.271302013	0.25465772	0.308509	0.311844
1.6565	0.2236275	0.26784	0.25130667	0.304796	0.306453

Tabel 3. Hasil XRD

Posisi Puncak-Puncak untuk suhu ruang

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
16.3871	20.71	0.1338	5.40941	7.64
21.3683	62.41	0.1004	4.15834	23.04
30.2538	270.89	0.2007	2.95426	100.00
35.2516	33.19	0.2676	2.54603	12.25
41.5826	13.89	0.8029	2.17187	5.13
50.7309	41.10	0.5353	1.79961	15.17
60.1561	17.18	0.4015	1.53825	6.34

Posisi Puncak-Puncak untuk waktu tahan 30 menit

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.2964	49.80	0.2676	4.17223	22.59
30.1996	220.45	0.1171	2.95944	100.00
35.1992	57.06	0.2676	2.54971	25.88
50.5675	46.00	0.4684	1.80504	20.87
60.1174	15.11	0.6691	1.53914	6.85

Posisi Puncak-Puncak untuk waktu tahan 60 menit

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.3235	59.00	0.2007	4.16698	22.21
30.2629	265.69	0.2342	2.95339	100.00

35.2944	59.84	0.2676	2.54304	22.52
50.5405	45.09	0.4684	1.80594	16.97
60.0900	24.07	0.3346	1.53978	9.06

Posisi Puncak-Puncak untuk waktu tahan 90 menit

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.1752	51.09	0.2342	4.19583	17.82
30.2319	286.72	0.2676	2.95635	100.00
35.2275	26.47	0.2007	2.54772	9.23
41.6433	10.99	0.4015	2.16884	3.83
50.5323	54.31	0.2007	1.80622	18.94
60.2100	10.10	0.5353	1.53700	3.52

Posisi Puncak-Puncak untuk waktu tahan 120 menit

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
16.1345	46.12	0.1004	5.49354	16.26
21.1863	47.67	0.2676	4.19365	16.81
30.1046	283.62	0.2342	2.96856	100.00
35.1181	44.40	0.2007	2.55541	15.66
50.3999	49.51	0.3346	1.81065	17.46
60.0282	20.73	0.4015	1.54122	7.31

Tabel 4. Hasil FTIR

Posisi Puncak-puncak Gugus Fungsi untuk Suhu Ruang

Posisi	Intensitas
402.09	74.515
411.87	75.891
432.72	77.386
458.43	77.953
516.86	78.592
1559.63	90.757
1966.90	91.917
1998.07	91.918
2035.74	91.973
2238.73	93.059

Posisi Puncak-puncak Gugus Fungsi untuk Waktu Tahan 30 Menit

Posisi	Intensitas
417.98	56.917
528.45	57.461
1293.12	78.287
2207.55	96.491

Posisi Puncak-puncak Gugus Fungsi untuk Waktu Tahan 60 Menit

Posisi	Intensitas
405.03	47.195
411.68	47.378
418.55	48.376
529.00	50.390
884.74	67.650

Posisi Puncak-puncak Gugus Fungsi untuk Waktu Tahan 90 Menit

Posisi	Intensitas
405.90	47.344
416.58	50.875
426.37	51.146
437.39	52.356
446.32	53.309
456.59	54.267
525.59	52.429
868.33	70.694

Posisi Puncak-puncak Gugus Fungsi untuk Waktu Tahan 120 Menit

Posisi	Intensitas
419.57	70.840
455.17	74.038
466.03	75.687
2007.95	99.888
2930.06	100.163
3736.59	100.520

A. Penentuan Ukuran Kristal Film $BaTiO_3$

λ = 1.5406 A°

K= 0.94

Puncak Orientasi bidang (110)

a) Suhu Ruang
   FWHM= 0.2007

$$D = \frac{K\lambda}{B\,(rad)\cos\theta_B} = \frac{(0.94)(1.5406\,x10^{-10}m)}{(0.00102)\cos\,(15.1269)} = 169.8\text{ nm}$$

b) Waktu tahan anil 30 menit
   FWHM= 0.1171

$$D = \frac{K\lambda}{B\,(rad)\cos\theta_B} = \frac{(0.94)(1.5406\,x10^{-10}m)}{(0.00175)\cos\,(15.0998)} = 100.86\text{ nm}$$

c) Waktu tahan anil 60 menit
   FWHM= 0.2342

$$D = \frac{K\lambda}{B\,(rad)\cos\theta_B} = \frac{(0.94)(1.5406\,x10^{-10}m)}{(0.00204)\cos\,(15.0523)} = 84.67\text{ nm}$$

d) Waktu tahan anil 90 menit
   FWHM= 0.2676

$$D = \frac{K\lambda}{B\,(rad)\cos\theta_B} = \frac{(0.94)(1.5406\,x10^{-10}m)}{(0.00233)\cos\,(15.1159)} = 74.89\text{ nm}$$

e) Waktu tahan anil 120 menit
   FWHM= 0.2342

$$D = \frac{K\lambda}{B\,(rad)\cos\theta_B} = \frac{(0.94)(1.5406\,x10^{-10}m)}{(0.00204)\cos\,(15.0523)} = 89.56\text{ nm}$$

BIODATA PENULIS

Rasmianti, lahir di Pekkae 18 Agusts 1995. Anak pertama dari 5 bersaudara. Pendidikan formal ditempuh di SDN 14 Lasare, SMPN 1 Segeri, dan SMAN 1 Segeri tahun 2010-2013. Melalui jalur SNMPTN Undangan Bidik Misi, pada tahun 2013 pendidikan dilanjutkan ke Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin Makssar. Di jurusan ini, penulis mengambil prodi Fisika, bidang minat Fisika material.

Setelah menyelesaikan program sarjana, penulis aktif mengajar privat dan les siswa SD, SMP, dan SMA mata pelajaran IPA dan Matematika. Selain itu, penulis juga aktif membina anak-anak dengan membangun Rumah Quran As-Syifaa pada tahun 2017-2018. Selama kuliah S1 penulis akif dalam berbagai organisasi kampus seperti pengurus Rohis Akhwat Himpunan Fisika UNHAS tahun 2015, pengurus Rohis Akhwat BEM FMIPA UNHAS pada tahun 2016. Hingga sekarang pun masih aktif sebagai aktivis dakwah dengan membentuk Shahabat Qur'an Surabaya tahun 2019. Penulis juga aktif di kegiatan luar kampus dan sempat menjadi pengurus di Hasanuddin English Community (HEC). Setelah itu, penulis melanjutkan program Pascasarjana di jurusan yang sama, yaitu Fisika Fakultas Sains dan Analitika Data dengan bidang minat Fisika Material. Selama menjalani kuliah S2, penulis tetap aktif dalam dunia dakwah.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan adanya saran, kritik serta masukan yang dapat disampaikan via email (rasmianti18@gmail.com)