

**PENGARUH KECEPATAN PUTARAN *SPIN COATING* DENGAN BAHAN  
PEROVSKITE KALSIUM SILIKAT ( $\text{CaSiO}_3$ ) TERHADAP PERFORMANSI  
*PEROVSKITE SOLAR CELL***

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**MOCHAMAD ANDHIKA PRAKASA**  
**NIM. 155060307111022**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**MALANG**

**2020**



**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PENGARUH KECEPATAN PUTARAN *SPIN COATING* DENGAN BAHAN**  
***PEROVSKITE* KALSIMUM SILIKAT ( $\text{CaSiO}_3$ ) TERHADAP PERFORMANSI**  
***PEROVSKITE SOLAR CELL***

**SKRIPSI**  
**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**MOCHAMAD ANDHIKA PRAKASA**

**NIM. 155060307111022**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 27 Juli 2020

Dosen Pembimbing I

Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng.  
NIP. 201201 841130 1 001

Dosen Pembimbing II

Ir. Nurussa'adah, M.T.  
NIP. 19680706 199203 2 001

Mengetahui

Jurusan Teknik Elektro



Prof. Ir. Hadi Suyoto, S.T., M.T., Ph.D., IPU.  
19730520 200801 1 013

JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH KECEPATAN PUTARAN *SPIN COATING* DENGAN BAHAN *PEROVSKITE* KALSIMUM SILIKAT ( $\text{CaSiO}_3$ ) TERHADAP PERFORMANSI *PEROVSKITE SOLAR CELL*.

Nama Mahasiswa : MOCHAMAD ANDHIKA PRAKASA  
NIM : 155060307111022  
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO  
Konesntrasi : TEKNIK ELEKTRONIKA

Dosen Pembimbing 1 : Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng.



Dosen Pembimbing 2 : Ir. Nurussa'adah, M.T.



Tim Dosen Penguji:

Dosen Penguji I : Akhmad Zainuri, S.T., M.T.

disetujui tanggal 27 Juli 2020

Dosen Penguji II : Dr. Ing. Onny Setyawati, S.T., M.T.

disetujui tanggal 27 Juli 2020

Tanggal Ujian : 15 Juli 2020

SK Penguji : 1307Tahun 2020




**PERNYATAAN ORISINILITAS SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi/Tesis/Disertasi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi/Tesis/Disertasi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi/Tesis/Disertasi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, Juli 2020

**Mahasiswa,**

**Mochamad Andhika Prakasa**

**NIM. 155060307111022**





## RINGKASAN

**Mochamad Andhika Prakasa**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Universitas Brawijaya, Juli 2020, *Pengaruh Kecepatan Putaran Spin Coating Dengan Bahan Perovskite Kalsium Silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) Terhadap Performansi Pervoskite Solar Cell*.

Dosen Pembimbing: Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng. dan Ir. Nurussa'dah, M.T.

Saat ini kebutuhan energi di Indonesia terus mengalami peningkatan sejalan dengan tingkat kehidupannya, salah satunya adalah energi listrik. Energi listrik merupakan kebutuhan yang penting untuk membantu mempermudah aktivitas manusia. Penggunaan energi listrik terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Salah satu penyebabnya adalah penggunaan energi listrik yang tidak efisien khususnya pada sektor rumah tangga.

Salah satu solusi dari masalah tersebut adalah permanenan energi menggunakan sel surya. Hal ini sangat memungkinkan mengingat Indonesia adalah negara beriklim tropis yang mendapatkan sinar matahari terus menerus sepanjang tahun. *Perovskite* merupakan terobosan baru sebagai alternatif pembuatan panel surya. Material yang digunakan sebagai bahan *perovskite* menjadi objek penelitian yang luas dan sangat terbuka untuk dikembangkan karena efesiensi yang didapatkan mengalami peningkatan yang luar biasa dari 3,8% menjadi 22,1% sejak tahun 2009 (Saliba, M., dkk., 2016).

Pada penelitian ini, bahan *perovskite* yang digunakan adalah  $\text{CaSiO}_3$  dengan variasi kecepatan putaran *spin coating* 600 rpm, 700 rpm, 800 rpm, 900 rpm, dan 1000 rpm. Dalam pengujiannya, lampu senter LED Torch Cree E17 XM-L T6 digunakan sebagai sumber cahaya karena dapat menghasilkan cahaya hingga 8000 lumen. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan tegangan dan arus rata-rata terbesar mampu dihasilkan oleh variasi dengan kecepatan putaran 1000 rpm yaitu 240,05 mV dan 2,1394  $\mu\text{A}$ .

Kata kunci: *Perovskite Solar Cell* (PSC), Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), Silikon Dioksida ( $\text{SiO}_2$ ), Kalisum Silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ).



## SUMMARY

**Mochamad Andhika Prakasa**, *Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, Juli 2020, Effect of Spin Coating Rotational Speed on Calcium Silicate ( $\text{CaSiO}_3$ ) Layer Thickness and Perovskite Solar Cell Performance. Supervisor: Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng. and Ir. Nurussa'dah, M.T.*

*Currently, energy needs in Indonesia continue to increase in line with the level of life, an example is electricity. Electricity is an important requirement to facilitate human activities. Application of electrical energy continues to increase every year. One of the reason is the inefficient use of electricity, especially in the home sector.*

*One of the solution to this problem is energy permanence using solar cells. This is very possible considering that Indonesia is a tropical country that receives continuous sunshine throughout the year. Perovskite is a new breakthrough as an alternative to making solar panels. The material used as perovskite material is the object of extensive research and is very open to be developed because the efficiency obtained has increased tremendously from 3,8% to 22,1% since 2009.*

*In this research, the perovskite material used was  $\text{CaSiO}_3$  with variations in spin coating rotation speed of 600 rpm, 700 rpm, 800 rpm, 900 rpm, and 1000 rpm. In testing, the CREE E17 XM-L T6 LED Torch flashlight was used as a light source because it can produce light up to 8000 lumens. Based on the test results, the largest average voltage and current can be produced by variations with a rotation speed of 1000 rpm, 240.05 mV and 2.1394  $\mu\text{A}$ .*

*Keywords: Perovskite Solar Cell (PSC), Calcium Carbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), Silicon Dioxide ( $\text{SiO}_2$ ), Calcium Silicate ( $\text{CaSiO}_3$ ).*



## DAFTAR ISI

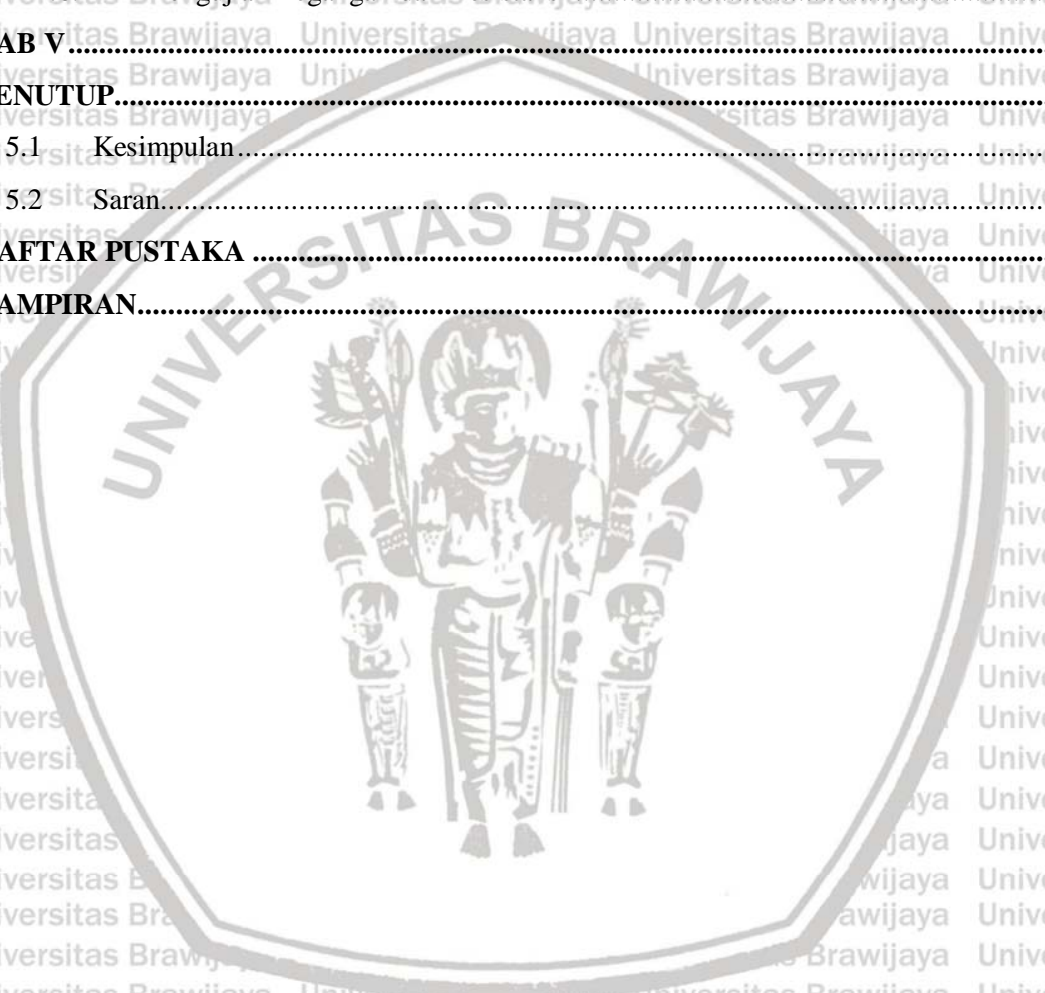
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vi</b>
<b>BAB I</b> .....	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II</b> .....	<b>4</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Spektrum Cahaya.....	4
2.2 Fotometri.....	5
2.2.1 Intensitas Penerangan / Kuat Penerangan.....	6
2.2.2 Fluks Cahaya.....	6
2.2.3 <i>Illuminance</i> (Kuat Pencahayaan).....	6
2.2.4 <i>Luminance</i> .....	7
2.2.5 <i>Luminous Efficiency</i> .....	8
2.3 Senter LED.....	8
2.4 <i>Perovskite Solar Cell</i> .....	9
2.4.1 Definisi <i>Perovskite</i> .....	9
2.4.2 Prinsip Kerja <i>Perovskite</i> .....	10
2.4.3 Konversi Energi Foton.....	10
2.5 Material Penyusun <i>Perovskite</i> .....	11
2.5.1 Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ).....	11
2.5.2 Silikon Dioksida ( $\text{SiO}_2$ ).....	12
2.5.3 Kalsium Silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ).....	13
2.5.4 Struktur Kristal Kalsium Silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ).....	13
2.5.5 Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ ).....	14

2.5.6	Substrat TCO.....	16
2.5.7	Elektrolit.....	16
2.5.8	<i>Counter Elektrode</i> .....	16
2.6	Alat Pendukung.....	17
2.6.1	<i>Magnetic Stirer</i> .....	17
2.6.2	Timbangan Digital Mini.....	17
2.6.3	<i>Furnance</i> .....	18
2.6.4	Lux Meter.....	19
2.6.5	<i>X-Ray Diffractometer</i> .....	19
2.6.6	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> .....	22
<b>BAB III.....</b>		<b>24</b>
<b>METODE PENELITIAN.....</b>		<b>24</b>
3.1	Alat dan Bahan.....	24
3.2	Perancangan dan Pembuatan <i>Perovskite Solar Cell</i> .....	25
3.2.1	Mempersiapkan Substrat Kaca TCO.....	27
3.2.2	Pembuatan Lapisan <i>Perovskite</i> .....	28
3.2.3	Pembuatan Pasta TiO <sub>2</sub> .....	28
3.2.4	Pelapisan Pasta TiO <sub>2</sub> .....	29
3.2.5	Pembuatan Larutan Elektrolit.....	31
3.2.6	Pembuatan Elektroda Lawan.....	31
3.3	Variabel Penelitian.....	31
3.4	Pengujian dan Analisis Data.....	32
<b>BAB IV.....</b>		<b>35</b>
<b>HASIL DAN ANALISIS.....</b>		<b>35</b>
4.1	Pengujian Kalsium Karbonat (CaCO <sub>3</sub> ).....	35
4.2	Pengujian Silikon Dioksida (SiO <sub>2</sub> ).....	36
4.3	Pengujian Titanium Dioksida (TiO <sub>2</sub> ).....	37
4.4	Pengujian Kalsium Silikat (CaSiO <sub>3</sub> ).....	40
4.5	Pengujian Tegangan, Resistansi, dan Arus.....	45
4.5.1	Pengujian Tegangan.....	45
4.5.2	Pengujian Resistansi.....	47





4.5.3	Pengujian Arus.....	48
4.6	Analisis Perhitungan Karakteristik <i>Perovskite Solar Cell</i> .....	49
4.6.1	Pengujian Tegangan dan Resistansi.....	49
<b>BAB V</b>	.....	<b>63</b>
<b>PENUTUP</b>	.....	<b>63</b>
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran.....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>64</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>66</b>



## DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2. 1 Visible Spectrum</i> .....	5
<i>Gambar 2. 2 Senter LED</i> .....	9
<i>Gambar 2. 3 Aliran elektron dan hole pada solar sel</i> .....	11
<i>Gambar 2. 4 Kalsium Karbonat (CaCO<sub>3</sub>) dalam bentuk bubuk</i> .....	12
<i>Gambar 2. 5 Silikon Dioksida</i> .....	12
<i>Gambar 2. 6 Struktur kristal (CaSiO<sub>3</sub>) di gambar kembali dengan program VESTA</i> .....	14
<i>Gambar 2. 7 Titanium Dioksida</i> .....	15
<i>Gambar 2. 8 Kaca TCO</i> .....	16
<i>Gambar 2. 9 Magnetic Stirrer</i> .....	17
<i>Gambar 2. 10 Timbangan digital mini</i> .....	18
<i>Gambar 2. 11 Furnance Vulcan A-550</i> .....	18
<i>Gambar 2. 12 Lux Meter</i> .....	19
<i>Gambar 2. 13 Difraksi Sinar-X oleh atom-atom pada bidang</i> .....	20
<i>Gambar 2. 14 Prinsip kerja XRD</i> .....	21
<i>Gambar 2. 15 X-Ray Diffractor Tipe X'Pert3 Powder</i> .....	22
<i>Gambar 2. 16 Scanning Electron Microscope (SEM) Quanta FEG 650</i> .....	23
<i>Gambar 3. 1 Kaca TCO bagian elektroda kerja (working electrode)</i> .....	25
<i>Gambar 3. 2 Kaca TCO bagian elektroda lawan (counter electrode)</i> .....	25
<i>Gambar 3. 3 Diagram alir pembuatan Perovskite Solar Cell</i> .....	26
<i>Gambar 3. 4 Luas area kerja kaca TCO</i> .....	27
<i>Gambar 3. 5 Ultrasonic Cleaner</i> .....	27
<i>Gambar 3. 6 Diagram alir pembuatan pasta TiO<sub>2</sub></i> .....	29
<i>Gambar 3. 7 Metode spin coating</i> .....	30
<i>Gambar 3. 8 Rangkaian skematik tegangan hubung buka (open circuit)</i> .....	33
<i>Gambar 3. 9 Rangkaian skematik arus hubung singkat (short circuit)</i> .....	33
<i>Gambar 4. 1 Hasil pengujian XRD pada serbuk CaCO<sub>3</sub></i> .....	36
<i>Gambar 4. 2 Hasil pengujian XRD pada serbuk SiO<sub>2</sub></i> .....	37
<i>Gambar 4. 3 Hasil pengujian XRD pada serbuk TiO<sub>2</sub></i> .....	38
<i>Gambar 4. 4 Hasil pengujian lapisan TiO<sub>2</sub> dengan perbesaran (a) 5.000 kali, (b) 20.000 kali, (c) 40.000 kali, (d) 80.000 kali</i> .....	39
<i>Gambar 4. 5 Hasil pengujian serbuk CaSiO<sub>3</sub></i> .....	41
<i>Gambar 4. 6 Hasil pengujian lapisan CaSiO<sub>3</sub> dengan perbesaran (a) 1.000 kali, (b) 10.000 kali, (c) 40.000 kali, dan (d) 80.000 kali</i> .....	42
<i>Gambar 4. 7 Keseluruhan persebaran atom pada lapisan CaSiO<sub>3</sub></i> .....	43
<i>Gambar 4. 8 Pengujian persebaran Energy Dispersive Spectroscopy setiap atom yang terkandung dalam lapisan CaSiO<sub>3</sub> (a) atom kalsium, (b) atom silika, (c) atom oksigen, dan (d) atom natrium</i> .....	44





Gambar 4. 9 Grafik pemetaan elemen lapisan  $\text{CaSiO}_3$ .....44

Gambar 4. 10 Grafik tegangan keluaran *Perovskite Solar Cell*.....47

Gambar 4. 11 Grafik arus keluaran *Perovskite Solar Cell* .....49

Gambar 4. 12 Grafik karakteristik hubungan I-V pada sampel A .....50

Gambar 4. 13 Grafik karakteristik berdasarkan pengujian Voc dan Isc pada sampel A .....51

Gambar 4. 14 Grafik karakteristik hubungan I-V pada sampel B .....52

Gambar 4. 15 Grafik karakteristik berdasarkan pengujian Voc dan Isc pada sampel B .....54

Gambar 4. 16 Grafik Karakteristik Hubungan I-V pada sampel C .....55

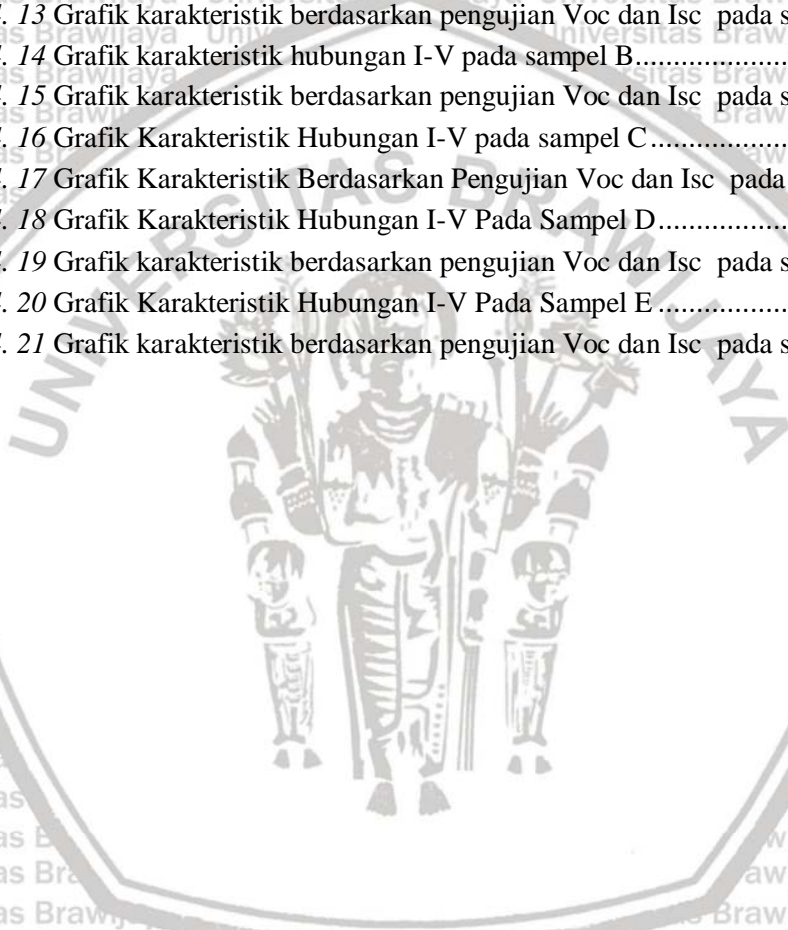
Gambar 4. 17 Grafik Karakteristik Berdasarkan Pengujian Voc dan Isc pada sampel C .....56

Gambar 4. 18 Grafik Karakteristik Hubungan I-V Pada Sampel D .....57

Gambar 4. 19 Grafik karakteristik berdasarkan pengujian Voc dan Isc pada sampel D .....59

Gambar 4. 20 Grafik Karakteristik Hubungan I-V Pada Sampel E .....60

Gambar 4. 21 Grafik karakteristik berdasarkan pengujian Voc dan Isc pada sampel E .....61



**DAFTAR TABEL**

Tabel 3. 1 Alat untuk perancangan *perovskite solar cell*.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 3. 2 Bahan untuk perancangan *perovskite solar cell*.....25

Tabel 4. 1 Persentase masing-masing elemen.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 2 Hasil pengukuran tegangan .....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 3 Hasil pengujian resistensi .....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 4 Hasil pengukuran arus .....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 5 Perhitungan  $V_m$  dan  $I_m$  pada sampel A .....**Error! Bookmark not defined.**

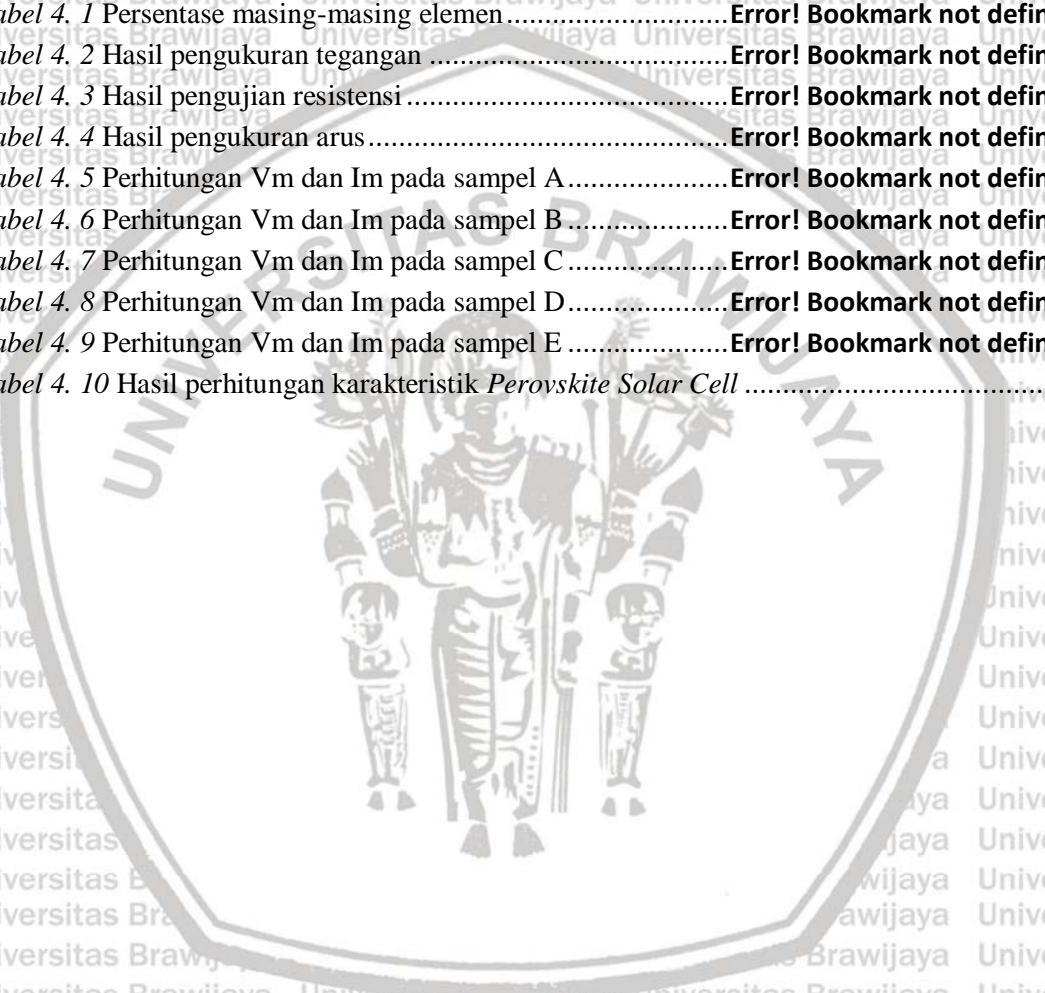
Tabel 4. 6 Perhitungan  $V_m$  dan  $I_m$  pada sampel B .....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 7 Perhitungan  $V_m$  dan  $I_m$  pada sampel C .....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 8 Perhitungan  $V_m$  dan  $I_m$  pada sampel D .....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 9 Perhitungan  $V_m$  dan  $I_m$  pada sampel E .....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 10 Hasil perhitungan karakteristik *Perovskite Solar Cell* .....62





## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi adalah sesuatu yang tidak bisa dihindari dalam kehidupan ini, karena kemajuan teknologi akan berjalan sesuai dengan kemajuan ilmu pengetahuan. Setiap inovasi diciptakan untuk memberi manfaat positif bagi kehidupan manusia. Teknologi juga memberikan banyak kemudahan, serta sebagai cara baru dalam melakukan aktivitas manusia. Salah satu pemanfaatan kemajuan teknologi adalah untuk berinovasi menciptakan sumber energi terbarukan dengan sistem yang canggih.

Energi merupakan salah satu kebutuhan dasar manusia. Saat ini kebutuhan energi di Indonesia terus mengalami peningkatan sejalan dengan tingkat kehidupannya, salah satunya adalah energi listrik. Energi listrik merupakan kebutuhan yang penting untuk membantu mempermudah aktivitas manusia. Perkembangan teknologi menunjukkan bahwa hampir seluruh peralatan rumah tangga, perkantoran, industri dan peralatan – peralatan lainnya menggunakan energi listrik. Penggunaan energi listrik terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Salah satu penyebabnya adalah penggunaan energi listrik yang tidak efisien khususnya pada sektor rumah tangga.

Meninjau pola hidup masyarakat yang terus berkembang, peningkatan kebutuhan energi listrik menjadi sangat sulit dihindari. Di sisi lain peningkatan kebutuhan energi listrik tidak diimbangi dengan peningkatan ketersediaan energi listrik di Indonesia. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah solusi dengan memanfaatkan energi terbarukan.

Salah satu solusi dari masalah tersebut adalah permanenan energi menggunakan sel surya. Hal ini sangat memungkinkan mengingat Indonesia adalah



negara beriklim tropis yang mendapatkan sinar matahari terus menerus sepanjang tahun. Teknologi sel surya dianggap masih terlalu mahal bagi masyarakat, karena instalasinya yang rumit dan dianggap tidak dapat memenuhi kebutuhan energi. *Perovskite* merupakan terobosan baru sebagai alternatif pembuatan panel surya. Material yang digunakan sebagai bahan *perovskite* menjadi objek penelitian yang luas dan sangat terbuka untuk dikembangkan karena efisiensi yang didapatkan mengalami peningkatan yang luar biasa dari 3,8% menjadi 22,1% dengan menggunakan *perovskite* berbasis Organologam Halida ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ). Namun, karena adanya kandungan timbal yang sangat beracun pada jenis *perovskite* tersebut membuat para ilmuwan di seluruh dunia terus berinovasi untuk menghasilkan sel surya dengan material yang aman dan ramah lingkungan untuk menghasilkan efisiensi yang tinggi.

Berakar dari bentuk permasalahan ini, sekelompok peneliti berinovasi menyumbangkan ide penelitian berbasis sel surya dengan memanfaatkan bahan alam yang murah terjangkau, dan berpotensi sebagai energi listrik terbarukan yakni material  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  untuk pembuatan *Perovskite Solar Cell*. PSC berbasis  $\text{CaTiO}_3$  dengan metode variasi putaran *spin coating* berhasil menghasilkan tegangan paling tinggi hingga 391 mV. Tegangan tertinggi ini diperoleh dari *perovskite*  $\text{CaTiO}_3$  dengan kecepatan putaran *spin coating* 1000 rpm (Riyanti, 2019). Lalu dengan metode variasi luas permukaan substrat berhasil menghasilkan tegangan paling tinggi hingga 30,5 mV. Tegangan tertinggi ini diperoleh dari PSC dengan luas permukaan substrat  $4 \text{ cm}^2$  (Damayanthi, 2019). Sementara dengan metode variasi komposisi bahan *perovskite* berhasil menghasilkan tegangan paling tinggi hingga 361,6 mV. Tegangan tertinggi ini diperoleh dari bahan *perovskite* dengan komposisi 10%  $\text{CaCO}_3$  : 90%  $\text{TiO}_2$  (Hedar, 2019).

Berdasarkan dari penelitian sebelumnya di atas, didapatkan informasi bahwa kecepatan putaran *spin coating*, luas permukaan substrat, dan komposisi bahan *perovskite* dapat mempengaruhi hasil tegangan keluaran sel surya berbasis *perovskite*.

Oleh karena itu, penulis membuat *Perovskite Solar Cell* dengan kecepatan putaran



*spin coating* yang bervariasi menggunakan material  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{SiO}_2$  untuk mengetahui apakah material ini dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih baik.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah yang telah diuraikan pada latar belakang, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses perancangan *Perovskite Solar Cell* dengan menggunakan  $\text{CaSiO}_3$ ?
2. Bagaimana pengaruh variasi sumber cahaya terhadap arus dan tegangan keluaran pada *Perovskite Solar Cell*?
3. Bagaimana Pengaruh Kecepatan Putaran *Spin Coating* Dengan Bahan *Perovskite* Kalsium Silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) Terhadap Performansi *Pervoskite Solar Cell*?

### 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan pada permasalahan masalah yang telah dirumuskan, maka dapat disusun batasan masalah sebagai berikut:

1. Bahan *perovskite* yang digunakan adalah  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{SiO}_2$  yang berbentuk serbuk.
2. Proses pelapisan pasta  $\text{TiO}_2$  menggunakan metode *spin coating*.
3. Sumber cahaya yang digunakan untuk pengujian adalah Senter Chip LED Torch Cree E17 XM-L T6 Taffware Magnet COB Zoom 2019.
4. Kaca TCO yang digunakan memiliki ukuran  $2,5 \times 2,5 \text{ cm}^2$  dengan luas area kerja yang digunakan adalah  $2 \times 2,5 \text{ cm}^2$ .
5. Parameter yang diuji antara lain arus, tegangan keluaran, daya keluaran, dan efisiensi dari *perovskite solar cell*.
6. Reaksi kimia yang terjadi selama proses perancangan dan pengujian tidak dikaji lebih dalam.

#### 1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui proses perancangan *Perovskite Solar Cell* dengan menggunakan  $\text{CaSiO}_3$ .
2. Mengetahui pengaruh variasi sumber cahaya terhadap arus dan tegangan keluaran pada *Perovskite Solar Cell*.
3. Mengetahui Pengaruh Kecepatan Putaran *Spin Coating* Dengan Bahan *Perovskite* Kalsium Silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) Terhadap Performansi *Pervoskite Solar Cell*.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, maka diharapkan dapat menjadi variasi dan alternatif pembuatan *perovskite solar cell* untuk meningkatkan efisiensi solar sel sehingga di masa yang akan datang dapat diterapkan sebagai devais untuk pemanfaatan sumber energi matahari yang lebih tinggi dan dapat menggantikan energi fosil.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Rencana penelitian perancangan *perovskite solar cell* yang akan dilakukan tentunya membutuhkan teori dan sumber literatur penunjang mengenai berbagai hal yang berkaitan dengan penelitian. Teori dan sumber literatur penunjang dalam penelitian dibutuhkan untuk mempermudah pemahaman mengenai prinsip kerja, bahan dan alat yang digunakan, serta beberapa teori pendukung lainnya. Teori penunjang yang akan dibahas lebih lanjut antara lain spektrum cahaya, sumber cahaya yang digunakan dalam pengujian, definisi *perovskite solar cell*, bahan material penyusun *perovskite*, struktur dan prinsip kerja *perovskite*, serta alat-alat pendukung proses perancangan *perovskite solar cell*.

### 2.1 Spektrum Cahaya

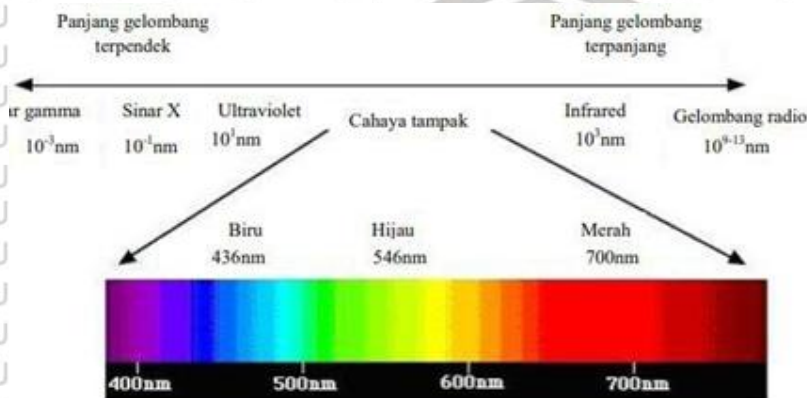
Cahaya merupakan sebagian dari gelombang elektromagnetik yang dapat dilihat mata dengan komponennya yaitu cahaya merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila dan ungu. Berdasarkan penelitian-penelitian lebih lanjut, cahaya merupakan suatu gelombang elektromagnetik yang dalam kondisi tertentu dapat berkelakuan seperti suatu partikel. Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang tidak memerlukan medium untuk merambat, sehingga cahaya dapat merambat tanpa memerlukan medium. Oleh karena itu, cahaya matahari dapat sampai ke bumi dan memberi kehidupan di dalamnya. Cahaya merambat dengan sangat cepat, yaitu dengan kecepatan  $3 \times 10^8$  m/s, artinya dalam waktu satu sekon cahaya dapat menempuh jarak 300.000.000 m atau 300.000 km. (Sunardi, 2012). Panjang gelombang cahaya berada pada kisaran antara 0,2  $\mu\text{m}$  sampai dengan 0,5  $\mu\text{m}$ , yang bersesuaian dengan frekuensi antara  $6 \times 10^{15}$  Hz hingga  $20 \times 10^{15}$  Hz (Jati, 2010).

Dua indikator cahaya yang paling jelas dapat langsung dideskripsikan dengan teori gelombang untuk cahaya adalah intensitas (atau kecerahan) dan warna. Intensitas cahaya merupakan energi yang dibawanya persatuan waktu dan sebanding dengan kuadrat amplitudo gelombang. Warna cahaya berhubungan dengan panjang





gelombang atau frekuensi cahaya tersebut. Cahaya tampak yaitu cahaya yang sensitif pada mata kita jatuh pada kisaran 400-750 nm. Kisaran ini dikenal sebagai spektrum tampak, dan di dalamnya terdapat warna ungu sampai merah (Giancoli, 2001).



Gambar 2. 1 Visible Spectrum

Sumber: Suhendra, 2011.

## 2.2 Fotometri

Cahaya matahari memancarkan gelombang elektromagnetik dalam rentang sinar ultraviolet, cahaya tampak hingga inframerah. Pengukuran cahaya matahari disebut dengan radiometri. Sedangkan fotometri merupakan pengukuran dalam rentang cahaya tampak. Cahaya tampak adalah pancaran energi yang membuat retina mata menjadi sensitif. Kita dapat membedakan intensitas antara dua sumber cahaya, yaitu dengan menghitung jumlah daya (watt ataupun Joule/s) yang dipancarkan oleh cahaya tampak (Andriana, 2015).

Dalam pengukuran cahaya tampak, terdapat beberapa besaran fotometri, di antaranya intensitas penerangan (candela), fluks cahaya (lumen), *illuminance* (lux) serta *luminance* (candela/m<sup>2</sup>). Jumlah fluks pancaran yang sama memiliki pengaruh yang berbeda untuk mata pada setiap warna yang berbeda.



### 2.2.1 Intensitas Penerangan / Kuat Penerangan

Intensitas penerangan (*luminous intensity*) adalah banyaknya cahaya yang dipancarkan oleh sebuah sumber titik pada setiap satuan sudut ruang (steradian).

Intensitas penerangan memiliki symbol  $I$  dengan satuan candela. Berikut ini merupakan perhitungan untuk mencari nilai intensitas penerangan:

$$I = \frac{dF}{d\omega}$$

Keterangan:

$I$  = Intensitas Cahaya (Cd)

$dF$  = Fluks Cahaya (Lm)

$d\omega$  = Sudut Ruang

### 2.2.2 Fluks Cahaya

Fluks cahaya (*luminous flux*) adalah arus cahaya yang dipancarkan oleh sebuah sumber. *Luminous flux* biasa digunakan untuk mengukur *output* cahaya yang tampak pada lampu. Persamaan dari *luminous flux* adalah sebagai berikut (Sarojo, 1981):

$$F = 4\pi I$$

Keterangan:

$F$  = Fluks Cahaya (Lm)

$\pi = 3.14$

$I$  = Kuat Penerangan (Cd)

### 2.2.3 Illuminance (Kuat Pencahayaan)

Ketika sinar cahaya mencapai permukaan padat, proses ini dikenal sebagai *illuminance* atau kuat pencahayaan. Dengan cara yang sama kita memiliki lumens untuk mengukur *luminous flux*, kita perlu pengukuran untuk jumlah iluminasi.

*Illuminance* juga disebut sebagai derajat pancaran, yaitu banyaknya fluks cahaya yang jatuh tegak lurus pada satuan luas permukaan. Persamaan dari intensitas penerangan atau iluminasi cahaya adalah sebagai berikut (National Framework, 2009):

$$E = \frac{F}{A}$$

Keterangan:

$E$  = Iluminasi / Tingkat Pencahayaan / Kuat Penerangan (lux)

$F$  = Fluks Cahaya (Lm)

$A$  = Luas Permukaan ( $m^2$ )

Dalam SI atau Sistem International unit, unit dasar dari pencahayaan adalah Lumen per meter persegi atau Lux.

#### 2.2.4 *Luminance*

*Luminance* merupakan banyaknya cahaya yang diteruskan atau dipantulkan oleh suatu obyek. Apabila suatu obyek memiliki permukaan yang gelap, maka cahaya yang diserap semakin banyak. Begitupula sebaliknya, bila suatu obyek memiliki permukaan terang, maka cahaya yang dipantulkan semakin banyak. *Luminance* juga disebut derajat penerangan (*brightness*). Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan untuk mencari nilai derajat penerangan.

$$L = \frac{I}{A}$$

Keterangan:

$L$  = Luminasi ( $Cd/m^2$ )

$I$  = Intensitas Cahaya (Cd)

$A$  = Luas Permukaan ( $m^2$ )



### 2.2.5 Luminous Efficiency

Efisiensi *luminous* adalah rasio antara fluks cahaya yang dihasilkan suatu sumber cahaya listrik terhadap daya listrik (P) yang digunakan sebagai masukan dalam satuan Watt (Sears, 1949). Persamaan dari efisiensi luminous adalah sebagai berikut:

$$\eta \frac{F}{P}$$

Keterangan:

$\eta$  = Efisiensi Luminus (Lm/watt)

$F$  = Fluks Cahaya (Lm)

$P$  = Daya Listrik (Watt)

### 2.3 Senter LED

Selain menggunakan cahaya matahari, pada penelitian ini akan digunakan senter LED sebagai media pengukuran *perovskite*. Senter LED yang digunakan adalah Senter Chip LED Torch Cree E17 XM-L T6 Taffware Magnet COB Zoom 2019. Senter LED ini mempunyai 2 jenis LED yaitu Cree XM-L T6 pada bagian depan dan LED COB pada bagian samping yang berfungsi seperti lampu lantera atau torch light. Senter LED ini dilengkapi dengan sebuah LED CREE XM-L T6 yang dapat menghasilkan cahaya hingga 8000 lumens. Selain XM-L T6 pada bagian depan juga terdapat LED COB yang tersembunyi di samping body senter ini. Senter LED ini menggunakan sebuah baterai 18650 atau 3 buah baterai AAA sehingga sangat hemat energy dan mudah untuk diganti. Senter ini memiliki 5 mode yaitu high, medium, low, strobe dan SOS.



Gambar 2. 2 Senter LED

Sumber: Tokopedia

#### 2.4 Perovskite Solar Cell

*Perovskite* merupakan alternatif sekaligus terobosan baru DSSC. *Dye-Sensitized Solar Cell* atau yang sering disebut dengan DSSC yang pertama kali ditemukan oleh seorang profesor bernama M. Grätzel pada tahun 1991 (O'Regan & Grätzel, 1991). Sejak pertama kali ditemukan, DSSC menjadi salah satu topik penelitian yang dilakukan oleh para peneliti di seluruh dunia. DSSC disebut juga sebagai sel surya generasi ketiga setelah sel surya konvensional dan sel surya berbasis film tipis (*thin film*).

##### 2.4.1 Definisi *Perovskite*

*Perovskite* merupakan energi alternatif yang memanfaatkan sinar matahari dengan biaya fabrikasi yang murah, mudah, serta ramah lingkungan. Bahan material dari perovskit memiliki struktur kimia  $ABX_3$ . Bahan baku yang digunakan, dan metode fabrikasi, keduanya berbiaya rendah. Koefisien penyerapan tinggi memungkinkan film sangat tipis yaitu sekitar 500 nm untuk menyerap spektrum matahari yang maksimal. Fitur ini dikombinasikan menghasilkan kemungkinan untuk menciptakan biaya rendah, efisiensi tinggi, modul surya tipis, ringan dan fleksibel.



#### 2.4.2 Prinsip Kerja Perovskite

Material *perovskite* bertindak sebagai elektrolit untuk menyerap cahaya matahari yang akan mengeksitasi *hole* (muatan positif) dan elektron (muatan negatif).

Elektron akan menuju *Electron Transport Material* (ETM) yang bertindak sebagai *n-type* semikonduktor. Material ETM yang umumnya digunakan adalah logam oksida seperti  $\text{TiO}_2$  atau  $\text{ZnO}$ . Sementara *hole* akan menuju *Hole Transport Material* (HTM) yang bertindak sebagai *p-type* semikonduktor. Material HTM yang umumnya digunakan adalah material organik seperti Spiro-OMeTAD atau FDA (Marinova, 2016).

Dalam *perovskite solar cell*, terdapat katoda dan anoda. Logam Emas (Au) atau Perak (Ag) merupakan katoda yang umumnya digunakan. Sedangkan *Indium Tin Oxide* (ITO) atau *Fluorine Tin Oxide* (FTO) merupakan anoda yang sering digunakan. Material *perovskite* bersifat higroskopis yang ketika kontak dengan uap air dan cahaya matahari akan menghasilkan gas hidrogen bukan listrik. Sehingga dalam memproduksi material *perovskite* membutuhkan *glove box* untuk menjaga kelembaban (Pransanthkumar, 2016).

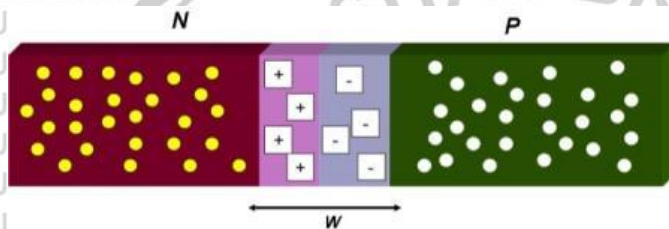
#### 2.4.3 Konversi Energi Foton

Sinar matahari yang terpancar mengandung energi foton yang dapat mengeksitasi elektron dari semikonduktor tipe *n* dan menyebabkan adanya aliran elektron. Aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. *Perovskite solar cell* pada dasarnya terdiri dari sambungan bahan semikonduktor tipe *p* dan *n* (*p-n junction*). Pada sisi *p-junction* terdapat kelebihan *hole*. Sedangkan pada sisi *n-junction* terdapat kelebihan elektron. Sinar matahari yang mengenai permukaan bahan solar sel (*adsorber*) akan diserap, dipantulkan, atau dilewatkan begitu saja. Hanya foton dengan level energi tertentu yang dapat mengeksitasi elektron dari pita valensi menuju pita konduksi. Level energi ini disebut energi *band-gap* yang didefinisikan sebagai jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengeluarkan elektron dari ikatan kovalennya sehingga terjadilah aliran arus listrik. Terlepasnya elektron ini meninggalkan *hole* pada daerah



yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi *electron-hole* yakni, terbentuknya pasangan elektron dan *hole* akibat cahaya matahari.

Adanya perpindahan elektron menuju *p-junction* dan *hole* menuju *n-junction* menyebabkan *p-junction* kekurangan jumlah *hole* dan *n-junction* kekurangan jumlah elektron. Daerah *p-junction* menjadi bermuatan negatif, sedangkan *n-junction* bermuatan positif. Daerah negatif dan positif ini adalah daerah deplesi (W).



Gambar 2. 3 Aliran elektron dan *hole* pada solar sel

Sumber: Rahmat Adhi Wibowo, 2008

Dikarenakan adanya muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka akan timbul medan listrik internal (E).

## 2.5 Material Penyusun Perovskite

### 2.5.1 Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )

Batu kapur merupakan bahan alam yang banyak terdapat di Indonesia. Batu kapur adalah batuan padat yang mengandung banyak kalsium karbonat (Lukman et al., 2012). Mineral karbonat yang umum ditemukan bergabung dengan batu kapur adalah aragonite ( $\text{CaCO}_3$ ), yang merupakan mineral metastable karena pada kurun waktu tertentu dapat berubah menjadi kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) (Sucipto et al., 2007). Bentuk morfologi dan fase kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) terkait dengan kondisi sintesis seperti, konsentrasi reaktan, suhu, waktu aging dan zat adiktif alam (Kirboga dan Oner, 2013).





Gambar 2. 4 Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dalam bentuk bubuk

Sumber: Anwardah, 2018

### 2.5.2 Silikon Dioksida ( $\text{SiO}_2$ )

Senyawa kimia silikon dioksida yang dikenal dengan nama silika memiliki rumus kimia  $\text{SiO}_2$ . Silika ( $\text{SiO}_2$ ) merupakan jenis logam oksida golongan IV yang memiliki ketahanan abrasi yang baik, isolator listrik dan stabilitas termal yang tinggi, silika ( $\text{SiO}_2$ ) memiliki ikatan koordinasi tetrahedral dengan satu atom silikon (Si) di tengah dan empat atom oksigen (O) disekelilingnya (Sisman et al., 2011).



Gambar 2. 5 Silikon Dioksida

Sumber: Ridwan Riyanto, 2019



### 2.5.3 Kalsium Silikat ( $\text{CaSiO}_3$ )

Kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) sering disebut juga dengan *wollastonite*, kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) dihasilkan dari mineral alami atau secara buatan. Kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) ini dapat disintesis dari kalsium karbonat ( $\text{CaSiO}_3$ ) dan silikon oksida ( $\text{SiO}_2$ ) dengan komposisi 48,3 % kalsium karbonat ( $\text{CaSiO}_3$ ) dan 51,7 % silika ( $\text{SiO}_2$ ) (Yazdani et al., 2010). Kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) memiliki kandungan kalsium (Ca), silikon (Si), dan oksigen (O<sub>2</sub>) (Phuttawong et al., 2015).

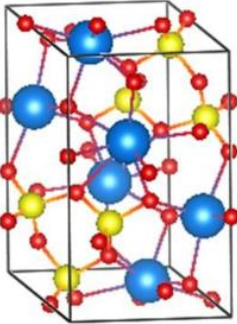
Kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) memiliki karakteristik yaitu sifat mekanik seperti susut massa yang kecil yaitu 1,1 %, (Harabi and Chehlatt, 2013), modulus young sebesar 117 GPa, kuat tekan sebesar 1080 MPa dan kekuatan lentur sebesar 215 MPa (Kokubo, 1991), serta memiliki sifat fisik seperti ukuran partikel rata-rata 29-50 nm (Chakradhar et al., 2006), memiliki nilai densitas pada rentang 1,98 gr/cm<sup>3</sup> (Shukur et al., 2014) hingga 3,1 gr/cm<sup>3</sup> (Noor et al., 2015) dan titik leleh pada suhu 1544 °C (Essene, 1974). Selain itu kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) juga memiliki kombinasi sifat seperti stabilitas termal, dan ekspansi termal rendah (Chakradhar et al., 2006), sehingga berguna dalam bidang otomotif, peralatan rumah dan konstruksi (Luyt et al., 2009). Biokeramik kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) juga digunakan sebagai biomaterial dalam industri medis untuk tulang buatan dan akar gigi karena kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) memiliki sifat bioaktivitas dan biokompatibilitas yang baik (Wang et al., 2008; Jagadale et al., 2013). Kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) juga dikenal sebagai bahan regenerasi tulang karena memiliki kemampuan berikatan dengan tulang yang baik (Sun et al., 2013), selain itu potensial sebagai akar gigi (Saadaldin and Rizkalla, 2014) dan regenerasi sel (Zhong et al., 2011).

### 2.5.4 Struktur Kristal Kalsium Silikat ( $\text{CaSiO}_3$ )

Kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) memiliki struktur polimorf yang terdiri atas *pseudowollastonite* ( $\alpha\text{-CaSiO}_3$ ) dan *parawollastonite* ( $\beta\text{-CaSiO}_3$ ), kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) akan berubah menjadi *parawollastonite* ( $\beta\text{-CaSiO}_3$ ) ketika dipanaskan pada rentang suhu 800 °C hingga suhu 1150 °C dan kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) dapat berubah



bentuk menjadi *pseudowollastonite* ( $\alpha$ - $\text{CaSiO}_3$ ) di suhu  $1125^\circ\text{C}$  yang kemudian melebur pada suhu  $1544^\circ\text{C}$  (Ismail et al., 2016).



Gambar 2. 6 Struktur kristal ( $\text{CaSiO}_3$ ) di gambar kembali dengan program VESTA

Sumber: Momma dan Izumi, 2011.

Gambar diatas menunjukkan struktur kristal dari kalsium silikat atau yang dikenal dengan rumus kimia  $\text{CaSiO}_3$ . Terdiri atas atom Ca (kalsium) yang ditandai dengan warna biru, atom Si (silikon) ditandai dengan warna kuning, dan atom O (oksigen) yang ditandai dengan warna merah. Kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) memiliki sistem kristal *triclinic* dimana memiliki *space group* P-1 dengan nomor *space group* yaitu 2, dengan memiliki jari-jari atom Ca, Si, dan O berturut-turut yaitu  $1,97 \text{ \AA}$ ,  $1,18 \text{ \AA}$ , dan  $0,74 \text{ \AA}$ , dan memiliki parameter kisi  $a = 6,695 \text{ \AA}$ ,  $b = 9,257 \text{ \AA}$ ,  $c = 6,666 \text{ \AA}$  serta nilai sudut  $\alpha = 86,5^\circ$   $\beta = 76,133^\circ$  dan  $\gamma = 70,383^\circ$  (Trojer, 1969).

### 2.5.5 Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ )

$\text{TiO}_2$  merupakan bahan semikonduktor yang sudah dikenal luas memiliki sifat optik yang baik.  $\text{TiO}_2$  yang ada di alam umumnya mempunyai tiga fasa yaitu rutil, anatase, dan brookite (Romli dan Gontjang, 2013). Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) juga bisa disebut Titania atau Titanium (IV) oksida merupakan bentuk oksida dari titanium secara kimia dapat dituliskan  $\text{TiO}_2$ . Senyawa ini dimanfaatkan secara luas dalam bidang anatas sebagai pigmen, bakterisida, pasta gigi, fotokatalis dan elektroda dalam sel surya. Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) memiliki tiga fase struktur kristal, yaitu anatase, rutil, brookite. Akan tetapi hanya anatas dan rutil saja yang keberadaanya di alam



cukup stabil. Terbentuknya fasa anatase maupun fasa rutil pada struktur polikristalin  $\text{TiO}_2$  bergantung pada transisi fasa kristalin  $\text{TiO}_2$ .

Kemampuan fotoaktivitas semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dipengaruhi oleh morfologi, luas permukaan, kristanilitas dan ukuran partikel. Anatase diketahui sebagai kristal titania yang lebih fotoaktif daripada rutil. Hal ini disebabkan harga  $E_g$   $\text{TiO}_2$  jenis anatase yang lebih tinggi yaitu sebesar 3,2 eV sedangkan rutil sebesar 3,0 eV. Harga  $E_g$  yang lebih tinggi akan menghasilkan luas permukaan aktif yang lebih besar sehingga menghasilkan fotoaktivitas yang lebih efektif. Dalam aplikasinya pada fotokatalis, umumnya digunakan  $\text{TiO}_2$  pada fasa anatase karena mempunyai kemampuan fotovolatilik yang tinggi. Selain itu, untuk meningkatkan kinerja sistem, struktur nanokristal dan juga luas permukaan yang tinggi dari  $\text{TiO}_2$  adalah faktor yang penting untuk meningkatkan densitas dan transfer elektron (H. Zhang dan J.F. Banfield, 2000 dalam Henni, dkk. 2012).  $\text{TiO}_2$  hanya mampu menyerap sinar ultraviolet (350-380 nm). Untuk meningkatkan serapan spektra  $\text{TiO}_2$  di daerah tampak, dibutuhkan lapisan zat warna yang akan menyerap cahaya tampak. Zat warna tersebut berfungsi sebagai sensitizer (Vitriyani & Gatut, 2013).



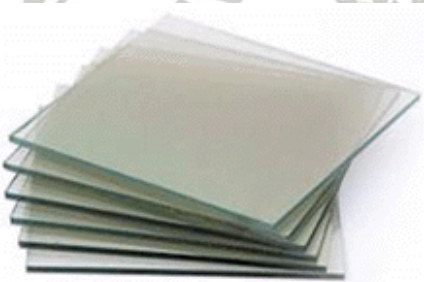
Gambar 2. 7 Titanium Dioksida

Sumber: Dewi Gunawan, 2019



### 2.5.6 Substrat TCO

Substrat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah kaca TCO. TCO (*Transparent Conductive Oxide*) merupakan kaca transparan konduktif. Material substrat itu sendiri berfungsi sebagai badan dari sensor yang merupakan tempat mengalir muatan. Material penyusun TCO adalah *flourinedoped tin oxide* (Sn:F atau FTO) dan *Indium Tin Oxide* (ITO). Hal ini dikarenakan dalam proses pelapisan material kepada substrat, diperlukan proses sintering pada temperatur 400°-500°C dan kedua material tersebut merupakan pilihan yang cocok karena tidak mengalami defect pada range temperatur tersebut (Wijayanti, 2010).



Gambar 2. 8 Kaca TCO

Sumber: Kaca Konduktif, 2011

### 2.5.7 Elektrolit

Elektrolit digunakan untuk menggantikan kehilangan elektron pada pita HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) dari *dye* akibat eksitasi dari pita HOMO ke pita LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) karena penyerapan cahaya tampak dilakukan oleh *dye*. Elektrolit juga menerima elektron pada sisi *counter electrode* (Khoiruddin, 2012). Elektrolit yang digunakan adalah iodide (I-) dan triiodide (I<sub>3</sub>-) yang memiliki sifat stabil dan *reversibility* yang baik.

### 2.5.8 Counter Elektrode

*Counter elektrode* digunakan dalam proses katalis untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada substrat. Karena luas permukaannya yang tinggi, *counter*-elektroda karbon mempunyai keaktifan reduksi triiodide yang menyerupai

elektroda platina. Umumnya material yang sering digunakan yaitu platina (Hastuti & Ningsih, 2012).

## 2.6 Alat Pendukung

### 2.6.1 *Magnetic Stirrer*

*Magnetic stirrer* berfungsi untuk menjadikan suatu larutan menjadi homogen dengan pengadukan. Dalam alat ini terdapat *plate* yang dapat dipanaskan sehingga mampu mempercepat proses homogenisasi. Tipe *Magnetic Strirer* yang digunakan adalah *Thermo Scientific* dari *Cimarec* yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2. 9 *Magnetic Stirrer*

Sumber: Tokopedia

### 2.6.2 *Timbangan Digital Mini*

Timbangan digital mini adalah alat yang digunakan untuk menimbang bahan dan material penyusun *perovskite solar cell*.





Gambar 2. 10 Timbangan digital mini

Sumber : Luxvory, 2018

### 2.6.3 Furnance

*Furnace* merupakan alat yang digunakan untuk pemanasan, dalam *furnace* terdapat ruang refraktori yang digunakan untuk menempatkan objek yang akan dipanaskan. Ruang tersebut dibangun dengan bahan isolasi sehingga dapat menahan panas pada suhu operasi yang tinggi (Damayanti, 2013). *Furnace* digunakan untuk proses pemanasan  $\text{CaSiO}_3$ . Pada proses ini dibutuhkan suhu  $900^\circ\text{C}$ .



Gambar 2. 11 Furnance Vulcan A-550

Sumber: Pacific Combustion, 2018



### 2.6.4 Lux Meter

Alat ukur cahaya (lux meter) adalah alat yang digunakan untuk mengukur besarnya intensitas cahaya di suatu tempat.



Gambar 2. 12 Lux Meter

Sumber: PCE Instruments, 2019

### 2.6.5 X-Ray Diffractometer

Ukuran dari butir merupakan parameter mikrostruktur terpenting untuk menganalisis material nanokristal. Terdapat beberapa macam teknik pengukuran untuk mengetahui ukuran butir, antara lain *transmission electron microscopy* (TEM), *scanning probe microscopy*, dan *x-ray diffraction* (XRD). Jika dibandingkan dengan alat lainnya, XRD memiliki kelebihan yaitu dengan preparasi yang lebih sederhana dan informasi dari lebar setengah puncak dapat diketahui besar rata-rata dari ukuran kristalit.

Apabila suatu bahan dikenai sinar-X maka intensitas sinar-X yang ditransmisikan lebih kecil dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh bahan dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar yang dihantarkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasenya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasenya sama. Berkas sinar-X yang saling menguatkan disebut sebagai berkas difraksi. Persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan merupakan berkas difraksi



dikenal sebagai Hukum Bragg. Hukum Bragg menyatakan bahwa perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X harus merupakan kelipatan panjang gelombang, secara matematis dirumuskan:

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

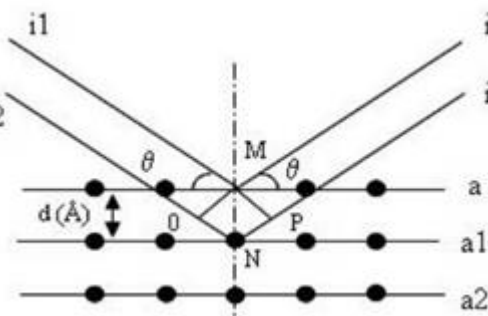
Keterangan:

$n$  = Urutan Difraksi

$\lambda$  = Panjang Gelombang

$d$  = Jarak Antar Bidang Kristal

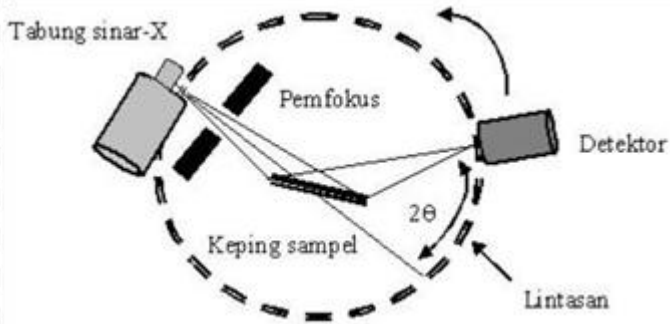
$\theta$  = Sudut Difraksi



Gambar 2. 13 Difraksi Sinar-X oleh atom-atom pada bidang

Sumber: Sartono, 2006

Salah satu teknik yang digunakan menentukan struktur suatu padatan kristalin adalah metode difraksi Sinar-X serbuk (*X-Ray Powder Diffraction*) seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. 14 Prinsip kerja XRD

Sumber: Rolan Rusli, 2011

Sampel yang akan diuji ditempatkan pada suatu plat kaca. Sinar-X diperoleh dari elektron yang keluar dari filamen panas dalam keadaan vakum pada tegangan tinggi, dengan kecepatan tinggi menumbuk permukaan logam, biasanya tembaga (Cu). Sinar X tersebut menembak sampel, kemudian mendifraksikan sinar ke segala arah sesuai dengan Hukum Bragg pada persamaan 6.

Bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Rekaman data analog berupa grafik garis-garis yang terekam per menit sinkron, dengan detektor dalam sudut  $2\theta$  per menit, sehingga sumbu-x setara dengan sudut  $2\theta$ . Sedangkan rekaman digital menginformasikan intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik. Pola difraktogram yang dihasilkan berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relatif bervariasi sepanjang nilai  $2\theta$  tertentu. Besarnya intensitas relatif dari deretan puncak-puncak tersebut bergantung pada jumlah atom atau ion yang ada, dan distribusinya di dalam sel satuan material tersebut. Pola difraksi setiap padatan kristalin sangat khas, yang bergantung pada kisi kristal, unit parameter dan panjang gelombang sinar-X yang digunakan. Dengan demikian, sangat kecil kemungkinan dihasilkan pola difraksi yang sama untuk suatu padatan kristalin yang berbeda (Warren, 1969).



*X-Ray diffractometer* yang digunakan untuk penelitian ini adalah XRD dengan tipe X'Pert<sup>3</sup> yang dilengkapi dengan elektronik kontrol on-board yang baru. X'Pert<sup>3</sup> Powder adalah sistem difraksi sinar-X terbaru berdasarkan platform X'Pert yang diperbarui sepenuhnya.



Gambar 2. 15 X-Ray Diffractor Tipe X'Pert3 Powder

Sumber: Lab Compare, 2009

#### 2.6.6 Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah alat untuk melihat benda yang tak terlihat / kasat mata dari ukuran mikroskop ( $1\text{m} = 10^{-6}\text{m}$ ) hingga nanospace ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ ). Dengan menggunakan sinar elektron terfokus, SEM dapat memeperlihatkan secara detail dan kompleks struktur dan ketebalan suatu benda yang dapat diakses dengan mikroskop cahaya. SEM dapat memperbesar objek dari sekitar 10 kali hingga 300.000 kali.

Pada dasarnya, prinsip kerja SEM yaitu dengan memancarkan sinar elektron yang dihasilkan oleh pistol elektron. Sinar elektron tersebut dipancarkan menuju lensa magnetik yang berfungsi untuk memfokuskan elektron menuju ke sampel. Sinar elektron yang terfokus akan memindai seluruh sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai (*scanning coil*). Ketika sinar elektron mengenai sampel, maka sampel akan

mengeluarkan elektron baru yang kemudian akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor.

SEM menyediakan fasilitas yang melebihi mikroskop cahaya di tiga bidang utama, yaitu:

1. Resolusi pada perbesaran yang tinggi
2. *Depth of field* / topografi
3. Mikroanalisis

Pada penelitian ini menggunakan SEM Quanta FEG 650 di Laboratorium Sentral Ilmu Hayati Universitas Brawijaya, seperti yang terlihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2. 16 Scanning Electron Microscope (SEM) Quanta FEG 650

Sumber: Quanta SEM, 2019

SEM ini dapat dioperasikan dalam mode vakum tinggi, vakum rendah, dan mode *full enviromental* (ESEM). Oleh karena itu, ia dapat menggambarkan sebagian besar bahan material dan digunakan untuk analisis unsur. Kelebihan dari SEM Quanta FEG 650 adalah memungkinkan penggunaan sampel seminimal mungkin. Detektor pencitraan yang tersedia meliputi elektron sekunder (SE), *backscattered electron* (BSE), *cathodoluminescence* (CL) dan *electron backscattered diffraction* (EBSD).



## BAB III METODE PENELITIAN

Penyusunan proposal penelitian ini bersifat aplikatif yaitu perencanaan dan perealisasiian sistem. Langkah-langkah yang diperlukan untuk merealisasikan sistem yang dibuat adalah menyiapkan alat dan bahan, membuat larutan  $\text{CaSiO}_3$  hasil dari sintesis  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{SiO}_2$ , membuat pasta  $\text{TiO}_2$ , pengujian dan analisis, serta penarikan kesimpulan.

### 3.1 Alat dan Bahan

Dalam proses perancangan *perovskite solar cell*, diperlukan alat dan bahan sebagai berikut.

Tabel 3.1 Alat untuk perancangan *perovskite solar cell*

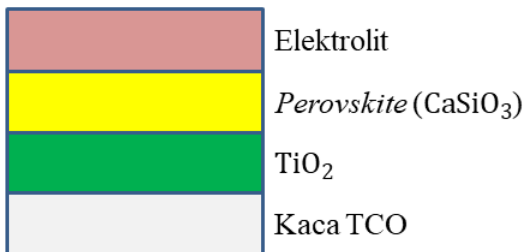
Alat	
1. Gelas Ukur	7. <i>Spin Coater</i>
2. Pipet	8. <i>Furnance</i>
3. Cawan Porselen	9. Multimeter
4. <i>Breaker Glass</i>	10. Luxmeter
5. Penjepit Kertas	11. <i>Ultrasonic Cleaner</i>
6. Timbangan digital mini	12. <i>Magnetic Stirrer</i>

Tabel 3. 1 Bahan untuk perancangan *perovskite solar cell*

Bahan	
1. Kaca TCO	6. Aquades
2. Serbuk Kalsium Karbonat	7. Polyvinyl Alcohol
3. Serbuk Silikon Dioksida	8. Pottasium Idodide (KI)
4. Serbuk Titanium Dioksida	9. Lilin
5. Ethanol	10. Iodine

### 3.2 Perancangan dan Pembuatan *Perovskite Solar Cell*

Perancangan dan pembuatan alat dalam penelitian ini dimulai dengan perancangan desain *perovskite*. Pada proses perancangan, terdapat dua buah kaca TCO yang berfungsi sebagai elektroda kerja (*working electrode*) dan elektroda lawan (*counter electrode*). Susunan kedua TCO tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 3. 1 Kaca TCO bagian elektroda kerja (*working electrode*)



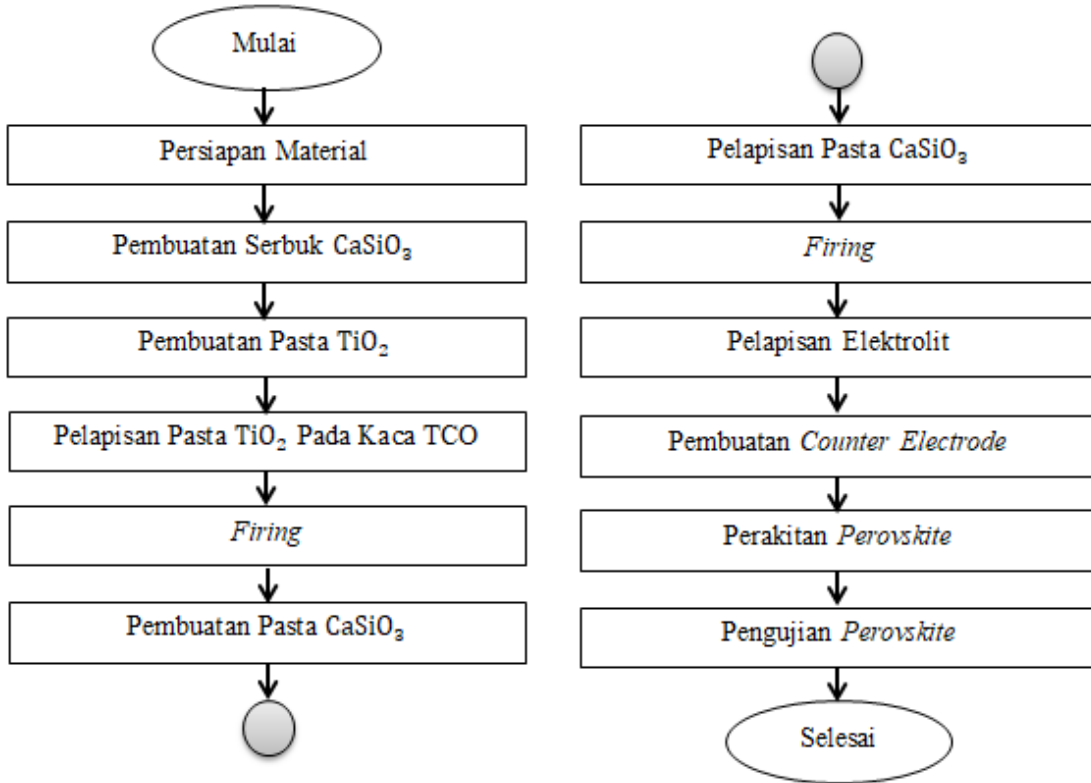
Gambar 3. 2 Kaca TCO bagian elektroda lawan (*counter electrode*)





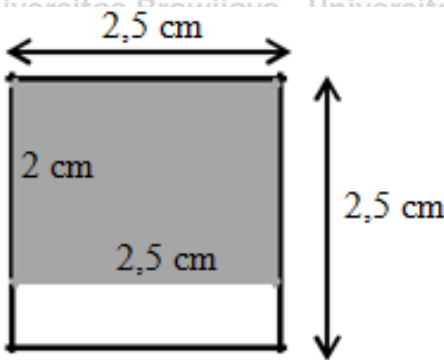
Dalam hal ini perovskite dibuat atas beberapa lapisan seperti lapisan DSSC, dengan luasan kaca TCO yang digunakan sebesar  $2 \times 2,5 \text{ cm}^2$ .

Proses perancangan dan pembuatan *perovskite solar cell* secara keseluruhan dapat dijelaskan dalam diagram alir berikut.



Gambar 3. 3 Diagram alir pembuatan *Perovskite Solar Cell*

Pada desain perancangan *perovskite solar cell*, untuk menyatukan kedua kaca tersebut, dibutuhkan penjepit kertas agar kedua kaca tidak bergeser. Ukuran kaca TCO yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah  $2,5 \times 2,5 \text{ cm}^2$  dan luasan area kerja yang digunakan adalah  $2 \times 2,5 \text{ cm}^2$ . Perancangan kaca TCO dapat dilihat pada Gambar 3.4, dimana bagian abu-abu merupakan bagian yang dilapisi pasta  $\text{TiO}_2$ .



Gambar 3. 4 Luas area kerja kaca TCO

### 3.2.1 Mempersiapkan Substrat Kaca TCO

Kaca TCO (*Transparent Conductive Oxide*) yang digunakan adalah jenis ITO (*Indium Thin Oxide*) dengan ukuran  $2,5 \times 2,5 \text{ cm}^2$ , seperti yang terlihat pada Gambar 3.4. Kaca TCO lalu dibersihkan menggunakan *ultrasonic cleaner* seperti yang terlihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Ultrasonic Cleaner

Sumber: World Precision Instruments

Tahap pertama yang harus dilakukan adalah dengan membersihkan kaca TCO dengan cara merendam kaca TCO dalam larutan aquades selama 20 menit. Rendaman kaca TCO dimasukkan ke dalam *ultrasonic cleaner*. Kaca TCO yang berukuran  $2,5 \times 2,5 \text{ cm}^2$  diberi *scotch tape* pada bagian tepi kaca yang konduktif sehingga ukuran kaca menjadi  $2 \times 2,5 \text{ cm}^2$ .



### 3.2.2 Pembuatan Lapisan *Perovskite*

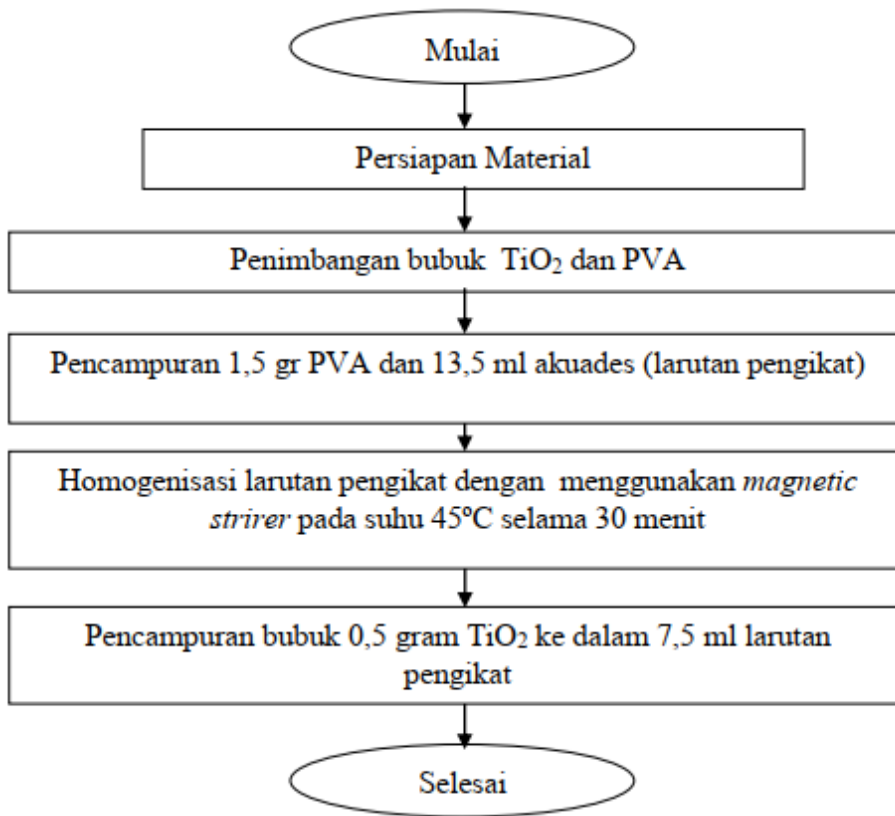
Setiap bubuk  $\text{CaCO}_3$  dan serbuk  $\text{SiO}_2$  dilarutkan dalam ethanol dan diaduk selama 2 jam pada suhu kamar. Bubur kemudian dikeringkan dalam oven  $100\text{ }^\circ\text{C}$  selama 1 jam. Serbuk campuran dihancurkan kemudian disinter dengan udara furin pada  $900\text{ }^\circ\text{C}$  selama 2 jam, dengan laju ramp  $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$  untuk mendapatkan serbuk halus  $\text{CaSiO}_3$ .

Pada perakitan *perovskite solar cell* ini, kaca TCO yang dilapisi pasta  $\text{TiO}_2$  dan pasta  $\text{CaSiO}_3$  berfungsi sebagai anoda (fotoelektroda).  $\text{CaSiO}_3$  yang meresap dalam pasta  $\text{TiO}_2$  berfungsi sebagai menyerap cahaya matahari. Kaca TCO yang dipakai sebagai *counter electrode* berfungsi sebagai katoda. Proses perubahan cahaya matahari menjadi listrik agar lebih cepat dibutuhkan elektrolit sebagai transfer elektron.

### 3.2.3 Pembuatan Pasta $\text{TiO}_2$

Pembuatan Pasta  $\text{TiO}_2$  dilakukan dengan cara membuat larutan suspensi dengan mencampurkan PVA (*Polyvinyl Alcohol*) 1,5 gram dan aquades sebanyak 13,5 ml. Untuk mencampurkan kedua bahan tersebut, suspensi diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* dan *bar stirrer* pada suhu  $45\text{ }^\circ\text{C}$  selama 30 menit. Bubuk  $\text{TiO}_2$  disiapkan dan ditimbang 0,5 gram, kemudian suspensi yang sudah jadi ditambahkan ke  $\text{TiO}_2$  secara perlahan-lahan sebanyak 7,5 ml. Larutan diaduk hingga menjadi homogen.

Proses pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Diagram alir pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$

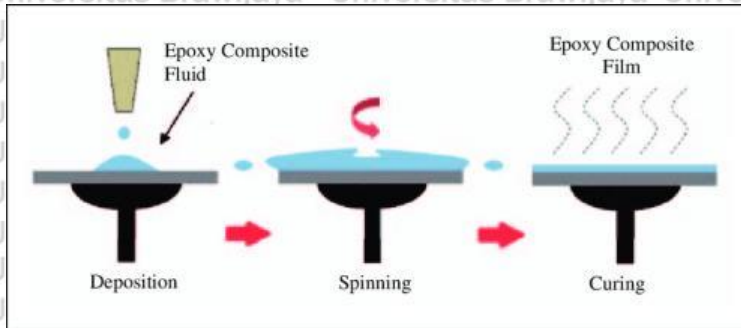
### 3.2.4 Pelapisan Pasta $\text{TiO}_2$

Pelapisan pasta  $\text{TiO}_2$  pada substrat menggunakan metode deposisi *spin coating*. Deposisi merupakan proses pelapisan cairan, gel atau pasta kedalam suatu substrat. Metode *spin coating* dapat diartikan sebagai sebuah metode pembentukan lapisan tipis melalui proses pemutaran atau *spin*. Jika ingin mendapatkan ketebalan lapisan yang tebal maka digunakan larutan yang tingkat kekentalannya tinggi dan kecepatan putar yang rendah dan waktu putar yang sebentar (M.Mennig, 2000).

Bahan yang digunakan sebagai lapisan tipis dapat berupa larutan atau gel. Bahan tersebut ditetaskan ke atas permukaan substrat (kaca TCO). Kemudian substrat tersebut diletakkan diatas suatu piringan yang dapat berputar. Dengan adanya putaran



tersebut, lapisan tipis mampu tersebar secara merata pada substrat. (Hidayat et al., 2014).



Gambar 3. 7 Metode *spin coating*

Sumber : L. C. Sim, 2011

Waktu dan kecepatan putar *spin coating* mempengaruhi ketebalan lapisan *spin coating*. Ketebalan film yang dilapisi *spin* berbanding terbalik dengan kecepatan putaran kuadrat. (David Lidzey, 2009).

$$t \approx \frac{1}{\omega}$$

Keterangan:

$t$  = ketebalan

$\omega$  = kecepatan putar

Deposisi ini membutuhkan alat berupa *spin coater* yang berfungsi untuk meratakan pasta pada kaca TCO. Kaca TCO yang sudah siap diletakkan di tengah *spin coater*, kemudian pasta  $\text{TiO}_2$  yang sudah jadi ditetaskan pada kaca TCO menggunakan pipet sebanyak 3 tetes. *Spin coater* diatur pada kecepatan 800 rpm, dan deposisi pasta dilakukan selama 10x10 detik.

Setelah pasta  $\text{TiO}_2$  kering (~5 menit), *scotch tape* yang menempel pada kaca TCO dilepas. Agar  $\text{TiO}_2$  lebih melekat pada kaca, kaca TCO dipanaskan (*firing*) dengan menggunakan oven pada suhu  $250^\circ\text{C}$  selama 15 menit.

### 3.2.5 Pembuatan Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit dibuat dengan mencampurkan Pottasium Iodide (KI) 0,5M sebanyak 0,8 gram pada 9 ml acetonitrile dan 1 ml aquades. Ke dalam larutan tersebut, ditambahkan Iodide ( $\text{I}_2$ ) 0,05M sebanyak 0,127 gram, kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit dan disimpan dalam botol tertutup atau dalam botol yang telah dilapisi aluminium foil.

### 3.2.6 Pembuatan Elektroda Lawan

Proses ini dilakukan dengan cara membakar bagian konduktif kaca TCO dengan menggunakan api lilin hingga kaca TCO dilapisi karbon secara merata. Pembakaran dilakukan selama kurang lebih 1 menit.

## 3.3 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang akan diamati pada penelitian ini meliputi variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol serta variabel keluaran.

1. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah

a) Variasi kecepatan putaran *spin coating*

- Sampel 1: kecepatan putaran *spin coating* 600 rpm
- Sampel 2: kecepatan putaran *spin coating* 700 rpm
- Sampel 3: kecepatan putaran *spin coating* 800 rpm
- Sampel 4: kecepatan putaran *spin coating* 900 rpm
- Sampel 5: kecepatan putaran *spin coating* 1.000 rpm

b) Variasi cahaya dengan lampu senter LED.



2. Variabel tak bebas (terikat) yang dipengaruhi oleh perlakuan pada variabel bebas meliputi tegangan keluaran ( $V_{oc}$ ), arus keluaran ( $I_{sc}$ ), gelombang absorbansi, dan iluminasi.
3. Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini yang dibuat sama yaitu dimensi devais, kecepatan putar pelapisan pasta  $TiO_2$ , ketebalan *scotch tape*, waktu perendaman *dye*, suhu dan waktu poses *firing*, lama putar *spin coating*, lama pengujian tegangan dan arus selama 1-2 menit.
4. Variabel output yang digunakan dalam penelitian ini adalah meliputi
  - a) Tegangan keluaran *Perovskite Solar Cell* ( $V_{oc}$ )
  - b) Arus keluaran ( $I_{sc}$ )
  - c) Daya keluaran (P)
  - d) Efisiensi *Perovskite Solar Cell* ( $\eta$ )

#### 3.4 Pengujian dan Analisis Data

Hasil dari pengujian penelitian ini akan dijadikan data sebagai acuan dalam pengambilan kesimpulan. Dari data hasil pengujian, didapatkan data mengenai performansi PSC (*Perovskite Solar Cell*). Pengujian yang dilakukan antara lain:

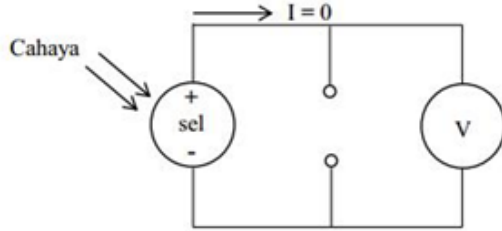
##### 1. Pengujian struktur morfologi lapisan $TiO_2$

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Sentral Ilmu Hayati (LSIH) dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) Quanta FEG 650 dan *X-Ray Diffractor* tipe X'Pert<sup>3</sup> Powder.

##### 2. Pengujian struktur dan morfologi lapisan $CaSiO_3$

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Sentral Ilmu Hayati (LSIH) dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) Quanta FEG 650 dan *X-Ray Diffractor* tipe X'Pert<sup>3</sup> Powder.

##### 3. Pengujian dan pengukuran tegangan hubung terbuka ( $V_{oc}$ )

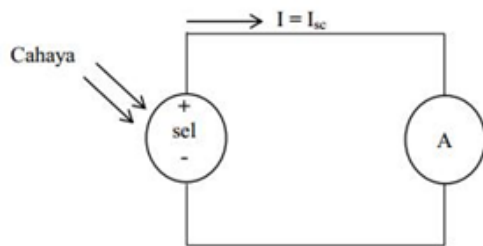


Gambar 3. 8 Rangkaian skematik tegangan hubung buka (*open circuit*)

Tegangan hubung buka ( $V_{oc}$ ) merupakan tegangan maksimum yang dapat dihasilkan oleh *perovskite solar cell*. Pengukuran  $V_{oc}$  dilakukan ketika rangkaian dalam keadaan terbuka, sehingga tidak ada arus yang mengalir. Sisi katoda PSC akan dihubungkan dengan kutub positif voltmeter, sedangkan anoda PSC akan dihubungkan dengan kutub negatif voltmeter.

#### 4. Arus hubung singkat ( $I_{sc}$ )

$I_{sc}$  (arus *short circuit*) merupakan arus maksimum yang dapat dihasilkan oleh *perovskite solar cell* ketika tegangan sel surya bernilai nol dan rangkaian dalam keadaan hubung singkat. Rangkaian yang digunakan sama dengan rangkaian pada pengukuran  $V_{oc}$  hanya saja menggunakan alat ukur amperemeter.



Gambar 3. 9 Rangkaian skematik arus hubung singkat (*short circuit*)

#### 5. Daya Keluaran

Daya keluaran yang dihasilkan oleh PSC merupakan daya maksimum. Daya keluaran pada PSC dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = V_m \times I_m$$



Keterangan:

$V_{oc}$  = tegangan hubungan buka (volt)

$I_{sc}$  = arus hubung singkat (ampere)

$FF$  = fill factor

Fill Factor dari sel surya didefinisikan sebagai perbandingan daya maksimum sel terhadap tegangan rangkaian hubung terbuka ( $V_{oc}$ ) dan arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ).

#### 6. Efisiensi

Efisiensi pada *perovskite solar cell* merupakan perbandingan antara daya maksimum ( $P_{max}$ ) terhadap daya masukan yang didapatkan dari intensitas radiasi dan daerah aktif PSC (Irmansyah et al., 2008). Persamaan untuk mencari nilai efisiensi adalah:

$$\eta = \frac{P_{maks}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{P_{maks}}{I_G \times A} \times 100\%$$

Keterangan:

$P_{maks}$  = daya maksimum (watt)

$P_{in}$  = daya masukan (watt)

$I_G$  = intensitas global cahaya

$A$  = luas kerja PSC

## BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis dilakukan untuk mengetahui apakah sistem dapat bekerja sesuai dengan teori perancangan yang telah dibuat. Pada penelitian ini, pengujian yang perlu dilakukan antara lain:

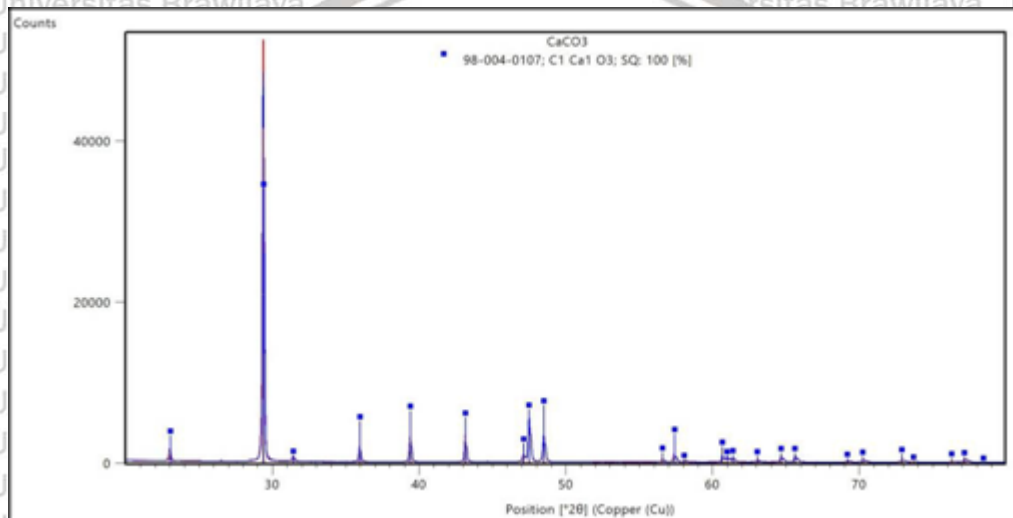
1. Pengujian Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )
2. Pengujian Silikon Dioksida ( $\text{SiO}_2$ )
3. Pengujian Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ )
4. Pengujian Kalsium Silikat ( $\text{CaSiO}_3$ )
5. Pengujian Tegangan, Resistansi, dan Arus
6. Analisis Perhitungan Karakteristik *Perovskite Solar Cell*

### 4.1 Pengujian Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )

Pengujian Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang digunakan dalam pengujian berbentuk serbuk  $\text{CaCO}_3$ . Pengujian dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD). Difraksi sinar-X merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya fasa kristalin di dalam material-material padat dan serbuk, serta untuk menganalisis sifat-sifat struktur (seperti ukuran butir, fasa komposisi orientasi kristal, dan cacat kristal) dari tiap fasa. Metode ini menggunakan sebuah sinar-X yang terdifraksi seperti sinar yang direfleksikan dari setiap bidang, berturut-turut dibentuk oleh atom-atom kristal dari material tersebut. Dengan berbagai sudut timbul, pola difraksi yang terbentuk menyatakan karakteristik dari sampel. Susunan ini diidentifikasi dengan membandingkannya dengan sebuah data base internasional (Zakaria, 2003). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik struktur kristal dari serbuk bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan *perovskite solar cell*.



Alat yang digunakan untuk pengujian ini adalah *X-Ray Diffractometer* tipe *X-Pert3 Powder*. Pengujian karakteristik serbuk dilakukan di Laboratorium Sentral Ilmu Hayati Universitas Brawijaya (LSIH-UB). Hasil pengujian XRD yang dilakukan pada serbuk  $\text{CaCO}_3$  ditunjukkan pada gambar berikut ini.

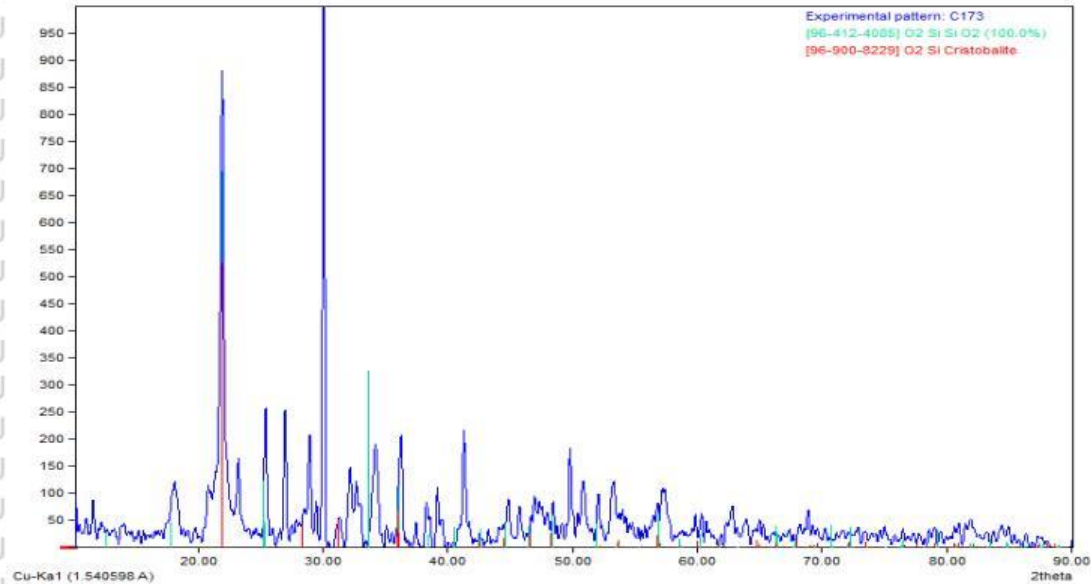


Gambar 4. 1 Hasil pengujian XRD pada serbuk  $\text{CaCO}_3$

Berdasarkan Gambar 4.1, dapat diketahui bahwa serbuk  $\text{CaCO}_3$  yang digunakan memiliki kandungan *Calcite* 100%. Pola difraksi yang dihasilkan pada pengujian serbuk  $\text{CaCO}_3$  memiliki puncak pada sudut  $2\theta$  di sekitar  $23^\circ$ ,  $29^\circ$ ,  $31^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $39^\circ$ ,  $43^\circ$ ,  $47^\circ$ ,  $48^\circ$ ,  $56^\circ$ ,  $57^\circ$ ,  $58^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $61^\circ$ ,  $63^\circ$ ,  $64^\circ$ ,  $65^\circ$ ,  $69^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $72^\circ$ ,  $73^\circ$ ,  $76^\circ$ , dan  $77^\circ$ . Berdasarkan data referensi JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*), hasil difraksi  $\text{CaCO}_3$  yang didapatkan sesuai dengan puncak-puncak yang dimiliki oleh fasa *Calcite*.

#### 4.2 Pengujian Silikon Dioksida ( $\text{SiO}_2$ )

Pengujian Silikon Dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) yang digunakan dalam pengujian berbentuk serbuk  $\text{SiO}_2$ . Pengujian dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffraktor* (XRD). Pengujian karakteristik serbuk dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju Universitas Negeri Malang. Hasil pengujian XRD yang dilakukan pada serbuk  $\text{SiO}_2$  ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 2 Hasil pengujian XRD pada serbuk  $\text{SiO}_2$

Berdasarkan Gambar 4.2, dapat diketahui bahwa serbuk  $\text{SiO}_2$  yang digunakan memiliki kandungan *Cristobalite* ( $\text{SiO}_2$ ) sebesar 100%. Pola difraksi yang dihasilkan pada pengujian serbuk  $\text{SiO}_2$  memiliki puncak pada sudut  $2\theta$  di sekitar  $13^\circ$ ,  $18^\circ$ ,  $22^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $28^\circ$ ,  $34^\circ$ ,  $36^\circ$ ,  $38^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $42^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $46^\circ$ ,  $48^\circ$ ,  $52^\circ$ ,  $54^\circ$ ,  $57^\circ$ ,  $59^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $63^\circ$ ,  $68^\circ$ ,  $69^\circ$ ,  $72^\circ$ ,  $77^\circ$ ,  $79^\circ$ ,  $81^\circ$ , dan  $82^\circ$ . Berdasarkan data referensi JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*), hasil difraksi  $\text{SiO}_2$  yang didapatkan sesuai dengan puncak-puncak yang dimiliki oleh fasa *cristobalite*.

### 4.3 Pengujian Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ )

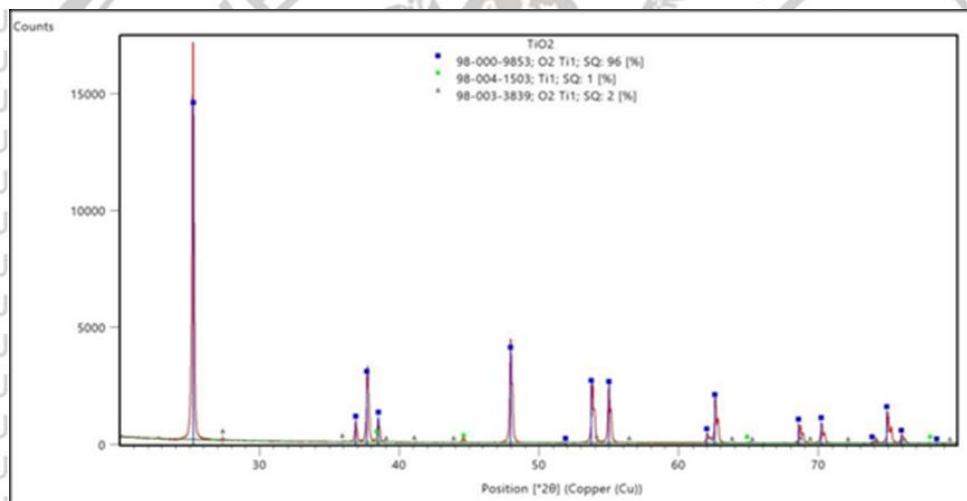
Pengujian Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) dibagi menjadi dua, yaitu pengujian serbuk dan pengujian lapisan  $\text{TiO}_2$  pada kaca konduktif. Pengujian serbuk dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffractor* (XRD). Sedangkan pengujian lapisan  $\text{TiO}_2$  pada kaca konduktif dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Pengujian SEM bertujuan untuk mengetahui struktur dan morfologi hasil pelapisan yang akan digunakan sebagai penyusun *perovskite solar cell*.



Alat yang digunakan untuk pengujian lapisan  $\text{TiO}_2$  adalah *Scanning Electron Microscope* (SEM) tipe FEG 650. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Sentral Ilmu Hayati Universitas Brawijaya (LSIH-UB). Berikut ini adalah hasil pengujian  $\text{TiO}_2$ .

#### 1. Pengujian serbuk $\text{TiO}_2$

Hasil pengujian XRD yang dilakukan pada serbuk  $\text{TiO}_2$  ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 3 Hasil pengujian XRD pada serbuk  $\text{TiO}_2$

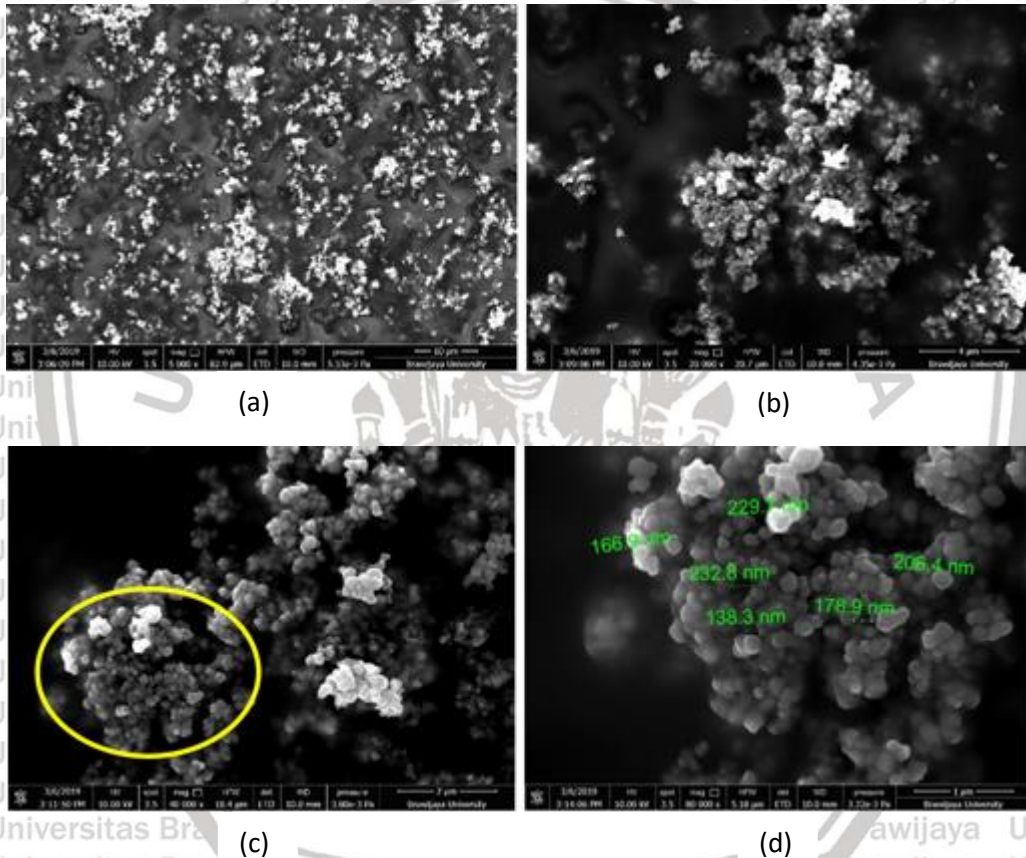
Berdasarkan Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa serbuk  $\text{TiO}_2$  yang digunakan memiliki kandungan anatase ( $\text{TiO}_2$ ) sebesar 96% dan Titanium (Ti) sebesar 1%.

Pola difraksi yang dihasilkan pada pengujian serbuk  $\text{TiO}_2$  memiliki puncak pada sudut  $2\theta$  di sekitar  $25^\circ$ ,  $27^\circ$ ,  $36^\circ$ ,  $37^\circ$ ,  $38^\circ$ ,  $44^\circ$ ,  $47^\circ$ ,  $53^\circ$ ,  $54^\circ$ ,  $62^\circ$ ,  $68^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $74^\circ$ , dan  $75^\circ$ . Berdasarkan data referensi JCPDS (*Joint Committee on Powder*

*Diffraction Standards*), hasil difraksi  $\text{TiO}_2$  yang didapatkan sesuai dengan puncak-puncak yang dimiliki oleh fase anatase.

## 2. Pengujian lapisan TiO<sub>2</sub>

Hasil Pengujian SEM yang dilakukan pada lapisan TiO<sub>2</sub> ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 4 Hasil pengujian lapisan TiO<sub>2</sub> dengan perbesaran (a) 5.000 kali, (b) 20.000 kali, (c) 40.000 kali, (d) 80.000 kali

Pengujian struktur dan morfologi lapisan TiO<sub>2</sub> dilakukan dengan perbesaran 5.000, 20.000, 40.000, dan 80.000 kali. Perbesaran secara bertahap berfungsi untuk mengetahui persebaran hasil deposisi pasta TiO<sub>2</sub>. Gambar (a) menunjukkan permukaan lapisan pasta TiO<sub>2</sub> tampak atas. Sebagian besar area kerja kaca konduktif telah terlapisi. Dengan perbesaran 20.000 kali, mulai tampak persebaran pasta TiO<sub>2</sub>. Warna yang tampak gelap menunjukkan adanya pori-pori pada lapisan TiO<sub>2</sub>. Bentuk partikel mulai terlihat dengan perbesaran 40.000 kali. Daerah yang



ditandai dengan garis warna kuning pada gambar (c) diperbesar lagi menjadi 80.000 kali dan hasilnya dapat dilihat pada gambar (d).

Berdasarkan gambar (d), dapat diketahui ukuran partikel yang beragam, yaitu 166,9 nm, 206,4 nm, dan 229,7 nm. Selain itu, tampak ukuran pori-pori pada daerah sampling, yaitu 138,3 nm, 178,9 nm, dan 232,8 nm. Adanya pori-pori pada lapisan  $\text{TiO}_2$  dapat disebabkan oleh proses deposisi *spin coating*, waktu putar yang terlalu singkat, kecepatan putaran *spin coater* yang terlalu cepat, dan proses pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  yang tidak homogen karena pengadukan terlalu singkat.

#### 4.4 Pengujian Kalsium Silikat ( $\text{CaSiO}_3$ )

Pengujian kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) dibagi menjadi dua, yaitu pengujian serbuk dan pengujian lapisan  $\text{CaSiO}_3$  pada kaca konduktif. Pengujian serbuk dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffractor* (XRD) yang bertujuan untuk mengetahui struktur kristal hasil pembuatan  $\text{CaSiO}_3$  dari campuran  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{SiO}_2$ . Sedangkan pengujian lapisan  $\text{CaSiO}_3$  bertujuan untuk mengetahui struktur dan morfologi hasil pelapisan yang akan digunakan sebagai penyusun *perovskite solar cell*.

Alat yang digunakan untuk pengujian lapisan  $\text{CaSiO}_3$  adalah *Scanning Electron Microscope* (SEM) tipe FEG 650. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Sentral Ilmu Hayati Universitas Brawijaya (LSIH-UB). Berikut ini adalah hasil pembagian pengujian  $\text{CaSiO}_3$ :

##### 1. Pengujian Serbuk $\text{CaSiO}_3$

Hasil Pengujian XRD yang dilakukan pada serbuk  $\text{CaSiO}_3$  ditunjukkan pada gambar berikut ini.



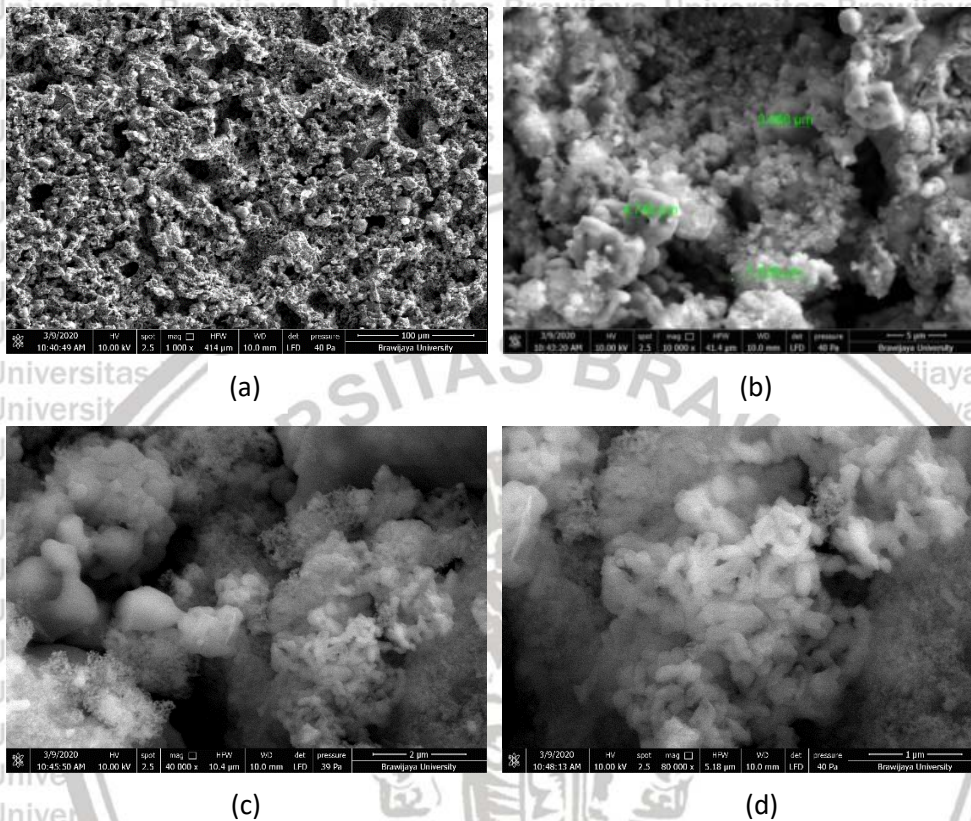
Gambar 4. 5 Hasil pengujian serbuk  $\text{CaSiO}_3$

Berdasarkan gambar 4.5 hasil pengujian serbuk  $\text{CaSiO}_3$  menunjukkan bahwa sampel memiliki kandungan *Pseudowollastonite* ( $\text{CaSiO}_3$ ) sebesar 100%. Pola difraksi yang dihasilkan pada pengujian serbuk  $\text{CaSiO}_3$  memiliki puncak pada sudut  $2\theta$  di sekitar  $15^\circ$ ,  $16^\circ$ ,  $17^\circ$ ,  $18^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $23^\circ$ ,  $24^\circ$ ,  $26^\circ$ ,  $27^\circ$ ,  $29^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $31^\circ$ ,  $32^\circ$ ,  $33^\circ$ ,  $34^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $36^\circ$ ,  $38^\circ$ ,  $39^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $41^\circ$ ,  $42^\circ$ ,  $44^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $46^\circ$ ,  $47^\circ$ ,  $48^\circ$ ,  $49^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $52^\circ$ ,  $53^\circ$ ,  $54^\circ$ ,  $55^\circ$ ,  $56^\circ$ ,  $57^\circ$ ,  $58^\circ$ ,  $59^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $61^\circ$ ,  $62^\circ$ ,  $63^\circ$ ,  $64^\circ$ , dan  $65^\circ$ . Dari hasil pengujian tersebut, dapat diketahui bahwa sintesis  $\text{CaSiO}_3$  dengan komposisi 48,3% kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dan 51,7% silika ( $\text{SiO}_2$ ) mengandung kalsium silikat sebesar 100%. Hal ini disebabkan karena larutan campuran  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{SiO}_2$  sudah menjadi homogen dengan proses pengadukan menggunakan *magnetic stirrer*.

## 2. Pengujian lapisan $\text{CaSiO}_3$

Hasil Pengujian SEM yang dilakukan pada lapisan  $\text{CaSiO}_3$  ditunjukkan pada gambar berikut ini.





Gambar 4. 6 Hasil pengujian lapisan  $\text{CaSiO}_3$  dengan perbesaran (a) 1.000 kali, (b) 10.000 kali, (c) 40.000 kali, dan (d) 80.000 kali.

Pengujian struktur dan morfologi  $\text{CaSiO}_3$  dilakukan menggunakan SEM dengan perbesaran 1.000 kali, 10.000 kali, 40.000 kali, dan 80.000 kali.

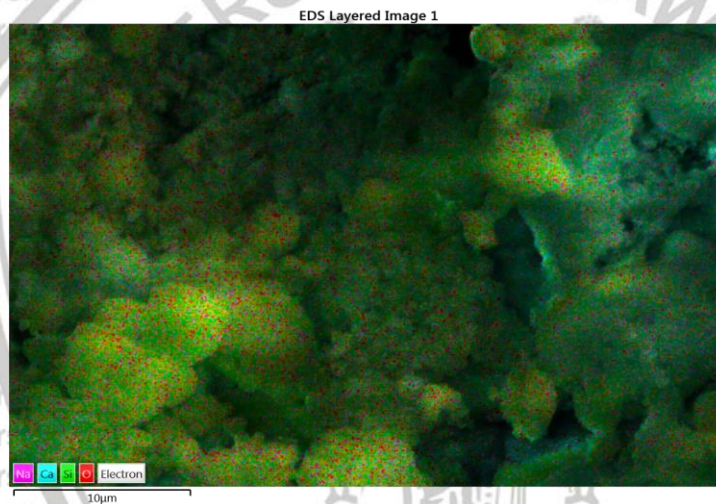
Perbesaran secara bertahap berfungsi untuk mengetahui persebaran hasil deposisi pasta  $\text{CaSiO}_3$ . Pada gambar (a), seluruh area kerja kaca TCO tampak telah terlapisi. Pada gambar (b) dengan perbesaran 10.000 kali dapat dilihat ukuran partikel dan pori-pori yang beragam. Ukuran partikel dan pori-pori yang terlihat dari hasil pengujian antara lain 3.966  $\mu\text{m}$ , 4.748  $\mu\text{m}$ , dan 7.338  $\mu\text{m}$ . Ukuran partikel dan pori-pori pasta yang terdeposisi pada substrat menunjukkan kehomogenan lapisan. Semakin kecil ukuran partikel dan pori-pori pada substrat, maka lapisan tersebut semakin homogen. Hasil pengujian SEM dengan perbesaran 10.000 kali menunjukkan ukuran partikel dan pori-pori yang beragam. Hal ini



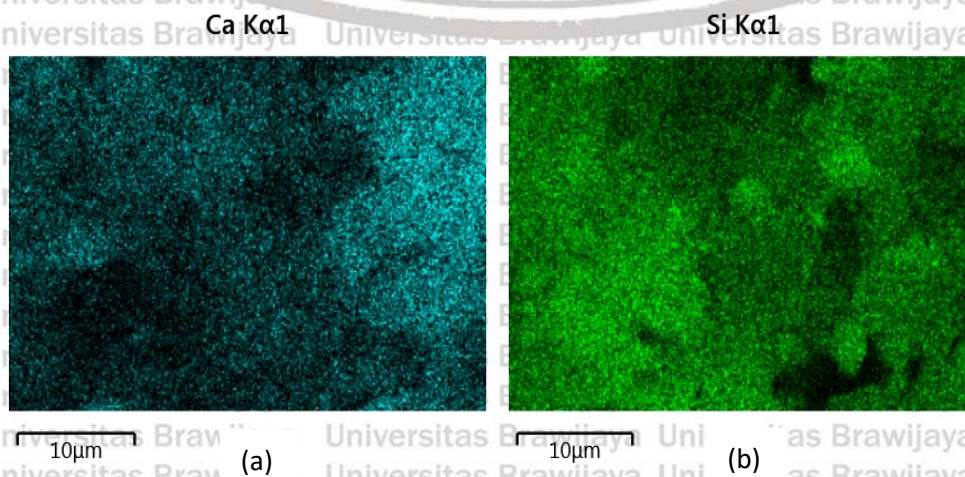
disebabkan oleh lapisan  $\text{CaSiO}_3$  yang menggunakan pelarut ethanol memiliki sifat yang sangat rapuh.

### 3. Pengujian *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS)

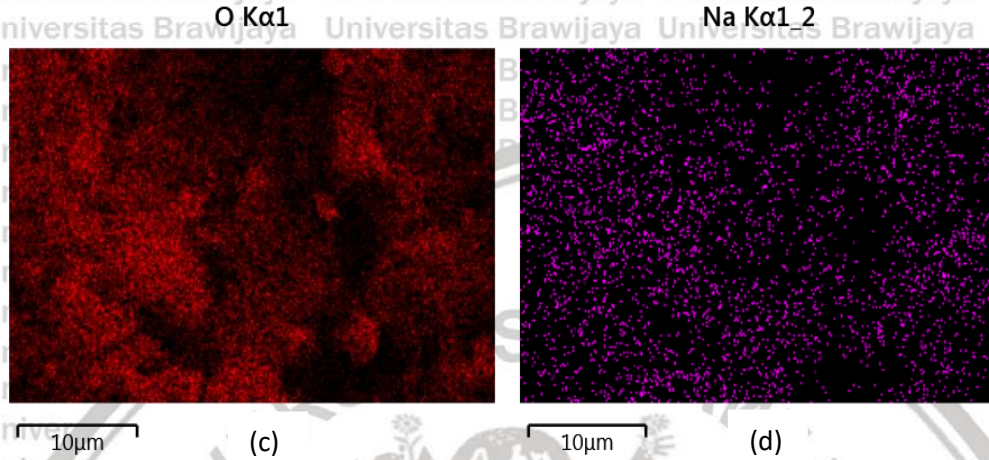
SEM tipe FEG 650 dilengkapi dengan fitur *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS). Pengujian EDS berfungsi untuk mengetahui jenis atom lain yang terkandung di permukaan lapisan. Hasil pengujian EDS dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 7 Keseluruhan persebaran atom pada lapisan  $\text{CaSiO}_3$

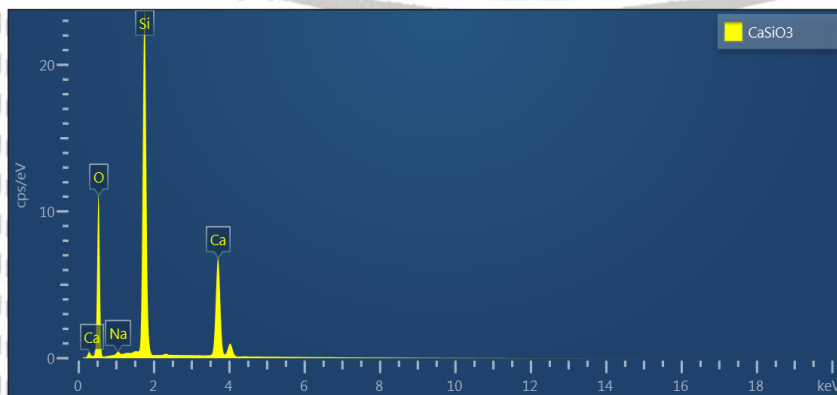






Gambar 4. 8 Pengujian persebaran *Energy Dispersive Spectroscopy* setiap atom yang terkandung dalam lapisan  $\text{CaSiO}_3$  (a) atom kalsium, (b) atom silika, (c) atom oksigen, dan (d) atom natrium.

Gambar 4.7 menunjukkan persebaran atom secara keseluruhan pada lapisan  $\text{CaSiO}_3$  dengan variasi kecepatan putar *spin coating* 800 rpm. Persebaran masing-masing atom dapat dilihat pada Gambar 4.8, antara lain persebaran atom Kalsium pada Gambar 4.7 (a), persebaran atom Silika pada Gambar 4.7 (b), persebaran atom Oksigen pada Gambar 4.7 (c), dan persebaran atom Natrium pada Gambar 4.7 (d). Dari Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa persebaran atom Silika mendominasi lapisan  $\text{CaSiO}_3$ . Grafik pemetaan persebaran atom ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 9 Grafik pemetaan elemen lapisan  $\text{CaSiO}_3$

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa persebaran jumlah atom terbanyak adalah atom Silika (Si). Jumlah presentase masing masing elemen dapat dilihat pada tabel berikut ini.

*Tabel 4.1* Persentase masing-masing elemen

Elemen	Massa %	Atom %
Ca	14,4	7,18
Si	26,1	18,59
O	59,1	73,88
Na	0,4	0,35
Total	100	100

Berdasarkan Tabel 4.1 didapatkan informasi bahwa persentase massa terbesar adalah atom Oksigen (O) sebesar 59,1%. Sedangkan untuk persentase atom terbesar yaitu atom Oksigen (O) sebesar 73,88%.

#### 4.5 Pengujian Tegangan, Resistansi, dan Arus

Pengujian tegangan menggunakan sumber cahaya lampu senter LED Torch Cree E17 XM-L T6. Nilai kuat pencahayaan yang digunakan mulai dari 1.600 lux hingga 2.800 lux. Sampel yang diuji terdiri dari lima sampel. Pengukuran nilai tegangan menggunakan multimeter digital Sanwa CD800a. Pengukuran kuat pencahayaan menggunakan luxmeter dengan merek Smart Sensor.

##### 4.5.1 Pengujian Tegangan

Pengujian tegangan dilakukan selama 2 hari. Awal pengujian dilakukan 6 jam setelah pemberian larutan elektrolit. Hasil pengujian tegangan terhadap kuat pencahayaan LED pada variasi sampel ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.10.



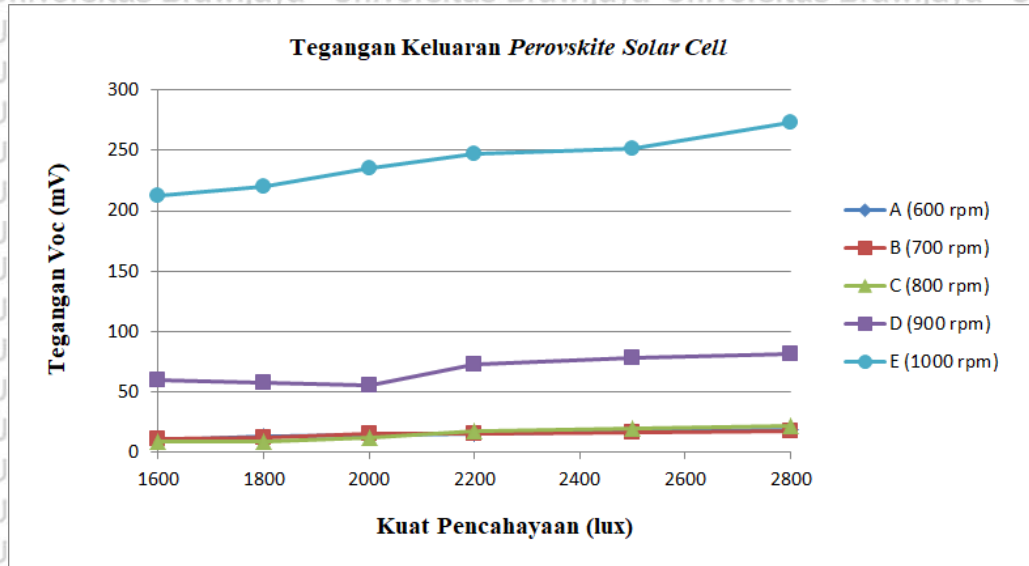
Tabel 4. 2 Hasil pengukuran tegangan

Lux	Voc (mV)				
	A	B	C	D	E
1600	10,5	11,5	9,3	60,3	212,1
1800	12,8	12,3	8,7	57,2	220,2
2000	14,3	15,6	12,4	55,7	235,5
2200	15,7	15,8	17,5	72,4	247,3
2500	17,7	16,5	19,6	78,6	251,5
2800	18,5	17,9	22,2	81,8	273,7
Rata-rata	14,92	14,93	14,95	67,66	240,05

Berdasarkan data pada Tabel 4.2, didapatkan tegangan rata-rata *perovskite solar cell* yang bervariasi pada setiap sampel. Sampel A memiliki rata-rata tegangan keluaran sebesar 14,92 mV. Sampel B memiliki rata-rata tegangan sebesar 14,93 mV. Sampel C memiliki rata-rata tegangan sebesar 14,95 mV. Sampel D memiliki rata-rata tegangan sebesar 67,66 mV. Sampel E memiliki rata-rata tegangan sebesar 240,05 mV. Tegangan keluaran tertinggi pada sampel E dengan kecepatan putar *spin coating* 1.000 rpm. Sedangkan tegangan keluaran paling rendah dimiliki oleh sampel A dengan kecepatan putar *spin coating* 600 rpm. Sampel D memiliki tegangan keluaran yang tidak stabil. Hal ini dapat disebabkan adanya kondisi pengukuran yang kurang ideal dan *error* pada alat ukur. Pola grafik yang dihasilkan dari data pada tabel di atas dapat dilihat pada gambar berikut ini.

Berdasarkan perbandingan dari penelitian sebelumnya, tegangan keluaran pada penelitian ini masih lebih besar dari metode variasi luas permukaan substrat dengan bahan Kalsium Titanat yang mampu menghasilkan tegangan tertinggi 30,5 mV (Damayanthi, 2019). Namun tegangan keluaran pada penelitian ini masih lebih kecil bila dibandingkan dengan metode variasi kecepatan putaran *spin coating* dengan

bahan Kalsium Titanat yang mencapai 391 mV (Riyanti, 2019) dan juga dengan metode variasi komposisi bahan *perovskite* yang mencapai 361,6 mV (Hedar, 2019).



Gambar 4. 10 Grafik tegangan keluaran *Perovskite Solar Cell*

Menurut data pada Gambar 4.10, hampir semua sampel menunjukkan pola yang sama, yaitu semakin kuat pencahayaan yang diberikan pada area kerja *perovskite solar cell*, maka tegangan yang dihasilkan juga semakin besar, dan tegangan yang lebih besar dihasilkan dari kecepatan putaran yang paling tinggi.

#### 4.5.2 Pengujian Resistansi

Pengujian resistansi dilakukan selama 1 hari. Awal pengujian dilakukan 9 jam setelah pemberian larutan elektrolit. Berikut ini merupakan hasil pengujian resistansi setiap sampel.

Tabel 4. 3 Hasil pengujian resistansi

No.	Variasi Sampel	Resistansi (kΩ)
1	A	166,6
2	B	75,5
3	C	37,3
4	D	150,7



5	E	112,2
---	---	-------

Berdasarkan Tabel 4.3, dapat diketahui bahwa nilai resistansi *perovskite solar cell* bervariasi. Resistensi yang paling besar dimiliki oleh sampel A dengan kecepatan putar *spin coating* 600 rpm, yaitu sebesar 166,6 k $\Omega$ . Sedangkan resistensi terkecil dimiliki oleh sampel C dengan kecepatan putar *spin coating* 800 rpm, yaitu sebesar 37,3 k $\Omega$ .

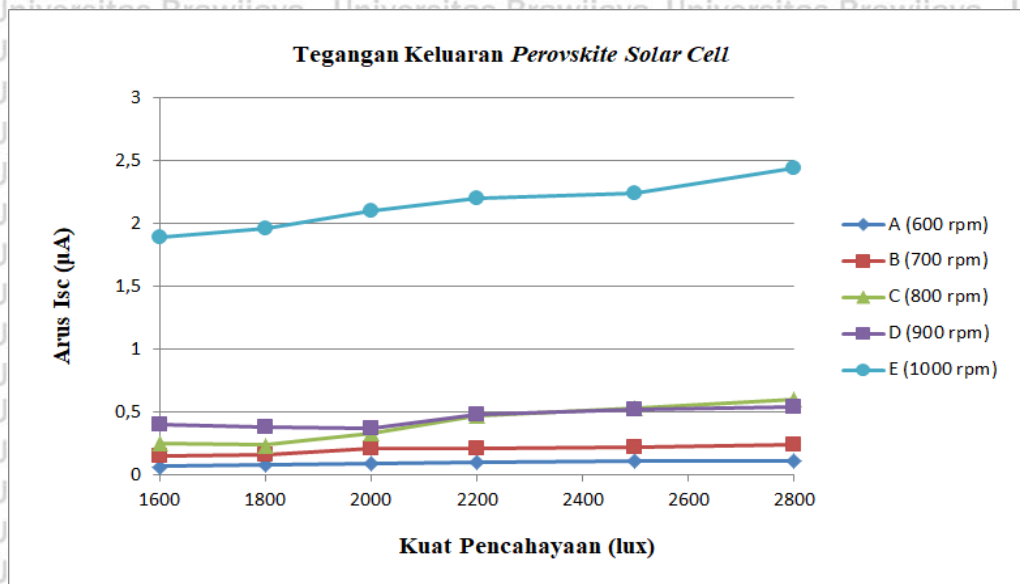
#### 4.5.3 Pengujian Arus

Pengujian arus didapatkan melalui perhitungan tegangan dan resistansi pada *perovskite solar cell*. Hasil perhitungan arus dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4. 4 Hasil pengukuran arus

Lux	Isc ( $\mu$ A)				
	A	B	C	D	E
1600	0,063	0,1523	0,2493	0,4001	1,8903
1800	0,0768	0,1629	0,2332	0,3795	1,9625
2000	0,0858	0,2066	0,3324	0,3696	2,0989
2200	0,0942	0,2092	0,4691	0,4804	2,204
2500	0,1062	0,2185	0,5254	0,5215	2,2415
2800	0,111	0,237	0,5951	0,5428	2,4393
Rata-rata	0,0895	0,1977	0,4008	0,449	2,1394

Berdasarkan data pada Tabel 4.4, didapatkan arus rata-rata *perovskite solar cell* yang bervariasi pada setiap sampel. Sampel A memiliki rata-rata arus keluaran sebesar 0,0895  $\mu$ A. Sampel B memiliki rata-rata arus keluaran sebesar 0,1977  $\mu$ A. Sampel C memiliki rata-rata arus keluaran sebesar 0,4008  $\mu$ A. Sampel D memiliki rata-rata arus keluaran sebesar 0,449  $\mu$ A. Sampel E memiliki rata-rata arus keluaran sebesar 2,1394  $\mu$ A. Arus keluaran tertinggi terdapat pada sampel E dengan kecepatan putar *spin coating* 1.000 rpm. Sedangkan tegangan keluaran paling rendah dimiliki oleh sampel A dengan kecepatan putar *spin coating* 600 rpm. Pola grafik yang dihasilkan dari data pada tabel di atas dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 11 Grafik arus keluaran *Perovskite Solar Cell*

Menurut data pada Gambar 4.11, hampir semua sampel menunjukkan pola yang sama, yaitu semakin kuat pencahayaan yang diberikan pada area kerja *perovskite solar cell*, maka arus yang dihasilkan juga semakin besar, dan arus yang lebih besar dihasilkan dari kecepatan putaran yang paling tinggi.

#### 4.6 Analisis Perhitungan Karakteristik *Perovskite Solar Cell*

Analisis perhitungan karakteristik *perovskite solar cell* dilakukan untuk mengetahui nilai *fill factor* (FF), daya maksimum (Pmax) dan juga efisiensi ( $\eta$ ) yang dihasilkan dari setiap sampel. Nilai tegangan dan arus yang digunakan merupakan nilai rata-rata dari pengujian dengan menggunakan multimeter digital Sanwa CD800a.

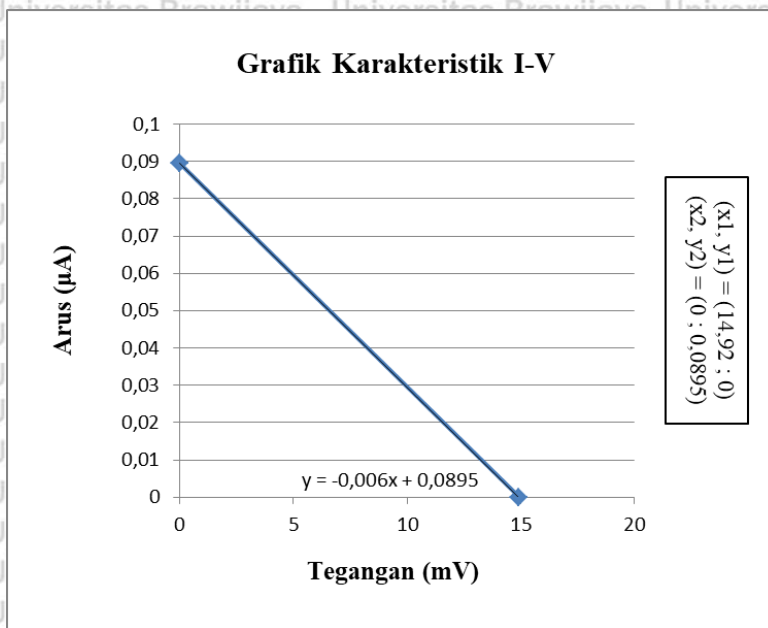
##### 4.6.1 Pengujian Tegangan dan Resistansi

Analisis perhitungan ini dilakukan pada setiap variasi sampel.

##### 1. Analisis perhitungan karakteristik *Perovskite Solar Cell* pada sampel A

Berdasarkan pengujian pada sampel A, didapatkan hasil pengukuran rata-rata  $V_{OC}$  sebesar 14,92 mV dan rata-rata  $I_{SC}$  sebesar 0,0895  $\mu A$ . Kedua nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai m dan y menggunakan bantuan grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini.





Gambar 4. 12 Grafik karakteristik hubungan I-V pada sampel A

Dengan menggunakan data pada grafik di atas, maka didapatkan nilai  $m$  dan  $y$  pada perhitungan berikut ini.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{0,0895 - 0}{0 - 14,92} = -0,006$$

$$y = -0,006x + 0,0895$$

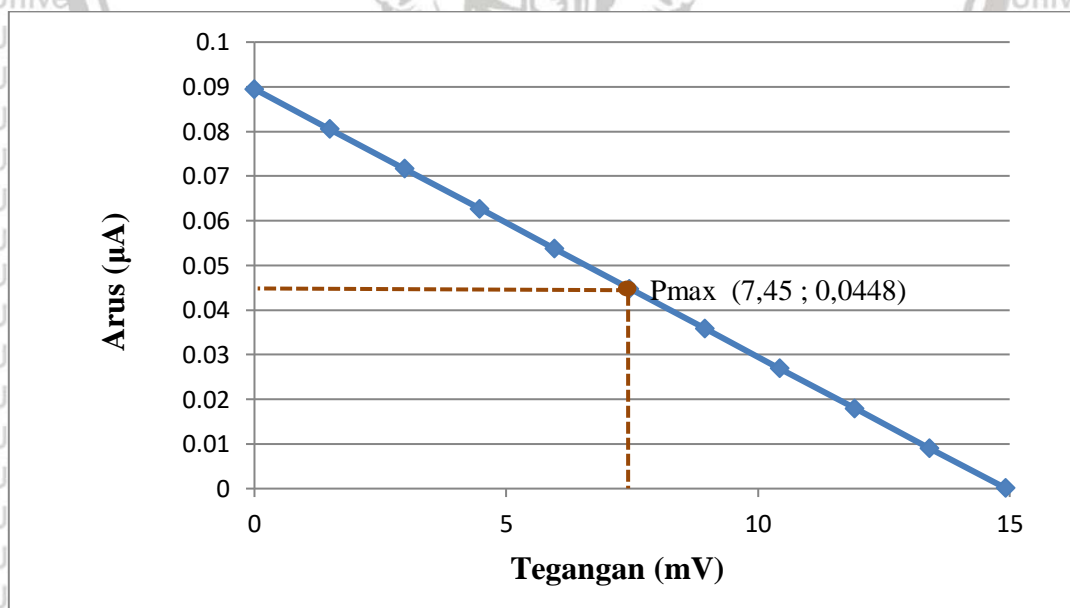
Persamaan  $y$  digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I-V. Perhitungan  $V_M$  dan  $I_M$  pada sampel A ditunjukkan pada Tabel 4.5.



Tabel 4. 5 Perhitungan Vm dan Im pada sampel A

No.	x (mV)	y (μA)	x.y
1	0	0,0895	0
2	1,49	0,08056	0,120034
3	2,98	0,07162	0,213428
4	4,47	0,06268	0,28018
5	5,96	0,05374	0,32029
6	7,45	0,0448	0,33376
7	8,94	0,03586	0,320588
8	10,43	0,02692	0,280776
9	11,92	0,01798	0,214322
10	13,41	0,00904	0,121226
11	14,92	0,0001	0,001492

Grafik karakteristik berdasarkan pengujian  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$  pada sampel A ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Grafik karakteristik berdasarkan pengujian  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$  pada sampel A



Berdasarkan perhitungan  $V_M$  dan  $I_M$  yang ditunjukkan pada Tabel 4.5, didapatkan  $V_M$  sebesar 7,45 mV dan  $I_M$  sebesar 0,0448  $\mu\text{A}$ . Dari data tersebut, kemudian dicari *fill factor*, daya maksimum dan efisiensi.

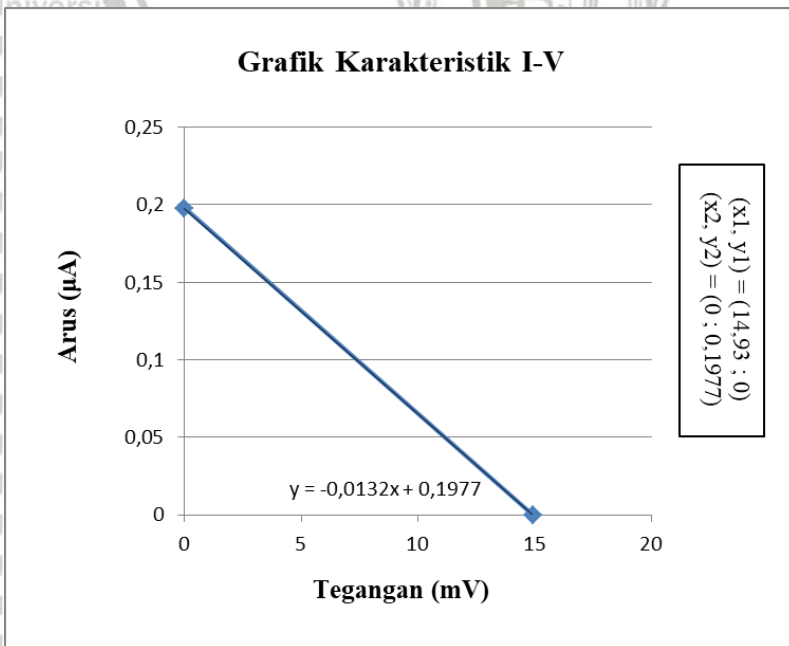
$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{7,45 \times 0,0448}{14,92 \times 0,0895} = 0,249$$

$$P_{maks} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = (14,92 \times 10^{-3}) \times (0,0895 \times 10^{-6}) \times 0,249 = 3,325 \times 10^{-10} \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{maks}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{3,325 \times 10^{-10}}{7} \times 100\% = 4,75 \times 10^{-11}\%$$

2. Analisis perhitungan karakteristik *Perovskite Solar Cell* pada sampel B

Berdasarkan pengujian pada sampel B, didapatkan hasil pengukuran rata-rata  $V_{OC}$  sebesar 14,93 mV dan rata-rata  $I_{SC}$  sebesar 0,1977  $\mu\text{A}$ . Kedua nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai m dan y menggunakan bantuan grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini



Gambar 4. 14 Grafik karakteristik hubungan I-V pada sampel B

Dengan menggunakan data pada grafik di atas, maka didapatkan nilai  $m$  dan  $y$  pada perhitungan berikut ini.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{0,1977 - 0}{0 - 14,93} = -0,0132$$

$$y = -0,0132x + 0,1977$$

Persamaan  $y$  digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I-V. Perhitungan  $V_M$  dan  $I_M$  pada sampel B ditunjukkan pada Tabel 4.6.

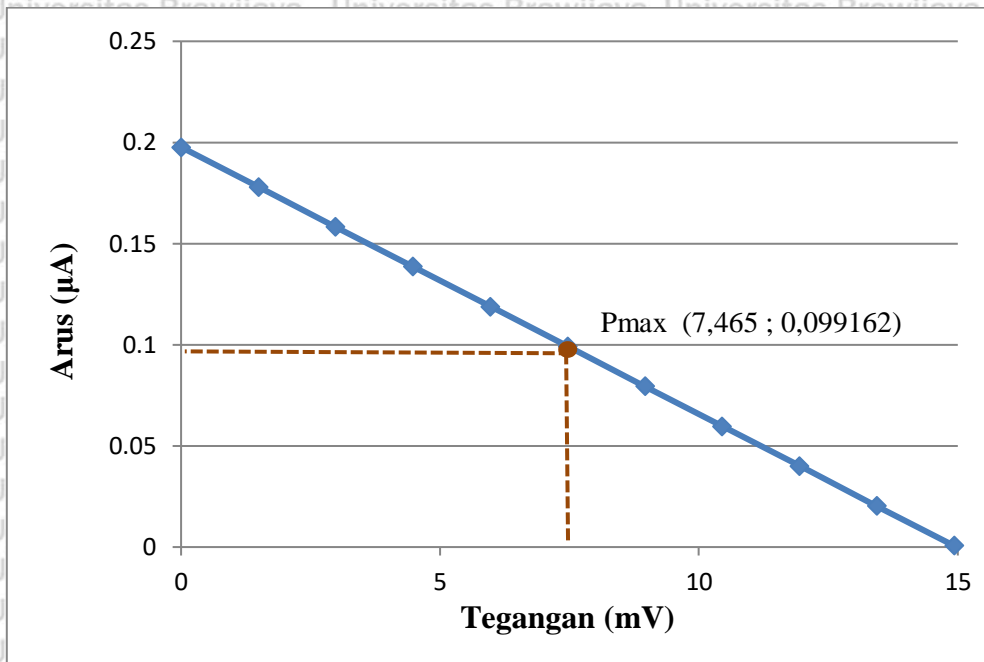
Tabel 4. 6 Perhitungan  $V_m$  dan  $I_m$  pada sampel B

No.	x (mV)	y (μA)	x.y
1	0	0,1977	0
2	1,493	0,177992	0,265743
3	2,986	0,158285	0,472638
4	4,479	0,138577	0,620687
5	5,972	0,11887	0,709889
6	7,465	0,099162	0,740244
7	8,958	0,079454	0,711753
8	10,451	0,059747	0,624414
9	11,944	0,040039	0,478228
10	13,437	0,020332	0,273196
11	14,93	0,000624	0,009316

Grafik karakteristik berdasarkan pengujian  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$  pada sampel B ditunjukkan pada Gambar 4.15.







Gambar 4. 15 Grafik karakteristik berdasarkan pengujian Voc dan Isc pada sampel B.

Berdasarkan perhitungan  $V_M$  dan  $I_M$  yang ditunjukkan pada Tabel 4.6, didapatkan  $V_M$  sebesar 7,465 mV dan  $I_M$  sebesar 0,099162  $\mu$ A. Dari data tersebut, kemudian dicari *fill factor*, daya maksimum dan efisiensi.

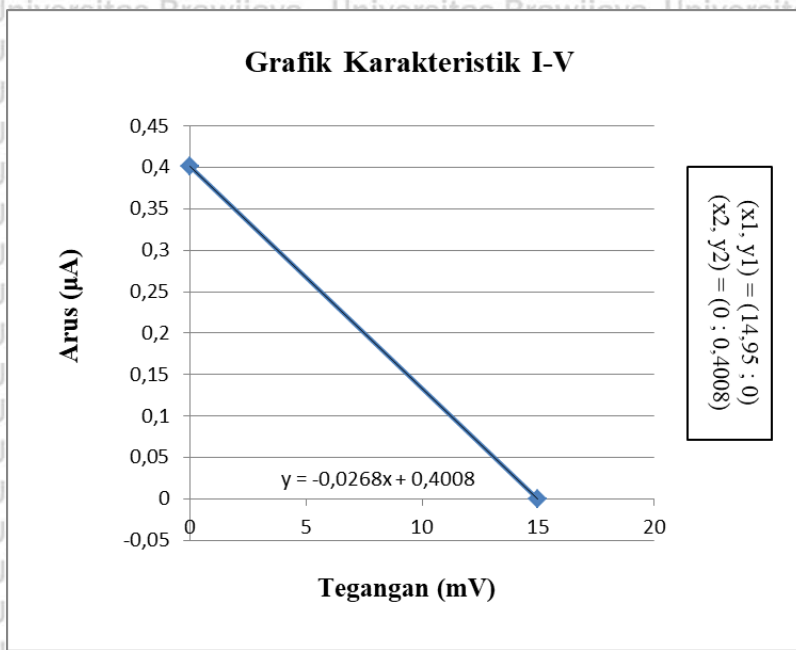
$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{7,465 \times 0,099162}{14,93 \times 0,1977} = 0,251$$

$$P_{maks} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = (14,93 \times 10^{-3}) \times (0,1977 \times 10^{-6}) \times 0,251 = 7,408 \times 10^{-10} \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{maks}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{7,408 \times 10^{-10}}{7} \times 100\% = 1,058 \times 10^{-10}\%$$

### 3. Analisis perhitungan karakteristik Perovskite Solar Cell pada sampel C

Berdasarkan pengujian pada sampel C, didapatkan hasil pengukuran rata-rata  $V_{oc}$  sebesar 14,95 mV dan rata-rata  $I_{sc}$  sebesar 0,4008  $\mu$ A. Kedua nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai m dan y menggunakan bantuan grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 16 Grafik Karakteristik Hubungan I-V pada sampel C

Dengan menggunakan data pada grafik di atas, maka didapatkan nilai m dan y pada perhitungan berikut ini.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{0,4008 - 0}{0 - 14,95} = -0,0268$$

$$y = -0,0268x + 0,4008$$

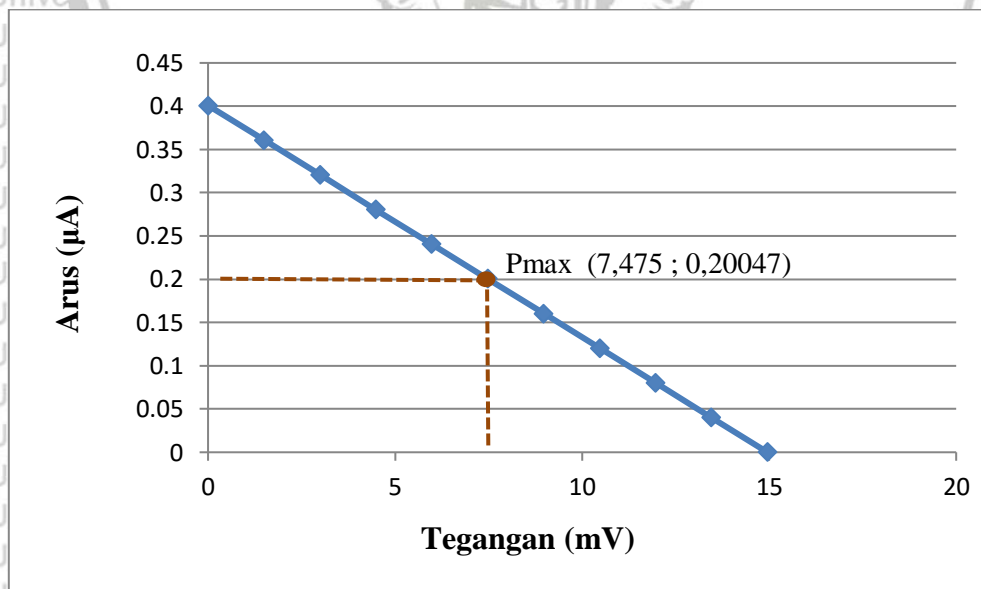
Persamaan y digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I-V. Perhitungan  $V_M$  dan  $I_M$  pada sampel C ditunjukkan pada Tabel 4.7.



Tabel 4. 7 Perhitungan Vm dan Im pada sampel C

No.	x (mV)	y (μA)	x.y
1	0	0,4008	0
2	1,495	0,360734	0,539297
3	2,99	0,320668	0,958797
4	4,485	0,280602	1,2585
5	5,98	0,240536	1,438405
6	7,475	0,20047	1,498513
7	8,97	0,160404	1,438824
8	10,465	0,120338	1,259337
9	11,96	0,080272	0,960053
10	13,455	0,040206	0,540972
11	14,95	0,00014	0,002093

Grafik karakteristik berdasarkan pengujian  $V_{OC}$  dan  $I_{SC}$  pada sampel C ditunjukkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Grafik Karakteristik Berdasarkan Pengujian  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$  pada sampel C

Berdasarkan perhitungan  $V_M$  dan  $I_M$  yang ditunjukkan pada Tabel 4.7, didapatkan  $V_M$  sebesar 7,475 mV dan  $I_M$  sebesar 0,20047  $\mu$ A. Dari data tersebut, kemudian dicari *fill factor*, daya maksimum dan efisiensi.

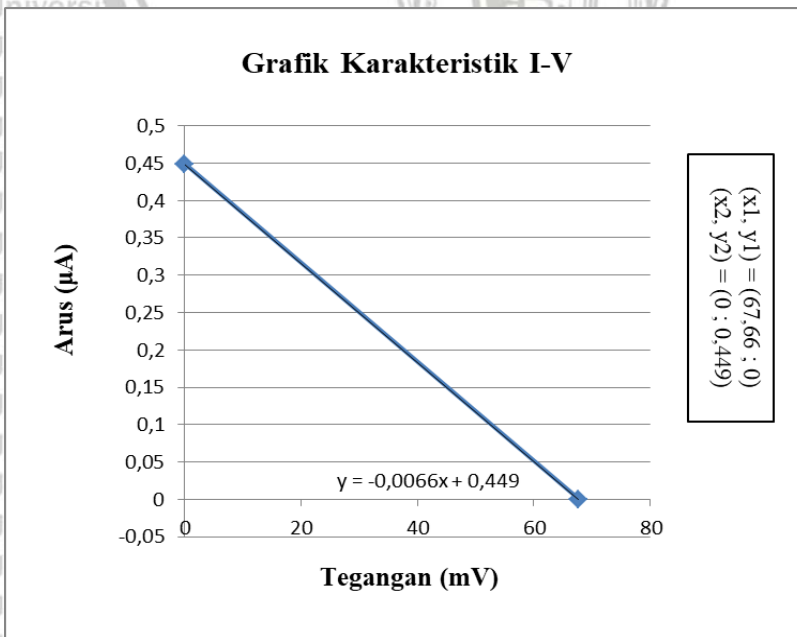
$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{7,475 \times 0,20047}{14,95 \times 0,4008} = 0,250$$

$$P_{maks} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = (14,95 \times 10^{-3}) \times (0,4008 \times 10^{-6}) \times 0,250 = 1,498 \times 10^{-9} \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{maks}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{1,498 \times 10^{-9}}{7} \times 100\% = 2,14 \times 10^{-10}\%$$

4. Analisis Perhitungan Karakteristik *Perovskite Solar Cell* Pada Sampel D

Berdasarkan pengujian pada sampel D, didapatkan hasil pengukuran rata-rata  $V_{OC}$  sebesar 67,66 mV dan rata-rata  $I_{SC}$  sebesar 0,449  $\mu$ A. Kedua nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai m dan y menggunakan bantuan grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 18 Grafik Karakteristik Hubungan I-V Pada Sampel D



Dengan menggunakan data pada grafik di atas, maka didapatkan nilai  $m$  dan  $y$  pada perhitungan berikut ini.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{0,449 - 0}{0 - 67,66} = -0,0066$$

$$y = -0,0066x + 0,449$$

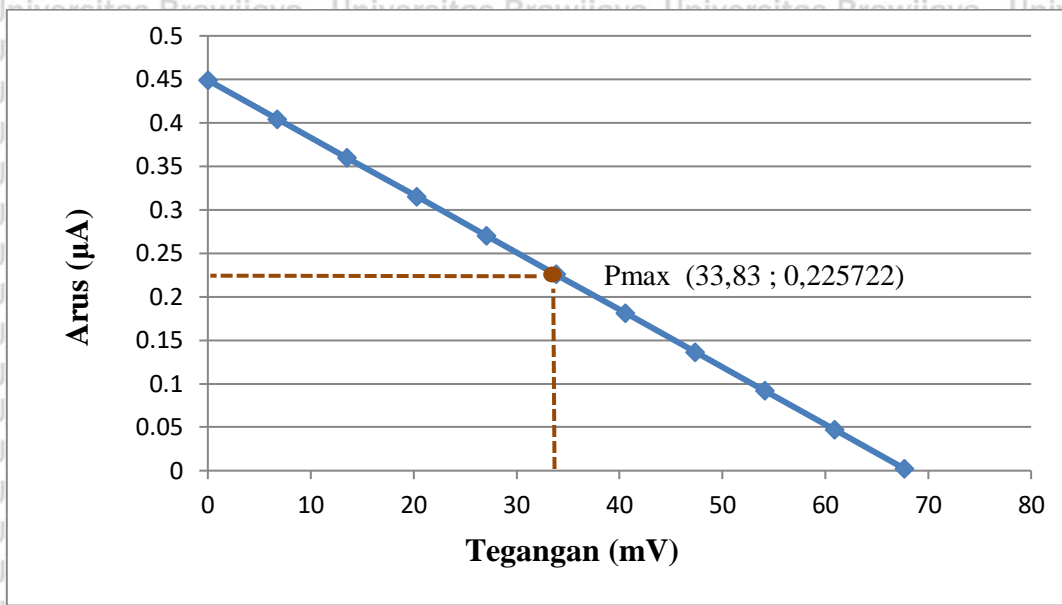
Persamaan  $y$  digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I-V. Perhitungan  $V_M$  dan  $I_M$  pada sampel D ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Perhitungan  $V_m$  dan  $I_m$  pada sampel D

No.	x (mV)	y (μA)	x.y
1	0	0,449	0
2	6,766	0,404344	2,735794
3	13,532	0,359689	4,867309
4	20,298	0,315033	6,394544
5	27,064	0,270378	7,317499
6	33,83	0,225722	7,636175
7	40,596	0,181066	7,350572
8	47,362	0,136411	6,460688
9	54,128	0,091755	4,966525
10	60,894	0,0471	2,868083
11	67,66	0,002444	0,165361

Grafik karakteristik berdasarkan pengujian  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$  pada sampel D ditunjukkan pada Gambar 4.19.





Gambar 4. 19 Grafik karakteristik berdasarkan pengujian Voc dan Isc pada sampel D

Berdasarkan perhitungan  $V_M$  dan  $I_M$  yang ditunjukkan pada Tabel 4.8, didapatkan  $V_M$  sebesar 33,83 mV dan  $I_M$  sebesar 0,225722  $\mu$ A. Dari data tersebut, kemudian dicari *fill factor*, daya maksimum dan efisiensi.

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{33,83 \times 0,225722}{67,66 \times 0,449} = 0,251$$

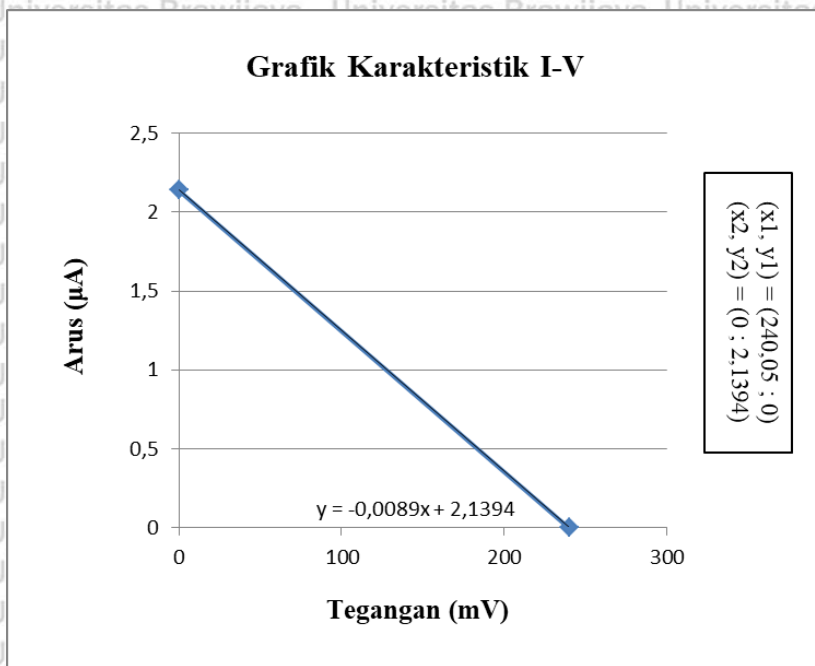
$$P_{maks} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = (67,66 \times 10^{-3}) \times (0,449 \times 10^{-6}) \times 0,251 = 7,625 \times 10^{-9} \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{maks}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{7,625 \times 10^{-9}}{7} \times 100\% = 1,089 \times 10^{-9}\%$$

5. Analisis perhitungan karakteristik *Perovskite Solar Cell* pada sampel E

Berdasarkan pengujian pada sampel E, didapatkan hasil pengukuran rata-rata Voc sebesar 240,05 mV dan rata-rata Isc sebesar 2,1394  $\mu$ A. Kedua nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai m dan y menggunakan bantuan grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini.





Gambar 4. 20 Grafik Karakteristik Hubungan I-V Pada Sampel E

Dengan menggunakan data pada grafik di atas, maka didapatkan nilai  $m$  dan  $y$  pada perhitungan berikut ini.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{2,1394 - 0}{0 - 240,05} = -0,0089$$

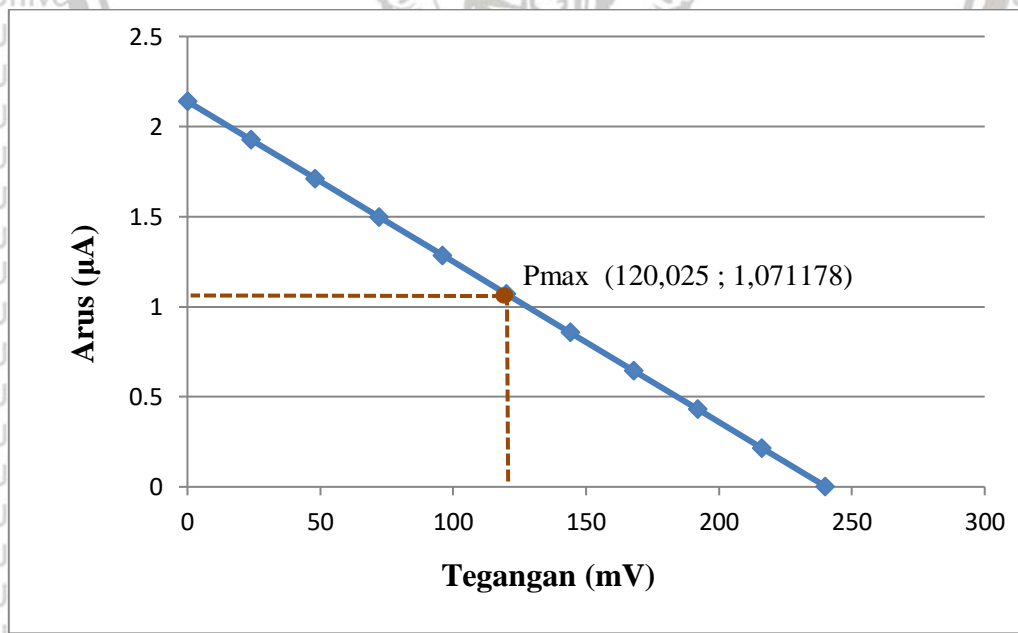
$$y = -0,0089x + 2,1394$$

Persamaan  $y$  digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I-V. Perhitungan  $V_M$  dan  $I_M$  pada sampel E ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Perhitungan  $V_m$  dan  $I_m$  pada sampel E

No.	x (mV)	y ( $\mu$ A)	x.y
1	0	2,1394	0
2	24,005	1,925756	46,22776
3	48,01	1,712111	82,19845
4	72,015	1,498467	107,9121
5	96,02	1,284822	123,3686
6	120,025	1,071178	128,5681
7	144,03	0,857533	123,5105
8	168,035	0,643889	108,1958
9	192,04	0,430244	82,62406
10	216,045	0,2166	46,79524
11	240,05	0,002955	0,709348

Grafik karakteristik berdasarkan pengujian  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$  pada sampel E ditunjukkan pada Gambar 4.21.



Gambar 4. 21 Grafik karakteristik berdasarkan pengujian  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$  pada sampel E



Berdasarkan perhitungan  $V_M$  dan  $I_M$  yang ditunjukkan pada Tabel 4.8, didapatkan  $V_M$  sebesar 120,025 mV dan  $I_M$  sebesar 1,071178  $\mu$ A. Dari data tersebut, kemudian dicari *fill factor*, daya maksimum dan efisiensi.

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{120,25 \times 1,071178}{240,05 \times 2,1394} = 0,250$$

$$P_{maks} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = (240,05 \times 10^{-3}) \times (2,1394 \times 10^{-6}) \times 0,250 \\ = 1,284 \times 10^{-7} \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{maks}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{1,284 \times 10^{-7}}{7} \times 100\% = 1,834 \times 10^{-8}\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan secara keseluruhan, didapatkan nilai *fill factor* (FF), daya maksimum ( $P_{maks}$ ), dan efisiensi ( $\eta$ ) seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Sampel	Voc (mV)	Isc ( $\mu$ A)	FF	Pmax (Watt)	$\eta$ (%)
A	14,92	0,0895	0,249	$3,325 \times 10^{-10}$	$4,75 \times 10^{-11}$
B	14,93	0,1977	0,251	$7,408 \times 10^{-10}$	$1,058 \times 10^{-10}$
C	14,95	0,4008	0,25	$1,498 \times 10^{-9}$	$2,14 \times 10^{-10}$
D	67,66	0,449	0,251	$7,625 \times 10^{-9}$	$1,089 \times 10^{-9}$
E	250,05	2,1394	0,25	$1,284 \times 10^{-7}$	$1,834 \times 10^{-8}$

Tabel 4. 10 Hasil perhitungan karakteristik Perovskite Solar Cell

Berdasarkan data para Tabel 4.10, hasil perhitungan dari pengujian tegangan dan arus dapat diketahui bahwa *perovskite solar cell* sampel E mampu menghasilkan daya keluaran dan performansi terbesar yaitu sebesar  $1,284 \times 10^{-7}$  Watt dan  $1,834 \times 10^{-8}\%$ .

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis perhitungan *Perovskite Solar Cell* pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Semakin cepat putaran *spin coating* pada proses perancangan *Perovskite Solar Cell*, maka tegangan dan arus yang dihasilkan semakin besar. Tegangan dan arus tertinggi dihasilkan oleh variasi sampel E dengan kecepatan putar *spin coating* 1.000 rpm yaitu sebesar 240,05 mV dan 2,1394  $\mu$ A.
2. Hampir keseluruhan sampel menunjukkan pola yang sama terhadap kuat pencahayaan, yaitu semakin kuat pencahayaan yang diberikan pada area kerja *Perovskite Solar Cell*, maka tegangan dan arus yang dihasilkan juga semakin besar.

### 5.2 Saran

Dalam penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan yang diharapkan dapat disempurnakan dengan melakukan penelitian lebih lanjut. Beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain.

1. Pada penelitian selanjutnya dianjurkan untuk menggunakan bahan-bahan *Pro Analysis* terbaik untuk meningkatkan performansi dari *Perovskite Solar Cell*.
2. Pada proses pengujian, sebaiknya pengukuran *Perovskite Solar Cell* dilakukan tidak lama setelah pemberian lapisan elektrolit karena semakin lama didiamkan dapat menyebabkan kerusakan pada *Perovskite Solar Cell*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, L. (2016). Dinamika sektor kelistrikan di Indonesia: kebutuhan dan performa penyediaan. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan*, 24(1), 29-41.
- Adityawarman, D., Zebua, O., & Hakim, L. (2014). Rancang Bangun Alat Ukur Menggunakan Transformator Arus Berbasis Mikrokontroler Atmega32. *Electrician*, 8(2), 45-56.
- Andriana, Yuanita. (2015). Rancang Bangun Alat Ukur Efisiensi lampu Pijar Berbasis Mikrokontroler. Jakarta: Universitas Indonesia
- Damayanthi, E. (2019). PENGARUH LUAS PERMUKAAN TERHADAP PERFORMANSI *PEROVSKITE SOLAR CELL*. *Jurnal Mahasiswa TEUB*, 7(5).
- Hartati, W., Km, J. L., & Lebak, C. (2011). Pengembangan Model Pengukuran Intensitas Cahaya dalam Fotometri. *Jurnal Otomasi, Kontrol & Instrumentasi*, 2(2).
- Hedar, F., Mudjirahardjo, P., & Maulana, E. (2019). Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Kalsium Karbonat Dan Titanium Dioksida Terhadap Karakteristik Solar Sel Perovskit. *Jurnal Mahasiswa TEUB*, 7(2).
- Hidayat, A., Rokhmat, M., & Qurthobi, A. (2014). Pengaruh Suhu Dan Kecepatan Putar Spin Coating Terhadap Kinerja Sel Surya Organik Berbahan Dasar Tio2. *eProceedings of Engineering*, 1(1).
- Kholiq, I. (2015). Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM. *Jurnal Iptek*, 19(2), 75-91.
- Lukman, M. W. (2013). Sintesis Biomaterial Komposit CaO-SiO<sub>2</sub> Berbasis Material Alam (Batuan Kapur dan Pasir Kuarsa) dengan Variasi Suhu Pemanasan dan Pengaruhnya Terhadap Porositas, Kekerasan dan Mikrostruktur. *SKRIPSI Jurusan Fisika-Fakultas MIPA UM*.
- Nasyori, A. (2019). *Pengaruh Ketebalan TiO<sub>2</sub> terhadap Nilai Efisiensi DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) dengan Menggunakan Pewarna dari Bahan Secang (Caesalpinia Sappan Linn)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar).
- Ngafifi, M. (2014). Kemajuan teknologi dan pola hidup manusia dalam perspektif sosial budaya. *Jurnal Pembangunan Pendidikan: Fondasi dan Aplikasi*, 2(1).



Nurul, A. (2014). *Zaman yang Tidak Bisa Dihindari*. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga.

Puspita, E. (2018). *Sintesis Dan Karakterisasi Kalsium Silikat Berbahan Dasar Cangkang Kerang Darah Pada Suhu Kalsinasi 1000°C*.

Riyanti, R. S. (2019). *Pengaruh Kecepatan Putaran Spin Coating Terhadap Performansi Perovskite Solar Cell*. *Jurnal Mahasiswa TEUB*, 7(4).

Saliba, M., Taisuke, Matsui, et al. (2016). *Cesium-Containing Triple Cation PSCs: Improved Stability, Reproducibility, and High Efficiency*. Switzerland: *Laboratory of Photonics and Interfaces, Institute of Chemical Sciences and Engineering*, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne CH-1015.

Shodiq, J. F. (2016). *Simulasi performa photovoltaics berbahan nanokristalin SnO<sub>2</sub>* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).

Torimtubun, A. A. A., Anniza, C. A., Eka, M. & Lusi, E. (2018). *Affordable and Sustainable new Generation of Solar Cell: Calcium Titanate (CaTiO<sub>3</sub>) – Based Perovskite Solar Cell*. *Jurnal E3s Web Conferences* 67. Balikpapan: Institut Teknologi Kalimantan.

Wibawa, U., & Darmawan, A. (2012). *Penerapan Sistem Photovoltaik Sebagai Suplai Daya Listrik Beban Pertamanan*. *Jurnal EECCIS*, 2(1), 26-37.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi



Gambar lampiran 1.1 Proses Sintesis  $\text{CaSiO}_3$  Menggunakan *Magnetic Stirrer*



Gambar lampiran 1.2 Proses *Firing* Pada Hasil Sintesis  $\text{CaSiO}_3$



Gambar lampiran 1.3  $\text{CaSiO}_3$  Setelah Proses Firing

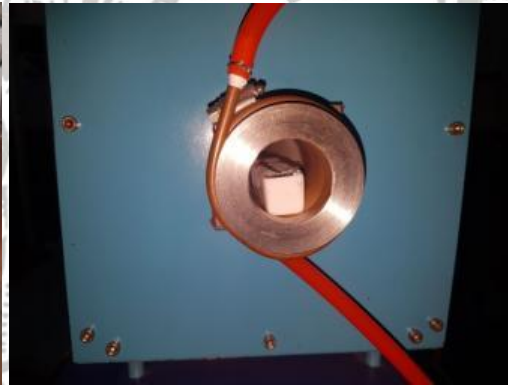


Gambar lampiran 1.4 Proses Penumbukan  $\text{CaSiO}_3$





Gambar lampiran 1.5  $\text{CaSiO}_3$  Setelah Ditumbuk



Gambar lampiran 1.6 Proses Firing Menggunakan Furnance



Gambar lampiran 1.7  $\text{CaSiO}_3$  Setelah Proses Firing Menggunakan Furnance





Gambar lampiran 1.8 Perendaman Kaca TCO Menggunakan Ultrasonic Cleaner

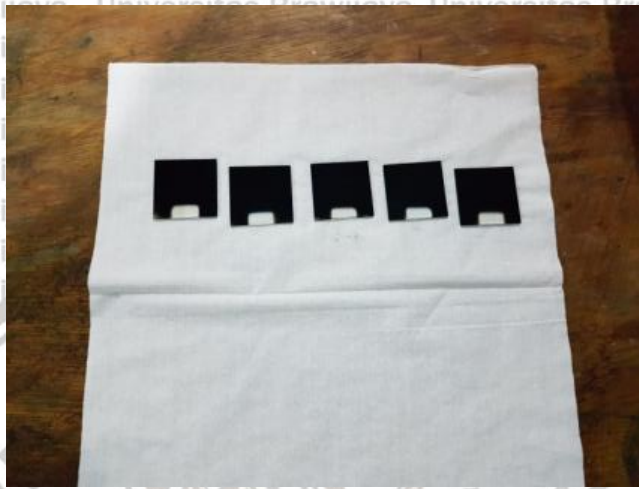


Gambar lampiran 1.9 Kaca TCO Setelah Direndam Menggunakan Ultrasonic Cleaner



Gambar lampiran 1.10 Proses Pelapisan Karbon





Gambar lampiran 1.11 Kaca TCO Setelah Dilapisi Karbon



Gambar lampiran 1.12 Proses Pembuatan Pasta TiO<sub>2</sub>



*Gambar lampiran 1.13 Proses Pelapisan Pasta TiO<sub>2</sub>*



*Gambar lampiran 1.14 Proses Pelapisan Perovskite*





*Gambar lampiran 1.15 Proses Pemberian Elektrolit*



*Gambar lampiran 1.16 Hasil Perakitan Perovskite Solar Cell*



Gambar lampiran 1.17 Proses Pengujian Tegangan




Gambar lampiran 1.18 Proses Pengujian Resistansi



## Lampiran 2. Datasheet

### 2.1 Kalsium Karbonat CaCO<sub>3</sub>



**LabChem**  
performance through chemistry

### Calcium Carbonate

#### Safety Data Sheet

according to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations  
Date of issue: 04/10/2014    Revision date: 12/29/2016    Supersedes: 07/08/2016    Version: 1.2

---

**SECTION 1: Identification**

**1.1. Identification**

Product form	: Substance
Substance name	: Calcium Carbonate
CAS No	: 471-34-1
Product code	: LC12690
Formula	: CaCO <sub>3</sub>

**1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against**

Use of the substance/mixture	: For laboratory and manufacturing use only.
Recommended use	: Laboratory chemicals
Restrictions on use	: Not for food, drug or household use

**1.3. Details of the supplier of the safety data sheet**

LabChem Inc  
Jackson's Pointe Commerce Park Building 1000, 1010 Jackson's Pointe Court  
Zellenople, PA 16063 - USA  
T 412-826-5230 - F 724-473-0647  
[info@labchem.com](mailto:info@labchem.com) - [www.labchem.com](http://www.labchem.com)

**1.4. Emergency telephone number**

Emergency number	: CHEMTREC: 1-800-424-9300 or 011-703-527-3887
------------------	--

---

**SECTION 2: Hazard(s) Identification**

**2.1. Classification of the substance or mixture**


**GHS-US classification**

Skin corrosion/irritation Category 2	H315
Serious eye damage/eye irritation Category 2B	H320
Specific target organ toxicity (single exposure) Category 3	H335

Full text of H statements : see section 16

**2.2. Label elements**

**GHS-US labeling**

Hazard pictograms (GHS-US)	: 
	: GHS07
Signal word (GHS-US)	: Warning
Hazard statements (GHS-US)	: H315 - Causes skin irritation H320 - Causes eye irritation H335 - May cause respiratory irritation
Precautionary statements (GHS-US)	: P261 - Avoid breathing dust P264 - Wash exposed skin thoroughly after handling P271 - Use only outdoors or in a well-ventilated area P280 - Wear protective gloves, eye protection P302+P352 - IF ON SKIN: Wash with plenty of soap and water P305+P351+P338 - If in eyes: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing P312 - Call a POISON CENTER or doctor/physician if you feel unwell P332+P313 - If skin irritation occurs: Get medical advice/attention P337+P313 - If eye irritation persists: Get medical advice/attention P362+P364 - Take off contaminated clothing and wash it before reuse P403+P233 - Store in a well-ventilated place. Keep container tightly closed P405 - Store locked up P501 - Dispose of contents/container to comply with local, state and federal regulations If inhaled: Remove person to fresh air and keep comfortable for breathing



## Calcium Carbonate

### Safety Data Sheet

according to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

#### 2.3. Other hazards

Other hazards not contributing to the classification : None under normal conditions.

#### 2.4. Unknown acute toxicity (GHS US)

Not applicable

### SECTION 3: Composition/Information on ingredients

#### 3.1. Substances

Substance type : Mono-constituent

Name	Product identifier	%	GHS-US classification
Calcium Carbonate (Main constituent)	(CAS No) 471-34-1	100	Skin Irrit. 2, H315 Eye Irrit. 2B, H320 STOT SE 3, H335

Full text of hazard classes and H-statements : see section 16

#### 3.2. Mixtures

Not applicable

### SECTION 4: First aid measures

#### 4.1. Description of first aid measures

First-aid measures general : Never give anything by mouth to an unconscious person. If you feel unwell, seek medical advice (show the label where possible).

First-aid measures after inhalation : Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing. Call a POISON CENTER or doctor/physician if you feel unwell.

First-aid measures after skin contact : Wash with plenty of soap and water. Wash contaminated clothing before reuse. If skin irritation occurs: Get medical advice/attention.

First-aid measures after eye contact : IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.

First-aid measures after ingestion : Rinse mouth. Do NOT induce vomiting. Obtain emergency medical attention.

#### 4.2. Most important symptoms and effects, both acute and delayed

Symptoms/injuries after inhalation : May cause respiratory irritation.

Symptoms/injuries after skin contact : Causes skin irritation.

Symptoms/injuries after eye contact : Causes eye irritation.

#### 4.3. Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

Obtain medical assistance.

### SECTION 5: Firefighting measures

#### 5.1. Extinguishing media

Suitable extinguishing media : Foam. Dry powder. Carbon dioxide. Water spray. Sand.

Unsuitable extinguishing media : Do not use a heavy water stream.

#### 5.2. Special hazards arising from the substance or mixture

Fire hazard : Not flammable.

Reactivity : Upon combustion: CO and CO2 are formed. Violent to explosive reaction with (some) acids.

#### 5.3. Advice for firefighters

Firefighting instructions : Use water spray or fog for cooling exposed containers. Exercise caution when fighting any chemical fire. Prevent fire-fighting water from entering environment.

Protection during firefighting : Do not enter fire area without proper protective equipment, including respiratory protection.

### SECTION 6: Accidental release measures

#### 6.1. Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

##### 6.1.1. For non-emergency personnel

Protective equipment : Safety glasses. Gloves. Dust mask.

Emergency procedures : Evacuate unnecessary personnel.

##### 6.1.2. For emergency responders

Protective equipment : Equip cleanup crew with proper protection.

Emergency procedures : Ventilate area.



## Calcium Carbonate

### Safety Data Sheet

according to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

#### 6.2. Environmental precautions

Prevent entry to sewers and public waters. Notify authorities if liquid enters sewers or public waters.

#### 6.3. Methods and material for containment and cleaning up

Methods for cleaning up : On land, sweep or shovel into suitable containers. Minimize generation of dust. Store away from other materials.

#### 6.4. Reference to other sections

See Heading 8. Exposure controls and personal protection.

### SECTION 7: Handling and storage

#### 7.1. Precautions for safe handling

Precautions for safe handling : Wash hands and other exposed areas with mild soap and water before eating, drinking or smoking and when leaving work. Provide good ventilation in process area to prevent formation of vapor. Avoid breathing dust. Use only outdoors or in a well-ventilated area.

Hygiene measures

: Wash exposed skin thoroughly after handling.

#### 7.2. Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Storage conditions : Keep container tightly closed.

Incompatible products : Strong oxidizers. Strong acids.

Incompatible materials : Sources of ignition. Direct sunlight.

### SECTION 8: Exposure controls/personal protection

#### 8.1. Control parameters

##### Calcium Carbonate (471-34-1)

OSHA	OSHA PEL (TWA) (mg/m <sup>3</sup> )	5 mg/m <sup>3</sup>
NIOSH	NIOSH REL (TWA) (mg/m <sup>3</sup> )	5 mg/m <sup>3</sup>

#### 8.2. Exposure controls

Appropriate engineering controls : Emergency eye wash fountains and safety showers should be available in the immediate vicinity of any potential exposure. Ensure good ventilation of the work station.

Personal protective equipment : Safety glasses. Gloves. Dust formation: dust mask.



Hand protection : Wear protective gloves.

Eye protection : Chemical goggles or safety glasses.

Respiratory protection : Dust formation: dust mask.

Other information : Do not eat, drink or smoke during use.

### SECTION 9: Physical and chemical properties

#### 9.1. Information on basic physical and chemical properties

Physical state	: Solid
Appearance	: White powder or lumps.
Color	: white
Odor	: None.
Odor threshold	: No data available
pH	: No data available
Melting point	: 825 °C
Freezing point	: No data available
Boiling point	: No data available
Flash point	: No data available
Relative evaporation rate (butyl acetate=1)	: No data available
Flammability (solid, gas)	: Non flammable.

## Calcium Carbonate

### Safety Data Sheet

according to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

Vapor pressure	: No data available
Relative vapor density at 20 °C	: No data available
Relative density	: No data available
Specific gravity / density	: 2.93 g/cm <sup>3</sup>
Molecular mass	: 100.09 g/mol
Solubility	: Water: 0.00153 g/100ml
Log Pow	: No data available
Auto-ignition temperature	: No data available
Decomposition temperature	: 825 °C
Viscosity, kinematic	: No data available
Viscosity, dynamic	: No data available
Explosion limits	: No data available
Explosive properties	: No data available
Oxidizing properties	: No data available

#### 9.2. Other information

No additional information available

### SECTION 10: Stability and reactivity

#### 10.1. Reactivity

Upon combustion: CO and CO<sub>2</sub> are formed. Violent to explosive reaction with (some) acids.

#### 10.2. Chemical stability

Stable under normal conditions.

#### 10.3. Possibility of hazardous reactions

Reacts violently with acids.

#### 10.4. Conditions to avoid

Direct sunlight. Extremely high or low temperatures.

#### 10.5. Incompatible materials

Strong acids. Strong oxidizers.

#### 10.6. Hazardous decomposition products

Carbon monoxide. Carbon dioxide.

### SECTION 11: Toxicological information

#### 11.1. Information on toxicological effects

Likely routes of exposure : Inhalation; Skin and eye contact

Acute toxicity : Not classified

#### Calcium Carbonate (471-34-1)

LD50 oral rat	6450 mg/kg
ATE US (oral)	6450.000 mg/kg body weight

Skin corrosion/irritation : Causes skin irritation.

Serious eye damage/irritation : Causes eye irritation.

Respiratory or skin sensitization : Not classified

Germ cell mutagenicity : Not classified

Carcinogenicity : Not classified

Reproductive toxicity : Not classified

Specific target organ toxicity – single exposure : May cause respiratory irritation.

Specific target organ toxicity – repeated exposure : Not classified

Aspiration hazard : Not classified

Potential Adverse human health effects and symptoms : Based on available data, the classification criteria are not met.



## Calcium Carbonate

### Safety Data Sheet

according to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

Symptoms/injuries after inhalation : May cause respiratory irritation.  
 Symptoms/injuries after skin contact : Causes skin irritation.  
 Symptoms/injuries after eye contact : Causes eye irritation.

#### SECTION 12: Ecological information

##### 12.1. Toxicity

No additional information available

##### 12.2. Persistence and degradability

###### Calcium Carbonate (471-34-1)

Persistence and degradability	Not established.
-------------------------------	------------------

##### 12.3. Bioaccumulative potential

###### Calcium Carbonate (471-34-1)

Bioaccumulative potential	Not established.
---------------------------	------------------

##### 12.4. Mobility in soil

No additional information available

##### 12.5. Other adverse effects

Other information : Avoid release to the environment.

#### SECTION 13: Disposal considerations

##### 13.1. Waste treatment methods

Waste disposal recommendations : Dispose in a safe manner in accordance with local/national regulations.  
 Ecology - waste materials : Avoid release to the environment.

#### SECTION 14: Transport information

##### Department of Transportation (DOT)

In accordance with DOT

Not regulated

#### SECTION 15: Regulatory information

##### 15.1. US Federal regulations

###### Calcium Carbonate (471-34-1)

Listed on the United States TSCA (Toxic Substances Control Act) inventory

SARA Section 311/312 Hazard Classes	Immediate (acute) health hazard
-------------------------------------	---------------------------------

All components of this product are listed, or excluded from listing, on the United States Environmental Protection Agency Toxic Substances Control Act (TSCA) inventory

This product or mixture does not contain a toxic chemical or chemicals in excess of the applicable de minimis concentration as specified in 40 CFR §372.38(a) subject to the reporting requirements of section 313 of Title III of the Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986 and 40 CFR Part 372.

##### 15.2. International regulations

###### CANADA

###### Calcium Carbonate (471-34-1)

Listed on the Canadian DSL (Domestic Substances List)

WHMIS Classification	Class D Division 2 Subdivision B - Toxic material causing other toxic effects
----------------------	---

###### EU-Regulations

No additional information available

###### National regulations

###### Calcium Carbonate (471-34-1)

Not listed on the Canadian IDL (Ingredient Disclosure List)

## Calcium Carbonate

### Safety Data Sheet

according to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

#### 15.3. US State regulations

California Proposition 65 - This product does not contain any substances known to the state of California to cause cancer, developmental and/or reproductive harm

#### SECTION 16: Other information

Revision date : 12/29/2016  
Other information : None.

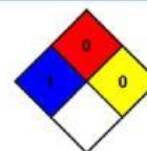
Full text of H-phrases: see section 16:

H315	Causes skin irritation
H320	Causes eye irritation
H335	May cause respiratory irritation

NFPA health hazard : 1 - Materials that, under emergency conditions, can cause significant irritation.

NFPA fire hazard : 0 - Materials that will not burn under typical fire conditions, including intrinsically noncombustible materials such as concrete, stone, and sand.

NFPA reactivity : 0 - Material that in themselves are normally stable, even under fire conditions.



HMIS III Rating Health : 1 Slight Hazard - Irritation or minor reversible injury possible

Flammability : 0 Minimal Hazard - Materials that will not burn

Physical : 0 Minimal Hazard - Materials that are normally stable, even under fire conditions, and will NOT react with water, polymerize, decompose, condense, or self-react. Non-Explosives.

Personal protection : E  
E - Safety glasses, Gloves, Dust respirator

SDS US LabChem

*Information in this SDS is from available published sources and is believed to be accurate. No warranty, express or implied, is made and LabChem Inc assumes no liability resulting from the use of this SDS. The user must determine suitability of this information for his application.*






2.2 Silikon Dioksida SiO<sub>2</sub>

Silicon Oxide (SiO<sub>2</sub>) Nanopowder

US Research Nanomaterials, Inc. [www.us-nano.com](http://www.us-nano.com)

<p><b>SAFTY DATA SHEET</b></p> <p>Revised Date 1/20/2017</p>	
<p><b>1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION</b></p> <p><b>1.1 Product identifiers</b>                  Product name: Silicon Oxide (SiO<sub>2</sub>) Powder                  Product Number : US3435                  Silicon Oxide (SiO<sub>2</sub>) CAS#: 7631-86-9</p> <p><b>1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against</b>                  Identified uses : Research</p> <p><b>1.3 Details of the supplier of the safety data sheet</b>                  Company: <a href="http://www.us-nano.com">US Research Nanomaterials, Inc.</a>                  3302 Twig Leaf Lane                  Houston, TX 77084                  USA                  Telephone: +1 832-460-3661                  Fax: +1 281-492-8628</p> <p><b>1.4 Emergency telephone number</b>                  Emergency Phone # : (832) 359-7887</p>	
<p><b>2. HAZARDS IDENTIFICATION</b></p> <p><b>2.1 Classification of the substance or mixture</b>                  GHS Classification in accordance with 29 CFR 1910 (OSHA HCS)                  Eye irritation (Category 2A), H319                  Respiratory system, H335                  For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.</p> <p><b>2.2 GHS Label elements, including precautionary statements</b></p> <p style="text-align: center;">  </p> <p>Pictogram</p> <p>Signal word <span style="margin-left: 100px;">Warning</span></p> <p>Hazard statement(s)                  H319 Causes serious eye irritation.                  H335 May cause respiratory irritation.</p> <p>Precautionary statement(s)</p>	

<p>P261 Avoid breathing dust/ fume/ gas/ mist/ vapours/ spray.  P264 Wash skin thoroughly after handling.  P271 Use only outdoors or in a well-ventilated area.  P280 Wear protective gloves/ eye protection/ face protection.  P304 + P340 IF INHALED: Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing.  P305 + P351 + P338 IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.  P312 Call a POISON CENTER or doctor/ physician if you feel unwell.  P337 + P313 If eye irritation persists: Get medical advice/ attention.  P403 + P233 Store in a well-ventilated place. Keep container tightly closed.  P405 Store locked up.  P501 Dispose of contents/ container to an approved waste disposal plant.</p> <p><b>2.3 Hazards not otherwise classified (HNOC) or not covered by GHS</b>  None</p>
<p><b>3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS</b></p> <p><b>3.1 Substances</b>  Synonyms : Silicon Oxide (SiO<sub>2</sub>) Powder  Silicon Oxide (SiO<sub>2</sub>) CAS#: 7631-86-9</p> <p><b>Hazardous components</b>  Component: Silicon Oxide (SiO<sub>2</sub>) Powder  Classification: Eye Irrit. 2A; STOT SE 3;  H319, H335  Concentration:  For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.</p>
<p><b>4. FIRST AID MEASURES</b></p> <p><b>4.1 Description of first aid measures</b>  <b>General advice</b>  Consult a physician. Show this safety data sheet to the doctor in attendance. Move out of dangerous area.  <b>If inhaled</b>  If breathed in, move person into fresh air. If not breathing, give artificial respiration. Consult a physician.  <b>In case of skin contact</b>  Wash off with soap and plenty of water. Consult a physician.  <b>In case of eye contact</b>  Rinse thoroughly with plenty of water for at least 15 minutes and consult a physician.  <b>If swallowed</b>  Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water. Consult a physician.</p> <p><b>4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed</b>  The most important known symptoms and effects are described in the labeling (see section 2.2) and/or in section 11</p> <p><b>4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed</b>  no data available</p>
<p><b>5. FIREFIGHTING MEASURES</b></p> <p><b>5.1 Extinguishing media</b></p>



<p><b>Suitable extinguishing media</b> Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.</p> <p><b>5.2 Special hazards arising from the substance or mixture</b> The product is not flammable.</p> <p><b>5.3 Advice for firefighters</b> Wear self contained breathing apparatus for firefighting if necessary.</p> <p><b>5.4 Further information</b> no data available</p>
<p><b>6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES</b></p> <p><b>6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures</b> Use personal protective equipment. Avoid dust formation. Avoid breathing vapors, mist or gas. Ensure adequate ventilation. Evacuate personnel to safe areas. Avoid breathing dust. For personal protection see section 8.</p> <p><b>6.2 Environmental precautions</b> Do not let product enter drains.</p> <p><b>6.3 Methods and materials for containment and cleaning up</b> Pick up and arrange disposal without creating dust. Sweep up and shovel. Keep in suitable, closed containers for disposal.</p> <p><b>6.4 Reference to other sections</b> For disposal see section 13.</p>
<p><b>7. HANDLING AND STORAGE</b></p> <p><b>7.1 Precautions for safe handling</b> Avoid contact with skin and eyes. Avoid formation of dust and aerosols. Provide appropriate exhaust ventilation at places where dust is formed. For precautions see section 2.2.</p> <p><b>7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities</b> Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place.</p> <p><b>7.3 Specific end use(s)</b> Apart from the uses mentioned in section 1.2 no other specific uses are stipulated</p>
<p><b>8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION</b></p> <p><b>8.1 Control parameters</b> <b>Components with workplace control parameters</b> Contains no substances with occupational exposure limit values.</p> <p><b>8.2 Exposure controls</b> <b>Appropriate engineering controls</b> Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice. Wash hands before breaks and at the end of workday. <b>Personal protective equipment</b> <b>Eye/face protection</b></p>



<p>Safety glasses with side-shields conforming to EN166 Use equipment for eye protection tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or EN 166(EU).</p> <p><b>Skin protection</b> For any handling steps where the substance is in particulate form or in a suspension with pure water where the substance is not solubilized, the gloves must be comprised of material that successfully passes ASTM F-1671. For any handling steps where the substance is part of a carrier liquid, other than the aqueous suspension noted in the previous paragraph, gloves must be comprised of material that successfully passes ASTM F-739 (continuous liquid contact method). Gloves must be changed before they show degradation and before the designated breakthrough time for the carrier liquid (as determined by the ASTM F-739 testing or by the manufacturer). Handle with gloves. Gloves must be inspected prior to use. Use proper glove removal technique (without touching glove's outer surface) to avoid skin contact with this product. Dispose of contaminated gloves after use in accordance with applicable laws and good laboratory practices. Wash and dry hands.</p> <p><b>Body Protection</b> Impervious clothing. The type of protective equipment must be selected according to the concentration and amount of the dangerous substance at the specific workplace.</p> <p><b>Respiratory protection</b> The EPA mandates the use of full face respirators with minimum N100 grade cartridges if there is any risk of exposure to the dust. For nuisance exposures use type P95 (US) or type P1 (EU EN 143) particle respirator. For higher level protection use type OV/AG/P99 (US) or type ABEK-P2 (EU EN 143) respirator cartridges. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).</p> <p><b>Control of environmental exposure</b> Do not let product enter drains.</p>
<p><b>9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES</b></p> <p><b>9.1 Information on basic physical and chemical properties</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Appearance: solid</li> <li>b) Odor: no data available</li> <li>c) Odor Threshold: no data available</li> <li>d) pH: no data available</li> <li>e) Melting point/freezing point: 1610 °C</li> <li>f) Initial boiling point and boiling range: 2230 °C</li> <li>g) Flash point: no data available</li> <li>h) Evaporation rate: no data available</li> <li>i) Flammability (solid, gas): no data available</li> <li>j) Upper/lower flammability or explosive limits: no data available</li> <li>k) Vapor pressure: no data available</li> <li>l) Vapor density: no data available</li> <li>m) Relative density: 2.4</li> <li>n) Water solubility: insoluble</li> <li>o) Partition coefficient - noctanol/water: no data available</li> <li>p) Auto-ignition temperature: no data available</li> <li>q) Decomposition temperature: no data available</li> <li>r) Viscosity: no data available</li> <li>s) Explosive properties: no data available</li> <li>t) Oxidizing properties: no data available</li> </ul> <p><b>9.2 Other safety information</b> no data available</p>
<p><b>10. STABILITY AND REACTIVITY</b></p> <p><b>10.1 Reactivity</b></p>





<p>no data available</p> <p><b>10.2 Chemical stability</b> Stable under recommended storage conditions.</p> <p><b>10.3 Possibility of hazardous reactions</b> no data available</p> <p><b>10.4 Conditions to avoid</b> no data available</p> <p><b>10.5 Incompatible materials</b> Strong oxidizing agents</p> <p><b>10.6 Hazardous decomposition products</b> Other decomposition products - no data available In the event of fire: see section 5</p>
<p><b>11. TOXICOLOGICAL INFORMATION</b></p> <p><b>11.1 Information on toxicological effects</b></p> <p><b>Acute toxicity</b> no data available Inhalation: no data available Dermal: no data available</p> <p><b>Skin corrosion/irritation</b> no data available</p> <p><b>Serious eye damage/eye irritation</b> no data available</p> <p><b>Respiratory or skin sensitisation</b> no data available</p> <p><b>Germ cell mutagenicity</b> no data available</p> <p><b>Carcinogenicity</b> no data available</p> <p><b>Reproductive toxicity</b> no data available</p> <p><b>Specific target organ toxicity - single exposure</b> Inhalation - May cause respiratory irritation.</p> <p><b>Specific target organ toxicity - repeated exposure</b> no data available</p> <p><b>Aspiration hazard</b> no data available</p> <p><b>Additional Information</b> RTECS: Not available To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.</p>
<p><b>12. ECOLOGICAL INFORMATION</b></p> <p><b>12.1 Toxicity</b> no data available</p> <p><b>12.2 Persistence and degradability</b></p>



<p>no data available</p> <p><b>12.3 Bioaccumulative potential</b> no data available</p> <p><b>12.4 Mobility in soil</b> no data available</p> <p><b>12.5 Results of PBT and vPvB assessment</b> PBT/vPvB assessment not available as chemical safety assessment not required/not conducted</p> <p><b>12.6 Other adverse effects</b> no data available</p>
<p><b>13. DISPOSAL CONSIDERATIONS</b></p> <p><b>13.1 Waste treatment methods</b> <b>Product</b> Offer surplus and non-recyclable solutions to a licensed disposal company. Contact a licensed professional waste disposal service to dispose of this material. <b>Contaminated packaging</b> Dispose of as unused product.</p>
<p><b>14. TRANSPORT INFORMATION</b></p> <p><b>DOT (US)</b> Not dangerous goods <b>IMDG</b> Not dangerous goods <b>IATA</b> Not dangerous goods</p>
<p><b>15. REGULATORY INFORMATION</b></p> <p><b>SARA 302 Components</b> SARA 302: No chemicals in this material are subject to the reporting requirements of SARA Title III, Section 302. <b>SARA 313 Components</b> SARA 313: This material does not contain any chemical components with known CAS numbers that exceed the threshold (De Minimis) reporting levels established by SARA Title III, Section 313. <b>SARA 311/312 Hazards</b></p>
<p><b>16. OTHER INFORMATION</b></p> <p><b>Full text of H-Statements referred to under sections 2 and 3.</b> Eye Irrit. Eye irritation H319 Causes serious eye irritation. H335 May cause respiratory irritation. <b>HMS Rating</b> Health hazard: 1 Chronic Health Hazard: Flammability: 0 Physical Hazard 0 <b>NFPA Rating</b></p>





Health hazard: 1  
Fire Hazard: 0  
Reactivity Hazard: 0  
**Further information**  
The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product.  
Employers should use this information only as a supplement to other information gathered by them, and should make independent judgment of suitability of this information to ensure proper use and protect the health and safety of employees. This information is furnished without warranty, and any use of the product not in conformance with this Safety Data Sheet, or in combination with any other product or process, is the responsibility of the user.



2.3 Titanium Dioksida TiO<sub>2</sub>



LTS Research Laboratories, Inc.  
Safety Data Sheet  
Titanium Oxide

1. Product and Company Identification

Trade Name:	Titanium oxide
Chemical Formula:	TiO <sub>2</sub>
Recommended Use:	Scientific research and development
Manufacturer/Supplier:	LTS Research Laboratories, Inc.
Street:	37 Ramland Road
City:	Orangeburg
State:	New York
Zip Code:	10962
Country:	USA
Tel #:	855-587-2436 / 855-lts-chem
Emergency Contact (ChemTrec) Tel #:	800-424-9300 (US & Canada) +1-703-527-3887 (International)

2. Hazards Identification

Signal Word: Warning



Hazard Statements:	H351 Suspected of causing cancer
Precautionary Statements:	P281 Use personal protective equipment as required P201 Obtain special instructions before use P308+P313 If exposed or concerned: Get medical advice/attention P405 Store locked up P501 Dispose of contents/container in accordance with local/regional/national/international regulations.

HMIS Health Ratings (0-4):	
Health:	1
Flammability:	0
Reactivity:	1

3. Composition

Chemical Family:	Ceramic
Additional Names:	Titania, Titanium dioxide, Titanium(IV) oxide, Rutile, Anatase
Titanium oxide (TiO <sub>2</sub> ):	
Percentage:	100 wt%
CAS #:	13463-67-7 (General) 1317-70-0 (Anatase) 1317-80-2 (Rutile)
EC #:	236-675-5 (General) 215-280-1 (Anatase) 215-282-2 (Rutile)





4. First Aid Procedures	
General Treatment:	Seek medical attention if symptoms persist.
Special Treatment:	None
Important Symptoms:	None
Inhalation:	Remove victim to fresh air. Supply oxygen if breathing is difficult.
Ingestion:	Give one to two glasses of water and induce vomiting. Never induce vomiting or give anything by mouth to an unconscious person.
Skin:	Wash affected area with mild soap and water. Remove any contaminated clothing.
Eyes:	Flush eyes with water, blinking often for ten minutes.
5. Fire and explosion hazards data	
Flammability:	Non-flammable, except as powder
Flash Point:	N/A
Autoignition Temperature:	N/A
Extinguishing Media:	Use suitable extinguishing agent for surrounding material and type of fire.
Spec. Fire Fighting Procedure:	Use full-face, self-contained breathing apparatus with full protective clothing to prevent contact with skin and eyes.
6. Accidental release measures	
If Material Is Released/Spilled:	Wear appropriate respiratory and protective equipment specified in special protection information. Isolate spill area and provide ventilation. Vacuum up spill using a high efficiency particulate absolute (HEPA) air filter and place in a closed container for disposal. Take care not to raise dust.
Environmental Precautions:	Isolate runoff to prevent environmental pollution.
7. Handling and storage	
Handling Conditions:	Wash thoroughly after handling.
Storage Conditions:	Store in a cool dry place in a tightly sealed container.
Work/Hygienic Maintenance:	Do not use tobacco or food in work area. Wash thoroughly before eating and smoking. Do not blow dust off clothing or skin with compressed air.
Ventilation:	Provide sufficient ventilation to maintain concentration at or below TLV.
8. Exposure Controls / Personal Protection	
Permissible Exposure Limits:	None
Threshold Limit Value:	None
Special Equipment:	None
Respiratory Protection:	Dust Respirator, NIOSH approved
Protective Gloves:	Rubber gloves
Eye Protection:	Safety glasses / goggles
Body Protection:	Protective work clothing. Wear close-toed shoes and long sleeves/pants.

9. Physical and Chemical Characteristics

Color	White or off-white
Form:	Powder, Granules, Pellets, Sputtering target, Custom parts
Odor:	Odorless
Water Solubility:	Insoluble
Boiling Point:	2972 °C
Melting Point:	1843 °C
Density:	4.23 g/cc (Rutile), 3.78 g/cc (Anatase)
Molecular weight:	79.90 g/mol

10. Reactivity

Stability:	Stable under recommended storage conditions
Reacts with:	Oxidizing agents
Incompatible Conditions:	None
Haz. Decomposition Products:	Metal oxide fume

11. Toxicological Information

Potential Health Effects:	
Eyes:	May cause irritation
Skin:	May cause irritation
Ingestion:	Low toxicity by ingestion
Inhalation:	May cause irritation
Chronic:	N/A
Signs & Symptoms of Exposure:	N/A
Medical Conditions	N/A
Aggravated by Exposure:	N/A
Median Lethal Dose:	None
Carcinogen:	Suspected of causing cancer IARC-2B: Possibly carcinogenic to humans; limited evidence in humans in the absence of sufficient evidence in experimental animals.



12. Ecological Information

Aquatic Toxicity:	N/A
Persistent Bioaccumulation Toxicity:	No
Very Persistent, Very Bioaccumulative:	No
Notes:	Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits. Do not allow undiluted product or large quantities to reach ground water, water course or sewage system. Avoid transfer into the environment.





13. Disposal Considerations

Dispose of in accordance with local, state and federal regulations.

14. Transportation Data

Hazardous:	Not hazardous for transportation
Hazard Class:	N/A
Packing Group:	N/A
UN Number:	N/A
Proper Shipping Name:	N/A

15. Regulatory Information

Sec 302 Extremely Hazardous:	No
Sec 304 Reportable Quantities:	N/A
Sec 313 Toxic Chemicals:	Yes

16. Other information

This safety data sheet should be used in conjunction with technical sheets. It does not replace them. The information given is based on our knowledge of this product, at the time of publication. It is given in good faith. The attention of the user is drawn to the possible risks incurred by using the product for any other purpose other than that for which it was intended. This does not in any way excuse the user from knowing and applying all the regulations governing his activity. It is the sole responsibility of the user to take all precautions required in handling the product. The aim of the mandatory regulations mentioned is to help the user to fulfill his obligations regarding the use of hazardous products.

Document Last Revised:



## 2.4 Kaca TCO (Transparent Conductive Oxide)

**SIGMA-ALDRICH**

[sigma-aldrich.com](http://sigma-aldrich.com)

3050 Spruce Street, Saint Louis, MO 63103, USA

Website: [www.sigmaaldrich.com](http://www.sigmaaldrich.com)

Email USA: [techserv@sial.com](mailto:techserv@sial.com)

Outside USA: [eurtechserv@sial.com](mailto:eurtechserv@sial.com)

### Product Specification

**Product Name:**

Indium tin oxide coated glass slide, rectangular - surface resistivity 15-25  $\Omega$ /sq, slide

**Product Number:**

636916

$\text{In}_2\text{O}_3 / \text{SnO}_2$

**CAS Number:**

50926-11-9

**MDL:**

MFC000171662

TEST	Specification
Miscellaneous Assay Slide 25 x 75 x 1.1 mm	Conforms
Surface Resistivity 15-25 OHM	Conforms

Sigma-Aldrich warrants, that at the time of the quality release or subsequent retest date this product conformed to the information contained in this publication.

The current Specification sheet may be available at Sigma-Aldrich.com. For further inquiries, please contact Technical Service. Purchaser must determine the suitability of the product for its particular use. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.





# SIGMA-ALDRICH

[sigma-aldrich.com](http://sigma-aldrich.com)

## SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006  
Version 4.1 Revision Date 14.01.2012  
Print Date 01.05.2014  
GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

### 1. IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/MIXTURE AND OF THE COMPANY/UNDERTAKING

#### 1.1 Product identifiers

Product name : Indium tin oxide coated glass slide, rectangular

Product Number : 636916  
Brand : Aldrich  
CAS-No. : 50926-11-9

#### 1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses : Laboratory chemicals, Manufacture of substances

#### 1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company : Sigma-Aldrich Pte Ltd  
1 Science Park Road  
#02-14 The Capricorn  
Singapore Science Park Road II  
SINGAPORE 117528  
SINGAPORE

Telephone : +65 6779 1200  
Fax : +65 6779 1822

#### 1.4 Emergency telephone number

Emergency Phone # : 1-800-262-8200

### 2. HAZARDS IDENTIFICATION

#### 2.1 Classification of the substance or mixture

Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008 [EU-GHS/CLP]

Skin irritation (Category 2)  
Eye irritation (Category 2)  
Specific target organ toxicity - single exposure (Category 3)

Classification according to EU Directives 67/548/EEC or 1999/45/EC  
Irritating to eyes, respiratory system and skin.

#### 2.2 Label elements

Labelling according Regulation (EC) No 1272/2008 [CLP]

Pictogram



Signal word : Warning

Hazard statement(s)  
H315 : Causes skin irritation.  
H319 : Causes serious eye irritation.  
H335 : May cause respiratory irritation.

Precautionary statement(s)  
P261 : Avoid breathing dust.  
P305 + P351 + P338 : IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.

Supplemental Hazard Statements : none

According to European Directive 67/548/EEC as amended.

Hazard symbol(s)



R-phrases(s)  
R36/37/38

Irritating to eyes, respiratory system and skin.

S-phrases(s)  
S26

In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice.

2.3 Other hazards - none

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

3.2 Mixtures

Synonyms : ITO coated slide, rectangular

Component	Classification	Concentration
<b>Diindium trioxide</b>		
CAS-No. 1312-43-2	Skin Irrit. 2; Eye Irrit. 2; STOT SE 3; H315, H319, H335 Xi, R36/37/38	50 - 100 %
EC-No. 215-193-9		
<b>Tin(IV) oxide***</b>		
CAS-No. 18282-10-5	-	10 - 20 %
EC-No. 242-159-0		

\* PBT substance, \*\* vPvB substance, \*\*\* WEL substance

For the full text of the H-Statements and R-Phrases mentioned in this Section, see Section 16

4. FIRST AID MEASURES

4.1 Description of first aid measures

**General advice**

Consult a physician. Show this safety data sheet to the doctor in attendance.

**If inhaled**

If breathed in, move person into fresh air. If not breathing, give artificial respiration. Consult a physician.

**In case of skin contact**

Wash off with soap and plenty of water. Consult a physician.

**In case of eye contact**

Rinse thoroughly with plenty of water for at least 15 minutes and consult a physician.

**If swallowed**

Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water. Consult a physician.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

no data available

5. FIREFIGHTING MEASURES

5.1 Extinguishing media

**Suitable extinguishing media**

Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.





5.2	<b>Special hazards arising from the substance or mixture</b> Tin/tin oxides, Indium/indium oxides
5.3	<b>Advice for firefighters</b> Wear self contained breathing apparatus for fire fighting if necessary.
5.4	<b>Further information</b> no data available
<hr/>	
6.	<b>ACCIDENTAL RELEASE MEASURES</b>
6.1	<b>Personal precautions, protective equipment and emergency procedures</b> Use personal protective equipment. Avoid dust formation. Avoid breathing vapors, mist or gas. Ensure adequate ventilation. Evacuate personnel to safe areas. Avoid breathing dust.
6.2	<b>Environmental precautions</b> Do not let product enter drains.
6.3	<b>Methods and materials for containment and cleaning up</b> Pick up and arrange disposal without creating dust. Sweep up and shovel. Keep in suitable, closed containers for disposal.
6.4	<b>Reference to other sections</b> For disposal see section 13.
<hr/>	
7.	<b>HANDLING AND STORAGE</b>
7.1	<b>Precautions for safe handling</b> Avoid contact with skin and eyes. Avoid formation of dust and aerosols. Provide appropriate exhaust ventilation at places where dust is formed.
7.2	<b>Conditions for safe storage, including any incompatibilities</b> Store in cool place. Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place.
7.3	<b>Specific end uses</b> no data available
<hr/>	
8.	<b>EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION</b>
8.1	<b>Control parameters</b> Components with workplace control parameters
8.2	<b>Exposure controls</b> <b>Appropriate engineering controls</b> Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice. Wash hands before breaks and at the end of workday. <b>Personal protective equipment</b> <b>Eye/face protection</b> Safety glasses with side-shields conforming to EN166 Use equipment for eye protection tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or EN 166(EU). <b>Skin protection</b> Handle with gloves. Gloves must be inspected prior to use. Use proper glove removal technique (without touching glove's outer surface) to avoid skin contact with this product. Dispose of contaminated gloves after use in accordance with applicable laws and good laboratory practices. Wash and dry hands.  The selected protective gloves have to satisfy the specifications of EU Directive 89/686/EEC and the standard EN 374 derived from it. <b>Body Protection</b> impervious clothing, The type of protective equipment must be selected according to the concentration and amount of the dangerous substance at the specific workplace.
Aldrich - 636916	
Page 3 of 7	

**Respiratory protection**

For nuisance exposures use type P95 (US) or type P1 (EU EN 143) particle respirator. For higher level protection use type OV/AG/P99 (US) or type ABEK-P2 (EU EN 143) respirator cartridges. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).

**9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES**

**9.1 Information on basic physical and chemical properties**

- a) Appearance                      Form: solid
- b) Odour                              no data available
- c) Odour Threshold                no data available
- d) pH                                  no data available
- e) Melting point/freezing point    no data available
- f) Initial boiling point and boiling range    no data available
- g) Flash point                        no data available
- h) Evaporation rate                 no data available
- i) Flammability (solid, gas)        no data available
- j) Upper/lower flammability or explosive limits    no data available
- k) Vapour pressure                 no data available
- l) Vapour density                    no data available
- m) Relative density                1,200 g/cm<sup>3</sup>
- n) Water solubility                 no data available
- o) Partition coefficient: n-octanol/water    no data available
- p) Autoignition temperature        no data available
- q) Decomposition temperature     no data available
- r) Viscosity                         no data available
- s) Explosive properties              no data available
- t) Oxidizing properties             no data available

**9.2 Other safety information**  
no data available

**10. STABILITY AND REACTIVITY**

- 10.1 Reactivity**  
no data available
- 10.2 Chemical stability**  
no data available
- 10.3 Possibility of hazardous reactions**  
no data available
- 10.4 Conditions to avoid**  
no data available



**10.5 Incompatible materials**  
Strong oxidizing agents, Potassium, Strong acids, Aluminum, Sodium/sodium oxides, Magnesium

**10.6 Hazardous decomposition products**  
Other decomposition products - no data available

**11. TOXICOLOGICAL INFORMATION**

**11.1 Information on toxicological effects**

**Acute toxicity**  
no data available

**Skin corrosion/irritation**  
no data available

**Serious eye damage/eye irritation**  
no data available

**Respiratory or skin sensitization**  
no data available

**Germ cell mutagenicity**  
no data available

**Carcinogenicity**  
IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

**Reproductive toxicity**  
no data available

**Specific target organ toxicity - single exposure**  
no data available

**Specific target organ toxicity - repeated exposure**  
no data available

**Aspiration hazard**  
no data available

**Potential health effects**

<b>Inhalation</b>	May be harmful if inhaled. Causes respiratory tract irritation.
<b>Ingestion</b>	May be harmful if swallowed.
<b>Skin</b>	May be harmful if absorbed through skin. Causes skin irritation.
<b>Eyes</b>	Causes serious eye irritation.

**Signs and Symptoms of Exposure**  
To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

**Additional Information**  
RTECS: Not available

**12. ECOLOGICAL INFORMATION**

**12.1 Toxicity**  
no data available

**12.2 Persistence and degradability**  
no data available

**12.3 Bioaccumulative potential**  
no data available

**12.4 Mobility in soil**  
no data available

<b>12.5 Results of PBT and vPvB assessment</b>		
no data available		
<b>12.6 Other adverse effects</b>		
no data available		
<b>13. DISPOSAL CONSIDERATIONS</b>		
<b>13.1 Waste treatment methods</b>		
<b>Product</b>		
Offer surplus and non-recyclable solutions to a licensed disposal company. Dissolve or mix the material with a combustible solvent and burn in a chemical incinerator equipped with an afterburner and scrubber.		
<b>Contaminated packaging</b>		
Dispose of as unused product.		
<b>14. TRANSPORT INFORMATION</b>		
<b>14.1 UN number</b>		
ADR/RID: -	IMDG: -	IATA: -
<b>14.2 UN proper shipping name</b>		
ADR/RID: Not dangerous goods		
IMDG: Not dangerous goods		
IATA: Not dangerous goods		
<b>14.3 Transport hazard class(es)</b>		
ADR/RID: -	IMDG: -	IATA: -
<b>14.4 Packaging group</b>		
ADR/RID: -	IMDG: -	IATA: -
<b>14.5 Environmental hazards</b>		
ADR/RID: no	IMDG Marine pollutant: no	IATA: no
<b>14.6 Special precautions for user</b>		
no data available		
<b>15. REGULATORY INFORMATION</b>		
This safety datasheet complies with the requirements of Regulation (EC) No. 1907/2006.		
<b>15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture</b>		
no data available		
<b>15.2 Chemical Safety Assessment</b>		
no data available		
<b>16. OTHER INFORMATION</b>		
<b>Text of H-code(s) and R-phrases mentioned in Section 3</b>		
Eye Irrit.	Eye irritation	
H315	Causes skin irritation.	
H319	Causes serious eye irritation.	
H335	May cause respiratory irritation.	
Skin Irrit.	Skin irritation	
STOT SE	Specific target organ toxicity - single exposure	
Xi	Irritant	
R36/37/38	Irritating to eyes, respiratory system and skin.	
<b>Further information</b>		
Copyright 2012 Sigma-Aldrich Co. LLC. License granted to make unlimited paper copies for internal use only.		
The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any		
Aldrich - 630916		Page 6 of 7



## 2.5 PVA (Polyvinyl Alcohol)



114266 Polyvinyl alcohol  
protective colloid for argentometric titration

For general questions please contact our  
Customer Service:

Merck KGaA  
Frankfurter Str. 250  
64293 Darmstadt  
Germany  
Phone: +49 6151 72-0  
Fax: +49 6151 72 2000

02 May 2014

Product number	Packaging	Qty/Pk	Price
1142660100	Plastic bottle	100 g	price on request

Prices are subject to change without notice.

### Product information

Synonyms	PVA, PVOH
Hill Formula	$(C_2H_4O)_n$
HS Code	3905 30 00
CAS number	9002-89-5

### Chemical and physical data

Solubility	(20 °C) insoluble
Melting point	160 - 240 °C
Bulk density	400 - 670 kg/m <sup>3</sup>

### Safety information

RTECS	TR8100000
Storage class	10 - 13 Other liquids and solids
WGK	WGK 1 slightly water endangering
Disposal	3 Relatively unreactive organic reagents should be collected in container A. If halogenated, they should be collected in container B. For solid residues use container C.

## 2.6 Iodine



104761 Iodine

sublimated for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

For general questions please contact our

Customer Service:

Merck KGaA

Frankfurter Str. 250

64293 Darmstadt

Germany

Phone: +49 6151 72-0

Fax: +49 6151 72 2000

02 May 2014

Iodine, resublimed for analysis, is used to prepare Weigert's iodine solution, which is used when demonstrating [elastic fibers according to van Gieson](#) and the various [trichrome connective tissue stains](#).

Product number	Packaging	Qty/Pk	Price
1047610100	Glass bottle	100 g	price on request
1047610500	Glass bottle	500 g	price on request

Prices are subject to change without notice.

### Product information


Grade	ACS,ISO,Reag. Ph Eur
Hill Formula	I <sub>2</sub>
HS Code	2801 20 00
EC number	231-442-4
Molar mass	253.8 g/mol
EC index number	053-001-00-3
CAS number	7553-56-2



### Chemical and physical data

Solubility	0.3 g/l (20 °C)
Melting point	114 °C
Molar mass	253.8 g/mol
Density	4.93 g/cm <sup>3</sup> (20 °C)





Bulk density	2100 kg/m <sup>3</sup>
pH value	5.4 (H <sub>2</sub> O) (saturated solution)
Boiling point	185 °C (1013 hPa)
Vapor pressure	0.41 hPa (25 °C)
Viscosity kinematic	0.57 mm <sup>2</sup> /s (116 °C) liquid
<b>Safety information according to GHS</b>	
Hazard Statement(s)	H312 + H332: Harmful in contact with skin or if inhaled H315: Causes skin irritation. H319: Causes serious eye irritation. H335: May cause respiratory irritation. H372: Causes damage to organs (/*_ORG_REP_ORAL/*) through prolonged or repeated exposure if swallowed. H400: Very toxic to aquatic life.
Precautionary Statement(s)	P273: Avoid release to the environment. P302 + P352: IF ON SKIN: Wash with plenty of soap and water. P305 + P351 + P338: IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing. P314: Get medical advice/ attention if you feel unwell.
Signal Word	Danger
Hazard Pictogram(s)	
RTECS	NN1575000
Storage class	6.1 D Non combustible, acute toxicity cat. 3 / toxic or substances with chronic effects
WGK	WGK 2 water endangering
Disposal	22 Inorganic peroxides and oxidants as well as bromine and iodine should be rendered harmless by reduction with acidic sodium thiosulfate solution (Cat. No. 106513); container D or E. Slightly soluble oxidants should be collected separately in container E or I.
<b>Safety information</b>	
R Phrase	R 20/21-50 Harmful by inhalation and in contact with skin. Very toxic to aquatic organisms.
S Phrase	S 23-25-61 Do not breathe vapour. Avoid contact with eyes. Avoid release to the environment. Refer to special instructions/ Safety data sheets.

Categories of danger	harmful, dangerous for the environment
Hazard Symbol	 Harmful  Dangerous for the environment
<b>Transport information</b>	
Declaration (railroad and road) ADR, RID	UN 3495 Iod, 8 (6.1), III
Declaration (transport by sea) IMDG-Code	UN 3495 IODINE, 8 (6.1), III, Marine Pollutant: P
Declaration (transport by air) IATA-DGR	UN 3495 IODINE, 8 (6.1), III
<b>Toxicological data</b>	
LD 50 oral	LD50 rat 14000 mg/kg
LD 50 dermal	LD50 rabbit 1425 mg/kg
© Merck KGaA, Darmstadt, Germany, pls-customerservice(at)merck.de, 2014	





## 2.7 Ethanol

### MATERIAL SAFETY DATA SHEET

#### **ETHANOL**



Code No. : A - 1035  
Specification : AR  
Formula : C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH

Version : 001 / IX / 2011  
Print Date : 08 / 09 / 2011  
Page : 1 / 3

#### **Manufacturer Information :**

**Company Name** : **PT. SMART-LAB INDONESIA**  
Taman Tekno Bangunan Multiguna Blok M / 36 BSD Sektor XI  
Serpong, Tangerang – Indonesia 15314

**Telephone** : (62-21) 7588 0205 ( Hunting )

**Fax** : (62-21) 7588 0198

**E mail** : [smart-lab@cbn.net.id](mailto:smart-lab@cbn.net.id)

**Web site** : [www.smartlab.co.id](http://www.smartlab.co.id)

#### **1) HAZARD IDENTIFICATION**

Route Of Entry Inds - Inhalation: YES Skin: YES Ingestion: YES  
Carcinogenicity Inds - NTP: NO IARC: NO OSHA: NO

Health Hazards Acute And Chronic: TARGET ORGANS: CNS, EYE, SKIN. ACUTE- INHALE- MAY CAUSE HEADACHE, DROWSINESS, IRRITATION OF THROAT. ORAL- NARCOTIC/HEPATOTOXIN. CAN CAUSE CNS DEPRESSION, NAUSEA, VOMITING. EYES: IRRITATION & EYE DAMAGE. SKIN- DEFATTING & IRRITATION. SKIN ABSORPTION MAY OCCUR. CHRONIC- DERMATITIS, CHANGES IN LIVER, KIDNEY & BRAIN.

Explanation of Carcinogenicity: NONE

Signs and Symptoms of Overexposure: IRRITATION, EYE DAMAGE, HEADACHE, DROWSINESS, LACK OF CONCENTRATION, NAUSEA, VOMITING, DIZZINESS, LACK OF COORDINATION, BLURRED VISION, FATIGUE, PAIN, BURNING SENSATION

Medical Conditions Aggravated by Overexposure: INDIVIDUALS WITH PRE-EXISTING DISEASES OF THE EYE, SKIN, RESPIRATORY TRACT, LIVER, KIDNEYS, BRAIN, CNS MAY HAVE INCREASED SUSCEPTIBILITY TO THE TOXICITY OF EXCESSIVE EXPOSURES.

#### **2) FIRST AID**

GET IMMEDIATE MEDICAL HELP FOR ALL CASES. EYES: FLUSH WITH WATER FOR 15 MINUTES. HOLD EYELIDS OPEN. SKIN: WASH WITH PLENTY OF WATER. INHALED: REMOVE TO FRESH AIR. PROVIDE CPR/OXYGEN IF NECESSARY. ORAL: IF CONSCIOUS, PROVIDE GASTRIC LAVAGE/EMESI S. ADMINISTRATION OF GASTRIC LAVAGE, OXYGEN/CPR SHOULD BE PERFORMED BY QUALIFIED MEDICAL PERSONNEL.

#### **3) FIRE FIGHTING MEASURES**

Flash Point Text: 55.0F, 12.8C

Auto Ignition Temperature Text:

Lower Limits: 3.3 Upper Limits: 19

Extinguishing Media: USE WATER SPRAY, CARBON DIOXIDE (CO<sub>2</sub>), ALCOHOL FOAM OR DRY CHEMICAL. USE WATER SPRAY TO COOL FIRE EXPOSED CONTAINERS.

Fire Fighting Procedures: WEAR PROTECTIVE CLOTHING AND NIOSH-APPROVED SELF-CONTAINED BREATHING APPARATUS. SEE 1990 EMERGENCY RESPONSE GUIDEBOOK, DOT P 5800.5.

Unusal Fire/Explosion Hazard: VAPOR IS HEAVIER THAN AIR AND CAN TRAVEL CONSIDERABLE DISTANCE TO A SOURCE OF IGNITION AND FLASH BACK. CONTAINERS MAY RUPTURE DUE TO VAPOR PRESSURE BUILDUP.



**MATERIAL SAFETY DATA SHEET**

**ETHANOL**



Code No. : A - 1035	Version	001 / IX / 2011
Specification : AR	Print Date	08 / 09 / 2011
Formula : C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	Page	2 / 3

**4) RELEASE MEASURES**

Spill Release Procedures: WEAR PROTECTIVE EQUIPMENT. ELIMINATE SOURCES OF IGNITION. VENTILATE AREA. CONTAIN AND PICK UP SPILL WITH NON-FLAMMABLE ABSORBENT SUCH AS SAND, EARTH, VERMICULITE. GROUND ALL HANDLING EQUIPMENTS. PREVENT LIQUID FROM ENTERING SEWERS OR WATERWAYS.

Neutralizing Agent: NOT RELEVANT

Waste Disposal Methods: DISPOSE OF IN ACCORDANCE WITH ALL LOCAL, STATE AND FEDERAL REGULATIONS. EPA HAZARDOUS WASTE NUMBER D001.

**5) HANDLING AND STORAGE**

STORE IN COOL, VENTILATED AREA, AWAY FROM HEAT, FLAMES, SPARKS, HOT SURFACES & INCOMPATIBLE MATERIALS. KEEP CONTAINER TIGHTLY CLOSED.

**6) EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION**

Respiratory Protection: NONE NORMALLY REQUIRED. IF TLV IS EXCEEDED OR FOR SYMPTOMS OF OVER EXPOSURE, WEAR NIOSH-APPROVED ORGANIC VAPOR RESPIRATOR OR AIR-PURIFYING RESPIRATOR. IN EMERGENCY, WEAR A NIOSH-APPROVED POSITIVE-PRESSURE SELF-CONTAINED BREATHING APPARATUS.

Ventilation: MECHANICAL (GENERAL AND/OR LOCAL EXHAUST, EXPLOSION-PROOF) VENTILATION TO MAINTAIN EXPOSURE BELOW TLV(S).

Protective Gloves: LATEX/RUBBER

Eye Protection: SAFETY GLASSES/CHEMICAL SPLASH GOGGLES

Other Equipment: SAFETY SHOWER AND EYE WASH FOUNTAIN SHOULD BE LOCATED NEARBY. WEAR APPROPRIATE

PROTECTIVE CLOTHING FOR RISK OF EXPOSURE.

Work Hygienic Practices: SAFETY SHOWER AND EYE WASH FOUNTAIN SHOULD BE LOCATED NEARBY. WEAR APPROPRIATE

PROTECTIVE CLOTHING FOR RISK OF EXPOSURE.

Supplemental Safety & Health: N/P

**7) PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES**

HCC: F2

Boiling Point:

173F,78C

Melting/Freezing Point:

-179F,-117C

Decomposition Temp:

NOT KNOWN

Vapor Pressure: 40 @ 66F Vapor Density: 1.59

Specific Gravity: 0.7893

PH: N/R

Viscosity: 1.22 CPS @68F

Evaporation Rate & Reference: 1.4 (CCL4=1)

Solubility in Water: COMPLETE

Appearance and Odor: CLEAR, COLORLESS LIQUID - PLEASANT ODOR WITH A BURNING TASTE

Percent Volatiles by Volume: 100

Corrosion Rate: UNKNOWN



**MATERIAL SAFETY DATA SHEET**



**ETHANOL**

Code No. : A - 1035	Version	001 / IX / 2011
Specification : AR	Print Date	08 / 09 / 2011
Formula : C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	Page	3 / 3

**8) STABILITY AND REACTIVITY**

Stability Indicator: YES  
Stability Conditions to Avoid: HEAT, SPARKS, FLAME AND OTHER SOURCES OF IGNITION  
Materials to Avoid: STRONG OXIDIZING AGENTS, ALKALI METALS, CHLORINE, ETHYLENE OXIDE, NITRIC ACID  
Hazardous Decomposition Products: CARBON MONOXIDE AND/OR CARBON DIOXIDE MAY BE FORMED.  
Hazardous Polymerization Products: NO  
Conditions to Avoid Polymerization: NOT RELEVANT

**9) TOXICOLOGICAL**

N/P

**10) ECOLOGICAL**

N/P

**11) DISPOSAL**

DISPOSE OF IN ACCORDANCE WITH ALL LOCAL, STATE AND FEDERAL REGULATIONS. EPA HAZARDOUS WASTE NUMBER D001.

**12) TRANSPORTATION**

N/P

**13) REGULATORY**

SARA Title III: N/P  
Federal Regulatory: N/P

**14) OTHER**



# PT. SMART-LAB INDONESIA

Total Solution For Quality Control Lab

## CERTIFICATE OF ANALYSIS

Product Name : Ethanol (Absolute)  
 Catalog No : A-1035  
 Grade : Analytical Reagent  
 Formula : C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH  
 Molecular Weight : 46.07  
 Batch No : A 160811015  
 Date : August 16, 2011

Description	Unit	Specifications	Result
1) Assay (GC)	wt %	min 99.8	99.972
2) Wt. per ml at 20 °C	g/cm <sup>3</sup>	0.789 – 0.792	0.790
3) Colour	Hazen	max 10	5
4) Refractive Index	n <sub>D</sub> <sup>20</sup>	1.358 – 1.363	1.361
5) Non Volatile Matter	wt %	max 0.001	0.0005
6) Water Content	wt %	max 0.2	0.073
7) Acidity ( CH <sub>3</sub> COOH )	wt %	max 0.002	0.0005
8) Alkanity ( NH <sub>3</sub> )	wt %	max 0.0005	0.0001
9) Aldehyde & Ketone	wt %	max 0.001	0.0005
10) Iron ( Fe )	wt %	max 0.00001	0.00001
11) Lead ( Pb )	wt %	max 0.00005	0.000005
12) Methanol ( GC )	wt %	max 0.1	0.016
13) Substances Reducing	wt %	max 0.0004	0.0003

Permanganate

Our Specifications complies with Std. Specifications.

PT. SMART - LAB INDONESIA

S U D I R O, S. Si

QC Manager

Taman Tekno Bangunan Multiguna Blok M / 36 BSD Sektor XI Serpong, Tangerang - Indonesia  
 Tel : (62-21) 7588 0205 - 07, Fax : (62-21) 7588 0198 Website : www.smartlab.co.id





## 2.8 Acetonitrile



### 100003 Acetonitrile

for analysis EMSURE® ACS, Reag. Ph Eur

For general questions please contact our

Customer Service:

Merck KGaA  
Frankfurter Str. 250  
64293 Darmstadt  
Germany

Phone: +49 6151 72-0  
Fax: +49 6151 72 2000

02 May 2014



EMSURE® grade solvents are suitable for a broad spectrum of classical lab applications, and are frequently used in regulated and highly demanding lab applications. EMSURE® provides worldwide best and most extensive product specifications. We declare our EMSURE® range to be in compliance with the ACS, with the reagent part of the European Pharmacopoeia (Reag. Ph Eur) and also with the ISO standards.

Product number	Packaging	Qty/Pk	Price
1000031000	Glass bottle	1 l	price on request
1000032500	Glass bottle	2.5 l	price on request
1000034000	Glass bottle	4 l	price on request
1000036010	Drum stainl. st.	10 l	price on request
1000036025	Drum stainl. st.	25 l	price on request
1000039025	Steel barrel	25 l	price on request


Prices are subject to change without notice.

#### Accessories

106710	Withdrawal system for stainless steel barrels and drums with threaded adapter and flexible lines, for gas pressurizing, additionally necessary: dip tube suit the particular type of container
964205	Reducing valve, 0.2 bar with 2 tube connections 6 x 8 mm and integrated excess pressure safety device 0.5 bar
902335	Dip tube for 10 l stainless steel drum for withdrawal systems with 2" thread adapter
901756	Dip tube for 25 l stainless steel drum for withdrawal systems with 2" thread adapter

Show all

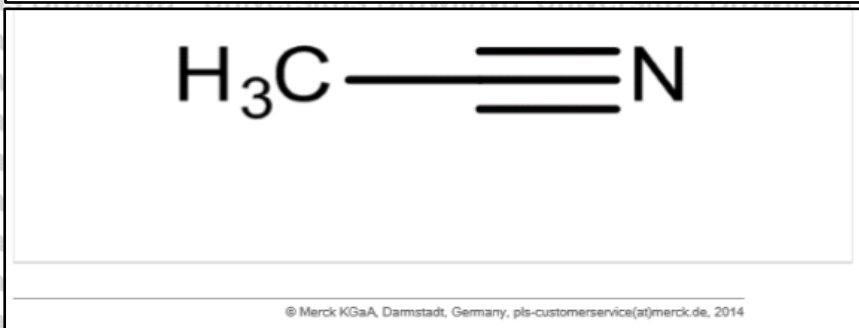


Product information	
Grade	ACS,Reag, Ph Eur
Synonyms	ACN, Methyl cyanide, Ethyl nitrile, Cyanomethane
Hill Formula	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N
Chemical formula	CH <sub>3</sub> CN
HS Code	2926 90 95
EC number	200-835-2
Molar mass	41.05 g/mol
EC index number	608-001-00-3
CAS number	75-05-8
Chemical and physical data	
Ignition temperature	524 °C
Solubility	(20 °C) soluble
Melting point	-45.7 °C
Molar mass	41.05 g/mol
Density	0.786 g/cm <sup>3</sup> (20 °C)
Boiling point	81.6 °C (1013 hPa)
Vapor pressure	97 hPa (20 °C)
Explosion limit	3.0 - 17 %(V)
Flash point	2 °C
Refractive index	1.34
Safety information according to GHS	
Hazard Statement(s)	H225: Highly flammable liquid and vapour. H302 + H312 + H332: Harmful if swallowed, in contact with skin or if inhaled H319: Causes serious eye irritation.
Precautionary Statement(s)	P210: Keep away from heat, hot surfaces, sparks, open flames and other ignition sources. No smoking. P240: Ground/bond container and receiving equipment. P302 + P352: IF ON SKIN: Wash with plenty of soap and water. P305 + P351 + P338: IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing. P403 + P233: Store in a well-ventilated place. Keep container tightly closed.
Signal Word	Danger
Hazard Pictogram(s)	





RTECS	AL7700000
Storage class	3 Flammable liquids
WGK	WGK 2 water endangering
Disposal	1 Strongly contaminated halogen-free organic solvents: container A.
<b>Safety information</b>	
R Phrase	R 11-20/21/22-36 Highly flammable. Harmful by inhalation, in contact with skin and if swallowed. Irritating to eyes.
S Phrase	S 16-36/37 Keep away from sources of ignition - No smoking. Wear suitable protective clothing and gloves.
Categories of danger	highly flammable, harmful, irritant
Hazard Symbol	Flammable Harmful
<b>Transport information</b>	
Declaration (railroad and road) ADR, RID	UN 1648 Acetonitril, 3, II
Declaration (transport by sea) IMDG-Code	UN 1648 ACETONITRILE, 3, II
Declaration (transport by air) IATA-DGR	UN 1648 ACETONITRILE, 3, II
<b>Toxicological data</b>	
LD 50 dermal	LD50 rabbit > 2000 mg/kg



© Merck KGaA, Darmstadt, Germany, pls-customerservice(at)merck.de, 2014

## 2.9 Multimeter Digital Sanwa CD800a

**sanwa**  
TOKYO JAPAN

### DIGITAL MULTIMETER

# CD800a

### APPLICATIONS AND FEATURES

This instrument is portable multimeter designed for the measurement of low-voltage circuit. This is used at small communications equipments, home electric appliances, voltage of lump line, and measurement of various types of batteries.

- 4000 count
- Sharp contrast LCD with character 17.5mm high is used
- Solid & protective body cover that can also be used as a tilt stand
- Frequency, capacitance, and duty cycle measurement function

### SPECIFICATIONS

	Measuring range	Best accuracy	Resolution	Resolution
DCV	400mV/40/400/600V	$\pm(0.7\%+3)$	0.1mV	DCV: 10M~100M $\Omega$
ACV	4/40/400/600V	$\pm(1.6\%+9)$	0.001V	ACV: 10M~11M $\Omega$
DCA	40m/400mA	$\pm(2.2\%+5)$	0.01mA	
ACA	40m/400mA	$\pm(2.8\%+5)$	0.01mA	
Resistance	400 $\Omega$ /4k/40k/400k/4M/40M $\Omega$	$\pm(1.5\%+5)$	0.1 $\Omega$	
Capacitance	90n/500n/5p/50p/100 $\mu$ F	$\pm(5.0\%+10)$	0.01nF	
Frequency	5Hz~100kHz	$\pm(0.5\%+3)$		
Duty cycle	20%~80%	$\pm(0.5\%+5)$		
Continuity	Buzzer sounds at between 10 $\Omega$ and 120 $\Omega$ Open voltage: approx. 0.4V			
Diode test	Open voltage: approx. 1.5V			

Measuring method	$\Delta$ -I method
Display	4000 count
Range selection	Auto and manual ranges
Over display	"O.L." is displayed(except AC/DC 600V ranges)
Polarity	Automatic selection(only "-" is displayed)
Battery low warning	Battery( ) mark lights when the internal battery's power is below approx. 2.4V
Sampling rate	2 times / sec
Operating temperature / humidity	5~40°C / 5~31°C, 80%RH(Max)
Storage temperature / humidity	-10°C~50°C, below 70%RH No condensation
Environmental condition	Altitude 2000m or below, pollution degree II
Power consumption	7mW at DCV
Continuous use time	About 150 hours at DCV
Bandwidth	40~400Hz
Fuse / Battery	0.5A/250V 1.5kA $\phi$ 5.2x20mm / R6P x 2
Size / Mass	H176 x W104 x D46mm / 340g
Standard accessories included	Hand strap, instruction manual



A battery for monitoring has been installed prior to shipment from the factory. It may be discharged before the expiration of the described battery life. This battery is used to check the functions and performance of the product. Specifications and external appearance of the product described above may be revised for modification without prior notice.

**sanwa**

SANWA ELECTRIC INSTRUMENT CO., LTD.

Dempa Bldg, 4-4 Sotokanda 2-Chome, Chiyoda-Ku, Tokyo 101-0021 Japan  
Tel:+81-3-3251-0941 Fax:+81-3-3256-9740

[www.sanwa-meter.co.jp](http://www.sanwa-meter.co.jp)

Distributed by

