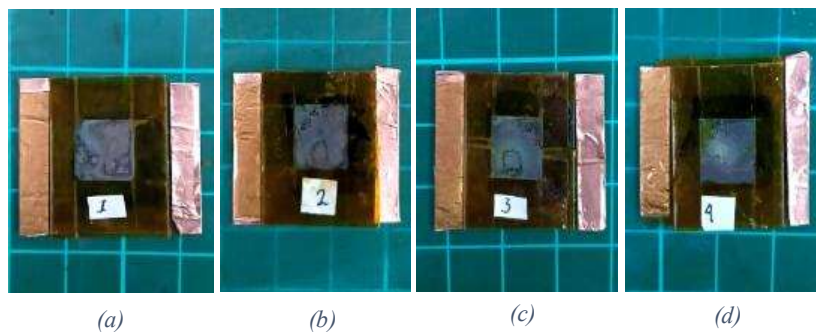


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh melalui karakterisasi diantaranya adalah sifat optik film tipis ZnO yang diletakkan pada substrat fleksibel PET, serta sifat listrik sel surya untuk mengetahui kinerja sel. Pada penelitian ini, dihasilkan 4 sampel dengan ketebalan lapisan film tipis ZnO yang berbeda seperti pada Gambar 4.1, data tersebut diolah dan dianalisis berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.



Gambar 4.1 Sel Surya dengan Variasi Ketebalan (a) 10 μm (b) 8 μm (c) 6 μm (d) 4 μm

4.1 Sintesis Fotoelektroda ZnO

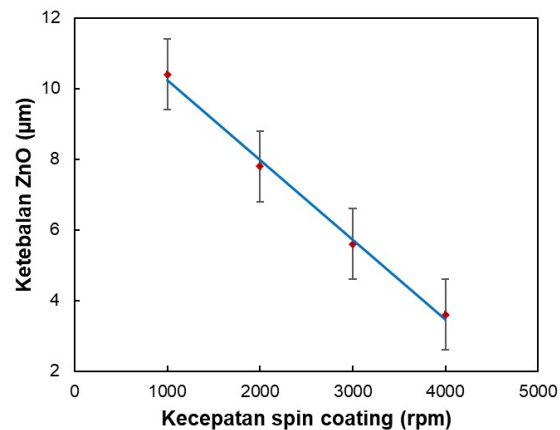
4.1.1 Ketebalan Fotoelektroda ZnO

Larutan ZnO dideposisi ke substrat PET dengan perbedaan kecepatan *spin-coating*. Ketebalan film yang diendapkan diukur menggunakan mikrometer memperoleh hasil seperti yang tertera pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1
Ketebalan Lapisan ZnO

Kecepatan <i>spin-coating</i> (rpm)	Ketebalan (μm)	Standar deviasi (μm)	Standar Error (μm)
1000	10,4	0,5	0,2
2000	7,8	0,8	0,4
3000	5,6	0,9	0,4
4000	3,6	0,5	0,4

Teknik *spin-coating* dilakukan dengan *dropping* larutan ZnO ke atas substrat sehingga ada genangan kecil larutan ZnO di tengah substrat yang kemudian diputar dengan kecepatan yang berbeda. Sel surya perovskit dengan hasil yang baik didapatkan dengan ketebalan film tidak lebih dari 10 μm (Zhang dkk., 2016). Hasil pengukuran ketebalan rata-rata yang diperoleh dengan kecepatan *spin coating* 1000 rpm yaitu $10,4\pm 0,2$ μm sedangkan untuk deposisi dengan kecepatan *spin coating* 2000 rpm, 3000 rpm, dan 4000 rpm secara berurutan diperoleh ketebalan rata-rata $7,8\pm 0,4$ μm , $5,6\pm 0,4$ μm , dan $3,6\pm 0,4$ μm . *Spin-coating* dengan kecepatan putaran yang sama menghasilkan ketebalan yang tidak sama persis saat deposisi larutan, hal ini disebabkan oleh larutan ZnO yang dideposisi pada substrat tidak homogen sehingga ada sedikit perbedaan ketebalan film meskipun menggunakan kecepatan putaran yang sama (Wu dkk., 2013).



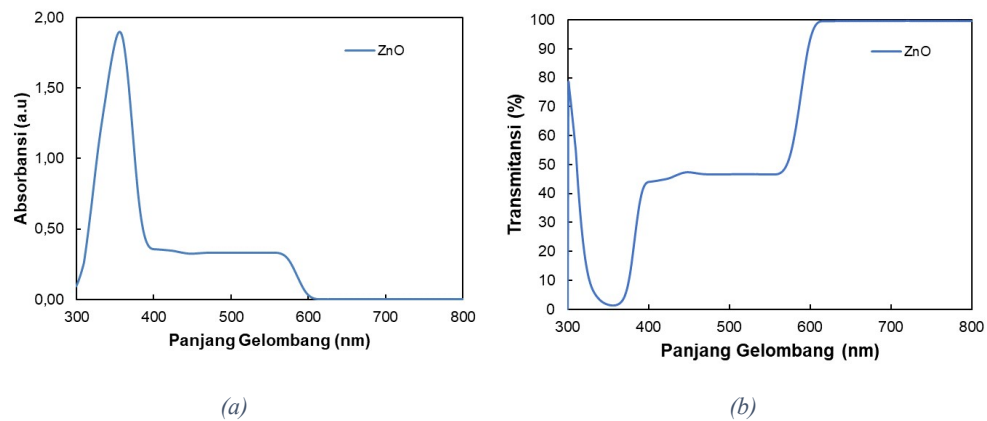
Gambar 4.2 Pengaruh Kecepatan *Spin Coating* terhadap Ketebalan Lapisan ZnO

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa ketebalan film dipengaruhi oleh kecepatan *spin-coating* seperti yang dinyatakan pada penelitian sebelumnya. Untuk memproduksi film dengan ketebalan yang berbeda perlu memvariasikan kecepatan *spin coating*, dimana film akan semakin tipis dengan bertambahnya kecepatan *spin coating* (Lawrence, 1988). Hal ini disebabkan oleh penyebaran larutan yang semakin cepat ketika kecepatan putaran bertambah. Penyebaran tersebut disebabkan oleh gaya sentrifugal sehingga larutan ZnO akhirnya akan lepas atau keluar dari substrat, menghasilkan lapisan tipis ZnO di permukaan substrat (Hosseini dkk., 2014). Selain itu, laju pengeringan juga dapat memengaruhi viskositas larutan ZnO yang mengakibatkan

gaya sentrifugal tidak mampu menggerakkan larutan tersebut hingga menghasilkan film yang lebih tebal (Bai dkk., 2011).

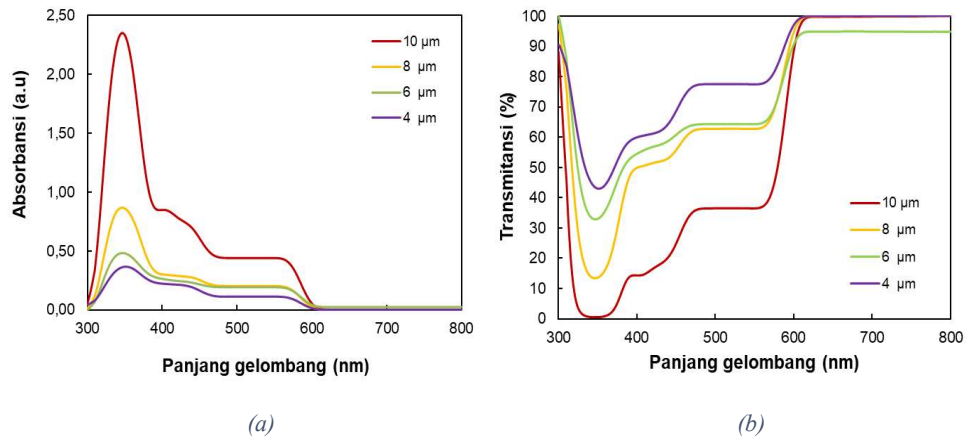
4.1.2 Analisis Absorbansi dan Transmittansi Fotoelektroda ZnO

Gambar 4.3 menunjukkan transmittansi optik dan absorbansi optik larutan ZnO. Spektrum ini disebabkan oleh interferensi cahaya pada permukaan antara film dan bahan substrat (Cho, 2009).



Gambar 4.3 Spektrum (a) Absorbansi dan (b) Transmittansi Larutan ZnO

Berdasarkan Gambar 4.3 (a) penyerapan larutan ZnO yang diplot dengan panjang gelombang 300-800 nm, diperoleh absorbansi maksimum sebesar 1,9 a.u dengan puncak panjang gelombang 356 nm sesuai dengan literatur (Prajapati & Sahay, 2012). Spektrum transmittansi larutan ZnO yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 (b) mengindikasikan bahwa cahaya mengalami transmittansi yang baik pada daerah panjang gelombang cahaya tampak yaitu dalam rentang panjang gelombang 400-800 nm, sementara absorbansinya tinggi pada daerah cahaya UV dalam rentang panjang gelombang 300-400 nm.



Gambar 4.4 Spektrum (a) Absorbansi dan (b) Transmittansi Film Tipis ZnO dengan Ketebalan Yang Berbeda

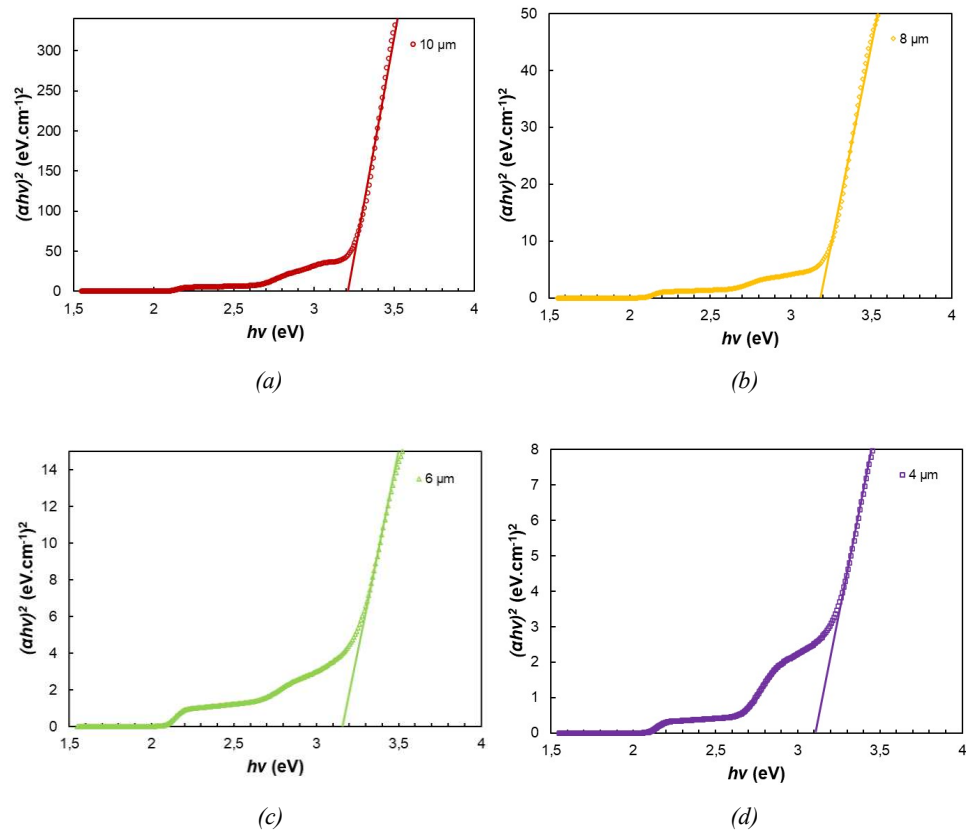
Gambar 4.4 menunjukkan spektrum transmitansi optik dan absorbansi optik untuk film tipis ZnO yang tumbuh dengan empat ketebalan berbeda. Puncak absorbansi pada film dengan ketebalan yang berbeda memperoleh nilai 346-351 nm. Spektrum absorbansi pada daerah sinar UV 300-400 nm pada Gambar 4.4 (a) penyerapannya tinggi, yang didukung oleh Gambar 4.4 (b) transmitansi yang tinggi berada pada daerah cahaya tampak 400-800 nm dan rendah pada daerah cahaya ultraviolet. Hal ini bersesuaian dengan spektrum absorbansi dan transmitansi larutan ZnO.

Tabel 4.2
Transmittansi Rata-Rata Lapisan ZnO dengan Variasi Ketebalan

Ketebalan lapisan ZnO (μm)	\bar{T} (%)
10	56,379
8	72,068
6	73,836
4	81,433

Transmittansi rata-rata dari sampel yang tertera pada Tabel 4.2 menunjukkan transmittansi meningkat dengan berkurangnya ketebalan lapisan ZnO yang terdeposisi pada film tipis. Hal ini disebabkan oleh semakin tebal lapisan film tipis maka semakin

banyak cahaya yang diserap, namun semakin sedikit cahaya yang dapat melewati lapisan tersebut karena semakin banyaknya susunan molekul ZnO pada film tipis tersebut yang mengakibatkan seringnya partikel cahaya bertumbukan dengan atom-atom penyusun lapisan sehingga cahaya sulit untuk dapat menembus lapisan (Lai & Lee, 2008).



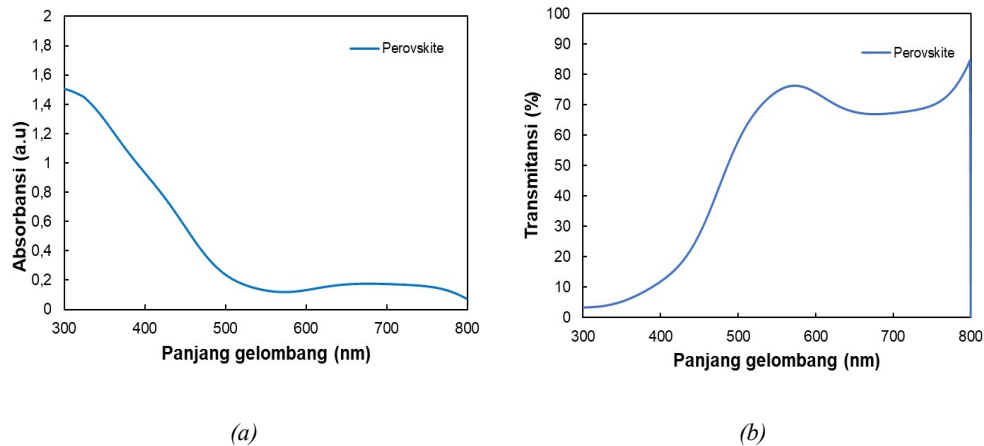
Gambar 4.5 *Tauc Plot* Film Tipis ZnO dengan Ketebalan Berbeda (a) 10 μm (b) 8 μm (c) 6 μm (d) 4 μm

Analisis *bandgap* menggunakan metode *tauc plot* dilakukan pada ketebalan lapisan ZnO yang berbeda, memperoleh hasil seperti pada Gambar 4.5. *Bandgap* diperoleh dengan mengekstrapolasi garis tangensial sumbu energi foton pada plot $(\alpha hv)^2$ versus hv , linearitas plot menunjukkan sebuah transisi langsung (Pruna dkk., 2016).

Tabel 4.3
Nilai *Bandgap*

Ketebalan lapisan ZnO (μm)	E_g (eV)
10	3,20
8	3,19
6	3,17
4	3,12

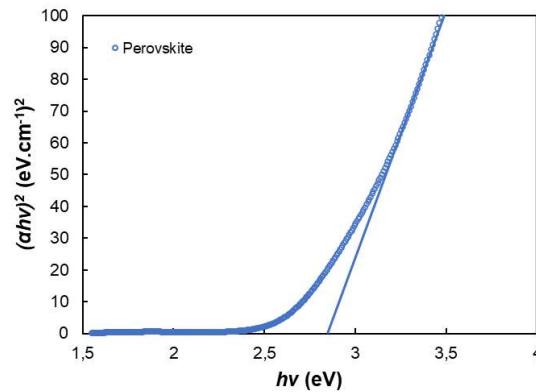
Nilai *bandgap* yang diperoleh dari ketebalan lapisan ZnO yang berbeda pada Tabel 4.3 yaitu 3,12-3,20 eV, nilai ini mirip dengan yang dilaporkan dalam literatur (Debanath & Karmakar, 2013). Hanya terdapat sedikit perubahan pada sifat optik celah pita film ZnO dengan memvariasikan ketebalan film hingga 10 μm . Penurunan celah pita optik dengan penurunan ketebalan film dapat disebabkan oleh penurunan cacat kisi (Lin dkk., 2010).



Gambar 4.6 Spektrum Absorbansi dan Transmittansi Perovskit $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$

Spektrum absorbansi dan transmittansi perovskit $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ juga dianalisis dalam penelitian ini dengan rentang panjang gelombang 300-800 nm ditunjukkan oleh Gambar 4.6. Foton yang ditransmisikan oleh film tipis ZnO, diserap oleh perovskit kemudian menghasilkan elektron dan *hole* untuk diangkut ke ETL dan HTL.

Sedangkan, foton yang ditransmisikan akan diterima oleh elektroda balik untuk dimanfaatkan kembali oleh sel.

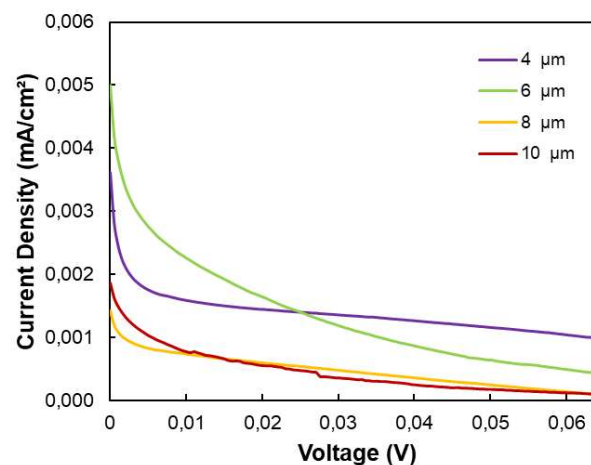


Gambar 4.7 *Bandgap* Larutan Perovskit $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$

Bandgap $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ yang diplot menggunakan metode *tauc plot* yaitu sebesar 2,77 eV. Hasil ini jauh berbeda dengan literatur yaitu 1,6 eV (Ashrafi dkk., 2020). Hal ini dikarenakan adanya kesalahan fabrikasi perovskit, salah satunya adalah pembuatan perovskit tidak dalam kondisi *vacuum* sehingga mudah terjadi oksidasi.

4.2 Analisis Efisiensi Sel Surya

Kinerja sel surya dinyatakan dengan nilai efisiensi sel tersebut, pengujian kinerja sel surya dilakukan dengan menggunakan *Standard Solar Simulator 1,5 AM filter 100 mWcm⁻²* diperoleh kurva J-V seperti Gambar 4.8.



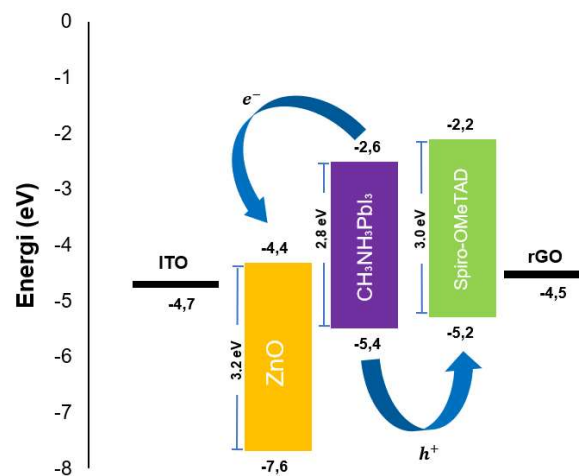
Gambar 4.8 Kurva Karakteristik J-V

Kurva pada Gambar 4.8 menunjukkan hasil karakteristik J_{sc} tertinggi diperoleh pada sampel dengan ketebalan 6 μm , namun FF pada sampel ini rendah sehingga PCE yang diperoleh tidak lebih besar dari sampel dengan ketebalan lapisan ZnO 4 μm yang memperoleh nilai FF sebesar 24%. Nilai V_{oc} , J_{sc} , dan FF pada penelitian ini belum bisa dianggap ideal untuk kinerja sel surya, namun hasil ini menunjukkan kecenderungan kinerja sel berdasarkan ketebalan lapisan fotoelektrodanya.

Tabel 4.4
Kinerja PSC

Tebal ZnO (μm)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF (%)	Eff ($\times 10^{-5}$ %)
4	0,066	0,004	24,157	4,310
6	0,066	0,005	10,855	2,680
8	0,066	0,001	15,589	1,090
10	0,066	0,002	9,811	0,900

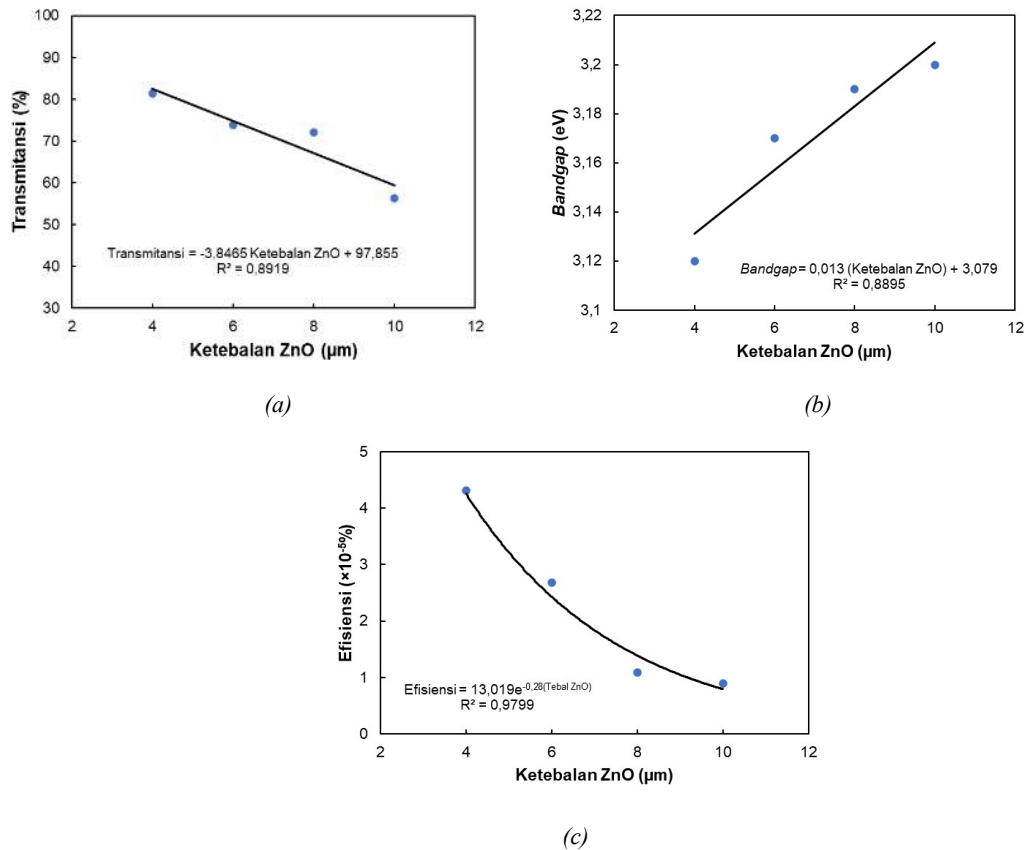
Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengolahan data dari karakteristik J-V sel yang memiliki area aktif sebesar 1×1 cm. Dari kurva J-V diatas, sel surya perovskit dengan lapisan ZnO setebal 4 μm menunjukkan efisiensi konversi daya tertinggi daripada sampel yang lain, sesuai dengan sifat optiknya yang juga memperoleh transmitansi paling baik pada sampel dengan ketebalan 4 μm . Efisiensi sel meningkat ketika ketebalan lapisan ZnO berkurang. Hasil ini menunjukkan bahwa ketebalan lapisan ZnO berpengaruh terhadap efisiensi sel surya.



Gambar 4.9 Bandgap Diagram ITO/ZnO/ $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ /spiro-OMeTAD/rGO

Gambar 4.9 menunjukkan pembawa muatan yang dihasilkan dalam lapisan penyerap perovskit di bawah iluminasi cahaya dapat diekstraksi oleh kontak selektif elektron dan bahan pengangkut *hole*, berdasarkan level energi dari setiap komponen perangkat. Pada penelitian ini, ZnO memiliki *bandgap* sebesar 3,2 eV, perovskit CH₃NH₃PbI₃ memiliki celah pita 2,8 eV yang menyebabkan jarak pita dari perovskit menuju ZnO terlalu jauh sehingga merugikan kinerja sel surya.

Salah satu faktor yang berkontribusi terhadap rendahnya kinerja sel surya perovskit adalah kristalinitas perovskit. Kristalinitas yang buruk dapat disebabkan oleh keberadaan oksigen dalam lingkungan deposisi dan pemanasan yang memengaruhi reaktivitas ion Pb²⁺ karena tidak dalam ruang vakum. Masuknya oksigen dapat menyebabkan terbentuknya fasa oksida yang tidak diinginkan atau mengganggu tumbuhnya kristal perovskit yang baik (M. M. Lee dkk., 2012). Perovskit CH₃NH₃PbI₃ berwarna coklat tua atau kuning menandakan perovskite mengalami dekomposisi cepat menjadi komponen prekursoranya, mengakibatkan penurunan kinerja perangkat secara signifikan (Yang dkk., 2015).



Gambar 4.10 *Trendline* Grafik Korelasi Ketebalan Lapisan ZnO dengan (a) Transmittansi dan (b) *Bandgap* (c) Efisiensi

Pada penelitian ini diperoleh adanya hubungan linear positif antara ketebalan ZnO dengan sifat optik sel surya berupa transmittansi cahaya yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 (a) sebesar 89,19% dan 4.10 (b) Kontribusi ketebalan ZnO terhadap variasi *bandgap* sebesar 88,95%. Gambar 4.10 (c) menunjukkan hubungan sangat kuat antara peningkatan kinerja sel surya perovskit dengan berkurangnya ketebalan lapisan ZnO memperoleh koefisien korelasi sebesar 91,96%. Dengan menggunakan persamaan yang terdapat dalam grafik, dapat diketahui semakin bertambah ketebalan film ZnO maka efisiensi semakin rendah begitu juga dengan transmittansi sedangkan untuk *bandgap* hasilnya berbanding terbalik. Maka, ketebalan lapisan fotoelektroda ZnO memengaruhi kinerja sel surya yaitu sifat optik berupa transmittansi dan efisiensi sel surya.