

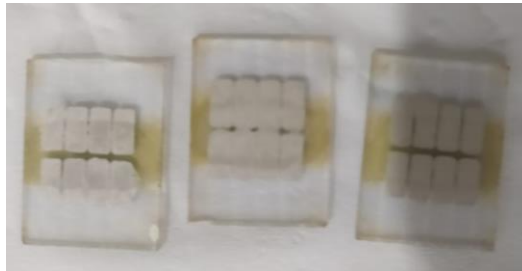
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHSAN

#### 4.1 Proses Fabrikasi Sel Surya

Proses pembuatan solar cell perovskite diawali dengan melakukan preparasi sampel substrat ITO glass dengan cara dengan menggunakan sabun, ethanol dan air deionisasi menggunakan *ultrasonic bath* selama 10 menit, untuk menghilangkan pengotor. Kemudian dilakukan deposisi *layer by layer* dengan suhu ruangan dan kelembapan dibawah 40. Deposisi pertama yaitu 0,1 M  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  yang dilarutkan diethaol dengan kecepatan putaran 6000 RPM selama 40 detik, dilanjutkan proses sintering dengan suhu  $300^\circ\text{C}$  dengan waktu 1 jam untuk membuat fasa  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Selanjutnya dilakukan deposisi PCBM yang dilarutkan di chlorobenzene  $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$  dengan kecepatan putaran 2000 RPM selama 30 detik, selanjutnya dilakukan *annealing* dengan suhu 2000 RPM selama 30 S. Deposisi selanjutnya adalah deposisi Perovskite  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$  yang sudah dipanaskan dengan suhu  $70^\circ\text{C}$  selama 2 jam, deposisi dilakukan dengan kecepatan putaran 5000 RPM selama 30 detik dan dilakukan pemanasan pertama  $60^\circ\text{C}$  selama 3 menit dan Pemansan kedua dengan variasi temperatur 80;100;120 dan waktu 5;15;25 variasi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur dan waktu perovskite menggunakan susunan *structur* n-i-p “ITO/a- $\text{Fe}_2\text{O}_3$ /PC<sub>70</sub>BM/ $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$  /PEDOT:PSS/Ag” dengan 2 tahap *annealing* pada provskite. Selanjutnya dilakukan deposisi pedot yang sudah disaring dengan menggunakan *Hydrophilic filter*  $0,45\mu\text{m}$  kemudian dideposisikan dengan kecepatan putaran sebanyak 5000 RPM selama 30

detik. Tahap terakhir yaitu melakukan deposisi *silver paste* menggunakan metode *screen printing*. Metode *screen printing* ini tergolong sulit dikarenakan menggunakan media *screen* sablon nilon dengan ukuran mesh. yang berpola sehingga menghasilkan deposisi yang sulit rapih seperti pada gambar 4.1.



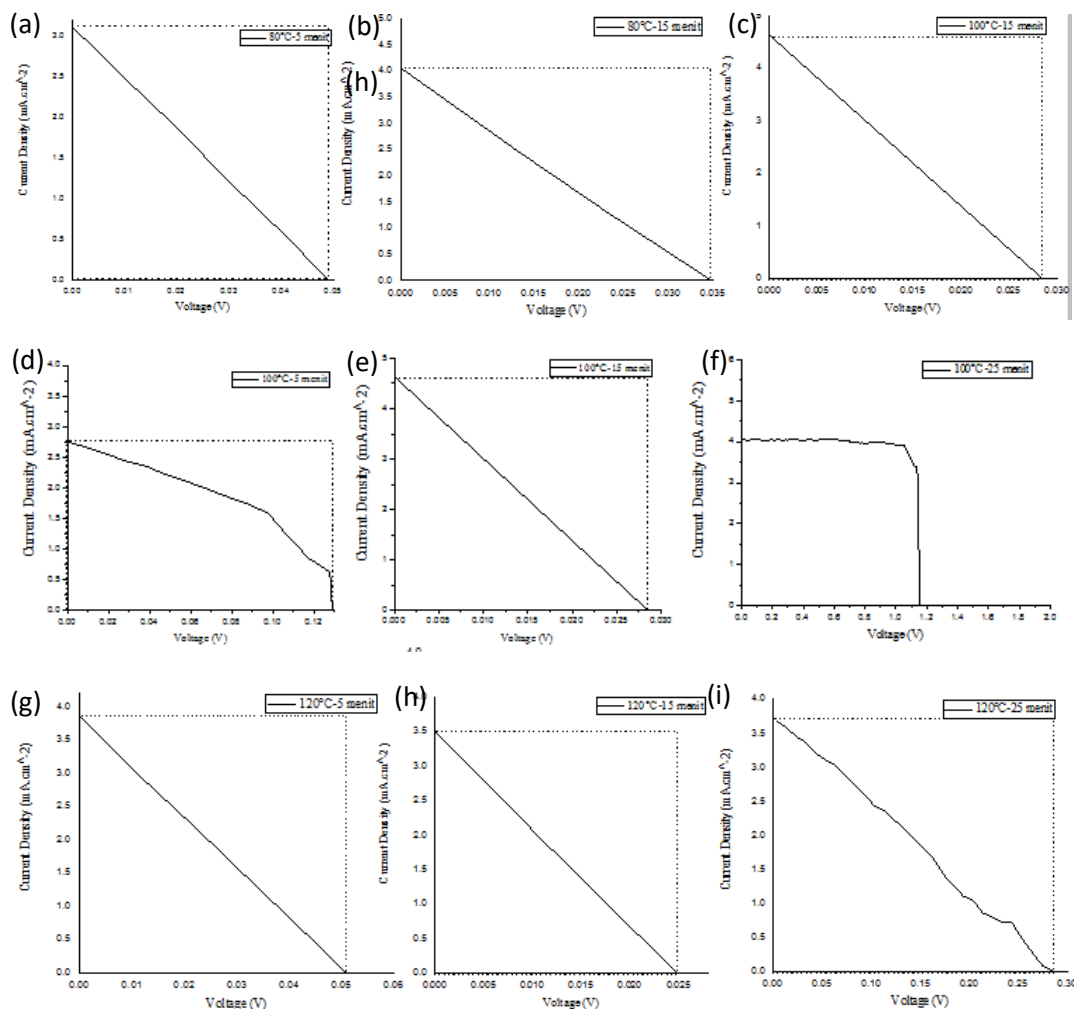
**Gambar 4.1** Silver Paste Yang Telah Diposisikan

## 4.2 Karakterisasi I-V Test

### 4.2.1. I-V Curve

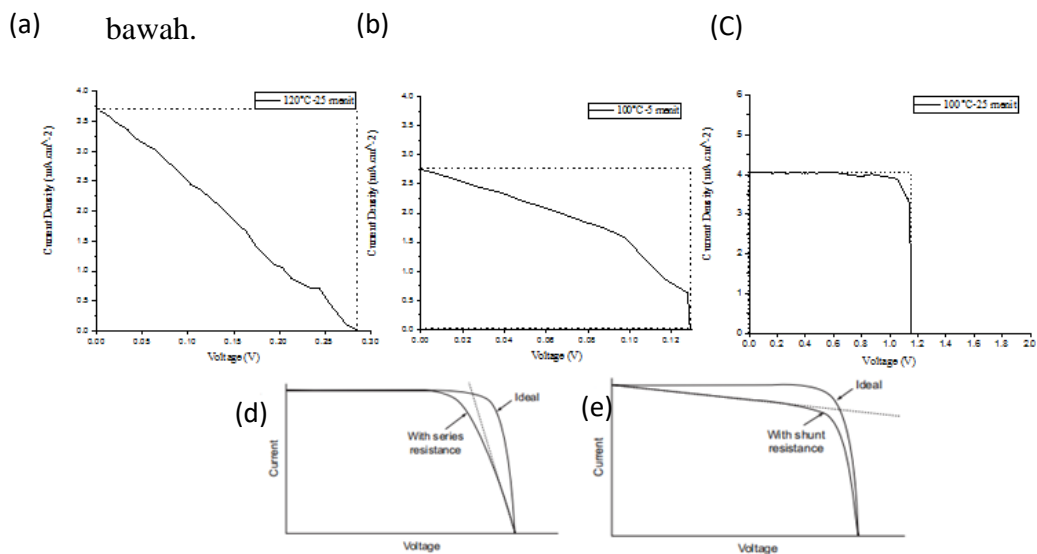
Karakteristik sel surya dapat dipahami dengan menggunakan grafik. Sel surya sendiri merupakan sel photovoltaik dimana sifat elektriknya dapat diamati berdasarkan arus dan tegangan yang dihasilkan (Karina, 2018). Grafik yang terbentuk dari PSC didapatkan ketika pengukuran menggunakan I-V test, Pada grafik ini menunjukkan seberapa besar *current density* yang didapatkan apabila material diberikan tegangan. Pada penelitian ini terdapat banyak sampel yang menunjukkan grafik ohmic atau material yang dilakukan uji coba memiliki tegangan yang melewati penghantar tersebut linier dengan nilai kuat arus, hal ini dikarenakan nilai antara resistansi seri dan resistansi paralel memiliki nilai yang mendekati sama. Tetapi pada beberapa sampel menunjukkan grafik non-ohmic seperti

pada variasi temperatur 100°C pada waktu 5 menit dan 25 menit, dan tempepratur 100°C pada waktu 25 menit. Untuk mendapatkan nilai PCE yang tinggi maka dibutuhkan nilai FF,  $V_{oc}$ , dan  $J_{sc}$  yang tinggi dan hal itu sulit dapat dicapai dengan grafik ohmic karena daerah FF yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan grafik non-ohmic dikarenakan luas bidang FF yang dibentuk lebih besar dengan grafik non-ohmik. Selain itu terdapat resistansi seri dan paralel yang mempengaruhi bentuk dari grafik yang dihasilkan.



**Gambar 4.2** Grafik I-V test sampel sel surya perovskite (a) 80°C-5menit, (b) 80°C-15menit, (c) 80°C-25menit, (d) 100°C-5menit, (e) 100°C-15menit, (f) 80°C-25menit, (f) 120°C-5menit, (g) 120°C-15menit, (h) 120°C-25menit.

Terdapat 3 grafik yang memiliki nilai PCE yang tertinggi yaitu pada variasi temperatur 100°C dengan waktu 25 menit, 100°C dengan waktu 5 menit, 120°C dengan waktu 25 menit. Jika diteleti lebih dalam maka grafik paling ideal terdapat pada gambar 4.3 dikarenakan memiliki nilai  $R_{shunt}$  yang sangat besar yaitu 9634,64 Ohm.cm<sup>2</sup> dan  $R_s$  yang sangat kecil yaitu 1.895 Ohm.cm<sup>2</sup> ( $R_s = 0$  dan  $R_{shunt} = \infty$ ) (Karina, 2018). Untuk grafik variasi 100°C dengan waktu 5 menit dapat dilihat pada grafik 4.3 mendekati ideal dikarenakan memiliki nilai  $R_s$  yang rendah lumayan rendah yaitu sebesar 5,32 Ohm.cm<sup>2</sup> tetapi nilai  $R_{shunt}$  yang tidak tinggi yaitu sebesar 85,67 Ohm.cm<sup>2</sup> dapat diketahui bahwa defice ini dipengaruhi oleh R paralelnya. Grafik yang perlu dilakukan analisa lebih dalam juga terdapat pada variasi 120°C dengan nilai PCE sebesar 0,28 %, dapat dilihat nilai  $R_{shunt}$  cukup besar yaitu sebesar 85,67 Ohm.cm<sup>2</sup> dan  $R_s$  yang besar yaitu sebesar 55 Ohm.cm<sup>2</sup> sehingga grafiknya berbentuk tidak beraturan diagonal kanan



**Gambar 4.3** Pengaruh resistansi paralel(d) resistansi seri (Markvart dan Castañer 2018) (e) resistansi terhadap bentuk grafik yang dihasilkan (a) Variasi

T 120°C t 25 menit, (b) Variasi T 100°C t 5 menit, (c) Variasi T 100°C t 25 menit

#### 4.2.2. Analisa nilai Power conversion efficiency

*Power Conversion Efficiency* (PCE) didapatkan dengan mesin karakterisasi. *Solar test system* dengan data yang didapatkan yaitu efisiensi, FF, Jsc, dan Voc sehingga tidak diperlukan lagi perhitungan untuk mendapatkan PCE. Pada tabel 4.1 dapat dilihat terjadi perubahan yang signifikan dan fluktuatif terhadap nilai PCE yang dipengaruhi waktu dan temperatur *annealing* yang digunakan. variasi temperatur terbaik adalah 100°C dengan nilai PCE sebesar 0.0433%, 0.0191%, dan 0.5356% pada waktu 5 menit, 15 menit, dan 25 menit. Nilai PCE tertinggi yang didapatkan ialah sebesar 4.1 % dengan menggunakan temperatur 100°C dan waktu 25 menit hal ini dikarenakan karena nilai FF yang dihasilkan besar sekitar 88,35 %. PCE terkecil didapatkan pada temperatur 80°C dengan waktu 25 menit yaitu sebesar 0.0105%.

**Tabel 4. 1.** Data power conversion efficiency (PCE), fill factor (FF), current density short circuit (Jsc), dan voltage open circuit (Voc) dari test chip dan sampel perovskite solar cell dengan berbagai variasi.

Temperatur (°C)	waktu (Menit)	PCE (%)	FF (%)	Jsc (mA.cm <sup>-2</sup> )	Voc (V)	Rshunt (Ohm.cm <sup>2</sup> )	Rseries (Ohm.cm <sup>2</sup> )
80	5	0.037	24.475	-3.114	0.0490	15.824	15.347
	15	0.032	23.816	-3.945	0.0346	8.780	8.735
	25	0.011	19.255	-4.207	0.0159	3.251	3.244
100	5	0.154	43.568	-2.718	0.1290	94.590	5.324
	15	0.032	24.789	-4.634	0.0285	6.146	6.135
	25	4.109	88.353	-4.043	1.1503	9634.643	1.895
120	5	0.022	24.842	-3.680	0.0240	13.361	13.259
	15	0.021	24.788	-3.479	0.0248	7.134	7.122
	25	0.280	26.409	-3.727	0.2847	85.671	55.004

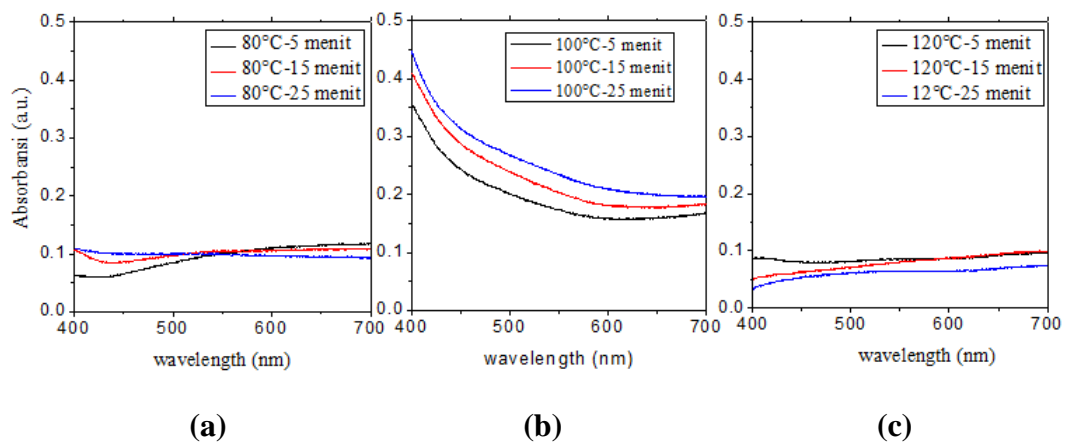
Untuk mengetahui pengaruh temperatur dan waktu saat pemanasan kedua annealing dua tahap maka dibuatlah grafik seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.2 Terjadi penurunan dari variasi 80°C terjadi penurunan pada penggunaan waktu 25 menit, hal ini dikarenakan suhu 80°C sulit untuk menciptakan butir sehingga dengan menggunakan waktu yang lebih lama maka akan mengakibatkan material perovskite terdegradasi. Fenomena aneh dapat dilihat pada variasi temperatur 100°C, dapat dilihat pada penggunaan waktu 15 menit terjadi penurunan nilai PCE yang didapatkan, hal ini terjadi dikarenakan deposisi Ag yang kurang bagus sehingga tidak merata. Pada variasi 120°C terdapat fenomena yang konsisten, dikarenakan semakin lama waktu yang digunakan maka semakin besar pula nilai PCE yang dihasilkan.

### **4.3 Karakterisasi Absorbansi dan SEM**

#### **4.3.1. Analisa absorbansi perovskite**

Untuk mengetahui fenomena PCE yang dihasilkan pada tabel 4.1 maka dilakukan karakterisasi kembali dengan menggunakan absorbansi. Seperti pada gambar 4.3 dapat dilihat temperatur dan waktu dapat mempengaruhi absorbansi yang dihasilkan. Pada variasi temperatur 80°C dapat dilihat bahwa semakin banyak waktu yang digunakan untuk annealing kedua mengakibatkan nilai start absorbansi yang rendah juga, tetapi pada *wavelength* 550 nm terjadi fenomena kenaikan absorbansi pada penggunaan waktu 5 menit dan penurunan pada waktu 25 menit. Pada

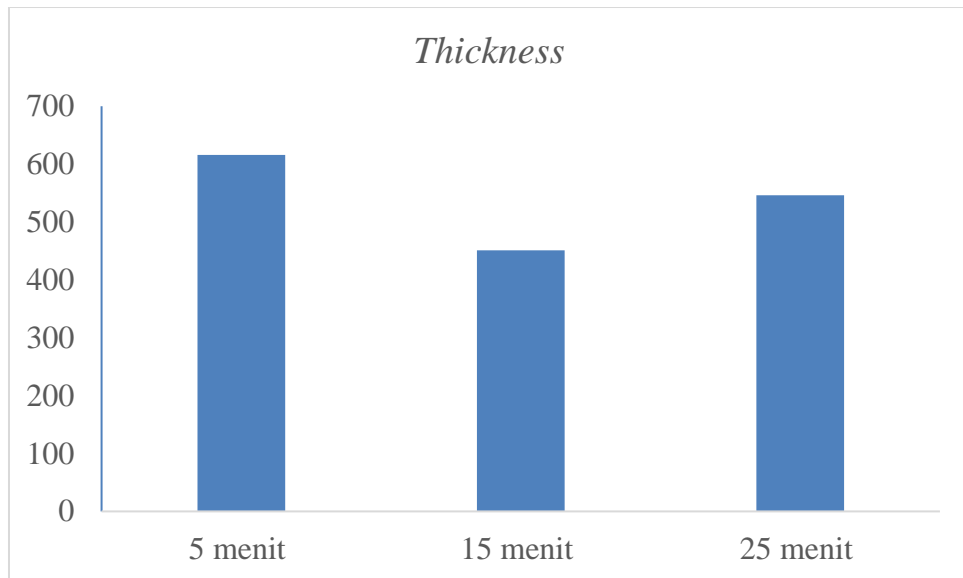
variasi waktu 120°C dapat dilihat bahwa penggunaan waktu 25 menit menimbulkan absorbansi yang rendah. Sedangkan pada penggunaan waktu 5 menit dan 15 menit dapat dilihat absorbansi memiliki nilai start yang sama dari panjang gelombang 700, tetapi pada penggunaan temperatur 15 menit terjadi pengurangan penyerapan cahaya. Dari variabel temperatur 80°C dan 100°C tidak dapat diambil kesimpulan dikarenakan data yang tidak konsisten. Tetapi pada variabel 100°C membentuk pola absorbansi dimana semakin lama waktu yang digunakan maka akan tinggi juga kemampuan perovskite dalam absorbansi cahaya. Absorbansi yang besar pada penggunaan temperatur 100°C ini yang menjadi acuan mengapa nilai perovskite yang dihasilkan juga lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan suhu 80°C dan 120°C.



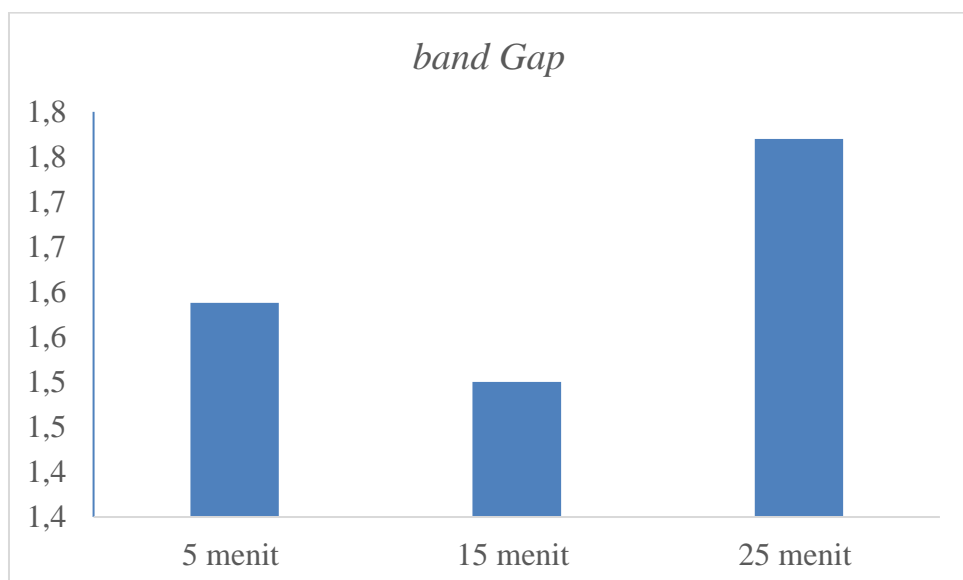
**Gambar 4.3** Grafik absorbansi perovskite yang terbentuk terhadap waktu *annealing* yang berubah (a) Variasi 80°C, (b) variasi 100°C, (C) 120°C

Data absorbansi yang didapatkan dapat digunakan untuk mencari nilai *thickness* dan *band gap* dari lapisan perovskite yang dihasilkan. Jika dilakukan analisa pada gambar 4.4 Semakin lama waktu yang digunakan

maka akan membuat nilai *thickness* yang semakin kecil. Pada gambar 4.5  
Semakin lama waktu yang digunakan maka akan menghasilkan energi *band gap*  
*gap* yang semakin besar. Jika dilakukan analisa lebih terhadap pengaruh  
waktu nilai *thickness* dan energi *band gap* berbanding terbalik.



**Gambar 4.4** *Thickness*

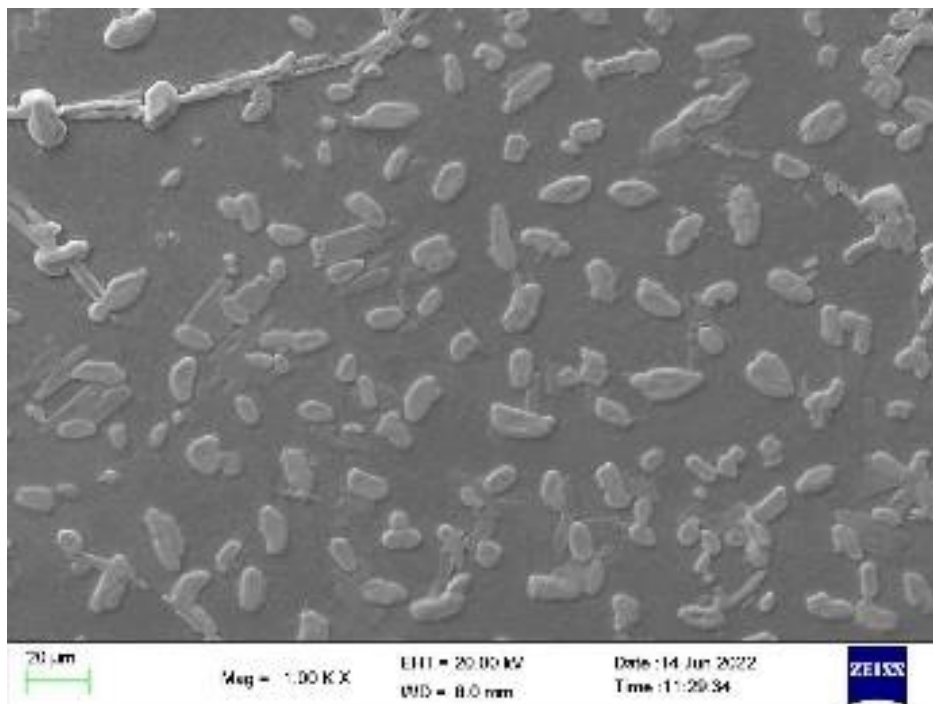


**Gambar 4.5** Energi *band gap*

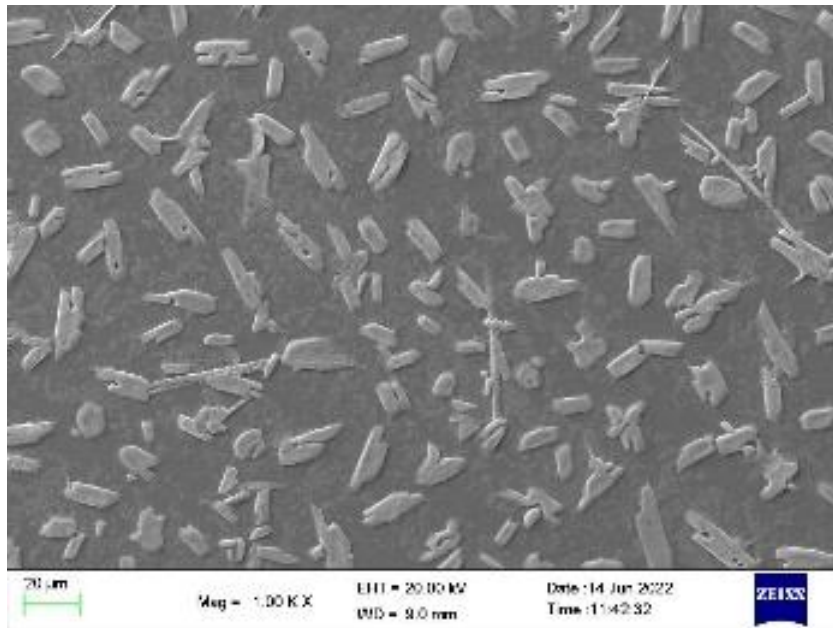


#### 4.3.2. Aalisa SEM

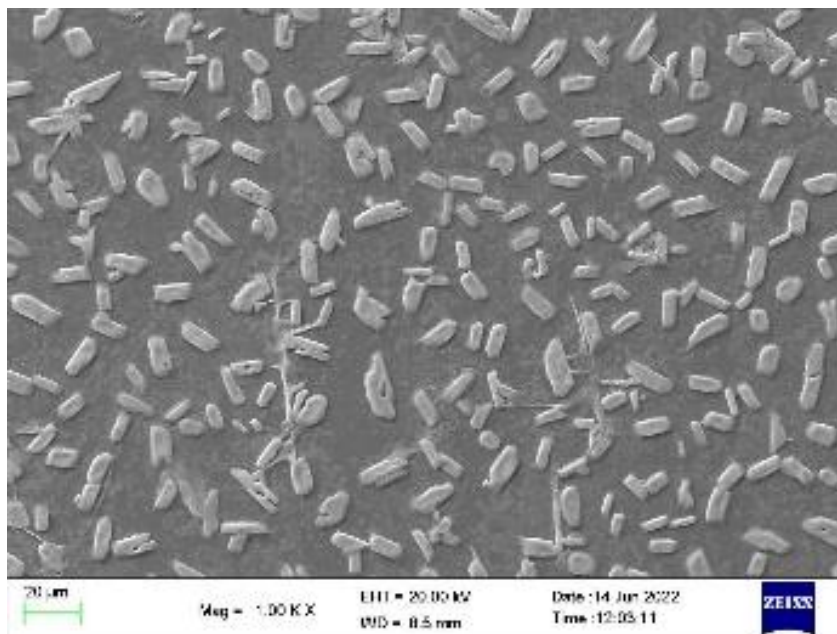
Selain menggunakan data Uv-Vis untuk mengetahui nilai absorbansi maka dilakukan juga analisis SEM untuk mengetahui morfologi yang terbentuk dan nilai *coverage* yang dihasilkan dari annealing 2 tahap menggunakan variabel 100°C. Dapat dilihat pada gambar 4.4 untuk perbesaran 1000x dapat dilihat semakin lama waktu yang digunakan maka butir yang terbentuk lebih banyak, tegas, dan kecil, selain itu jika di perbesar maka akan ditemukan bercak diantara butir. Butir yang terbentuk awalnya berbentuk *rounded* dan kemudian ketika waktu yg digunakan maka butir bertransformasi bentuk menjadi subangular.



(a)



(b)

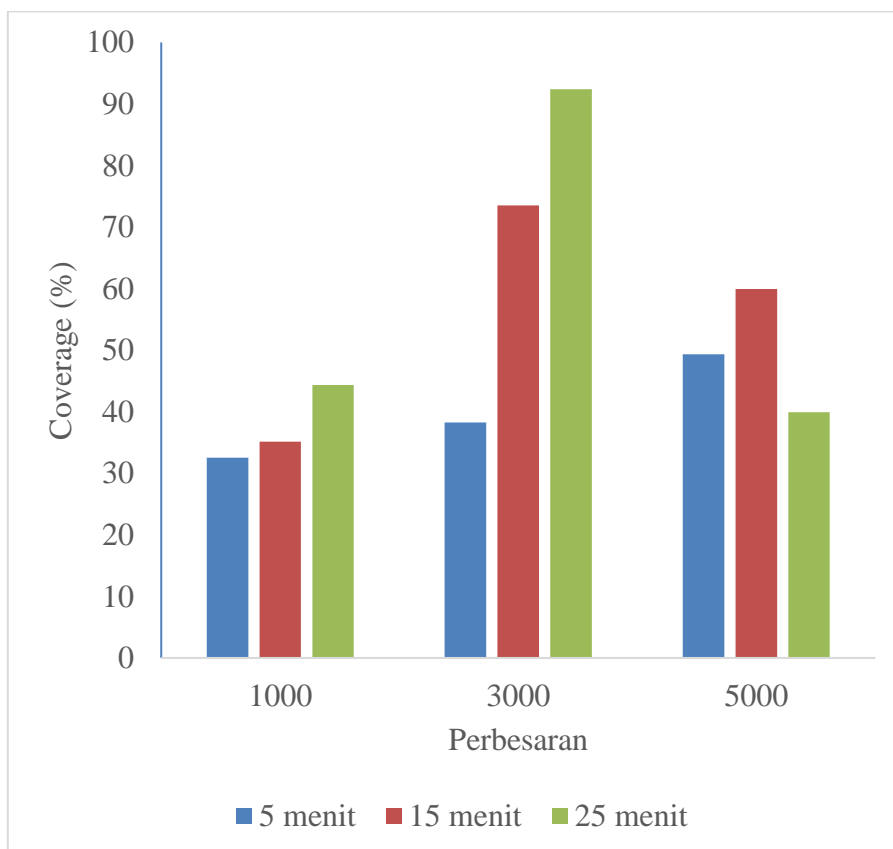


(c)

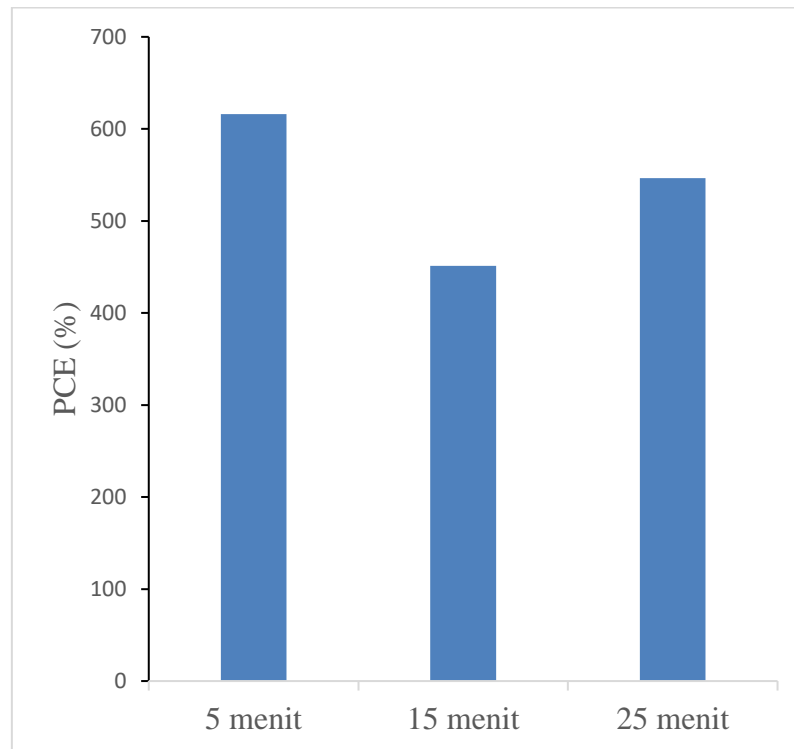
**Gambar 4.4** Morfologi lapisan perovskite yang terbentuk pada (a) waktu 5 menit, (b) waktu 15 menit, (c) waktu 25 menit

Pengujian SEM juga dapat menghasilkan coverage atau seberapa banyak lapisan perovskite yang terbentuk dengan menggunakan *software*

tambahan image J. Penggunaan software imagej ini membantu mendapatkan data semi kuantitatif. Dapat dilihat pada gambar 4.4 semakin lama waktu yang digunakan maka akan semakin tinggi juga nilai *coverage* yang dihasilkan hal ini sesuai dengan absorbansi yang dihasilkan. Fenomena berbeda terjadi pada perbesaran 5000, dapat dilihat terdapat penurunan *coverage* pada penggunaan waktu 25 menit, hal ini terjadi dikarenakan pengambilan random SEM sehingga menimbulkan ruang lebih banyak diantara butir. Jika dilakukan analisa perbandingan antara *coverage* dan PCE didapatkan bersifat fluktuatif. Pada variasi waktu 15 menit didapatkan bahwa terdapat penurunan yang signifikan dari PCE yang dihasilkan dikarenakan elektroda Ag yang dideposisikan tidak merata.



(a)



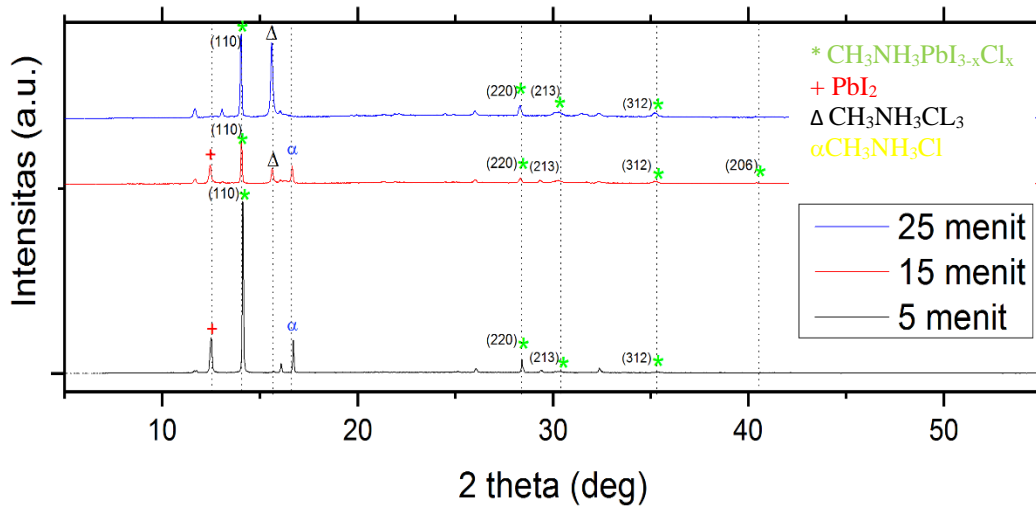
(b)

**Gambar 4.6** (a) Coverage dan (b) persen conversion efficiency PCE yang dihasilkan dari penelitian perovskite.

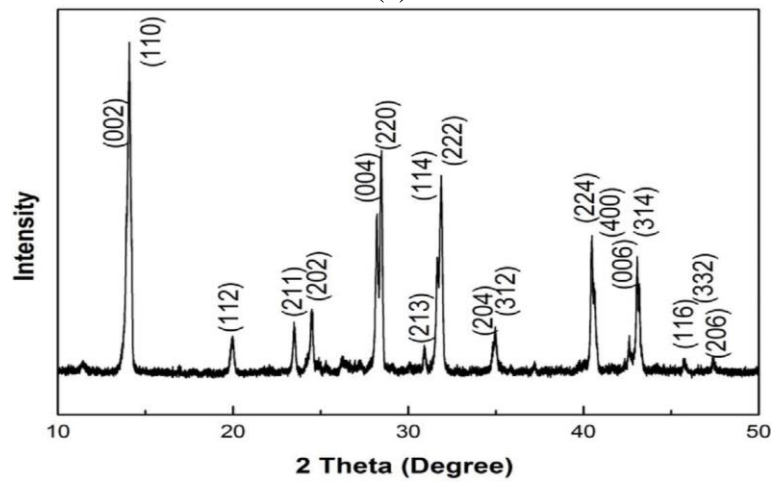
#### 4.4 Karakterisasi XRD

Analisa XRD dilakukan untuk mengidentifikasi material  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$  terbentuk atau tidak, jika dibandingkan dengan gambar XRD swandi pada tahun 2016 dapat dipastikan bahwa bahwa terbentuk perovskite. Jika dilakukan analisa lebih rinci pada bidang (110) dapat terlihat semakin lama waktu *annealing* maka intensitas *peak* yang terbentuk semakin menurun. Hal itu berkorelasi ukuran kristalit yang dan 61,9 nm pada variasi temperatur  $100^\circ\text{C}$  dengan lama waktu annealing 5 menit, 15 menit, 25 menit. Selain itu terdapat lain yang muncul disaat melakukan XRD. Dapat dilihat pada *peak*  $\text{PbI}_3$  dan  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbICl}$  semakin lama waktu yang digunakan maka intensitas *peak* juga semakin menurun. Sedangkan pada *peak*  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3\text{Cl}_3$ . Terjadi peningkatan intensitas ketika semakin lama

juga waktu yang digunakan. Jika dilakukan analisa dengan membandingkan dengan hasil XRD Sewvandi pada tahun 2016 *peak*  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$ . lebih sedikit terbentuk.



(a)



(b)

**Gambar 4.7** Perbandingan (a) hasil XRD pada lapisan ITO/a- $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{PC}_{60}\text{BM}/\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$  dengan grafik (b) hasil percobaan (Sewvandi 2016)