



TUGAS AKHIR - SF 184801

**PENGARUH WAKTU ANIL PADA SIFAT OPTIK
LAPISAN TERKAIT UKURAN FILM TiO_2
SEBAGAI MATERIAL PENDUKUNG SEL SURYA
BERBASIS PEROVSKITE**

KRESNA BAYU DWIANTO
NRP 01111540000006

Dosen Pembimbing
Dr. Yoyok Cahyono, M.Si

Departemen Fisika
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



TUGAS AKHIR - SF 184801

**PENGARUH WAKTU ANIL PADA SIFAT OPTIK
LAPISAN TERKAIT UKURAN FILM TiO_2
SEBAGAI MATERIAL PENDUKUNG SEL SURYA
BERBASIS PEROVSKITE**

**KRESNA BAYU DWIANTO
NRP 0111154000006**

**Dosen Pembimbing
Dr. Yoyok Cahyono, M.Si**

**Departemen Fisika
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



FINAL PROJECT - SF 184801

**EFFECT OF ANNEALING TIME ON THE
OPTICAL PROPERTIES OF LAYERS RELATED
TO TiO_2 FILM SIZE AS PEROVSKITE-BASED
SOLAR CELL SUPPORTING MATERIAL**

**KRESNA BAYU DWIANTO
NRP 0111154000006**

**Supervisor
Dr. Yoyok Cahyono, M.Si**

**Physics Department
Faculty of Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH WAKTU ANIL PADA SIFAT OPTIK
LAPISAN TERKAIT UKURAN FILM TiO₂ SEBAGAI
MATERIAL PENDUKUNG SEL SURYA BERBASIS
PEROVSKITE**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Material
Program Studi S-1 Departemen Fisika
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

KRESNA BAYU DWIANTO
NRP. 01111540000006

Mengetahui dan Menyetujui
Dosen Pembimbing



Dr. Yoyok Cahyono, M.Si
NIP. 19630127199002.1.003



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**PENGARUH WAKTU ANIL PADA SIFAT OPTIK
LAPISAN TERKAIT UKURAN FILM TiO₂ SEBAGAI
MATERIAL PENDUKUNG SEL SURYA BERBASIS
PEROVSKITE**

Nama : Kresna Bayu Dwianto
NRP : 01111540000006
Jurusan : Fisika, FS – ITS
Pembimbing : Dr. Yoyok Cahyono, M.Si

Abstrak

Penelitian yang berjudul “pengaruh waktu anil pada sifat optic lapisan terkait ukuran film TiO₂ sebagai material pendukung sel surya berbasis perovskite” bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu anil terhadap sifat dari lapisan tipis TiO₂ berupa energy gap, absorbansi, ketebalan lapisan tipis, koefisien absorpsi fasa dan ukuran kristal serta senyawa yang terbentuk pada lapisan tipis TiO₂. Sampel dibuat dengan mencampurkan toluena, TiCl₃ dan 2-propanol kemudian di sintesis diatas substrat kaca ITO dengan metode Spin-Coating selama 1 menit dengan kecepatan 1000 rpm. Setelah lapisan tipis terbentuk dilakukan anil pada suhu 500°C dengan variasi waktu holding 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit. Kemudian dikarakterisasi menggunakan UV-Vis, XRD dan FTIR. Dari karakterisasi UV-Vis didapatkan nilai ketebalan lapisan tipis TiO₂ pada sampel T0A, T30C, T60A, T90B, dan T120B secara berturut-turut sebesar 1187 nm, 2052 nm, 570 nm, 1780 nm, dan 649 nm. Untuk energy gap, didapatkan hasil pada sampel T30C, T60A, T90B, dan T120B berturut-turut sebesar 2,85 eV, 3,13 eV, 2,76 eV, dan 2,82 eV. Dari hasil XRD didapatkan puncak anatase teramati pada sudut 23°, 36° dan 49° dan puncak tertinggi

terdapat pada sudut 30° yang teridentifikasi sebagai puncak rutil. Ukuran kristal paling besar terdapat pada sampel T30C dan yang paling kecil pada sampel T60A. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan terdapat absorpsi O-Ti-O pada bilangan gelombang 567,54 cm⁻¹ yang menandakan terbentuknya senyawa TiO₂.

Kata Kunci : Absorpsi, Energi Gap, Lapisan Tipis TiO₂, Sel Surya

**EFFECT OF ANNEALING TIME ON THE OPTICAL
PROPERTIES OF LAYERS RELATED TO TiO₂ FILM
SIZE AS PEROVSKITE-BASED SOLAR CELL
SUPPORTING MATERIAL**

Name : Kresna Bayu Dwianto
NRP : 01111540000006
Major : Physics, FS – ITS
Advisor : Dr. Yoyok Cahyono, M.Si

Abstract

The research entitled "the effect of annealing time on the optical properties of layers related to TiO₂ film size as perovskite-based solar cell support material" aims to determine the effect of annealing time on the properties of TiO₂ thin layers in the form of energy gap, absorbance, thin layer thickness, phase absorption coefficient and size crystals and compounds formed in thin layers of TiO₂. The sample was made by mixing toluene, TiCl₃ and 2-propanol and then synthesizing it on the ITO glass substrate with the Spin-Coating method for 1 minute at a speed of 1000 rpm. After the thin layer was formed annealing was carried out at 500 ° C with a variation of 30 minutes holding time, 60 minutes, 90 minutes and 120 minutes. Then it was characterized using UV-Vis, XRD and FTIR. From the UV-Vis characterization, the thickness of the TiO₂ thin layer found in samples T0A, T30C, T60A, T90B, and T120B were 1187 nm, 2052 nm, 570 nm, 1780 nm, and 649 nm respectively. For the energy gap, the results obtained in the samples T30C, T60A, T90B, and T120B are 2,85 eV, 3,13 eV, 2,76 eV, and 2,82 eV, respectively. From the results of XRD the anatase peak was observed at an angle of 23°, 36°

and 49° and the highest peak was at an angle of 30° which was identified as a rutile peak. The largest crystal size is found in the T30C sample and the smallest in the T60A sample. The results of FTIR characterization showed that there was absorption of O-Ti-O at wave number 567,54 cm⁻¹ which indicates the formation of TiO₂ compounds.

Keywords : Absorption, Energy Gap, TiO₂ Thin Layer, Solar Cell

KATA PENGANTAR

Puja dan puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, serta tak lupa sholawat beriring salam penulis ucapkan kepada Rasulullah Muhammad SAW. Berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Waktu Anil Pada Sifat Optik Lapisan Terkait Ukuran Film TiO₂ Sebagai Material Pendukung Sel Surya Berbasis Perovskite”**. Tugas Akhir (TA) ini disusun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam proses menyelesaikan Tugas Akhir ini tentunya tidak terlepas dari dukungan, bantuan dan kerja sama yang baik dari seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat di dalam Tugas Akhir ini. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Bambang Irianto dan Ibu Supartiningsih, Sp selaku orangtua dari penulis serta saudara/i penulis yang terus memberikan do'a dan dukungannya baik secara moriil maupun materiil hingga penulis telah berada di titik ini.
2. Dr. Yoyok Cahyono, M.Si., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa memberikan bimbingan, wawasan, pantauan, dan motivasi serta menjadi sosok seorang ayah yang berada di kampus.
3. Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng., selaku Kepala Departemen Fisika FS-ITS.
4. Bapak/Ibu dosen dan karyawan Departemen Fisika FS-ITS yang telah memberikan ilmunya dan membantu penulis selama duduk di bangku kuliah.

5. Tim riset penelitian Perovskite yang telah membagikan motivasi, dan saling bekerjasama sehingga dapat terselesaikannya laporan penelitian Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman Fisika ITS khususnya POSITRON 2015 atas bantuan yang diberikan kepada penulis sehingga berguna untuk saat ini sampai kelak.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Karena penulis jauh dari kata sempurna, maka penulis akan dengan senang hati menerima berbagai saran dan kritikan yang membangun guna penulisan karya di kemudian hari. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------------------------------|
| LEMBAR PENGESAHAN..... | Error! Bookmark not defined. |
| ABSTRAK | v |
| <i>ABSTRACT</i> | vii |
| KATA PENGANTAR..... | vi |
| DAFTAR ISI..... | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR TABEL | xvii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xix |
| BAB I <u>P</u> ENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 4 |
| 1.3 Batasan Masalah | 4 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 5 |
| 1.5 Manfaat penelitian | 5 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 5 |
| BAB II <u>T</u> INJAUAN PUSTAKA | 7 |
| 2.1 Sel Surya..... | 7 |
| 2.2 Semikonduktor | 8 |
| 2.3 Sel Surya Berbasis Perovskite..... | 17 |
| 2.4 Titanium Dioksida..... | 19 |
| 2.5 Sifat Optik | 23 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 2.6 | Energi <i>Gap</i> | 24 |
| 2.7 | <i>Fourier Transform Infra Red</i> | 25 |
| 2.8 | UV-Vis..... | 27 |
| 2.9 | <i>X-Ray Diffraction</i> | 28 |
| 2.10 | Metode Sol-Gel dan <i>Spin Coating</i> | 30 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | | 33 |
| 3.1 | Diagram Alir Penelitian | 33 |
| 3.2 | Peralatan dan Bahan | 34 |
| 3.2.1 | Peralatan dan bahan utama..... | 34 |
| 3.2.2 | Peralatan dan bahan pendukung..... | 37 |
| 3.3 | Langkah Kerja..... | 38 |
| 3.3.1 | Sintesis larutan TiO ₂ | 38 |
| 3.3.2 | Deposisi lapisan TiO ₂ | 38 |
| 3.3.3 | Karakterisasi lapisan TiO ₂ | 39 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | | 41 |
| 4.1 | Perhitungan Tebal Lapisan Tipis..... | 41 |
| 4.2 | Analisis Hasil Uji UV-Vis..... | 43 |
| 4.2.1 | Absorbansi | 43 |
| 4.2.2 | Perhitungan celah energi..... | 44 |
| 4.2.3 | Koefisien Absorpsi..... | 46 |
| 4.3 | Analisa Hasil Uji XRD | 47 |
| 4.4 | Analisa Hasil Uji FTIR | 50 |
| 4.5 | Analisa Waktu <i>Annealing</i> Terbaik | 52 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | | 55 |
| 5.1 | Kesimpulan | 55 |

| | | |
|-----|----------------------|----|
| 5.2 | Saran..... | 55 |
| | DAFTAR PUSTAKA..... | 57 |
| | LAMPIRAN | 61 |
| | BIODATA PENULIS..... | 70 |

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Struktur atom..... | 9 |
| Gambar 2.2 | Struktur kristal Silikon | 10 |
| Gambar 2.3 | Level energi..... | 11 |
| Gambar 2.4 | Diagram pita energi..... | 12 |
| Gambar 2.5 | Struktur kristal semikonduktor Si tipe-n | 13 |
| Gambar 2.6 | Diagram pita energi semikonduktor tipe-n..... | 14 |
| Gambar 2.7 | Bahan semikonduktor tipe-n | 15 |
| Gambar 2.8 | Struktur kristal semikonduktor Si tipe-p | 15 |
| Gambar 2.9 | Diagram pita energi semikonduktor tipe-p..... | 16 |
| Gambar 2.10 | Bahan semikonduktor tipe-p | 17 |
| Gambar 2.11 | Struktur kristal perovskite..... | 19 |
| Gambar 2.12 | Struktur kristal TiO ₂ | 20 |
| Gambar 2.13 | Hasil referensi XRD TiO ₂ | 21 |
| Gambar 2.14 | Hasil referensi XRD TiO ₂ | 22 |
| Gambar 2.15 | Hasil referensi FT-IR TiO ₂ | 22 |
| Gambar 2.16 | Skema alat spektroskopi FT-IR..... | 26 |
| Gambar 2.17 | Difraksi sinar-x pada bidang atom | 29 |
| Gambar 3.1 | Diagram alir penelitian..... | 34 |
| Gambar 3.2 | Alat dan bahan pembuatan larutan TiO ₂ | 34 |
| Gambar 3.3 | Alat dan bahan sintesis lapisan tipis TiO ₂ | 36 |
| Gambar 3.4 | Alat dan bahan pendukung..... | 37 |
| Gambar 4.1 | Grafik absorbansi | 44 |
| Gambar 4.2 | Grafik koefisien absorpsi | 47 |
| Gambar 4.3 | Grafik hasil XRD | 48 |
| Gambar 4.4 | Grafik karakterisasi FT-IR..... | 52 |

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 4.1 Nilai ketebalan sampel lapisan tipis | 41 |
| Tabel 4.2 Hasil perhitungan lapisan tipis..... | 45 |
| Tabel 4.3 Hasil perhitungan ukuran kristal..... | 49 |
| Tabel 4.4 Kualitas sampel berdasarkan parameter yang telah di uji..... | 52 |

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|-------------------|--|----|
| Lampiran A | Grafik absorpsi sampel lapisan tipis..... | 61 |
| Lampiran B | Perhitungan ketebalan lapisan tipis TiO ₂ | 65 |
| Lampiran C | Perhitungan ukuran kristal | 66 |
| Lampiran D | Kartu interpretasi JCPDS untuk sampel TiO ₂ | 67 |

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini, perkembangan teknologi serta industri sangat pesat sehingga mendorong meningkatnya kebutuhan energi. Kebutuhan manusia akan energi sangat besar, cadangan sumber energi seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam yang sifatnya terbatas diperkirakan akan habis. Untuk itu dapat diprediksi akan terjadi kekurangan energi yang besar. Energi yang dikonsumsi lebih banyak berasal dari fosil, yaitu berupa minyak, gas dan batu bara. Penggunaan bahan bakar dari fosil inilah yang menyebabkan adanya peningkatan gas rumah kaca (*green house*). Sumber energi yang bersifat terbatas membutuhkan jangka waktu yang lama untuk memperbaharunya (Oktora dan Yahya, 2009). Untuk menghindari hal tersebut maka perlu dilakukan pemanfaatan sumber energi yang lain yaitu dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan. Energi terbarukan merupakan energi yang dapat diperbaharui yang memiliki jumlah tidak terbatas dan bukan merupakan energi fosil. Panas bumi, air, angin, dan cahaya matahari merupakan beberapa contoh dari sumber energi terbarukan. Hingga saat ini sumber energi terbarukan telah dimanfaatkan sebagai sumber energi dan terus dilakukan penelitian dan pengembangan agar kualitas dan kuantitas energi yang dihasilkan meningkat.

Indonesia merupakan Negara kepulauan terdiri atas puluhan ribu pulau yang terbentang luas dari Sabang hingga Merauke. Dengan banyaknya pulau yang tersebar di Indonesia, tidak seluruh daerah dapat dijangkau oleh manusia, baik itu

melalui transportasi darat, laut maupun udara karena akses ke lokasi yang terlalu ekstrim maupun lokasi yang amat jauh dari perkotaan. Besarnya pertumbuhan penduduk di Indonesia saat ini juga menjadi permasalahan yang cukup menyita perhatian. Pertumbuhan penduduk yang semakin cepat akan menyebabkan kebutuhan akan energi semakin meningkat pula. Ketersediaan energi dari tahun ke tahun akan berkurang apabila penduduk Indonesia tetap bertambah dari tahun ke tahun.

Untuk mengatasi kebutuhan manusia akan energi yang terus menerus meningkat, salah satu upaya yang harus dilakukan adalah mengembangkan berbagai sumber energi terbarukan. Salah satu sumber energi terbarukan yaitu pemanfaatan cahaya matahari sebagai sumber listrik melalui aplikasi sel surya. Sel surya yang dapat mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Karena pasokan energi dari matahari sampai ke bumi sangat besar sekitar 3×10^{24} Joule dalam setahun atau dapat dikatakan sebesar 10.000 kali konsumsi populasi global pada saat ini. Bila kita dapat menutupi 0,1% permukaan bumi dengan energi alternatif berupa sel surya yang mempunyai nilai efisiensi 10%, maka kebutuhan manusia akan energi saat ini dapat terpenuhi (Timuda dan Maddu, 2010).

Dalam pengembangan teknologi sel surya pada generasi pertama, para peneliti berhasil mengembangkan sel surya menggunakan bahan silikon kristal tunggal. Teknologi ini dapat menghasilkan sel surya dengan nilai efisiensi yang tinggi, namun teknologi ini bila diproduksi memerlukan biaya yang mahal sehingga panel sel surya yang dihasilkan menjadi tidak efisien sebagai sumber energi alternatif. Pada generasi kedua, sel surya dibuat dengan teknologi lapisan tipis (*thin film*). Pembuatan sel

surya dengan lapisan tipis ini bertujuan untuk mengurangi biaya produksi.

Saat ini para peneliti mulai mengembangkan sel surya dengan struktur perovskite yang berbahan aktif campuran halida-organik/anorganik karena mampu menghasilkan efisiensi di atas 15%. Secara khusus, pada bahan perovskite $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ (metil-amonium timbal halida) mampu menghasilkan efisiensi sebesar 21% (Dhiaputra dkk, 2017).

Salah satu sumber material yang tersedia melimpah dan cukup ramah lingkungan adalah titanium dioksida (TiO_2). Walaupun material TiO_2 tidak terdapat di alam secara alami, namun dapat diekstrak dari *leucocene* dan biji *ilmenite*. Selain itu, TiO_2 dapat dihasilkan menggunakan proses sintesis. Ada beberapa metode sintesis yang biasa digunakan yaitu metode sol gel yang menggunakan larutan *titanium alkoxides*, metode *hydrothermal*, metode sonokimia (Timuda, 2010), metode *solvothermal*, metode oksidasi langsung, metode *microwave* (Bryanvand et al., 2013) dan metode *co-precipitation*. Kelebihan lain dari material TiO_2 tidak beracun.

Karena ketersediaannya yang melimpah di alam, Titanium dioksida dapat dijadikan salah satu sumber material pendukung sel surya berbasis perovskite. Peran TiO_2 disini adalah sebagai *electron transport material* pada lapisan sel surya perovskite yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan kestabilan sel surya. Selain itu material TiO_2 yang memiliki sifat yang lebih ramah lingkungan menjadikan material TiO_2 sebagai material pendukung sel surya berbasis perovskite. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan material TiO_2 untuk mengetahui sifat-sifat dari TiO_2 sendiri apakah layak untuk dijadikan sebagai material pendukung sel surya berbasis perovskite.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

1. Berapa nilai ketebalan lapisan tipis TiO₂?
2. Berapa nilai energi *gap* dari lapisan tipis TiO₂?
3. Bagaimana absorbansi dari lapisan tipis TiO₂?
4. Bagaimanakah fasa dan ukuran kristal yang terdapat pada lapisan tipis TiO₂?
5. Bagaimanakah senyawa yang terbentuk pada sintesis lapisan tipis TiO₂?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah.

1. Material yang digunakan adalah kristal TiO₂.
2. Lapisan tipis TiO₂ 1 lapis.
3. Waktu anil selama 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit.
4. Sintesis lapisan menggunakan metode sol-gel *Spin Coating*.
5. Karakterisasi lapisan tipis TiO₂ menggunakan UV-Vis, XRD dan FTIR.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh waktu anil pada.

1. Ketebalan lapisan tipis TiO₂.
2. Nilai energi *gap* lapisan tipis TiO₂.
3. Absorbansi lapisan tipis TiO₂.
4. Fasa dan ukuran kristal yang terdapat pada lapisan tipis TiO₂.
5. Senyawa yang terbentuk pada lapisan tipis TiO₂.

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah dapat mengetahui sifat dan karakteristik material TiO_2 sehingga dapat memberikan referensi penelitian serta dapat diaplikasikan sebagai material pendukung pembuatan sel surya yang berbasis perovskite dengan biaya produksi yang murah serta ramah lingkungan dengan menggunakan material TiO_2 .

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi beberapa teori penunjang yang digunakan untuk mencapai tujuan tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI

Bab ini berisi diagram alir penelitian, alat dan bahan, serta langkah kerja penelitian.

BABI I V HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi penjelasan data yang diperoleh dari percobaan dan pengujian yang telah dilakukan, analisis terhadap hasil yang telah diperoleh selama penelitian, dan pembahasan, serta analisis lain sebagai penunjang.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan serta saran-saran yang digunakan untuk menunjang penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Berisi data-data yang digunakan dalam penelitian beserta beberapa gambar yang menunjang penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sel Surya

Sel surya atau *photovoltaic* merupakan sebuah perangkat yang dapat mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik. Pada tahun 1839, seseorang bernama Bacquerel menemukan efek *photovoltaic* dengan cara mendeteksi adanya tegangan listrik ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Sel surya pertama kali ditemukan pada tahun 1954 oleh para ilmuwan, dimana sel surya silikon berbasis *p-n junction* memiliki efisiensi 6%. Saat ini sel surya silikon mendominasi pasar sel surya dengan pangsa pasar sekitar 82% dan memiliki efisiensi labor serta komersial sebesar 24,7% dan 15%. Sel surya dapat dikatakan sebagai sel fotovoltaic karena kemampuan sel surya untuk mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik dengan proses efek fotovoltaic. Tegangan listrik yang dihasilkan sebuah sel surya sangat kecil, sekitar 0,6V tanpa beban atau 0,45V dengan beban (Purwoto et al., 2010).

Kepingan sel surya terdiri atas kristal silikon yang memiliki dua lapisan silisium yang *terdoping*, yaitu *doping* negatif merupakan lapisan sel surya yang menghadap ke cahaya matahari dengan lapisan fosfor, sementara lapisan di bawahnya terdiri dari *doping* positif dengan lapisan borium. Jika permukaan sel surya terkena cahaya matahari maka pada lapisan atas akan terbentuk muatan-muatan negatif yang menyatu pada lapisan fosfor. Sedangkan pada bagian bawah sel surya akan terbentuk muatan positif yang menyatu pada lapisan borium (Rusman, 2015).

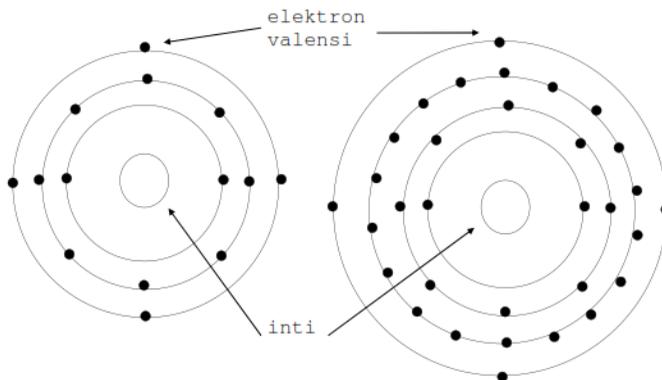
Apabila terkena sinar matahari, kedua permukaan tersebut akan saling bertukar muatan sehingga pada kedua sisi sel surya

akan menghasilkan beda potensial berupa tegangan listrik. Suatu kristal silikon tunggal photovoltaic dengan luas permukaan 100 cm^2 akan menghasilkan sekitar $1,5 \text{ W}$ dengan tegangan sekitar $0,5 \text{ V}$ tegangan searah ($0,5 \text{ V-DC}$) dan arus sekitar 2 A di bawah cahaya matahari dengan panas penuh (intensitas sekitar 1000 W/m^2) (Rusman, 2015).

2.2 Semikonduktor

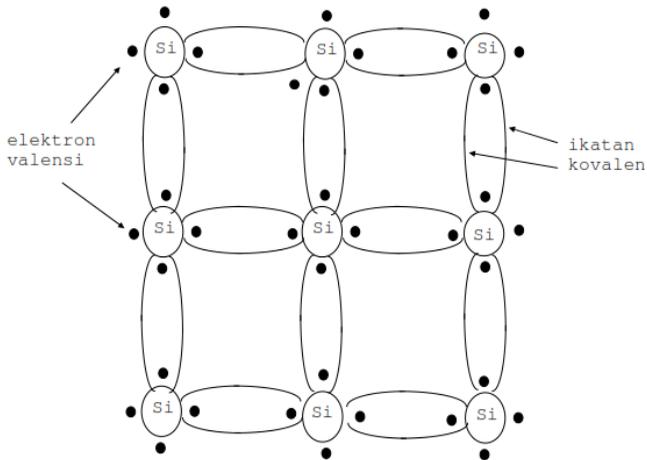
Secara umum semikonduktor merupakan bahan yang memiliki sifat-sifat kelistrikan di antara sifat konduktor dan isolator. Sifat kelistrikan pada semikonduktor sangat sensitive terhadap pengaruh temperatur, cahaya, medan magnet dan sebagainya. Berbeda dengan sifat kelistrikan yang dimiliki isolator maupun konduktor yang tidak terpengaruh terhadap hal-hal di atas.

Elemen terkecil dari bahan yang masih memiliki sifat kimia dan fisika yang sama adalah atom. Atom terdiri dari tiga partikel dasar, yaitu proton, neutron, dan elektron. Dalam struktur atom, elektron yang bermuatan negatif mengelilingi inti atom bermuatan positif yang terbentuk dari proton dan neutron. Silikon dan germanium dengan struktur atom model Bohr merupakan bahan semikonduktor yang paling banyak digunakan, dan ditampilkan pada Gambar 2.1.



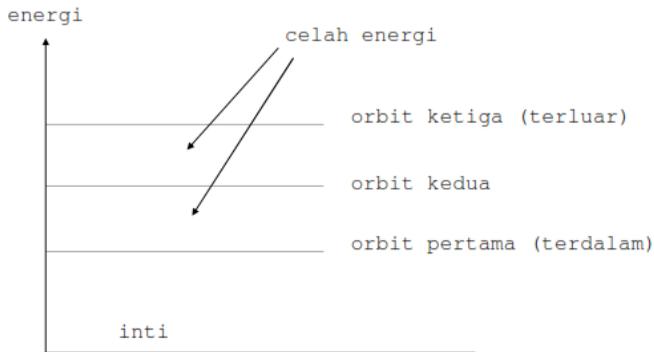
Gambar 2.1 Struktur atom (a) silikon; (b) germanium (Dwi Surjono, 2007).

Gambar 2.1 menunjukkan atom silikon memiliki 14 elektron yang mengelilingi inti, sedangkan germanium memiliki 32 elektron yang mengelilingi inti. Elektron yang menempati lapisan terluar disebut elektron valensi. Atom silikon dan germanium memiliki empat elektron valensi. Empat elektron valensi tersebut terikat dalam struktur kisi-kisi, sehingga tiap elektron valensi akan membentuk ikatan kovalen dengan elektron valensi dari atom yang bersebelahan. Struktur kisi-kisi kristal silikon murni dapat ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur kristal silikon dengan ikatan kovalen (Dwi Surjono, 2007).

Setiap elektron yang menempati suatu orbit tertentu dalam struktur atom tunggal memiliki level energi tertentu. Semakin jauh posisi elektron dari inti, akan semakin besar level energinya. Elektron valensi memiliki level energi terbesar karena menduduki orbit terluar dalam struktur atom. Sebaliknya, elektron yang paling dekat dengan inti memiliki level energi terkecil. Level energi atom dapat dilihat pada Gambar 2.3.

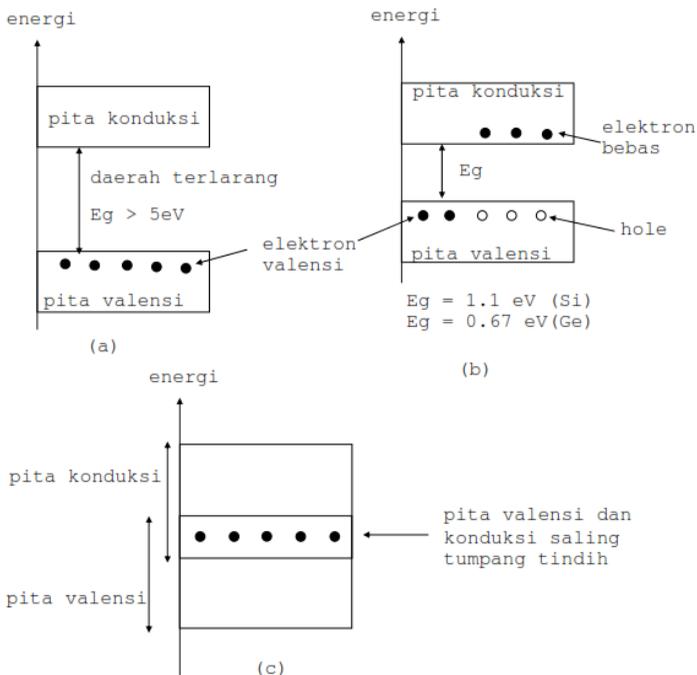


Gambar 2.3 Level energi (Dwi Surjono, 2007).

Di antara level energi tertentu yang dimiliki elektron pada orbit tertentu terdapat celah energi yang mana tidak memungkinkan bagi elektron untuk mengorbit. Celah ini disebut daerah terlarang. Elektron tidak dapat melewati daerah terlarang, namun dapat melewatinya dengan sangat cepat. Misalnya jika sebuah elektron mendapat energi tambahan dari luar (seperti energi panas), sehingga level energi dari elektron tersebut akan bertambah besar, maka elektron dapat meloncat ke orbit selanjutnya dengan melewati daerah terlarang dengan sangat cepat. Berlaku pula sebaliknya, apabila elektron dipaksa kembali ke orbit yang lebih dalam, maka elektron akan berpindah orbit dengan mengeluarkan energi. Jadi, elektron yang berpindah menuju orbit lebih luar akan membutuhkan energi sedangkan elektron yang berpindah menuju orbit yang lebih dalam akan mengeluarkan energi. Elektron yang dipindahkan melalui beda potensial sebesar 1 V memerlukan energi sebesar $1.602 \cdot 10^{-19}$ J (Dwi Surjono, 2007).

Bila atom-atom tunggal di dalam suatu bahan yang berdekatan sehingga membentuk kisi-kisi kristal, maka atom-

atom akan saling berinteraksi dengan memiliki ikatan kovalen. Jutaan level energi elektron valensi yang dimiliki atom-atom tunggal tersebut akan membentuk rentang energi yang biasa disebut sebagai pita valensi. Diagram pita energi dari bahan isolator, semikonduktor dan konduktor ditunjukkan pada Gambar 2.4.



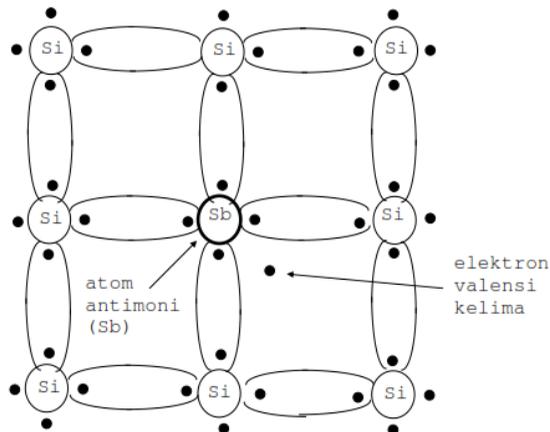
Gambar 2.4 Diagram pita energi (a) isolator; (b) semikonduktor dan (c) konduktor (Dwi Surjono, 2007).

Apabila terdapat sebuah energi yang diberikan kepada elektron valensi, maka elektron tersebut akan meloncat ke daerah pita konduksi. Pita konduksi merupakan level energi dimana

elektron terlepas dari ikatan inti dan menjadi elektron bebas. Jarak energi antara pita valensi dan pita konduksi disebut sebagai celah terlarang. Perbedaan energi, E_g (energi *gap*) antara pita valensi dan pita konduksi menentukan apakah bahan tersebut merupakan isolator, semikonduktor maupun konduktor. Dengan demikian E_g adalah energi yang diperlukan sebuah elektron valensi untuk berpindah dari pita valensi ke pita konduksi.

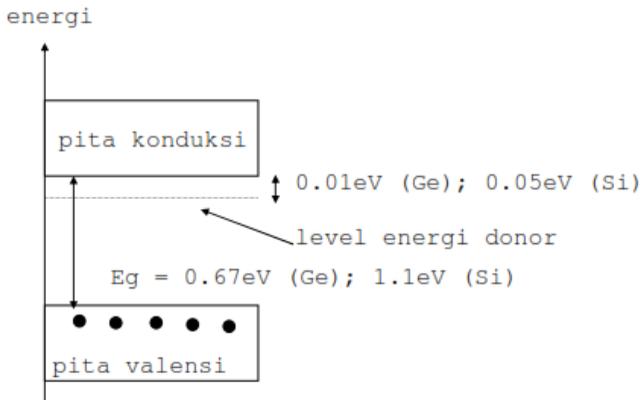
Apabila ada elektron yang berpindah dan menempati *hole* dari atom disebelahnya, maka *hole* akan terisi dan tempat yang ditinggalkan oleh elektron tadi akan menjadi *hole* sehingga arah gerakan *hole* seolah-olah berlawanan arah dengan gerakan elektron (Dwi Surjono, 2007).

Jika bahan semikonduktor *didoping* dengan bahan ketidakmurnian (impuritas) bervalensi lima, maka diperoleh semikonduktor tipe-n. Bahan dopan bervalensi lima ini contohnya antimon, arsenik, dan fosfor. Struktur kisi kristal bahan semikonduktor silikon tipe-n dapat dilihat pada Gambar 2.5.



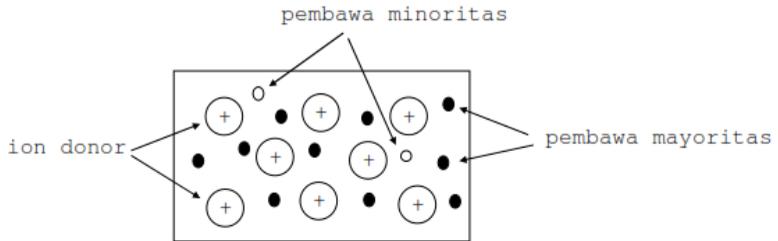
Gambar 2.5 Struktur kristal semikonduktor Si tipe-n (Dwi Surjono, 2007).

Karena atom antimon (Sb) bervalensi lima, maka empat elektron valensi akan berpasangan dengan empat elektron valensi pada atom silikon sedangkan elektron valensi kelima tidak mendapatkan pasangan. Oleh karenanya ikatan elektron valensi dengan inti menjadi lemah sehingga menjadi elektron bebas. Karena setiap atom dopan menyumbang sebuah elektron, maka disebut dengan atom donor. Elektron bebas sumbangan dari atom dopan ini dapat dikontrol konsentrasinya. Level energi dari elektron bebas sumbangan atom donor dapat ditunjukkan pada Gambar 2.6.



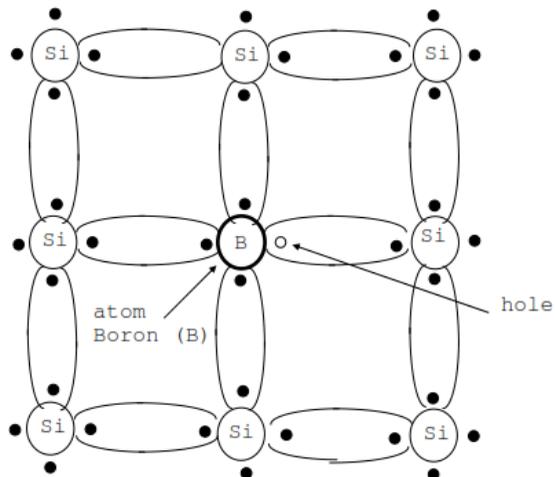
Gambar 2.6 Diagram pita energi semikonduktor tipe-n (Dwi Surjono, 2007).

Bahan semikonduktor tipe-n ditunjukkan pada Gambar 2.7. Karena atom-atom donor telah ditinggalkan oleh elektron valensinya, maka menjadi ion yang bermuatan positif dan digambarkan dengan tanda positif. Sedangkan elektron bebasnya menjadi pembawa mayoritas yang berupa *hole*.



Gambar 2.7 Bahan semikonduktor tipe-n (Dwi Surjono, 2007).

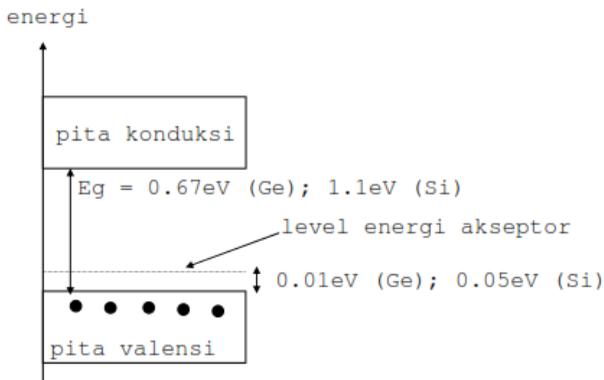
Apabila bahan semikonduktor murni *didoping* dengan bahan impuritas bervalensi tiga, maka akan diperoleh semikonduktor tipe-p. Bahan dopan bervalensi tiga tersebut misalnya boron, gallium, dan indium. Struktur kisi kristal semikonduktor silikon tipe-p dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Struktur kristal semikonduktor Si tipe-p (Dwi Surjono, 2007).

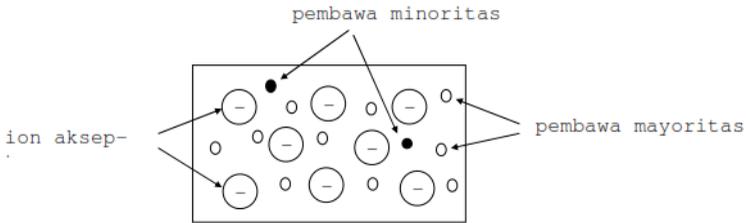
Karena atom dopan memiliki tiga elektron valensi, maka hanya ada tiga ikatan kovalen saja yang dapat terpenuhi. Sedangkan tempat yang tersedia ada empat sehingga ada satu tempat yang kosong (membentuk *hole*) dan bisa ditempati elektron valensi lain. Dengan demikian atom dopan bervalensi tiga akan menyumbangkan sebuah *hole*. Atom dopan bervalensi tiga ini biasa disebut sebagai akseptor karena atom ini siap menerima elektron (Dwi Surjono, 2007).

Level energi *hole* akseptor dapat dilihat pada Gambar 1.9. Jarak antara level energi akseptor dengan pita valensi sangat kecil yaitu sekitar 0,01 eV untuk germanium dan 0,05 eV untuk silikon. Hanya membutuhkan energi yang sangat kecil bagi elektron valensi untuk menempati *hole* di level energi akseptor.



Gambar 2.9 Diagram pita energi semikonduktor tipe-p (Dwi Surjono, 2007).

Bahan semikonduktor tipe-p dapat dilukiskan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Bahan semikonduktor tipe-p (Dwi Surjono, 2007).

Atom akseptor menjadi ion bermuatan negatif karena telah menerima elektron dan digambarkan dengan tanda negatif. *Hole* merupakan pembawa mayoritas dan elektron merupakan pembawa minoritas (Dwi Surjono, 2007).

2.3 Sel Surya Berbasis Perovskite

Profesor Michael Graetzel dan Dr. Brian O'Regan pertama kali memperkenalkan *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) pada tahun 1991 di *École Polytechnique Fédérale de Lausanne* (EPFL), Swiss. Penemuan oleh Prof. Graetzel ini kemudian membuat sel jenis ini juga dikenal sebagai *Grätzel cell* (*G-Cell*). DSSC merupakan sel surya yang lebih canggih yang dibuat manusia dengan cara kerja yang hampir mirip proses fotosintesis yang menyerap energi matahari untuk menghasilkan energi. Pada DSSC, elektron akan tereksitasi karena adanya foton yang diterima oleh ekstrak tumbuhan *dyes* yang kemudian dialirkan ke *conducting glass* (ITO) melalui saluran TiO_2 . Oleh sebab itu, TiO_2 berperan ganda sebagai saluran mengalirnya elektron yang tereksitasi dari *dyes* tumbuhan, juga sebagai tempat bersarangnya ekstrak *dye* tumbuhan. Dengan menggunakan rangkaian luar yang menghubungkan antara *conducting glass* dan *counter electrode*, akan dihasilkan arus listrik. Adapun pada fotosintesis, proses

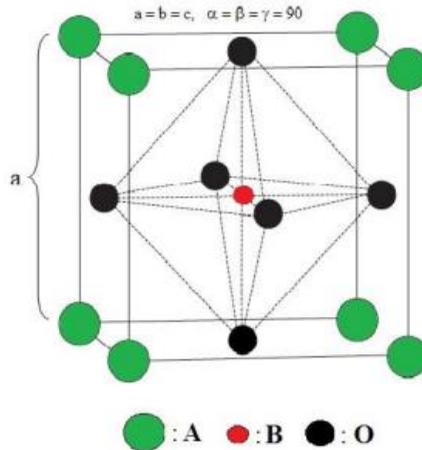
dimulai dengan adanya transfer foton ke *dyes* tumbuhan yang menghasilkan eksitasi elektron dan selanjutnya diteruskan dengan mengalirnya eksitasi elektron tersebut melalui saluran pigmen di daun yang pada akhirnya menghasilkan karbohidrat dan glukosa.

Prinsip kerja antara sel surya jenis DSSC dan sel surya tipe P-N *Junction* terdapat perbedaan dalam hal penyerapan dan *charge transport*, *charge separation*, serta ikatan antara elektron dan *hole*. Pada P-N *junction*, material yang terlibat adalah material yang sama. Pada P-N *junction*, *charge separation* dihasilkan melalui medan listrik antar-*junction*. Sementara itu pada DSSC, foton diserap oleh *dye* dan *charge transport* oleh TiO_2 (transfer elektron) dan elektrolit (transfer ion) (Yulianto, 2017).

Seiring berjalannya waktu, DSSC tidak mampu bersaing dengan sel surya generasi sebelumnya karena efisiensi yang dihasilkan (10% - 14%) lebih rendah dari sel surya generasi sebelumnya (> 20%). Pada tahun 2013, material dengan struktur perovskite mencuri perhatian para ilmuwan. CaTiO_3 merupakan material dengan struktur perovskite di alam. Para peneliti mencoba untuk mensintesis material dengan struktur perovskite seperti CaTiO_3 .

Nama perovskite diperoleh dari struktur senyawa kalsium titanium oksida (CaTiO_3) yang ditemukan oleh Gustav Rose pada tahun 1839. Secara umum, perovskite memiliki rumus ABX_3 di mana A dan B adalah dua kation yang sangat berbeda ukurannya dan X adalah anion yang terikat pada keduanya. X biasanya merupakan unsur oksigen, namun juga dapat digantikan oleh unsur halida, sulfida maupun nitrida. Unsur Logam alam pada tabel priodik hampir 90% stabil terhadap perovskite dengan struktur okside tipe ABO_3 . Struktur kristal perovskite ABO_3 memiliki kemampuan untuk mengakomodasi kation dengan

keadaan oksidasi yang berbeda. Struktur kristal untuk perovskite dapat dilihat pada Gambar 2.11.

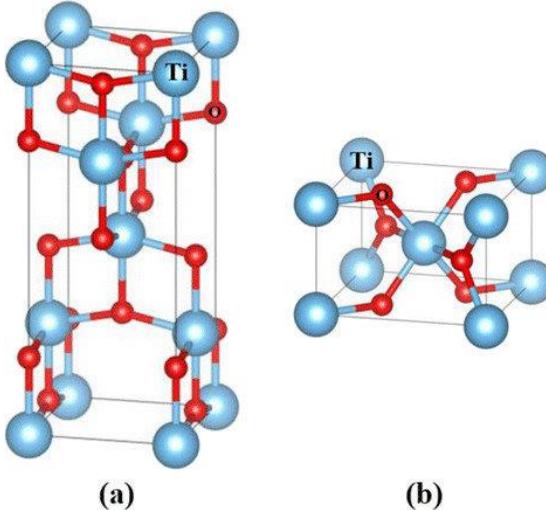


Gambar 2.11 Struktur kristal perovskite

Peran material perovskite pada sel surya adalah sebagai elektrolit untuk menyerap cahaya matahari yang akan mengeksitasi elektron dan *hole*. Elektron akan menuju *Electron Transport Material* (ETM) yang bertindak sebagai *n-type* semikonduktor. Logam oksida seperti TiO_2 dan ZnO yang biasanya digunakan sebagai material ETM. Sedangkan *hole* akan menuju *Hole Transport Material* (HTM) yang bertindak sebagai *p-type* semikonduktor. Material organik seperti Spiro-OMeTAD dan FDA pada umumnya digunakan sebagai material HTM. Dalam sel surya berbasis perovskite terdapat katoda dan anoda, emas dan perak merupakan salah satu katoda yang biasanya digunakan. Sedangkan anoda yang sering digunakan adalah *Indium Tin Oxide* (ITO) maupun *Fluorine Tin Oxide* (FTO).

2.4 Titanium Dioksida (TiO_2)

Titanium dioksida yang biasanya dikenal dengan titania atau titanium (IV) oksida merupakan oksida dari titanium dan memiliki rumus molekul TiO_2 . TiO_2 mampu menyerap radiasi UV sehingga dapat menyebabkan terjadinya radikal hidroksil pada pigmen sebagai fotokatalis terhidrat yang dikalsinasi pada suhu 800°C . Berat molekul TiO_2 79,90 g/mol dengan densitas 4,26 g/cm³. TiO_2 memiliki nilai celah pita energi sebesar 3,2 eV yang hanya aktif pada cahaya ultraviolet, menjadikannya bahan semikonduktor yang memiliki sifat optik lebih baik. Struktur kristal fase anatase dan fase rutil dapat dilihat pada gambar 2.12.

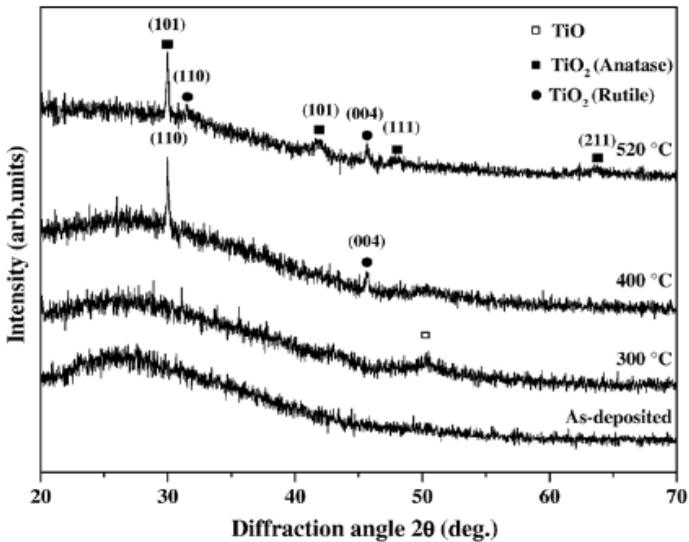


Gambar 2.12 Struktur kristal TiO_2 (a) Fase anatase; (b) Fase rutil.

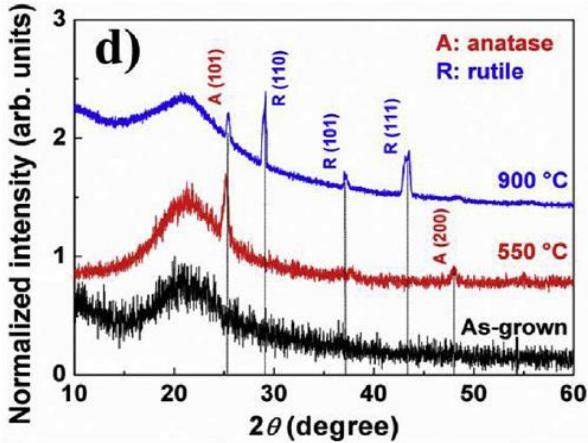
Pada umumnya memiliki tiga fasa, yaitu rutil, anatas, dan brokit. Perbedaan struktur kristal antara anatas dan rutil terdapat pada pola penyusunan dan distorsi rantai oktahedron. Jarak Ti-Ti pada rutil lebih kecil yaitu 3,57 Å dan 2,96 Å sedangkan anatas 3,79 Å dan 3,04 Å. Sedangkan jarak Ti-O pada rutil lebih panjang

daripada anatase yaitu 1,95 Å dan 1,99 Å, sedangkan pada anatase 1,93 Å dan 1,98 Å. Massa jenis anatase 3,9 g/cc dan rutil 4,2 g/cc sehingga menyebabkan perbedaan densitas massa, luas permukaan, sisi aktif, dan struktur pita elektronik antara anatase dan rutil karena perbedaan struktur kisi (Stefani dkk, 2016).

Grafik referensi XRD untuk material TiO_2 dapat dilihat pada Gambar 2.13 dan 2.14.

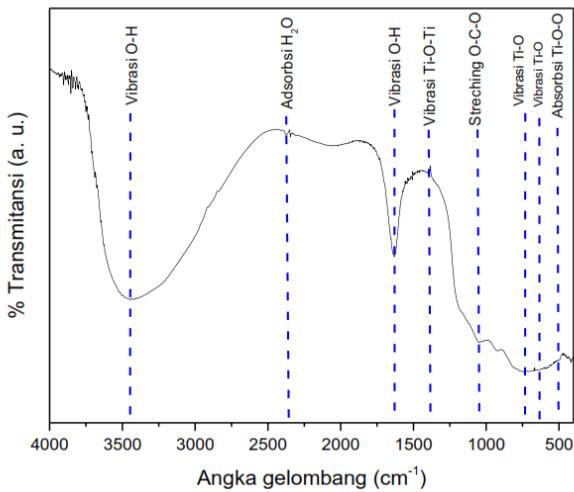


Gambar 2.13 Hasil referensi XRD TiO_2 (Zribi, 2007).



Gambar 2.14 Hasil referensi XRD TiO₂ (Kang, 2018).

Grafik referensi FT-IR untuk material TiO₂ dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.15 Hasil referensi FT-IR TiO₂ (Listanti dkk, 2018).

2.5 Sifat Optik

Sebuah material akan memiliki sifat optik apabila berinteraksi dengan gelombang elektromagnetik seperti absorpsi, transmitansi, reflektansi, dan lainnya. Pengukuran sifat optik sebuah material dapat dilakukan dengan menggunakan gelombang elektromagnetik dari rentang ultraviolet sampai inframerah dengan parameter panjang gelombang (λ) dan energi foton ($h\nu$) yang memenuhi persamaan (2.1).

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (2.1)$$

dengan E adalah energi gelombang cahaya (joule), h adalah konstanta planck yaitu $6,63 \times 10^{-34}$ Js, c adalah kecepatan cahaya dalam ruang hampa yaitu 3×10^8 m/s dan λ adalah panjang gelombang cahaya (m) (Schroder, 2006).

Menentukan nilai maksimum dan minimum transmitansi, tebal, dan koefisien absorpsi dapat dilakukan terlebih dahulu untuk menghitung nilai celah optik menggunakan metode Tauc plot. Untuk menentukan tebal lapisan digunakan persamaan (2.2) (Bilalodin, 2012)

$$N = 2n_s \frac{T_M - T_m}{T_M \times T_m} + \frac{ns^2 + 1}{2} \quad (2.2)$$

n_s menyatakan indeks bias kaca (1,51) sedangkan T_M adalah transmitansi maksimum dan T_m adalah transmitansi minimum. Untuk indeks bias lapisan tipis dapat ditentukan dengan persamaan (2.3) (Bilalodin, 2012)

$$n = \sqrt{N + \sqrt{N^2 - ns^2}} \quad (2.3)$$

sehingga dapat dihitung nilai tebal lapisan dari indeks bias yang didapat dengan persamaan (2.4) (Bilalodin, 2012)

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2 (\lambda_1 n_2 - \lambda_2 n_1)} \quad (2.4)$$

sedangkan koefisien absorpsi dapat diketahui dengan persamaan (2.5) (Bilalodin, 2012)

$$\alpha = \frac{1}{a} \ln T \quad (2.5)$$

Menentukan energi *gap* dengan metode Tauc plot didapatkan dengan melakukan ekstrapolasi dengan grafik hubungan $h\nu$ sebagai absis dan $(\alpha h\nu)^n$ sebagai ordinat. Nilai $n = \frac{1}{2}$ untuk transisi langsung dan $n = 2$ untuk transisi tidak langsung (Bilalodin, 2012).

2.6 Energi *Gap*

Energi *gap* merupakan energi minimum yang dibutuhkan oleh sebuah elektron untuk dapat tereksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi. Energi *gap* merupakan selisih antara energi terendah yang ada pada pita konduksi (E_k) dengan energi tertinggi yang ada pada pita valensi (E_v). Secara matematis dapat ditulis pada persamaan (2.6) (Stefani dkk, 2016)

$$E_v = E_g - E_k \quad (2.6)$$

Energy Gap terjadi karena adanya *overlapping* orbital atom yang akan memberikan pelebaran dan penyempitan pita (Stefani dkk, 2016). Nilai terbaik dari energi *gap* dapat ditentukan berdasarkan absorpsi optik. Energi *gap* dibedakan menjadi dua

jenis berdasarkan absorpsi optiknya, yaitu energi *gap* langsung dan energi *gap* tidak langsung. Energi *gap* lapisan tipis dapat diperoleh melalui plot data absorpsi menggunakan persamaan transisi langsung (*direct band gap*) yang ditunjukkan pada persamaan (2.7).

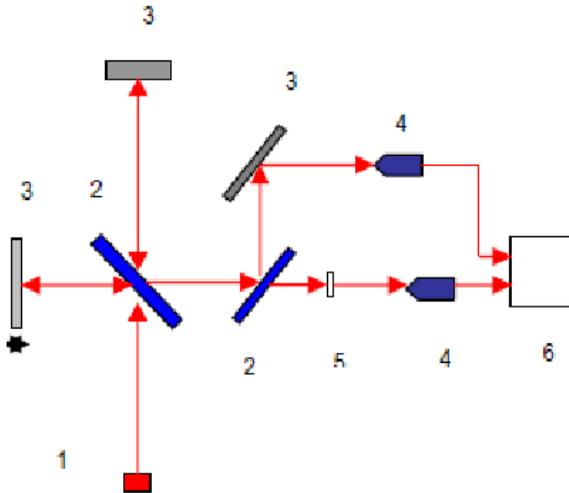
$$\alpha hv = K(hv - E_g)^2 \quad (2.7)$$

dengan α adalah koefisien absorpsi, hv adalah energi foton (eV), celah pita energi (eV) dan K adalah konstanta (Hanum dan Sutanto, 2014). Lebar celah pita energi (E_g) dapat dihitung menggunakan metode *Absorbance Edge* berdasarkan grafik absorpsi yang dihasilkan dari karakterisasi UV-Vis.

2.7 Fourier Transform Infra Red (FT-IR)

FT-IR adalah sebuah instrument yang menggunakan prinsip spektroskopi. Spektroskopi FT-IR adalah spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi *fourier* untuk mendeteksi dan menganalisis hasil spektrumnya. Spektroskopi inframerah yang memiliki banyak puncak dan spektrumnya yang sangat kompleks biasa digunakan untuk mengidentifikasi senyawa organik (Silviah dkk, 2012).

Spektrofotometer inframerah terdiri dari lima bagian pokok, yaitu (1) sumber radiasi, (2) tempat sampel, (3) monokromator, (4) detektor dan (5) rekorder. Terdapat dua macam spektrofotometer infra merah yaitu dengan berkas tunggal (*single-beam*) dan berkas ganda (*double-beam*).



Gambar 2.16. Skema alat spektroskopi FT-IR. (1) Sumber inframerah; (2) Pembagi berkas (*beam splitter*); (3) Kaca pemantul; (4) Sensor inframerah; (5) Sampel; (6) Display (Setiabudi dkk, 2012).

Pada Gambar 2.16 terlihat diagram dari spektrofotometer infra merah berkas ganda (*double beam*). Radiasi infra merah dihasilkan dari pemanasan suatu sumber radiasi sampai suhu antara 1500 dan 2000 °K. Sumber radiasi yang biasa digunakan berupa Nernst Glower, Globar dan kawat nikhrom. Pada pemilihan panjang gelombang infra merah dapat digunakan filter, prisma atau grating. Seperti terlihat pada Gambar 2.16 berkas radiasi terbagi dua, sebagian melewati sampel dan sebagian melewati blanko (*reference*). Setelah dua berkas tersebut bergabung kembali, kemudian dilewatkan ke dalam monokromator.

Terdapat dua macam detektor yaitu *thermocouple* dan bolometer. Detektor yang paling banyak digunakan dalam

spektrofotometer infra merah adalah *thermocouple*. *Thermocouple* merupakan alat yang mempunyai impedansi rendah dan sering kali dihubungkan dengan *preamplifier* dengan impedansi tinggi. Detektor *thermocouple* terdiri dua kawat halus terbuat dari logam seperti platina (Pt) dan perak (Ag) atau antimon (Sb) dan bismuth (Bi). Energi radiasi inframerah akan menyebabkan terjadinya pemanasan pada salah satu kawat dan panasnya ini sebanding dengan perbedaan gaya gerak listrik yang dihasilkan dari kedua kawat (Setiabudi dkk, 2012).

2.8 UV-VIS

Spektrometer merupakan alat yang terdiri dari spektrofotometer dan fotometer. Fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang di transmisi maupun di absorpsi dan spektrofotometer adalah alat penghasil sinar dari spektrum dengan panjang gelombang tertentu. Keunggulan spektrofotometer dibandingkan fotometer adalah terdapat alat pengurai seperti prisma, grating atau celah optik sehingga panjang gelombang sinar putih lebih terseleksi. Susunan suatu spektrofotometer yaitu sumber spektrum tampak yang kontinyu, monokromator, sel pengabsorpsi untuk larutan sampel atau referensi dan sebuah alat pengukur perbedaan absorpsi antara sampel dan referensi ataupun perbandingan (Kristianingrum, 2011).

Spektrofotometer adalah sebuah alat untuk mengukur nilai absorpsi atau transmitansi dengan fungsi panjang gelombang. Nilai absorpsi maupun transmitansi tersebut bergantung kepada panjang gelombang yang diberikan. Salah satu alat spektrofotometer yaitu spektrofotometer UV-Vis. Spektrofotometer UV-Vis adalah alat pengukur intensitas sinar ultraviolet yang diabsorpsi oleh sampel. Energi yang dimiliki

sinar ultraviolet cukup untuk melepaskan elektron di kulit terluar ke tingkat energy yang lebih tinggi. Spektrum ultraviolet memiliki pita yang lebar dan hanya sedikit informasi mengenai struktur yang biasa didapatkan pada spektrum ini. Spektrum elektromagnetik untuk sinar UV memiliki panjang gelombang pada rentang 10 nm hingga 350 nm, sedangkan untuk cahaya tampak berada pada rentang 350 nm hingga 770 nm (La Isa, 2015).

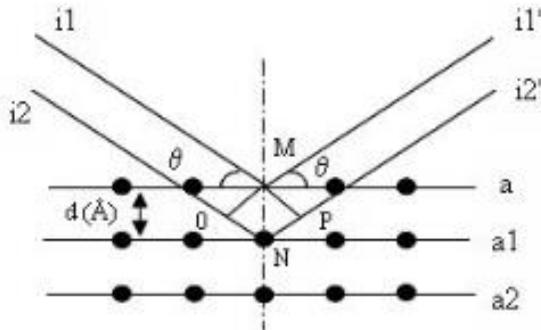
2.9 X-Ray Diffraction (XRD)

Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang antara 0,5 – 2,5 Å. Sinar-X tercipta dari tumbukan antara elektron berkecepatan tinggi dengan logam sasaran. Elektron-elektron yang ditumbukkan ini akan mengalami pengurangan kecepatan yang signifikan dan energinya diubah menjadi foton. Apabila suatu bahan dikenai sinar-X maka intensitas sinar-X yang ditransmisikan lebih kecil dari intensitas sinar datang. Berkas sinar yang dihantarkan tersebut ada yang saling menguatkan karena fasenya sama dan ada yang saling menghilangkan karena fasenya berbeda. Berkas yang saling menguatkan disebut berkas difraksi.

Persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan merupakan berkas difraksi di kenal dengan Hukum Bragg. Hukum Bragg dinyatakan dengan perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X harus merupakan kelipatan panjang gelombang yang dirumuskan dengan persamaan (2.8) (Jamaludin, 2010).

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (2.8)$$

dengan n adalah bilangan bulat 1, 2, 3, ..., λ adalah panjang gelombang sinar-X, d adalah jarak antar bidang, dan θ adalah sudut difraksi. Hukum Bragg dapat dilihat pada Gambar 2.17 (Jamaluddin, 2010).



Gambar 2.17 Difraksi sinar-X pada bidang atom (Jamaludin, 2010)

Terdapat dua metode difraksi sinar-X, yaitu metode kristal tunggal yang digunakan untuk menentukan struktur kristal dan metode serbuk (*powder method*). Pada metode serbuk, bahan yang akan di uji dibuat berbentuk serbuk, sehingga terdapat banyak kristal yang sangat kecil dan orientasi kristal tidak perlu di atur lagi karena semua orientasi bidang telah terdapat pada sampel dengan demikian terpenuhi Hukum Bragg. Metode serbuk lebih sederhana dan lebih cepat dibandingkan dengan metode kristal tunggal. Informasi yang dapat diperoleh dari data difraksi sinar-X yaitu posisi puncak difraksi memberi gambaran tentang parameter kisi, jarak antar bidang (d_{hkl}), struktur kristal dan orientasi dari sel satuan; intensitas relatif puncak difraksi memberi gambaran posisi atom dalam sel satuan; bentuk puncak

difraksi memberi gambaran ukuran kristalit dan ketidaksempurnaan kisi (Munasir et al., 2010).

Ukuran kristal yang diperoleh dari data hasil XRD dapat dihitung menggunakan metode Scherrer pada persamaan (2.9) (Widya dkk, 2018)

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (2.9)$$

dengan D merupakan ukuran kristal (nm), k adalah konstanta (0.916), λ adalah panjang gelombang sinar X, β pelebaran puncak kurva difraksi yaitu FWHM dan θ sudut dari puncak tertinggi ($^{\circ}$) (Widya dkk, 2018).

2.10 Metode *Sol-Gel* dan *Spin Coating*

Sol-gel merupakan sebuah metode yang didefinisikan sebagai proses pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah dimana selama proses berlangsung terdapat perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) menjadi fasa cair kontinyu (gel). Proses ini didefinisikan sebagai sineresis dan disebabkan oleh menguapnya pelarut secara spontan dari pori. Proses ini dikendalikan oleh reaksi hidrolisis, kondensasi, *aging* dan pengeringan. Struktur mikro ukurannya bergantung pada rumusan komposisi kimia dan prosedur preparasi pembuatan sol hingga mencapai titik gel serta jalannya proses *aging*, pengeringan dan pemanasan gel. Proses *aging* dilakukan dengan cara mendinginkan gel untuk mengubah sifatnya agar lebih kaku, kuat dan menyusut (Stefani dkk, 2016).

Spin-coating merupakan metode penumbuhan lapisan tipis pada substrat yang telah ditetesi cairan kemudian diputar pada kecepatan tertentu. Dalam proses *spin-coating*, terdapat fenomena

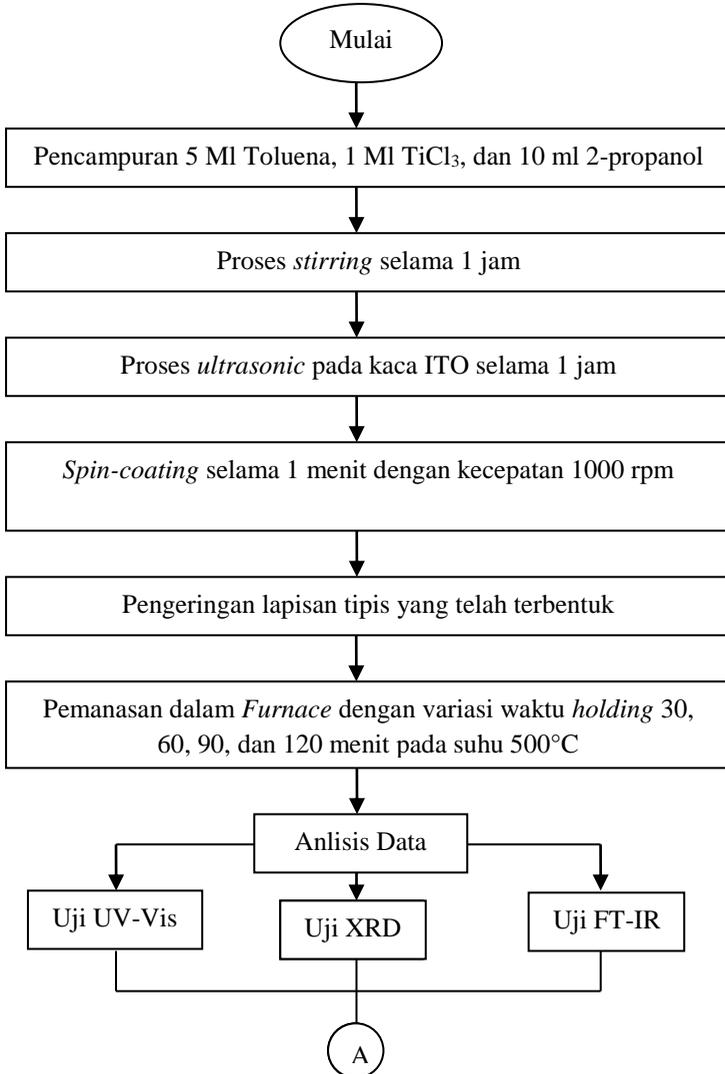
reaksi gaya sentripetal yang mengarah keluar pada benda berputar. Hal ini menyebabkan gel yang dideposisikan pada substrat akan tersebar ke seluruh permukaan substrat dan membentuk lapisan tipis. Penumbuhan film tipis dengan metode *spin-coating* menghasilkan kualitas film tipis yang baik dan biaya operasional yang murah. Dalam metode ini, substrat yang diberi larutan gel diletakkan di atas *spinner* yang diputar sehingga membentuk lapisan. Kemudian lapisan tersebut dikeringkan di atas *hot plate* dan dideposisikan dalam *furnace*. Setelah dipanaskan, lapisan kristal tersebut didinginkan hingga temperatur ruang sehingga terbentuklah lapisan kristal yang diinginkan (Ardhiarisca, 2013).

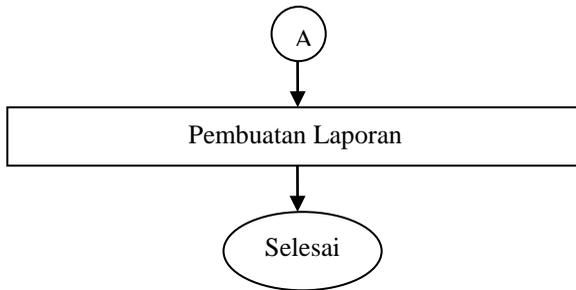
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir penelitian.





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.

3.2 Peralatan dan Bahan

Pada penelitian ini alat dan bahan yang dibutuhkan di bagi menjadi dua, yaitu alat dan bahan utama serta alat dan bahan pendukung sebagai berikut.

3.2.1 Peralatan dan bahan utama

A. Peralatan dan bahan pembuatan larutan TiO_2



(a.)



(b.)



(c.)



(d.)

Gambar 3.2 Alat dan bahan pembuatan larutan TiO_2 .

- (a) Larutan TiCl_3 , Toluena, dan 2-propanol

Larutan-larutan tersebut digunakan sebagai bahan dasar pembuatan larutan TiO_2 .

- (b) Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk memastikan takaran larutan agar sesuai dengan yang telah ditentukan.

- (c) Gelas Beaker

Gelas Beaker digunakan sebagai wadah untuk melarutkan material sampel.

- (d) *Magnetic Stirrer*

Magnetic Stirrer digunakan untuk mengaduk sampel.

B. Peralatan dan bahan sintesis lapisan tipis TiO_2



(a.)



(b.)



(c.)



(d.)



(e.)



(f.)



(g.)

Gambar 3.3 Alat dan bahan sintesis lapisan tipis TiO₂.

- (a) Kaca ITO (*Indium Thin Oxide*)

Kaca ITO digunakan sebagai substrat yang memiliki bagian konduktif dan tidak konduktif. Kaca ITO yang digunakan berukuran 1,5 x 1,5 cm.

- (b) Tachometer Digital

Tachometer digital digunakan untuk menentukan kecepatan putaran pada *spin-coating* dalam satuan rpm (radian per menit).

- (c) Larutan Titanium Dioksida (TiO₂)

Larutan TiO₂ digunakan sebagai bahan utama pembuatan lapisan tipis.

- (d) *Spin-Coating*

Spin-coating digunakan untuk membentuk lapisan tipis TiO₂ pada permukaan kaca ITO.

- (e) Multimeter

Multimeter digunakan untuk menentukan bagian dari kaca ITO yang bersifat konduktif dan tidak konduktif.

- (f) Pipet Tetes

Pipet tetes digunakan untuk meneteskan larutan TiO₂ ke atas substrat kaca ITO.

- (g) *Furnace*

Furnace digunakan untuk memberi perlakuan panas pada sampel

3.2.2 Peralatan dan bahan pendukung



(a.)



(b.)



(c.)



(d.)

Gambar 3.4 Alat dan bahan pendukung.

(a) Alkohol

Alkohol digunakan sebagai cairan pembersih piringan pada *spin-coating*.

(b) Pinset

Pinset digunakan sebagai alat untuk mengambil sampel dari *spin-coating*.

(c) Gunting

Gunting digunakan sebagai alat untuk memotong *double tape*.

(d) *Double Tape*

Double tape digunakan untuk merekatkan lapisan tipis pada kuvet saat karakterisasi UV-Vis.

3.3 Langkah Kerja

Langkah kerja pada penelitian ini terdiri dari tiga bagian, yaitu sintesis larutan TiO_2 , deposisi lapisan tipis TiO_2 dan karakterisasi lapisan tipis TiO_2 .

3.3.1 Sintesis larutan TiO_2

Sintesis larutan TiO_2 dilakukan dengan cara mencampurkan 1 ml TiCl_3 , 5 ml Toluena, dan 10 ml 2-propanol di dalam gelas beaker lalu di *stirring* selama 1 jam hingga diperoleh larutan TiO_2 yang diinginkan.

3.3.2 Deposisi lapisan tipis TiO_2

Deposisi lapisan tipis dilakukan menggunakan metode *spin-coating*. Berikut merupakan langkah-langkahnya :

1. Substrat yang digunakan berupa kaca *Indium Thin Oxide* (ITO) yang telah dipotong dengan ukuran 1,5 cm x 1,5 cm.
2. Substrat dibersihkan menggunakan alkohol dan dimasukkan ke dalam *ultrasonic cleaner* selama 60 menit..
3. Bagian konduktif dari substrat yang telah dibersihkan dicari menggunakan multimeter.
4. Substrat yang telah diketahui bagian konduktifnya kemudian ditaruh pada *spin-coating* dan pada bagian konduktifnya ditetesi larutan TiO_2 hasil sintesis sebanyak satu tetes.
5. Proses *spin-coating* dilakukan selama 60 detik dengan kecepatan putaran 1000 rpm.
6. Setelah dilakukan proses *spin-coating*, didapatkan sampel lapisan tipis TiO_2 .

Setelah terbentuk lapisan tipis pada kaca ITO, dilakukan proses *annealing* yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu *annealing* terhadap sampel lapisan tipis TiO_2 yang telah

dibuat. Proses *annealing* dilakukan dengan memanaskan substrat lapisan tipis TiO₂ menggunakan *furnace* pada suhu 500°C dengan variasi waktu *holding furnace* 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit.

3.3.3 Karakterisasi lapisan tipis TiO₂

Karakterisasi lapisan tipis TiO₂ dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis, *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR). Karakterisasi UV-Vis dilakukan guna mengetahui nilai absorpsivitas, ketebalan lapisan tipis, dan *energy gap* dari lapisan tipis TiO₂. Hasil dari karakterisasi UV-Vis berupa grafik hubungan antara absorpsivitas dan panjang gelombang. Karakterisasi XRD digunakan untuk mengetahui kecocokan fasa antara lapisan tipis TiO₂ yang telah dibuat dengan sumber referensi dan ukuran kristal lapisan tipis TiO₂. Karakterisasi FTIR digunakan untuk mengkonfirmasi senyawa yang digunakan pada saat deposisi adalah merupakan senyawa TiO₂.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Tebal Lapisan Tipis

Penelitian ini dilakukan menggunakan lima buah sampel, dimana tiap sampel diberi perlakuan panas. Perlakuan panas yang diberikan memiliki variasi terhadap waktu *holding* anil, namun seluruh sampel memiliki temperatur yang sama yaitu 500°C. Masing-masing sampel diberi nama T0A untuk sampel tanpa perlakuan, T30C untuk sampel dengan waktu *holding* 30 menit, T60A untuk sampel dengan waktu *holding* 60 menit, T90B untuk sampel dengan waktu *holding* 90 menit dan T120B untuk sampel dengan waktu *holding* 120 menit.

Perhitungan tebal lapisan tipis TiO_2 dilakukan menggunakan persamaan Swanepoel yang dapat dilihat pada persamaan (2.4). Perhitungan tebal lapisan tipis dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah lapisan tipis TiO_2 yang telah dibuat memiliki ketebalan yang sesuai dengan yang diinginkan agar memiliki absorpsivitas yang baik sebagai material pendukung sel surya. Hasil perhitungan tebal lapisan tipis masing-masing sampel yang disajikan dalam bentuk tabel.

Table 4.1 Nilai ketebalan sampel lapisan tipis TiO_2 .

| Sampel | d (nm) |
|--------|--------|
| T0A | 1187 |
| T30C | 2052 |
| T60A | 570 |
| T90B | 1780 |
| T120B | 649 |

Tabel 4.1 menunjukkan hasil perhitungan tebal lapisan tipis pada masing-masing sampel dengan variasi waktu *annealing* selama 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit dan sampel lapisan tipis yang tidak diberi perlakuan *annealing*. Hasil perhitungan ketebalan menunjukkan terjadinya penurunan dan peningkatan dari ketebalan lapisan tipis TiO_2 , dimana sampel T30C dan T90B mengalami peningkatan ketebalan jika dibandingkan dengan sampel lainnya.

Penurunan ketebalan terjadi karena perlakuan panas yang diberikan kepada sampel sehingga mengakibatkan keteraturan ukuran kristal dan jarak atom yang semakin kecil. Namun pada hasil perhitungan menunjukkan adanya kenaikan nilai ketebalan pada sampel T30C dan T90B. Apabila dilihat pada grafik absorbansi yang tertera pada Gambar 4.3, sampel T30C dan T90B memiliki nilai absorbansi yang lebih besar di antara sampel lainnya. Hal ini berarti bahwa nilai absorbansi dipengaruhi oleh ketebalan lapisan tipis dimana pada sampel T30C dan T90B yang mengalami kenaikan nilai ketebalan memiliki nilai absorbansi yang lebih besar di antara sampel lainnya. Ini menunjukkan bahwa pada sampel T30C dan T90B menyerap energi foton yang lebih banyak dibandingkan dengan sampel yang lain. Perbedaan ketebalan lapisan tipis yang terjadi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya pada saat dilakukan proses *spin coating* dimana lapisan tipis yang dideposisi memiliki ketebalan yang tidak sama akibat larutan TiO_2 yang di *spin-coating* tidak melapisi substrat secara merata.

Semakin lama waktu *annealing*, maka akan semakin banyak waktu yang diperoleh oleh atom-atom TiO_2 untuk menyempurnakan pertumbuhan kristalnya. Ketebalan dari sampel menentukan seberapa besar berkas cahaya yang dapat ditransmisikan oleh bahan tersebut. Semakin tipis sampelnya,

akan semakin besar nilai transmitansinya. Metode dalam pembuatan lapisan juga menentukan ketebalan dari lapisan yang akan dibuat. Pada penelitian ini, metode untuk pembuatan lapisan menggunakan metode *spin-coating*.

4.2 Analisa Hasil Uji UV-Vis

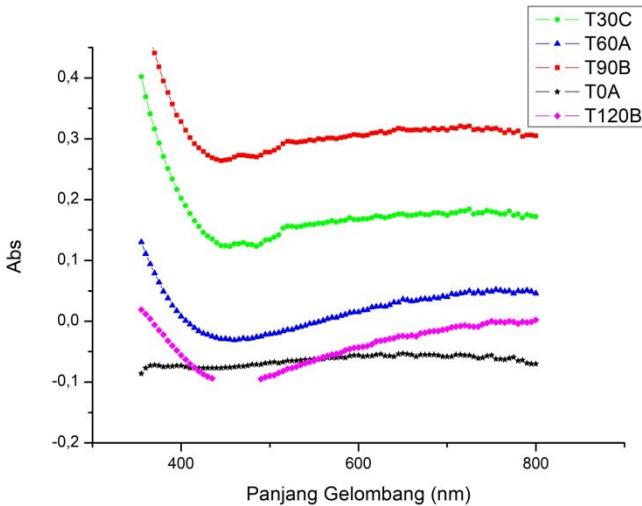
4.2.1 Absorbansi

Absorbansi merupakan salah satu hasil dari pengujian yang dilakukan menggunakan UV-Vis. Hasil absorbansi dapat dilihat pada Gambar 4.1 dimana sampel dengan absorpsivitas yang tinggi terdapat pada sampel T90B sedangkan untuk sampel dengan absorpsivitas paling rendah terdapat pada sampel T0A. Nilai absorpsivitas terendah terdapat pada sampel T120B dalam rentang panjang gelombang 420 nm hingga 575 nm.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai absorbansi dari sebuah material, diantaranya adalah besarnya celah energi yang ada pada lapisan tipis tersebut. Semakin besar celah energi dari suatu lapisan tipis, akan semakin sedikit energi foton yang diabsorpsi oleh elektron sehingga elektron tidak dapat berpindah dari pita valensi ke pita konduksi karena energi pada celah energi lebih besar (tidak cukup energi). Kemudian konsentrasi dari zat penyusun material tersebut. Apabila semakin banyak konsentrasi zat yang memiliki kemampuan absorpsi yang baik maka nilai absorpsi akan semakin besar. Ketebalan dari lapisan tipis juga dapat mempengaruhi nilai absorpsivitas suatu lapisan tipis. Semakin tebal suatu lapisan tipis, akan semakin besar pula absorpsivitasnya.

Pada Tabel 4.1, sampel yang memiliki ketebalan paling besar adalah sampel T30C, sedangkan untuk nilai absorpsivitasnya sampel T30C berada dibawah sampel T90B. Seharusnya nilai absorpsivitas sampel T30B berada di posisi paling atas karena absorpsivitas berbanding lurus dengan

ketebalan. Semakin tebal suatu lapisan tipis maka akan semakin besar nilai absorpsivitasnya karena apabila suatu lapisan tipis semakin tebal, akan semakin banyak unsur/senyawa yang dapat mengabsorpsi cahaya pada panjang gelombang tertentu. Atau dengan kata lain, akan semakin banyak energy foton yang dapat diserap oleh elektron agar dapat tereksitasi dari pita valensi menuju ke pita konduksi. Sedangkan sampel T60A yang memiliki ketebalan paling kecil, memiliki nilai absorpsivitas yang berada di tengah-tengah. Seharusnya sampel T60A ini berada di posisi paling bawah grafik absorbansi karena memiliki ketebalan yang paling kecil. Hal ini dapat dipengaruhi oleh faktor lain yang mempengaruhi nilai absorbansi pada sampel T30B dan T60A sehingga nilai absorbansinya tidak bisa dibandingkan secara langsung.



Gambar 4.1 Grafik Absorbansi Hasil Karakterisasi UV-Vis.

4.2.2 Perhitungan Celah Energi

Perhitungan celah energi menggunakan metode *Absorbance Edge* dengan menggunakan ekstrapolasi dengan grafik hubungan panjang gelombang sebagai absis dan nilai absorbansi sebagai ordinat yang mana dapat dilihat pada Lampiran A. Perhitungan untuk menentukan besarnya celah energi dilakukan menggunakan persamaan (2.1) yang mana contoh perhitungannya dapat dilihat pada Lampiran A. Besarnya celah energi yang didapat pada masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Berdasarkan Tabel 4.2, sampel yang memiliki celah energi paling besar terdapat pada sampel T60A dengan nilai 3,13 eV sedangkan sampel dengan nilai celah energi terkecil adalah T90B dengan nilai 2,76 eV. Sampel T0A tidak dapat dihitung besarnya celah energi karena tidak dapat ditentukan panjang gelombangnya berdasarkan grafik.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Celah Energi.

| Sampel | Celah Energi (Ev) | λ (nm) |
|--------|-------------------|----------------|
| T30C | 2,85 | 434,689 |
| T60A | 3,13 | 395,089 |
| T90B | 2,76 | 448,867 |
| T120B | 2,82 | 439,089 |

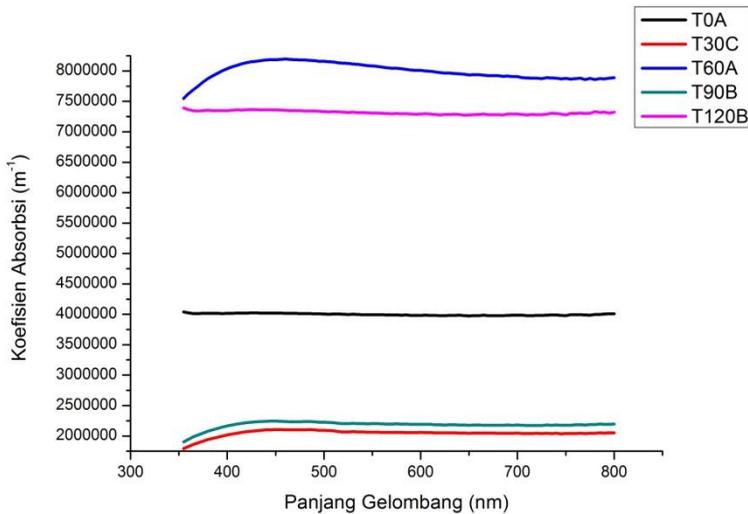
Jika ditembakkan foton pada sebuah lapisan tipis yang energinya lebih besar daripada celah energinya, maka energi dari foton tersebut akan diserap oleh elektron valensi yang berada pada pita valensi sehingga elektron tersebut tereksitasi menuju pita konduksi dengan meninggalkan sebuah *hole* yang jumlahnya

sama dengan *hole* yang akan ditempati elektron tersebut pada pita konduksi. Dalam keadaan tereksitasi, elektron tersebut akan melewati sebuah celah sempit yang dinamakan sebagai celah energi.

Semakin kecil celah energi dari suatu lapisan tipis maka akan semakin besar peluang sebuah elektron pada pita valensi untuk dapat tereksitasi menuju pita konduksi karena batas minimal energi yang dibutuhkan elektron untuk tereksitasi kecil. Pada sampel T90B yang memiliki nilai celah energi paling kecil, memiliki nilai absorpsivitas paling besar di antara kelima sampel. Sedangkan sampel T60A yang memiliki celah energi paling besar memiliki nilai absorpsivitas lebih kecil dibandingkan dengan sampel T90B dan T30C yang dapat dilihat pada Gambar 4.1. Nilai absorpsivitas yang kecil mempengaruhi jumlah energi foton yang dapat diserap oleh elektron sehingga energi gap yang terbentuk akan semakin besar. Hal ini terbukti pada sampel T60A yang memiliki nilai absorpsivitas yang kecil, dan memiliki energi gap yang paling besar.

4.2.3 Koefisien absorpsi

Koefisien absorpsi pada lapisan tipis menunjukkan tingkat kemampuan sebuah lapisan tipis untuk dapat menyerap cahaya yang melaluinya. Semakin besar nilai koefisien absorpsi menunjukkan bahwa semakin besar panjang gelombang yang dapat diabsorpsi dan semakin kecil panjang gelombang yang di transmisi.



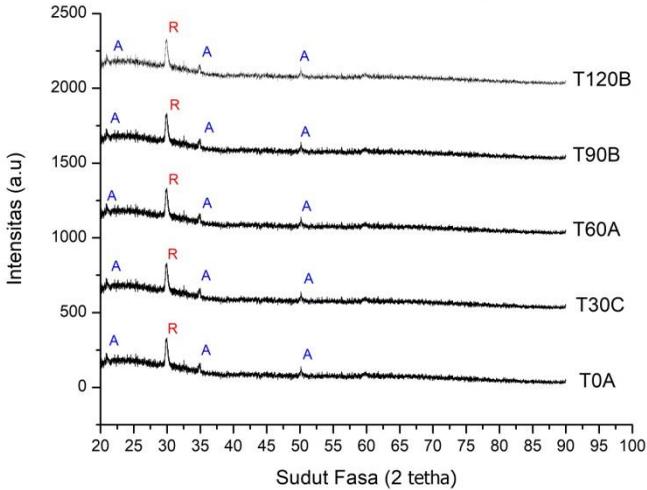
Gambar 4.2 Grafik koefisien absorpsi.

Gambar 4.2 menampilkan koefisien absorpsi dari sampel T0A, T30C, T60A, T90B, dan T120B. Nilai koefisien absorpsi yang paling besar terdapat pada sampel T60A. Sedangkan koefisien absorpsi yang paling kecil terdapat pada sampel T30C. Nilai koefisien absorpsi yang rendah menyebabkan energy foton yang datang akan ditransmisikan, begitupun sebaliknya. Hal ini menyebabkan sampel T30C akan lebih baik diaplikasikan pada sel surya berbasis perovskite karena kemampuannya yang dapat mentransmisikan energi foton agar sampai ke lapisan perovskite dengan lebih baik.

4.3 Analisa Hasil Uji XRD

Pada tahap selanjutnya, lapisan TiO₂ dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Karakterisasi XRD dilakukan bertujuan untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk. Pencocokan fasa dilakukan berdasarkan kartu interpretasi JCPDS

yang terdapat pada lampiran D dan referensi dari jurnal-jurnal terdahulu yang terdapat pada Gambar 2.13 dan 2.14 pada BAB 2. Berikut merupakan hasil pola difraksi lapisan tipis TiO₂ yang telah diberi perlakuan panas dengan variasi waktu *annealing*.



Gambar 4.3 Grafik hasil XRD.

Pola difraksi sinar-X pada sampel T0A, T30C, T60A, T90B, dan T120B lapisan tipis TiO₂ ditunjukkan pada Gambar 4.3. Pada pola sampel dengan waktu *annealing* 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit cenderung tidak ada perubahan yang cukup signifikan dibandingkan dengan sampel yang tidak diberikan perlakuan panas. Hal ini dapat diartikan sebagai waktu *annealing* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap puncak-puncak intensitas difraksi, namun memberikan pengaruh yang signifikan pada ukuran partikel. Hal ini disebabkan karena lamanya waktu *annealing* dapat menghambat pertumbuhan partikel (Astuti, 2017). Berdasarkan Gambar 4.3 masing-masing

sampel memiliki kesesuaian puncak yang teramati dengan fasa anatase pada sudut di sekitar 23° , 36° dan 49° , sedangkan untuk puncak tertinggi terdapat pada sudut 30° yang mana puncak ini teridentifikasi sebagai fasa rutil. Titanium memiliki tiga fasa struktur yaitu anatase, rutil dan brookit. Fasa yang relatif stabil adalah anatase dan rutil sedangkan fasa brookit merupakan fasa yang tidak stabil. Intensitas tertinggi terletak pada sudut sekitar 30° yang merupakan puncak difraksi lapisan tipis TiO_2 dalam fasa rutil. Kemudian puncak terendah terletak pada posisi sudut sekitar 23° yang merupakan puncak difraksi lapisan tipis TiO_2 dalam fase anatase. Intensitas yang besar menunjukkan keteraturan kristal yang baik atau semakin banyak atom-atom yang tersusun secara teratur (Astuti, 2017).

Perhitungan untuk menentukan ukuran kristal dilakukan dengan menggunakan metode Scherrer pada persamaan (2.9) yang mana disajikan pada Lampiran C. Tabel 4.3 merupakan hasil perhitungan ukuran kristal pada masing-masing sampel.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan ukuran kristal.

| Sampel | Ukuran kristal (nm) |
|--------|---------------------|
| T0A | 52,39 |
| T30C | 61,37 |
| T60A | 47,32 |
| T90B | 54,36 |
| T120B | 54,04 |

Ukuran kristal yang paling kecil terdapat pada sampel T60A dengan ukuran kristal 47.32 nm sedangkan ukuran kristal yang paling besar terdapat pada sampel T30C dengan ukuran kristal 61,37 nm. Bila dibandingkan dengan sampel T0A yang tidak diberikan perlakuan, ukuran kristal sampel yang diberi

perlakuan panas cenderung naik. Namun pada sampel T60A dengan waktu *annealing* 60 menit ukuran partikel mengecil dari 61,37 nm menjadi 47,32 nm. Hal ini dapat disebabkan karena adanya kecacatan dari kristal yang terjadi selama proses *annealing*. Kemudian naik lagi pada sampel dengan waktu *annealing* 90 menit dan 120 menit. Ukuran kristal mempunyai hubungan yang berbanding terbalik dengan besarnya celah energi. Semakin besar ukuran kristal suatu lapisan tipis, akan semakin kecil celah energinya. Sampel T60A yang memiliki ukuran kristal yang paling kecil, memiliki nilai celah energi yang paling besar diantara kelima sampel yaitu sebesar 3,13 eV. Hal ini membuktikan bahwa ukuran kristal mempengaruhi lebar celah energi dari suatu lapisan tipis.

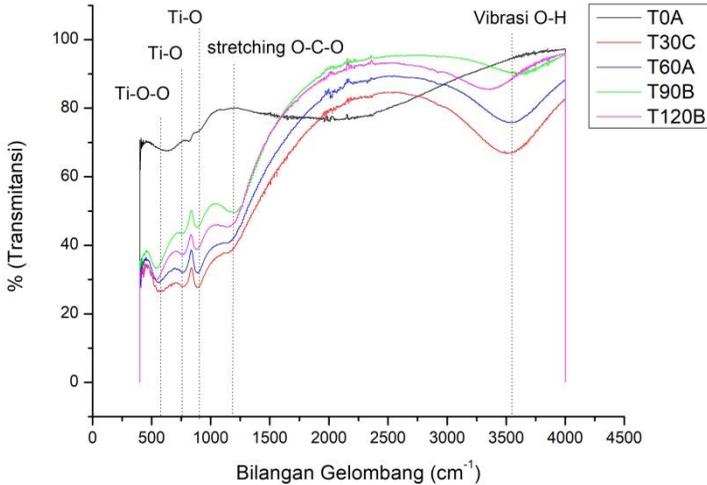
4.4 Analisa Hasil Uji FT-IR

Karakterisasi FT-IR pada lapisan tipis TiO₂ dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk dari hasil sintesis yang telah dilakukan. Hasil karakterisasi FT-IR berupa grafik hubungan antara transmitansi dan bilangan gelombang. Dari grafik tersebut dapat diketahui puncak dari nilai transmitansi dan bilangan gelombangnya yang kemudian dicocokkan dengan data hasil FT-IR yang sudah ada untuk mengetahui senyawa yang terbentuk dan jenis vibrasi dari senyawa tersebut.

Hasil karakterisasi FT-IR dapat dilihat pada Gambar 4.4. Dari Gambar 4.4 terlihat perbedaan bentuk grafik pada sampel T0A yang tidak diberikan perlakuan apa-apa. Terdapat daerah serapan yang kuat pada rentang 400-1000 cm⁻¹. Serapan kuat yang terjadi pada daerah ini menandakan adanya ikatan Ti-O-Ti yang mengindikasikan formasi kerja dari Titanium dioksida (Septiani., 2015). Vibrasi O-H stretching terdapat pada rentang 3200-3600 cm⁻¹ yang mengindikasikan adanya molekul H₂O yang

terserap pada permukaan TiO_2 (Septiani dkk, 2015). Pada bilangan gelombang 400-850 cm^{-1} terdapat vibrasi Ti-O, pada bilangan gelombang 1400 cm^{-1} terdapat vibrasi Ti-O-Ti, pada bilangan gelombang 514 cm^{-1} terdapat absorpsi O-Ti-O, pada bilangan gelombang 1630-1640 cm^{-1} terdapat vibrasi ikatan grup O-H karena ada penyerapan air, terdapat vibrasi O-H pada bilangan gelombang 3443 cm^{-1} yang terkait dengan atom titanium (Ti-OH), regangan O-C-O terdapat pada bilangan gelombang 1052 cm^{-1} , dan terdapat absorpsi molekul H_2O pada bilangan gelombang 2360 cm^{-1} (Listanti dkk, 2018). Pada sampel T30C, T60A, T90B, dan T120B terdapat absorpsi O-Ti-O pada bilangan gelombang 567,54 cm^{-1} . Pada nilai bilangan gelombang tersebut terdapat absorpsi dari ikatan O-Ti-O pada TiO_2 . Pada bilangan gelombang 771,73 cm^{-1} terdapat vibrasi Ti-O, pada bilangan gelombang 895,96 cm^{-1} menandakan adanya vibrasi Ti-O dan 1153,72 cm^{-1} menandakan adanya *stretching* O-C-O, serta terdapat vibrasi O-H pada bilangan gelombang 3505,43 cm^{-1} .

Pada bilangan gelombang 771,73 cm^{-1} dan 895,96 cm^{-1} terdapat vibrasi Ti-O yang menandakan adanya senyawa TiO didalamnya. *Stretching* O-C-O yang terjadi pada bilangan gelombang 1153,72 cm^{-1} menandakan adanya senyawa CO_2 pada sampel. Sedangkan adanya vibrasi O-H pada bilangan gelombang 3505,43 cm^{-1} menandakan adanya serapan molekul air. Demikian dapat diketahui bahwa dari hasil sintesis telah terbentuk lapisan tipis TiO_2 yang ditandai pada bilangan gelombang 567,54 cm^{-1} pada hasil karakterisasi FT-IR.



Gambar 4.4 Grafik hasil karakterisasi FT-IR.

4.5 Analisa Waktu *Annealing* Terbaik

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dibahas, Tabel 4.4 merupakan parameter keseluruhan sebagai acuan dalam menentukan waktu *annealing* yang paling baik digunakan sebagai material pendukung pada sel surya berbasis perovskite. Berdasarkan hasil Tabel 4.4, sampel dengan waktu *annealing* terbaik yang dapat digunakan sebagai material pendukung pada sel surya berbasis perovskite adalah sampel T60A dengan waktu *annealing* selama 60 menit (1 jam).

Namun, masih banyak parameter yang harus diketahui guna menentukan waktu *annealing* mana yang paling baik apabila diaplikasikan sebagai material pendukung pada sel surya berbasis perovskite.

Tabel 4.4 Kualitas sampel berdasarkan parameter yang telah diuji.

| Sampel | T0A | T30C | T60A | T90B | T120B | Ket |
|--------------------|-----|------|------|------|-------|---|
| Ketebalan | | | ✓ | | | Lapisan tipis yang semakin tipis akan lebih ekonomis |
| Absorbansi | ✓ | | | | | Semakin tinggi nilai absorbansi, semakin banyak yang foton yang diserap |
| Celah Energi | | | ✓ | | | Semakin banyak foton yang ditransmisikan |
| Koefisien Absorpsi | | ✓ | | | | Semakin kecil nilainya, semakin banyak foton yang ditransmisikan |
| Ukuran Kristal | | | ✓ | | | Semakin kecil ukuran Kristal, semakin besar energi gap yang |

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|------------|
| | | | | | | dihasilkan |
|--|--|--|--|--|--|------------|

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Didapatkan nilai ketebalan lapisan tipis TiO₂ pada sampel T0A, T30C, T60A, T90B, dan T120B secara berturut-turut sebesar 1187 nm, 2052 nm, 570 nm, 1780 nm, dan 649 nm.
2. Nilai energi *gap* ditentukan dengan menggunakan metode *Absorbance Edge* pada sampel T30C, T60A, T90B, dan T120B dengan nilai berturut-turut sebesar 2,85 eV, 3,13 eV, 2,76 eV, dan 2,82 eV.
3. Sampel yang memiliki nilai absorbansi paling besar yaitu T90B, diikuti dengan T30C, T60A, T120B, dan T0A. Nilai absorbansi dipengaruhi ketebalan suatu lapisan tipis
4. Terdapat puncak anatas pada sudut 23°, 36° dan 49° dan puncak tertinggi terdapat pada sudut 30° yang teridentifikasi sebagai puncak rutil. Ukuran kristal meningkat seiring lamanya waktu *annealing*.
5. Terdapat senyawa TiO₂ yang terbentuk ditandai dengan adanya absorbsi O-Ti-O pada bilangan gelombang 567,54 cm⁻¹.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian tugas akhir ini terdapat beberapa saran yang sekiranya dapat berguna bagi penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut :

1. Sintesis lapisan tipis menggunakan alat spin coating sebaiknya dilakukan menggunakan alat yang lebih memadai dan lebih lengkap agar menghasilkan hasil lapisan tipis yang presisi.

2. Dalam menentukan ketebalan dari lapisan tipis sebaiknya dilakukan pengukuran agar hasil yang didapat lebih akurat, tidak hanya melalui perhitungan saja.
3. Variasi terhadap lamanya waktu annealing sebaiknya dilakukan dengan selisih waktu yang cukup jauh agar perbedaan yang dihasilkan lebih terlihat.

DAFTAR PUSTAKA

- Amni Pataya, Stefani., 2016, “Karakterisasi Lapisan Tipis TiO_2 yang Ditumbuhkan dengan Metode Spin Coating Diatas Substrat Kaca”.
- Angreni, Widya, dkk, 2018, “Sintesa Lapisan Tipis MgTiO_3 dengan Metode Sol Gel”, vol. 7, hlm. 78-84.
- Ardhiarisca, Oryza., 2013, “Karakteristik Optik dan Struktur Kristal Film Tipis $\text{TiO}_2:\text{Au}$ Ditumbuhkan dengan Metode *Spin Coating*”.
- Astuti, dan Ningsi, Sulastriya., 2017, “Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO_2) Menggunakan Metode Sonokimia”, vol. 9, hlm. 26-32.
- Bilalodin, 2012, “Pembuatan Dan Penentuan Celah Pita Optik Film Tipis TiO_2 ”.
- Bryanvand, M. M., Kharat, A. N., Fatholahi, L., Beiranvand, Z. M., 2013, “A Review on Synthesis of Nano- TiO_2 via Different Methods”, JNS, vol. 4, hlm 455-459.
- Dwi Surjono, Herman., 2007, “Elektronika : Teori dan Penerapan”, Penerbit Cerdas Ulet Kreatif.
- I Dhiaputra, B. Permana, Y. Maulana, Y. D. Inayatie, Y. R. Purba and A. Bahtiar, 2017, “Composition and Crystal Structure of Perovskite Films Attained from Electrodes of Used Car Battery”, AIP Conference Proceedings 1712, 050013 (5-pages).
- Jamaluddin, K., 2010, “XRD (X-Ray Diffractions)”.

- Kang, Manil dkk, 2018, "Optical Properties of TiO₂ Thin Films with Crystal Structure", hlm. 266-270.
- Kristianingrum, Susila., 2011, "HANDOUT: Spektroskopi Ultra Violet dan Sinar Tampak (Spektroskopi UV-Vis)".
- La Isa, 2015, "Sintesis, Energi Gap dan Analisis Struktur Kristal Film Ferroelektrik LiTaO₃ Diatas Substrat Silikon".
- Listanti, A., dkk, 2018, "Investigasi Struktur dan Energi *Band Gap* Partikel Nano TiO₂ Hasil Sintesis Menggunakan Metode Sol Gel", vol. 3, hlm. 8-15.
- Munasir, dkk., 2012, "Uji XRD dan XRF pada Bahan Mineral (Batuan dan Pasir) sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO₃ dan SiO₂)", Vol 2, hlm 20-29.
- Purwoto, Bambang Hari, dkk, 2010, "Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif," vol. 18, hlm. 10.
- Smallman, R.E. 2000. "Metalurgi Fisik Modern & rekayasa Material Edisi 6". Jakarta: Erlangga.
- Rusman, 2015, "Pengaruh Variasi Beban Terhadap Efisiensi Solar Cell Dengan Kapasitas 50 WP", vol. 4, hlm. 84.
- Setiabudi, Agus, dkk., 2012, "Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia", UPI PRESS.
- Schroder, K., 2006, "Semiconductor Material and Device Characterization", John wiley & sons, Canada.
- Silviah, Siti, dkk., 2012, " Penggunaan Metode FT-IR Untuk Mengidentifikasi Gugus Fungsi pada Proses Pembaluran Penderita Mioma".
- Timuda, G. E., 2010, "Sintesis Partikel Nanokristaline TiO₂ Untuk Aplikasi Sel Surya Menggunakan Metode

Sonokimia”, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI
Jateng dan DIY, hlm 104-109.

- Timuda, G. E. dan A. Maddu., 2010, “Pengaruh Ketebalan terhadap Sifat Optik Lapisan Semikonduktor Cu₂O yang Dideposisikan dengan Metode Chemical Bath Deposition (CBD)”, vol. 28, hlm. 5.
- T. T. Oktora dan E. Yahya, 2009. “Sifat Elektronik Silikon Amorf Terhidrogenasi Tipe P yang Dideposisi dengan Sistem PECVD”, hlm. 3.
- Yuda Aditya, Hanum., Sutanto, Heri., 2014, “Analisis Sifat Optik Lapisan Tipis Bilayer ZnO/TiO₂ yang Dideposisikan Menggunakan Metode Sol-Gel Spray Coating dan Aplikasinya sebagai Fotodegradasi Zat Warna”, Vol. 3, hlm 223-230.
- Yuliarto, Brian., 2017, “Memanen Energi Matahari”.
- Zribi, M., dkk, 2007, “Structural, Morphological, and Optical Properties of Thermal Annealed TiO Thin Films”, hlm. 1476-1479

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

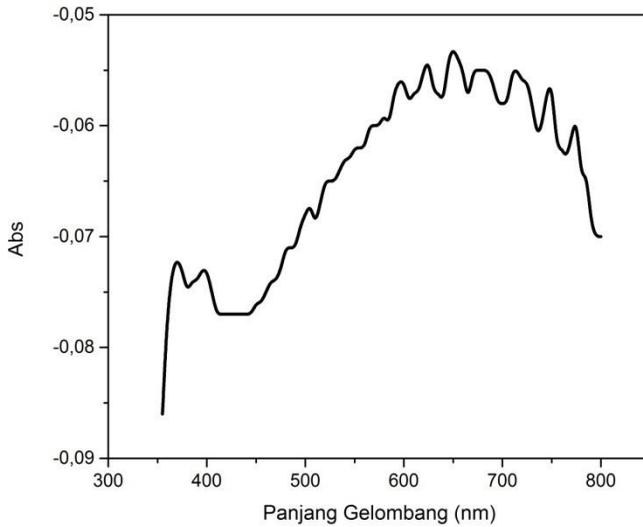
Grafik Absorpsi Sampel Lapisan Tipis TiO₂

Contoh Pada Sampel T30C

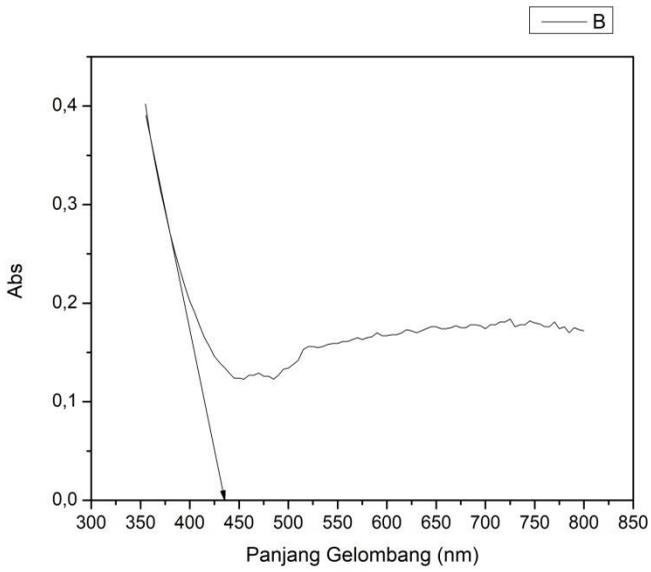
$$Eg = h \frac{c}{\lambda}$$

$$Eg = 4,136 \times 10^{-15} \frac{2,997 \times 10^8}{434,689 \times 10^{-9}}$$

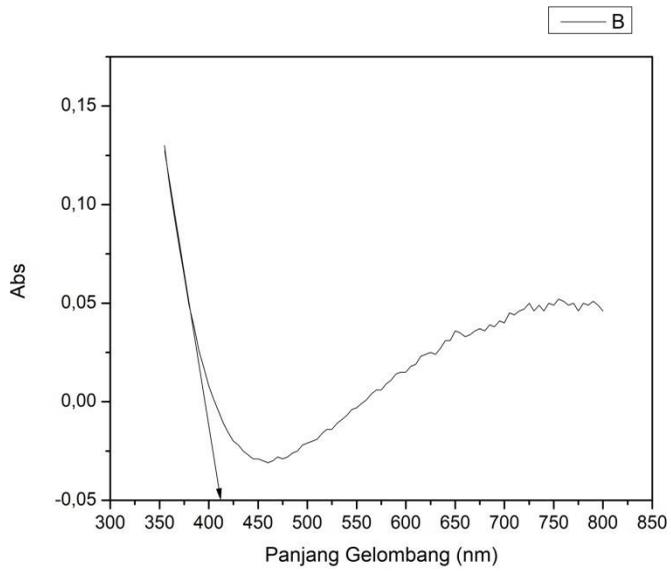
$$Eg = 2,85 \text{ eV}$$



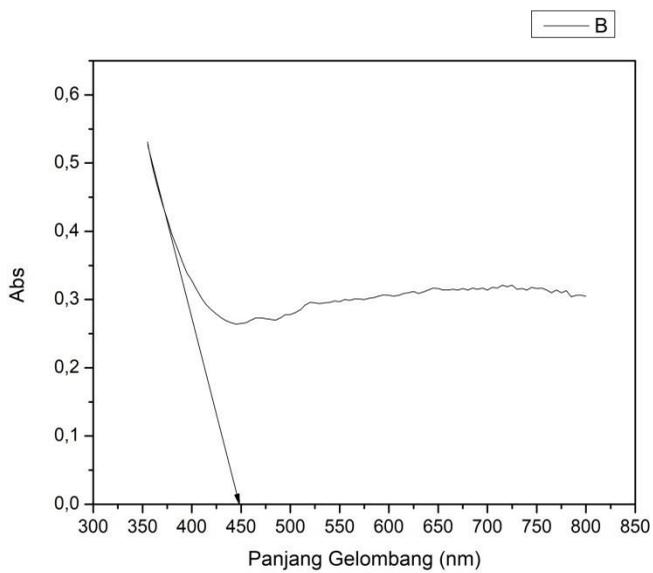
Gambar 1 Grafik Absorpsi Sampel T0A



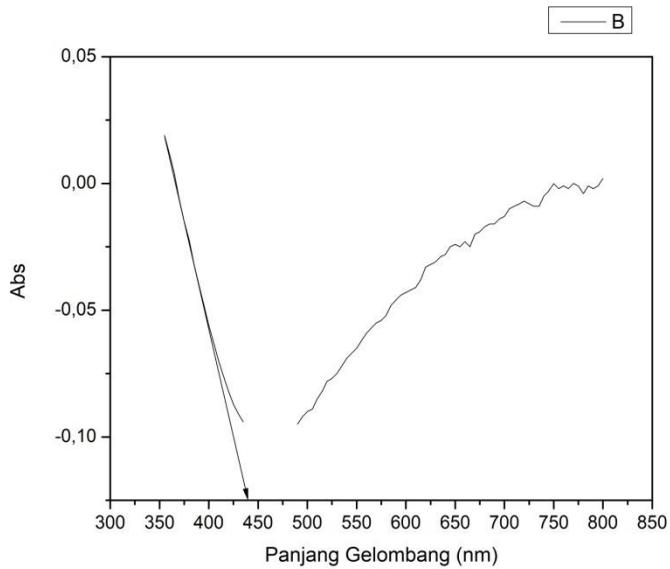
Gambar 2 Grafik Absorpsi Sampel T30C



Gambar 3 Graafik Absorpsi Sampel T60A



Gambar 4 Grafik Absorpsi Sampel T90B



Gambar 5 Grafik Absorpsi Sampel T120B

LAMPIRAN B

Perhitungan Ketebalan Lapisan Tipis TiO₂

| Sampel | T0A | T30C | T60A | T90B | T120B |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| TM ₁ | 119.49 | 75.172 | 107.421 | 54.43 | 124.53 |
| TM ₂ | 118.773 | 75.142 | 90.209 | 53.829 | 105.948 |
| Tm ₁ | 112.973 | 65.55 | 88.516 | 47.828 | 99.943 |
| Tm ₂ | 113.35 | 65.769 | 89.062 | 48.121 | 99.972 |
| λ_1 (nm) | 425 | 485 | 730 | 485 | 655 |
| λ_2 (nm) | 380 | 450 | 460 | 445 | 490 |
| N ₁ | 1.641416 | 1.645793 | 1.645845 | 1.647324 | 1.646007 |
| N ₂ | 1.641355 | 1.645931 | 1.64069 | 1.647089 | 1.641763 |
| n ₁ | 1.511609 | 1.516714 | 1.516774 | 1.518483 | 1.516961 |
| n ₂ | 1.511537 | 1.516873 | 1.358887 | 1.51212 | 1.512015 |

| | | | | | |
|--------|---------|---------|--------|--------|--------|
| n_k | 1.46 | 1.46 | 1.46 | 1.46 | 1.46 |
| d (nm) | 1187.64 | 2052.68 | 570.56 | 170.50 | 649.54 |

LAMPIRAN C

Perhitungan Ukuran Kristal

| T0A | | |
|-----------------------------|-------------|----------------------------|
| 2θ | FWHM | Ukuran Kristal (nm) |
| 21 ⁰ | 0.2007 | 42.39 |
| 30 ⁰ | 0.3011 | 30.42 |
| 35 ⁰ | 0.2676 | 36.19 |
| 50 ⁰ | 0.1004 | 123.47 |
| 60 ⁰ | 0.5353 | 29.50 |
| Rata-rata | | 52.39 |

| T30C | | |
|-----------------------------|-------------|----------------------------|
| 2θ | FWHM | Ukuran Kristal (nm) |
| 21 ⁰ | 0.2007 | 42.49 |
| 30 ⁰ | 0.2676 | 34.35 |
| 35 ⁰ | 0.1004 | 96.92 |
| 51 ⁰ | 0.2342 | 53.41 |
| 60 ⁰ | 0.2007 | 79.67 |
| Rata-rata | | 61.37 |

| T60A | | |
|-----------------------------|-------------|----------------------------|
| 2θ | FWHM | Ukuran Kristal (nm) |
| 21 ⁰ | 0.1004 | 84.80 |
| 30 ⁰ | 0.2342 | 39.17 |
| 35 ⁰ | 0.1338 | 72.51 |
| 45 ⁰ | 0.6691 | 16.78 |

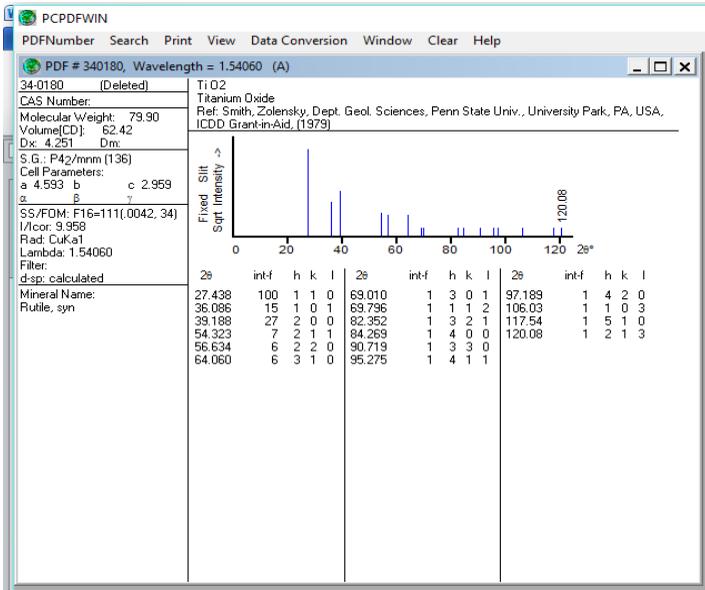
| | | |
|------------------|--------|-------|
| 50 ⁰ | 0.5353 | 23.30 |
| 60 ⁰ | 0.3346 | 47.37 |
| Rata-rata | | 47.32 |

| T90B | | |
|------------------|-------------|----------------------------|
| 2θ | FWHM | Ukuran Kristal (nm) |
| 9 ⁰ | 0.2007 | 40.11 |
| 21 ⁰ | 0.1673 | 50.94 |
| 29 ⁰ | 0.1004 | 90.08 |
| 30 ⁰ | 0.1171 | 78.43 |
| 35 ⁰ | 0.2007 | 48.38 |
| 45 ⁰ | 0.6691 | 16.81 |
| 50 ⁰ | 0.4015 | 31.04 |
| 60 ⁰ | 0.2007 | 79.12 |
| Rata-rata | | 54.36 |

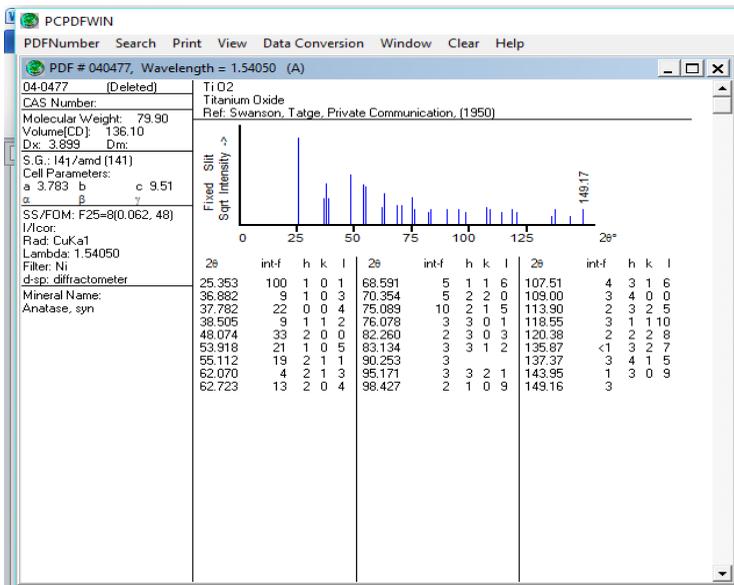
| T120B | | |
|------------------|-------------|----------------------------|
| 2θ | FWHM | Ukuran Kristal (nm) |
| 9 ⁰ | 0.2007 | 40.08 |
| 21 ⁰ | 0.1673 | 50.80 |
| 30 ⁰ | 0.1004 | 91.14 |
| 35 ⁰ | 0.1171 | 82.60 |
| 45 ⁰ | 0.2007 | 55.87 |
| 50 ⁰ | 0.6691 | 18.51 |
| 60 ⁰ | 0.4015 | 39.29 |
| Rata-rata | | 54.04 |

Lampiran D

Kartu Interpretasi JCPDS Untuk Sampel TiO₂



Kartu Interpretasi JCPDS pada sampel TiO₂ untuk fase Rutile



Kartu Interpretasi JCPDS pada sampel TiO₂ untuk fase Anatase

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Kresna Bayu Dwianto, dengan nama panggilan Kresna. Penulis dilahirkan di Padang pada 16 Juli 1997. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Ayah penulis bernama Drs. Bambang Irianto dan Ibu bernama Supartiningsih, Sp. Saat ini penulis tinggal di Komplek SMAN Plus Prop. Riau no. 28 di Jalan Lingkar Kubang Raya, Kampar, Riau. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TKAvia, SDN 042 Bukit Raya, SMPN 13 Pekanbaru, dan SMAN Plus prop. Riau. Setelah lulus dari SMAN pada tahun 2015 penulis diterima di Jurusan Fisika FIA-ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 01111540000006.

Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan perkuliahan dan organisasi. Di departemen Fisika ini penulis mengambil bidang studi fisikamaterial. Penulis pernah aktif organisasi di departemen Kesejahteraan Mahasiswa (KESMA) dan *Sport and Art* (SNA) Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMASIKA) ITS serta divisi Internal dan PSDA Unit Kegiatan Mahasiswa ITS Astronomy Club. Penulis sempat mengikuti Kerja Praktek di salah satu perusahaan semen tertua di Indonesia, yaitu PT. Semen Padang dengan waktu 1.5 bulan lamanya.

E-mail : dbayukresna29@gmail.com

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”