

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pelarut *dye* terhadap serapan optik lapisan tipis ZnO yang berperan terhadap fotoanoda pada DSSC, mengkaji pengaruh konsentrasi *dye* terhadap efisiensi listrik DSSC, mengkaji pengaruh *dye* terhadap level energi (HOMO-LUMO) dan mengkaji pengaruh pelarut *dye* terhadap efisiensi listrik DSSC. Analisis dilakukan pada Ekstraksi *Dye*, Karakterisasi *UV-Vis* Spektrofotometer, *Cyclic Voltammetry* (CV), FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dan Karakterisasi arus tegangan (I-V) DSSC.

4.1 Ekstraksi *Dye*

Pada penelitian ini telah digunakan ekstraksi dari daun bayam merah dan kulit jahe merah. Daun bayam merah dan kulit jahe merah diekstraksi menggunakan jenis pelarut yang berbeda-beda yaitu air, etanol, metanol dan aseton. Daun bayam merah yang telah dipisahkan dari tangkainya dan kulit jahe merah yang telah dikupas kemudian dipotong kecil-kecil dan ditimbang sebanyak lima gram. Kemudian di hancurkan memakai blender yang dicampurkan dengan berbagai larutan (air, etanol, metanol, aseton), masing-masing larutan 40ml. Setelah itu disimpan di tempat gelap selama 24 jam. Ekstrak yang telah dimaserasi kemudian disaring dengan kain flanel. Ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi. Proses maserasi dilakukan dengan merendam tumbuhan dalam pelarut organik seperti air, etanol, metanol dan aseton.



Gambar 4.2 Hasil ekstraksi kulit jahe merah dengan berbagai pelarut

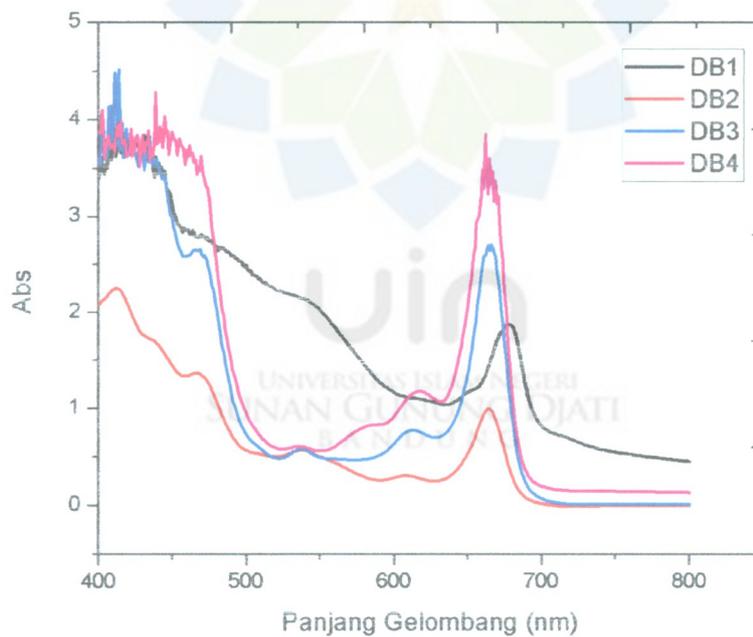
4.2 Karakterisasi Optik (*Uv-Vis* Spektrofotometer)

Secara umum sifat optik mengarah pada respon suatu material terhadap radiasi elektromagnetik dan secara khusus pada rentang cahaya tampak. Beberapa sifat optik material adalah absorpsi, refleksi dan transmisi. Pada penelitian ini sifat optik dibatasi pada absorbansi *dye* bayam merah dan jahe merah. Absorbansi merupakan kuantitas yang menyatakan kemampuan bahan dalam menyerap (mengabsorpsi) cahaya. Absorbansi cahaya terjadi ketika eksitasi elektron dari pita valensi melewati *bandgap* menuju pita konduksi, sehingga tercipta sebuah elektron bebas dalam pita konduksi dan *hole* di pita valensi.

Proses pengujian absorbansi *dye* bayam merah dan jahe merah pada delapan sampel diawali dengan proses *baseline* pada spektrofotometer. Proses ini bertujuan untuk mengurangi pengaruh air, etanol, methanol dan aseton sebagai pelarut pada ekstraksi bayam merah dan jahe merah sehingga hanya spektrum serapan dari zat

terlarut saja yang terukur. Selanjutnya setelah proses *baseline*, dilakukan pengujian absorbansi *dye*.

Karakterisasi optik variasi pelarut *dye* bayam merah dan jahe merah menggunakan *UV-Vis* spektrofotometer pada rentan panjang gelombang 400-800nm yang merupakan spectrum sinar tampak. Pada rentan panjang gelombang tersebut, *dye* organik secara alami efektif menyerap cahaya pada cahaya tampak saat berlangsungnya proses fotosintesis. Gambar 4.3 sampai dengan 4.7 menunjukkan grafik absorbansi dari *dye* bayam merah, *dye* jahe merah, dan lapisan tipis yang sudah direndam *dye*.



Gambar 4.3 Kurva absorbansi *dye* daun bayam merah

Metode maserasi bertujuan untuk mengambil zat atau senyawa aktif yang terdapat pada suatu bahan menggunakan pelarut tertentu, dimana dalam mengekstrak zat warna diperlukan metode yang sesuai dengan sifat bahan (sumber pigmen) agar dihasilkan stabilitas pigmen yang tinggi (Hermawan,dkk., 2010).

Ketika perendaman, akan terjadi pemecahan dinding sel tempat pigmen seperti antosianoplas dan kloroplas akibat perbedaan tekanan di dalam dan di luar sel tumbuhan. Pigmen yang keluar dari sel kemudian larut dalam pelarut organik. Pigmen yang diekstrak berkaitan erat dengan panjang gelombang sinar matahari yang diserap. *Sensitizer* yang efektif harus menyerap cahaya melebihi rentang dari cahaya tampak hingga daerah inframerah, dan keadaan eksitasinya harus lebih besar dari pita konduksi ZnO. Hasil ekstraksi tersebut didapatkan empat *dye* bayam merah dan empat *dye* jahe merah dengan pelarut yang berbeda-beda.



Gambar 4.1 Hasil ekstraksi daun bayam merah dengan berbagai pelarut

Gambar 4.3 memperlihatkan grafik absorbansi sebagai fungsi dari panjang gelombang. Dapat diamati dengan jelas bahwa rentang spektrum absoransi keempat sampel *dye* bayam merah adalah pada pada panjang gelombang yang sama yaitu pada 650 nm sampai 700 nm. DB1 sampai DB4 berturut-turut adalah sampel *dye* bayam dengan pelarut air, etanol, metanol dan aseton.

Pada DB1 berada di puncak absorbansi pada panjang gelombang 677 nm dengan absorbansi sebesar 1.8714. Sampel DB2 berada di puncak absorbansi pada panjang gelombang 664 nm dengan absorbansi sebesar 0.9942. Pada DB3 mempunyai puncak gelombang 666 nm dengan absorbansi sebesar 2.697315. Dan pada DB4 terjadi puncak absorbansi pada panjang gelombang 662 nm dengan absorbansi sebesar 3.845716.

Pelarut dari setiap *dye* berbeda sehingga kemampuan penyerapan pada setiap sampel juga berbeda. Dari berbagai uji absorbansi sampel dalam bentuk larutan di dapatkan bahwa absorbansi paling tinggi dari *dye* bayam merah pada penelitian ini dimiliki oleh DB4 yaitu *dye* bayam merah dengan pelarut aseton.

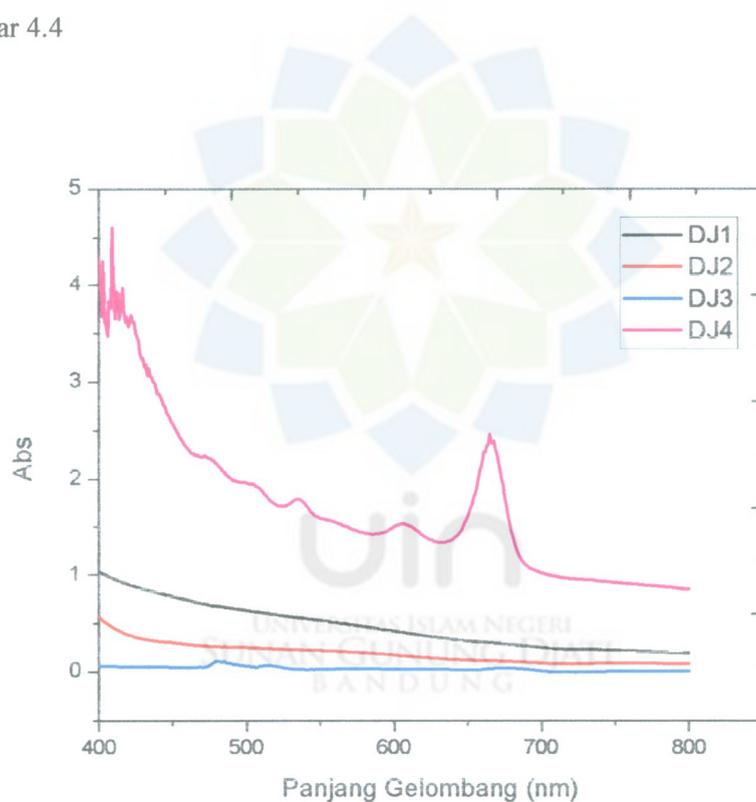
Dari Gambar 4.3, sesuai dengan literatur bahwa nilai absorbansi lebih kecil ketika panjang gelombang dinaikkan. Seperti yang tercantum di dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Panjang Gelombang berbagai warna (Heri, 2005)

$\lambda(\text{nm})$	Warna yang terabsorbsi	Warna Larutan (Komplemen)
400-435	Violet	Hijau-Kuning
435-480	Biru	Kuning
480-490	Biru-Hijau	Orange

490-500	Hijau-Biru	Merah
500-560	Hijau	Ungu
560-580	Hijau-Kuning	Violet
580-595	Kuning	Biru
595-650	Orange	Biru-Hijau
650-760	Merah	Hijau-Biru

Untuk *dye* jahe merah memiliki spektrum absorpsi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4

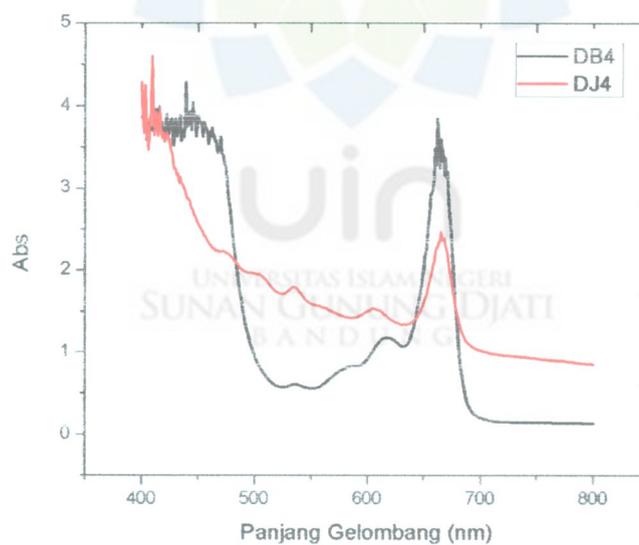


Gambar 4.4 Kurva absorpsi *dye* kulit jahe merah

Gambar 4.4 menunjukkan spektrum absorpsi dari *dye* jahe merah. DJ1 sampai DJ4 merupakan sampel *dye* jahe dengan pelarut air, etanol, metanol dan aseton. Dapat dilihat bahwa pelarut hasil absorpsi dari ekstraksi menggunakan pelarut

air, etanol dan metanol pada jahe merah yang digunakan sebagai sampel pewarna alami tidak membentuk spektrum yang sesuai dengan literatur, dimana pada spektrum akan menghasilkan puncak gelombang. Hal ini disebabkan jahe merah yang terlarut pada pelarut air, etanol dan metanol tidak maksimal dalam proses penyerapan cahaya sehingga performa yang dihasilkan tidak maksimal. Sedangkan pada *dye* jahe merah pelarut aseton absorbansinya berada pada panjang gelombang 650 – 700 nm dengan puncaknya di 664nm dan absorbansinya sebesar 2.4651.

Dapat terlihat jelas bahwa dari kedua *dye* tersebut yang memiliki puncak absorbansi tertinggi yaitu *dye* bayam merah dan *dye* jahe merah dengan pelarut aseton. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.



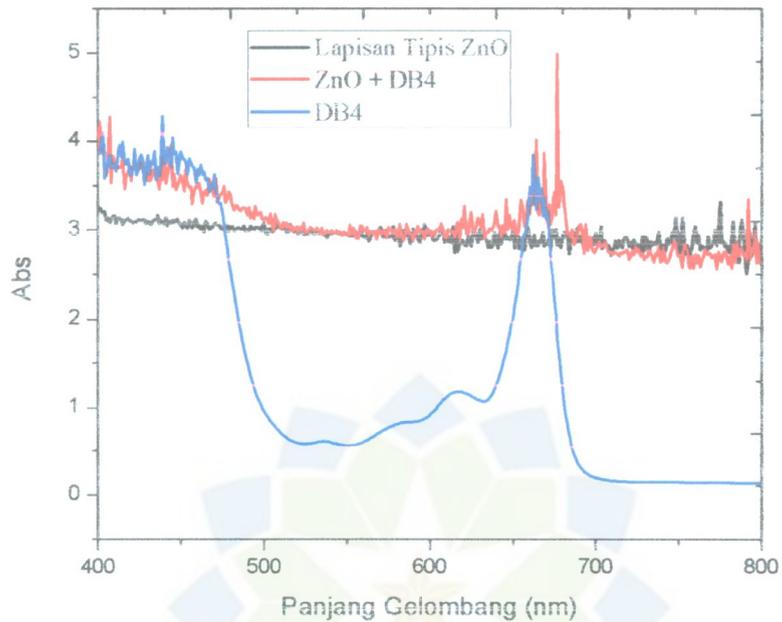
Gambar 4.5 Kurva absorbansi *dye* bayam merah dan *dye* jahe merah dengan pelarut aseton.

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa yang yang memiliki puncak absorbansi tertinggi yaitu *dye* bayam merah dan *dye* jahe merah dengan pelarut aseton. Dikarenakan aseton memiliki sifat kepolaran yang baik dibandingkan pelarut air, etanol dan metanol. Karakteristik absorbansi elektroda ZnO yang telah direndam dengan ekstrak antosianin diukur, dengan masing-masing untuk 24 jam perendaman *dye*.

Absorbansi terjadi ketika foton bertumbukan langsung dengan atom atom pada material dari kehilangan energi pada atom foton akan mengalami perlambatan ada juga yang berhenti saat saat masuk pada material. Energi foton yang diserap oleh atom kemudian digunakan oleh elektron didalam atom tersebut untuk bertransisi ke tingkat energi yang lebih tinggi, Absorbansi menyatakan besarnya cahaya yang diserap oleh lapisan tipis dari total cahaya yang disinarkan. Absorbansi suatu senyawa pada suatu panjang gelombang tertentu bertambah dengan semakin banyaknya molekul yang mengalami transisi (Wiliastuti, 2006).

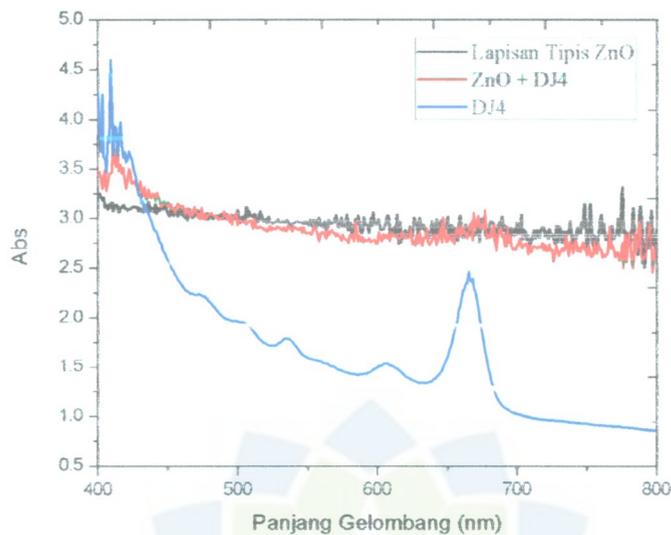
Pada penelitian ini akan dilakukan uji absorbansi pada masing masing sampel yaitu variasi perendaman *dye* dengan lapisan tipis ZnO, dimana rentang panjang gelombang yang digunakan antara 400 nm hingga 800 nm, sehingga akan diperoleh nilai absorbansinya.

Hasil absorbansi pada lapisan tipis ZnO yang telah direndam oleh *dye* bayam dan jahe merah dengan pelarut aseton ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan 4.7



Gambar 4.6 Absorbansi lapisan tipis ZnO yang telah direndam *dye* bayam merah

Pada Gambar 4.6 absorbansi pada lapisan tipis ZnO yang telah direndam *dye* bayam merah mengalami pergeseran panjang gelombang pada 600-700nm, lapisan tipis ZnO yang telah direndam *dye* bayam merah dengan absorbansi 4,014 dan *dye* bayam merah dengan absorbansi sebesar 3,845 sedangkan lapisan tipis ZnO tanpa *dye* dengan absorbansi sebesar 3,035. Dikarenakan spektrum absorbans *dye* antosianin pada lapisan ZnO mengalami pergeseran akibat perubahan warna *dye* antosianin setelah teradsorpsi pada lapisan ZnO (dari warna kemerahan menjadi keunguan).



Gambar 4.7 Absorbansi lapisan tipis ZnO yang telah direndam *dye* jahe merah

Gambar 4.7 terlihat bahwa lapisan tipis ZnO yang telah direndam *dye* jahe merah mengalami pergeseran panjang gelombang pada 650-700nm, lapisan tipis ZnO yang telah direndam *dye* jahe merah dengan absorbansi 3,075, *dye* jahe merah dengan absorbansi sebesar 2,465 sedangkan lapisan tipis ZnO tanpa *dye* dengan absorbansi sebesar 3,035.

Kombinasi antara semikonduktor ZnO dan antosianin menyebabkan pergeseran daerah serapan spektrum ZnO. Lapisan tipis ZnO menyerap panjang gelombang sinar UV sedangkan kombinasi *film hybrid* ZnO/antosianin menghasilkan serapan berbeda yaitu pada daerah panjang gelombang cahaya tampak. Perubahan warna ini sebagai akibat terjadinya ikatan antara kromofor *dye* dari antosianin dengan Zn (IIB) dari ZnO, dimana sebuah ion OH⁻ dari Zn (IIB) berikatan dengan sebuah ion H⁺ dari *dye* antosianin membentuk satu molekul H₂O.

Serapan (absorpsi) pada permukaan ZnO ini membentuk *quinoidal* yang mengakibatkan permukaan ZnO terlihat menjadi berwarna ungu dan hanya sedikit mengandung bentuk *flavilium* sebagai penyebab warna merah (Maddu, 2007).

Ketika ZnO tidak menggunakan *dye* hanya bisa menyerap foton pada panjang gelombang 200-400 nm dimana pada panjang gelombang tersebut merupakan daerah cahaya ultraviolet, sedangkan ketika ZnO di rendam pada *dye*, maka terjadi pergeseran panjang gelombang serapan cahaya pada ZnO, yaitu pada panjang gelombang 600-700 nm yang merupakan daerah warna ungu hingga merah, dimana pada panjang gelombang tersebut ZnO akan menyerap cahaya tampak.

Berdasarkan grafik absorbansi terhadap panjang gelombang diatas, dapat diketahui lapisan ZnO dengan menggunakan *dye* bayam merah akan menghasilkan nilai absorbansi yang baik untuk diaplikasikan pada DSSC, hal ini dikarenakan bayam merah mempunyai warna dasar hijau pekat seperti klorofil yang dapat menyerap cahaya tampak secara maksimal sedangkan jahe merah mempunyai warna dasar kekuningan dan tidak pekat, sehingga tidak menghasilkan penyerapan cahaya oleh *dye* jahe merah tidak maksimal.

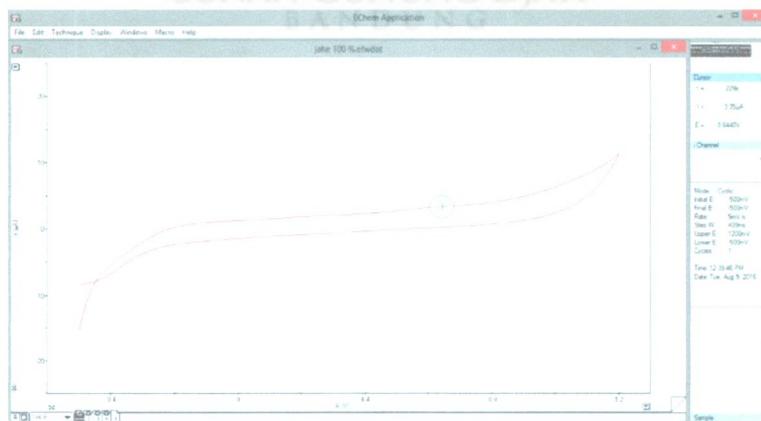
Intensitas penyerapan *dye* oleh ZnO berpengaruh terhadap hamburan elektron di permukaan, karena *dye* berfungsi sebagai penyerap cahaya matahari yang selanjutnya akan menginjeksikan elektron ke pita konduksi ZnO. Perendaman dengan waktu selama 24 jam dilakukan agar *dye* dapat menyerap dengan sempurna pada lapisan ZnO, karena perendaman dengan waktu yang lama menghasilkan intensitas penyerapan yang lebih besar (Maddu, 2007).

4.3 Karakterisasi Cyclic Voltammetry

Untuk mengetahui level energi HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) dan LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) dari *dye* bayam merah dan jahe merah yang dimaserasi dalam pelarut aseton, dilakukan karakterisasi dengan alat *Cyclic Voltammetry* produksi e-DAQ elektrode Ag/AgCl di lab Kimia ITB, dengan *scan rate* 2 mV/s mulai dari -500 mV hingga +1200 mV. Berikut ini grafik dari hasil pengujian *Cyclic Voltammetry dye* bayam merah aseton dan *dye* jahe merah aseton.



Gambar 4.8 Grafik hasil pengujian *Cyclic Voltammetry dye* bayam merah

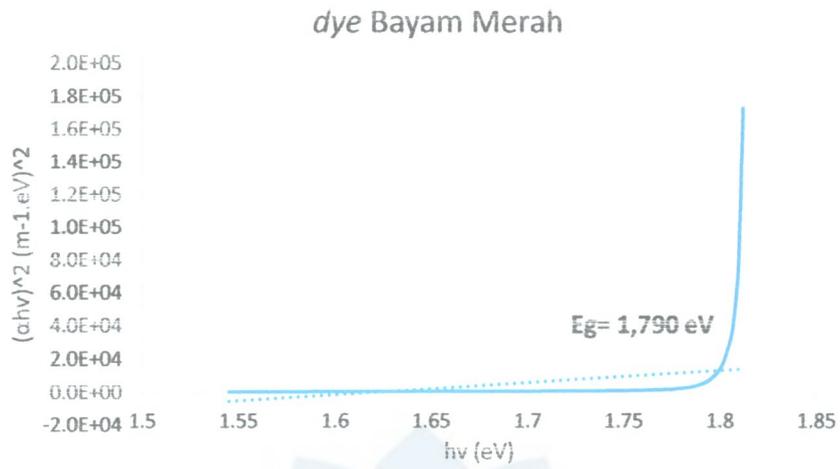


Gambar 4.9 Grafik hasil pengujian *Cyclic Voltammetry dye* jahe merah

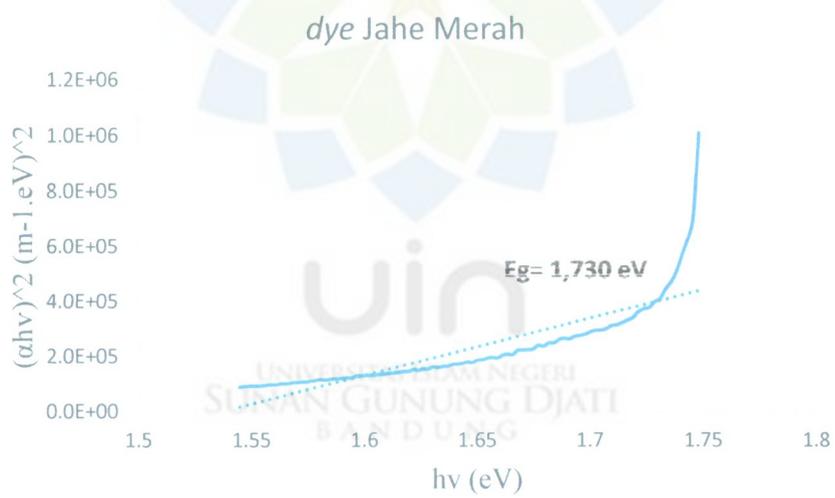
Prototip instrumen elektrokimia merupakan suatu instrumen yang digunakan untuk menyelidiki proses reaksi elektrokimia dalam suatu larutan. Proses ini terjadi berdasarkan reaksi reduksi dan oksidasi. Elektroda kerja dibuat semakin negatif ataupun positif sehingga terjadi proses transfer elektron dari atau ke dalam larutan dengan permukaan elektroda kerja. Instrumen ini bertujuan untuk mengukur arus hasil reaksi elektrokimia kemudian memvisualisasikan profil arus fungsi tegangan dengan kurva voltamogram. Namun dari hasil pengukuran yang dilakukan untuk menghasilkan suatu profil arus dengan tegangan ini ternyata tidak dapat mendeteksi puncak anoda seperti yang dihasilkan dari alat komersial.

Berdasarkan Gambar 4.8 dan 4.9, untuk mengetahui level energi HOMO-LUMO *dye*, perlu diketahui puncak oksidasi pertama dan reduksi pertama kemudian dihitung dengan rumusan 2.5 dan 2.6 serta untuk mencari *band gap* digunakan persamaan 2.7. Pada Gambar 4.8 dan 4.9, hanya puncak oksidasi pertama yang dapat ditentukan, sedangkan puncak reduksi pertama tidak dapat ditentukan.

Merujuk pada penelitian Zhang dkk, (2014) untuk menentukan nilai level energi LUMO terendah diketahui dengan mencari nilai *band gap* pigmen klorofil a menggunakan Persamaan 2.11 kemudian dijumlahkan dengan nilai level energi HOMO *dye*. Berikut ini grafik hubungan $(\alpha h\nu)^2$ ($\text{m}^{-1} \cdot \text{eV}$)² (sumbu y) terhadap $h\nu$ (eV) (sumbu x) untuk *dye* bayam merah dan *dye* jahe merah.



Gambar 4.10 Grafik hubungan $(\alpha hv)^2$ ($m^{-1}.eV$)² terhadap hv dye bayam merah



Gambar 4.11 Grafik hubungan $(\alpha hv)^2$ ($m^{-1}.eV$)² terhadap hv dye jahe merah

Dari Grafik 4.8 – 4.11 diperoleh hasil perhitungan data yang disajikan dalam Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 Perhitungan nilai HOMO tertinggi, LUMO terendah dan *band gap dye* bayam merah dan jahe merah

<i>Dye</i>	Potensial Oksidasi (eV)	<i>Band gap</i> (eV)	Level Energi (eV)	
			HOMO	LUMO
Bayam Merah	0.560	1.790	-4.960	-3.170
Jahe Merah	0.644	1.730	-5.044	-3.314

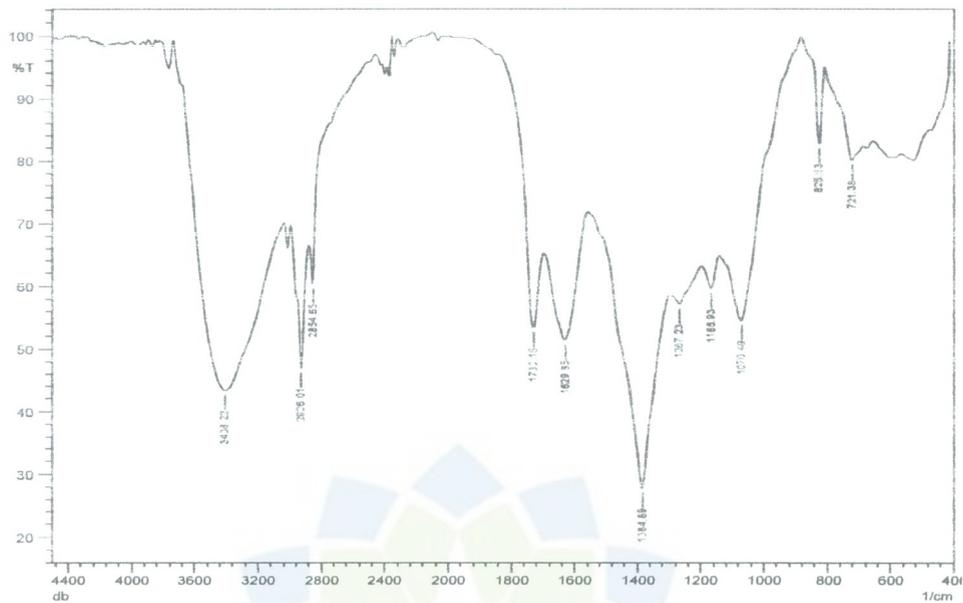
Dari Tabel 4.2 Terlihat energi gap *dye* bayam merah 1,790 eV dan pada *dye* jahe merah 1,730 eV. Energi gap semikonduktor ZnO dalam fase anatase sekitar 3,2 eV, artinya *dye* yang dipreparasi dapat digunakan sebagai *sensitizer* pada DSSC, karena nilai energi gap *dye* harus lebih kecil dari energi gap semikonduktor yang digunakan. Hal ini dikarenakan pada DSSC terjadi separasi muatan, di mana saat menyerap energi foton dari cahaya tampak, elektron pada *dye* akan tereksitasi dari keadaan HOMO (*highest occupied molecular orbital*) ke daerah LUMO (*lowest unoccupied molecular orbital*) yang selanjutnya elektron akan ditransfer ke pita konduksi semikonduktor ZnO. Energi gap *dye* menunjukkan lebar energi dari keadaan HOMO ke LUMO. Pada DSSC, lapisan tipis ZnO berlaku sebagai semikonduktor tipe-n, sedangkan *dye* berlaku sebagai semikonduktor tipe-p.

Nilai level energi HOMO tertinggi *dye* bayam merah dan jahe merah untuk pelarut aseton tersebut berada di bawah level energi potensial redoks. Nilai level

energi HOMO *dye* harus berada di bawah level energi potensial redoks untuk mendukung terjadinya regenerasi *dye* yang teroksidasi dengan menangkap elektron dari donor elektron iodida. Dengan terjadinya regenerasi *dye*, maka akan mencegah penangkapan kembali elektron dari pita konduksi semikonduktor ZnO oleh *dye* yang teroksidasi yang dapat menurunkan performa DSSC (Nugraha, dkk., 2015).

4.4 Karakterisasi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Untuk mengetahui kandungan gugus organik dalam *dye* bayam merah dan jahe merah yang dimaserasi dalam aseton dan lapisan tipis ZnO tanpa *dye*, lapisan tipis ZnO rendam *dye* bayam merah dan rendam *dye* jahe merah, dilakukan karakterisasi dengan spektroskopi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) Prestige 21 produksi Shimadzu Jepang, di laboratorium Kimia Analitik ITB dari bilangan gelombang $4500\text{cm}^{-1} - 400\text{ cm}^{-1}$ (*mid-infrared spectrum*). Spektra inframerah dibandingkan terjadi reduksi ikatan dan perubahan penyerapan tranmitansi pada setiap daerah spektrum infra merah Berdasarkan data hasil pengukuran, diperoleh grafik spektrum FTIR seperti pada Gambar 4.12 – 4.17.



Gambar 4.12 Spektrum IR *dye* bayam merah

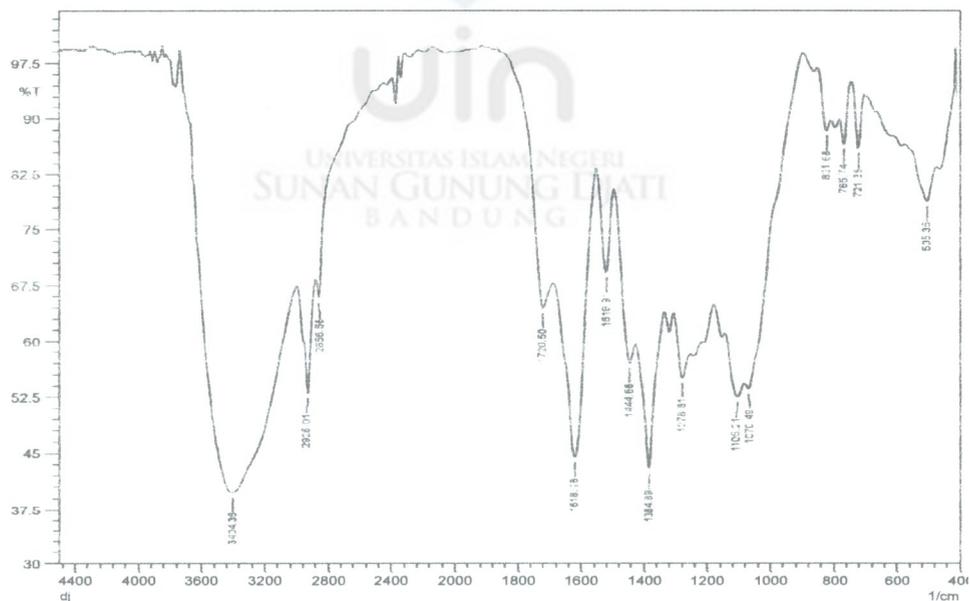
Berdasarkan Gambar 4.12 - 4.17, merujuk pada buku *Handout Infrared Spectroscopy*, nilai puncak, transmitansi beserta tipe ikatan yang bersesuaian ditampilkan dalam Tabel 4.3 - 4.8 (Susila, 2012).

Tabel 4.3 Puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan dalam *dye* bayam merah

Puncak (cm^{-1})	Transmitansi (%)	Tipe Ikatan
721.38	80.069	C-H Alkena / C-H Aromatik
825.53	82.66	C-H Alkena / C-H Aromatik
1070.49	54.488	C-O dari senyawa karboksilat
1166.93	59.621	C-O Asam Karboksilat / C-N Amina
1267.23	57.117	C-H / C-O regangan aromatik / regangan C-N aromatik
1384.89	27.755	C-H Alkana

1629.85	51.323	-NO ₂ Nitro
1730.15	53.338	C=O Asam Karboksilat
2854.65	60.468	C-H Alkana
2926.01	47.002	O-H Alkohol
3408.22	43.358	O-H Asam Karboksilat

Hasil FTIR pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa *dye* bayam merah adanya serapan pada bilangan gelombang yang berbeda beda. Terdapat serapan yang lebar dengan intensitas yang kuat yang menunjukkan adanya gugus OH pada bilangan gelombang 3408.22 cm⁻¹. Hasil spektrum juga menunjukkan adanya serapan yang tajam dengan intensitas sedang pada bilangan gelombang 1384.89 cm⁻¹ yang merupakan ikatan C-H. Secara keseluruhan, gugus-gugus fungsi tersebut bersesuaian dengan gugus fungsi yang terdapat pada kerangka dasar antosianin.



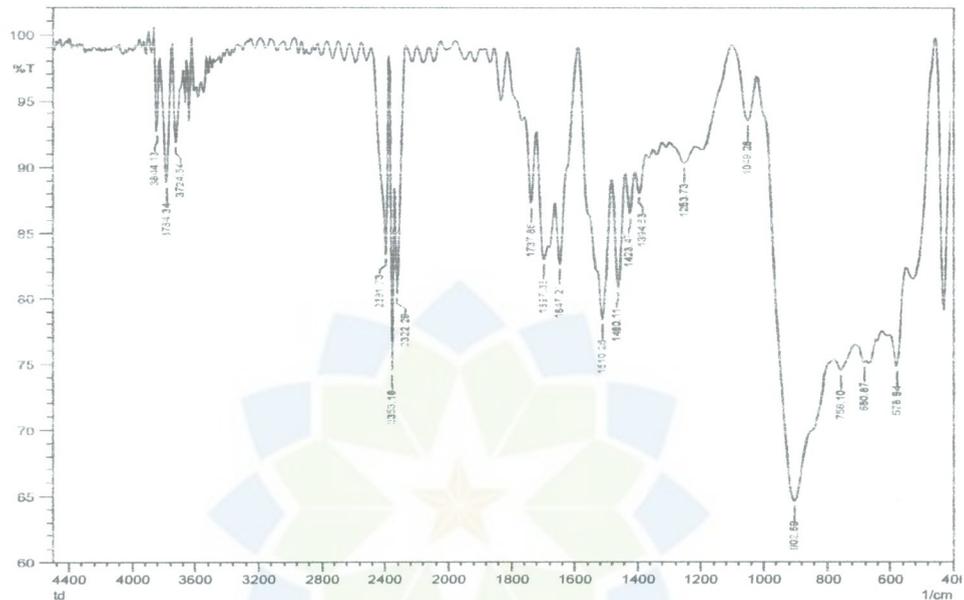
Gambar 4.13 Spektrum IR *dye* jahe merah

Tabel 4.4 Puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan dalam *dye* jahe merah

Puncak (cm^{-1})	Transmitansi (%)	Tipe Ikatan
505.35	78.781	C-H Alkena / C-H Aromatik
721.38	86.077	C-H Alkena
765.74	86.505	C-H Alkena / C-H Aromatik
821.68	88.428	C-H Alkena / C-H Aromatik
1070.49	53.622	C-O dari senyawa karboksilat
1105.21	52.498	C-O dari senyawa karboksilat
1278.81	55.037	C-H / C-O regangan aromatik / regangan C-N aromatik
1384.89	42.898	C-H Alkana
1444.68	57.082	C-H Alkana
1519.91	69.174	C=C Aromatik
1618.28	44.411	C=C alkena
1720.5	64.36	C=O Asam Karboksilat
2856.58	65.711	O-H Alkohol
2926.01	52.96	O-H
3404.36	39.781	O-H Karboksilat

Hasil FTIR pada Gambar 4.13 dan Tabel 4.4 menunjukkan bahwa *dye* jahe merah adanya kandungan antosianin terletak pada gelombang 2800-3600, yaitu pada 2856, 2926 dan 3404 cm^{-1} yang terindikasi serapan yang lebar dengan intensitas yang kuat yang menunjukkan adanya gugus O-H pada bilangan gelombang 3404.36 cm^{-1} .

Hasil spektrum juga menunjukkan adanya serapan yang tajam dengan intensitas sedang pada bilangan gelombang 1384.89 cm^{-1} yang merupakan ikatan C-H.



Gambar 4.14 Spektrum IR ZnO tanpa *dye*

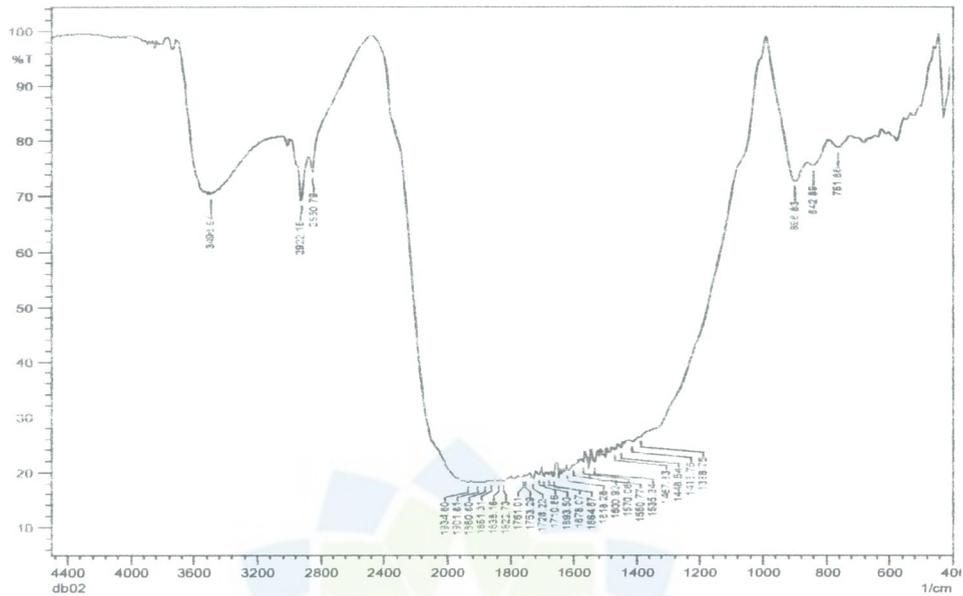
Gambar 4.14 merupakan hasil spektrum FTIR ZnO murni. Spektrum ini memperlihatkan banyak serapan yang kuat. Ini mengindikasikan formasi kerja dari ZnO.

Tabel 4.5 Puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan dalam ZnO murni tanpa *dye*

Puncak (cm^{-1})	Transmitansi (%)	Tipe Ikatan
578.64	74.866	SO_2
680.87	75.1304	C-H Alkena / C-H Aromatik
756.1	74.546	C-H Alkena / C-H Aromatik
902.69	64.607	C-H Alkena / C-H Aromatik
1049.28	93.4715	C-O dari senyawa karboksilat

1253.73	90.2907	C-H / C-O regangan aromatik / regangan C-N aromatik
1394.53	87.9896	C-H Alkana
1423.47	86.4837	C-II Alkana
1460.11	80.765	C-H Alkana
1510.26	78.3465	C=C Aromatik
1647.21	82.5813	C=C Alkena
1697.36	82.9331	C=O Asam Karboksilat
1737.86	87.2128	C=O Asam Karboksilat
2322.29	80.3926	C=C
2353.16	74.5113	C=C
2391.73	83.3558	C=C
3724.54	91.8628	O-H
3784.34	88.773	O-H
3844.13	92.7311	O-H





Gambar 4.15 Spektrum IR Spektrum IR *dye* bayam merah + ZnO

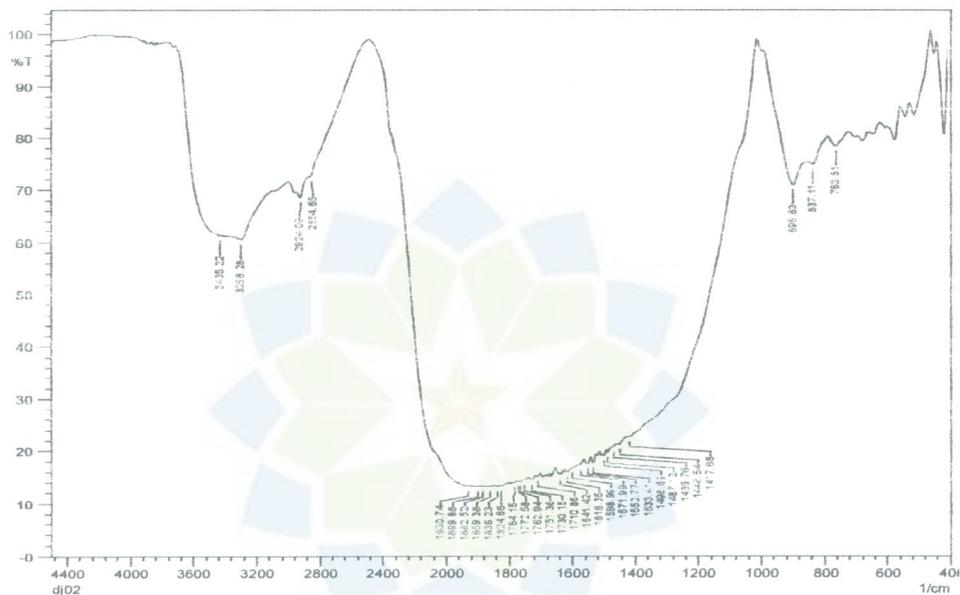
Pada Gambar 4.15 Spektrum IR Spektrum IR *dye* bayam merah + ZnO bilangan 3496 cm^{-1} terindikasi gugus O-H. Daerah bilangan gelombang 1200 cm^{-1} sampai 2200 cm^{-1} mengalami pelebaran serapan. Hal tersebut karena adanya homogenisasi unsur-unsur yang ada pada senyawa. Pelebaran serapan tersebut terjadinya reduksi antara spektrum – spektrum yang sebelumnya terbentuk. Spektrum yang tereduksi tersebut menyebabkan pemutusan ikatan rantai-rantai yang tereduksi yang kemudian bergabung dengan ikatan lainnya. Pada Tabel 4.6 adalah puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan dalam *dye* bayam merah + ZnO

Tabel 4.6 Puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan *dye* bayam merah + ZnO

Puncak (cm-1)	Transmitansi (%)	Tipe Ikatan
761.88	78.937	C-H Alkena / C-H Aromatik

842.89	75.614	C-H Alkena / C-H Aromatik
898.83	72.765	C-H Alkena / C-H Aromatik
1388.75	26.406	C-H Alkana
1415.75	25.5	C-H Alkana
1448.54	24.377	C-H Alkana
1467.83	23.991	C-H Alkana
1535.34	21.61	C=C Aromatik
1550.77	20.692	C=C Aromatik
1570.06	21.689	C=C Aromatik
1600.92	21.226	C=C Aromatik
1618.28	20.307	C=C Alkena
1664.57	19.302	C=C Alkena
1678.07	19.615	C=C Alkena
1693.5	19.248	C=O Asam Karboksilat
1710.86	19.54	C=O Asam Karboksilat
1728.22	18.92	C=O Asam Karboksilat
1753.29	19.325	C=O Asam Karboksilat
1761.01	19.158	C=O Asam Karboksilat
1822.73	18.522	C=O Senyawa Karbonil
1838.16	18.519	C=O Senyawa Karbonil
1861.31	18.429	C=O Senyawa Karbonil
1880.6	18.318	C=O Senyawa Karbonil
1901.81	18.248	
1934.6	18.361	

2850.79	74.25	C-H Alkana
2922.16	69.369	C-H Alkana
3496.94	70.415	O-H Asam Karboksilat



Gambar 4.16 Spektrum IR *dye* jahe merah + ZnO

Pada Gambar 4.16 Spektrum IR *dye* jahe merah + ZnO sama dengan Spektrum IR *dye* bayam merah + ZnO, bilangan 3496 cm^{-1} terindekasi gugus O-H. Daerah bilangan gelombang 1200 cm^{-1} sampai 2200 cm^{-1} mengalami pelebaran serapan. Hal tersebut karena adanya homogenisasi unsur-unsur yang ada pada senyawa. Pelebaran serapan tersebut terjadi karena reduksi antara spektrum – spektrum yang sebelumnya terbentuk. Spektrum yang tereduksi tersebut menyebabkan pemutusan ikatan rantai-rantai yang tereduksi yang kemudian bergabung dengan ikatan lainnya (Susilawati, 2016). Pada tabel 4.7 adalah puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan dalam *dye* jahe merah + ZnO

Tabel 4.7 Puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan *dye* jahe merah + ZnO

Puncak (cm-1)	Transmitansi (%)	Tipe Ikatan
763.81	78.49	C-H Alkena / C-H Aromatik
837.11	74.978	C-H Alkena / C-H Aromatik
898.83	71.084	C-H Alkena / C-H Aromatik
1417.68	22.672	C-H Alkana
1448.54	21.295	C-H Alkana
1469.76	20.646	C-H Alkana
1487.12	19.703	C-H Alkana
1498.69	19.142	C-H Alkana
1533.41	17.783	C=C Aromatik
1550.77	17.454	C=C Aromatik
1571.99	17.343	C=C Aromatik
1598.99	16.712	C=C Aromatik
1616.35	15.947	C = O
1641.42	15.663	C=C Alkena
1710.86	15.101	C=O Asam Karboksilat
1730.15	14.386	C=O Asam Karboksilat
1751.36	14.46	C=O Asam Karboksilat
1762.94	14.22	C=O Asam Karboksilat
1772.58	14.212	C=O Senyawa Karbonil
1784.15	14.028	C=O Senyawa Karbonil
1824.66	13.409	C=O Senyawa Karbonil
1836.23	13.326	C=O Senyawa Karbonil

1859.38	13.261	C=O Senyawa Karbonil
1882.52	13.208	C=O Senyawa Karbonil
1899.88	13.217	C=O Senyawa Karbonil
1930.74	13.4	
2854.65	72.678	C-H Alkana
2924.09	68.445	C-H Alkana
3298.28	60.517	O-H Asam Karboksilat
3435.22	61.34	O-H Asam Karboksilat

Bila dilihat dari spektrum sampel hasil pengujian FTIR, hampir dapat dipastikan bahwa gugus fungsi dari *dye* terhadap pada kerangka antosianin. Gugus hidroksil dan karbonil dalam *dye* termasuk *anchoring group* yang akan bereaksi dengan permukaan oksida semikonduktor sehingga membentuk ikatan kimia. Gugus karbonil dan hidroksil dalam molekul antosianin akan berikatan pada permukaan film ZnO (Wongcharee dkk., 2007).

4.5 Karakterisasi I-V

Sistem sel surya dalam pengujian ini bertindak seperti diode, yang memiliki sifat menyerahkan arus bolak-balik. Sistem sel surya dikatakan mati, apabila arus yang dihasilkan sistem saat tegangan 0 (I_{sc}) bernilai nol, ini menandakan bahwa sistem tersebut tidak terjadi aliran elektron yang bisa menghasilkan arus listrik. Hal ini akibat sambungan semikonduktor tipe-*p* dan tipe-*n*, apabila semikonduktor tipe-*p* disentuh dengan semikonduktor tipe-*n* maka akan terjadi difusi *hole* dan tipe-*p* menuju tipe-*n* dan difusi elektron dari tipe-*n* menuju tipe-*p*. Difusi tersebut akan

meninggalkan daerah yang lebih positif pada batas tipe- n dan daerah lebih negatif pada batas tipe- p .

Batas tempat terjadinya perbedaan muatan pada sambungan p - n disebut daerah *depleksi*. Elektron lebih yang memasuki bahan tipe- p menyebabkan sisi daerah *depleksi* bermuatan negatif, yang cenderung menarik elektron lainnya dari daerah n . Dalam keadaan setimbang, tumpukan elektron yang cukup banyak akan menghentikan sama sekali aliran elektron. Adanya beda muatan pada daerah *depleksi* mengakibatkan munculnya medan listrik yang mampu menghentikan laju difusi selanjutnya. Medan listrik tersebut mengakibatkan munculnya *arus drift*. Namun arus ini terimbangi oleh arus difusi, sehingga secara keseluruhan tidak arus listrik yang mengalir pada semikonduktor sambungan p - n tersebut. Elektron adalah partikel bermuatan yang mampu dipengaruhi oleh medan listrik. Kehadiran medan listrik pada elektron mengakibatkan elektron bergerak.

Ketika semikonduktor sambungan p - n disinari maka akan terjadi pelepasan elektron dan hole pada semikonduktor tersebut. Lepasnya pembawa muatan tersebut mengakibatkan penambahan kuat medan listrik di daerah *depleksi*. Pada keadaan ini *arus drift* lebih besar daripada arus difusi, sehingga secara keseluruhan dihasilkan arus berupa *arus drift* yaitu arus yang dihasilkan karena muncul medan listrik. Arus inilah yang kemudian dimanfaatkan oleh sel surya sambungan p - n sebagai arus listrik.

Kinerja sel surya sangat dipengaruhi oleh konstruksi sistem sel surya itu sendiri, seperti elektroda kerja (*working electrode*), elektroda lawan (*counter*

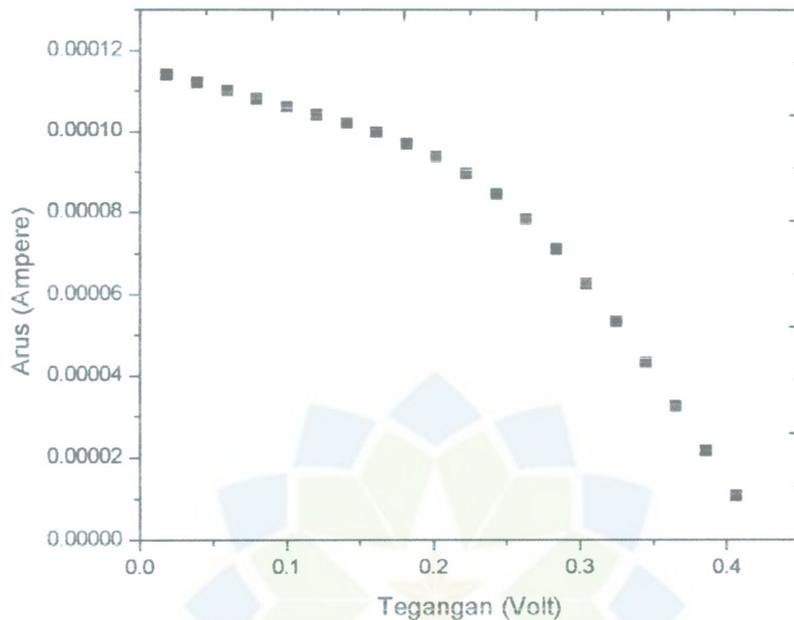
electrode) dan larutan elektrolit yang digunakan. Selain itu kinerja alat ukur juga bisa mempengaruhi pengukuran kinerja sel surya.

Output atau keluaran yang bisa ditinjau dari sel surya adalah efisiensi. Efisiensi menunjukkan kemampuan sel surya untuk mengubah sel matahari menjadi energi listrik. Efisiensi suatu sel surya dapat diketahui dengan meninjau kurva karakteristik I-V (arus-tegangan).

Karakterisasi kurva I-V dilakukan untuk melihat sifat listrik DSSC yang telah dibuat. Pengujian yang dilakukan yaitu menggunakan I-V *measurement system* dari National Instrument dengan sumber cahaya *sun simulator* AM 1.5 serta dilengkapi sensor *pyranometer* dengan intensitas 500 W/m^2 .

Proses diawali dengan menghubungkan probe positif pada substrat yang terlapis platina dari probe negatif pada substrat yang terlapis ZnO dengan menggunakan *jumper* atau penjepit buaya. Arus hubungan pendek (I_{sc}), tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), daya maksimum (P_m), efisiensi dapat dihasilkan, pengukuran intensitas cahaya menggunakan *pyranometer* dan segera diketahui secara otomatis melalui layar komputer.

Hasil karakterisasi I-V dilakukan untuk mengetahui sifat listrik dari DSSC yang telah siap di uji. Saat cahaya membawa energi foton mengenai DSSC, akan ada elektron dari *dye* yang mendesak elektron dari ZnO tereksitasi dari pita konduksi ke pita valensi dan menuju elektroda kerja sehingga tercipta arus dalam DSSC.

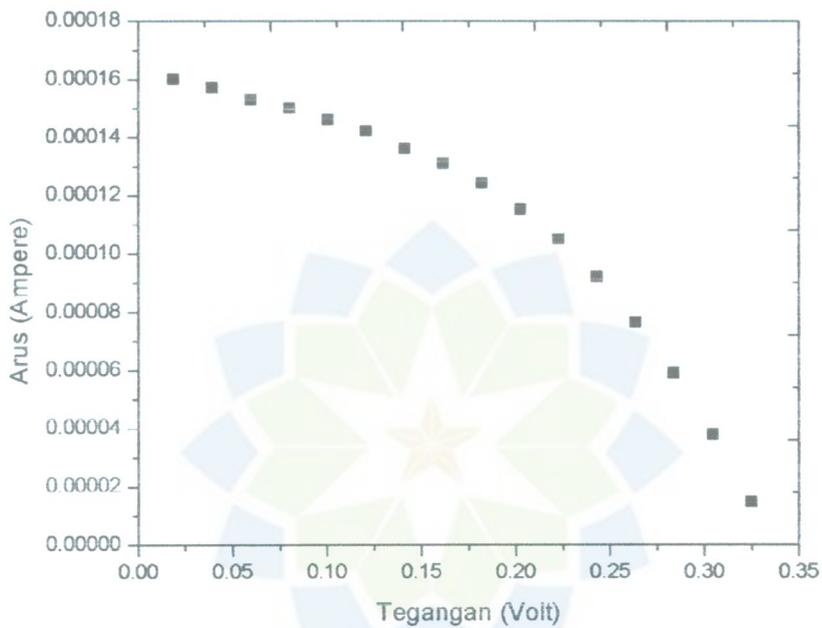


Gambar 4.17 Kurva I-V *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) lapisan tipis ZnO pada *dye* bayam merah

Pada Gambar 4.17 tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) pada lapisan tips ZnO yang direndam *dye* bayam merah mencapai 0.4066 V. Arus keluaran sel surya (disebut juga arus foto) masih sangat rendah. Arus rangkaian pendek (I_{sc}) masing-masing sebesar 0.000114 A. Kecilnya arus keluaran yang dihasilkan disebabkan oleh resistansi lapisan elektroda semikonduktor ZnO dan elektrolit yang sangat besar dari hasil pengukuran diketahui nilai resistansi dari lapisan ZnO.

Dengan nilai resistansi yang sangat besar ini mengakibatkan elektron yang diinjeksi dari *dye* mengalami hambatan yang sangat besar di dalam lapisan ZnO sehingga jumlah elektron mengalir ke rangkaian luar menjadi kecil. Penyebab

lainnya dapat diakibatkan oleh belum optimalnya fungsi *dye* dalam pembangkitan dan injeksi elektron ke lapisan elektroda ZnO.



Gambar 4.18 Kurva I-V *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) lapisan tipis ZnO pada *dye* jahe merah

Dari Gambar 4.18 di peroleh nilai tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) lapisan tipis ZnO pada *dye* jahe merah mencapai 0.3249 V dan Arus rangkaian pendek (I_{sc}) sebesar 0.00016 A.

Dari Gambar 4.17 dan 4.18 menunjukkan kurva I-V nilai konduktivitas dari *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) pada lapisan tipis ZnO yang divariasikan ke dalam *dye* yaitu *dye* bayam merah dan jahe merah. Dapat dilihat bahwa karakteristik dari lapisan tipis ZnO lebih bagus pada perendaman *dye* bayam merah dibanding

dengan *dye* jahe merah. Dikarenakan penyerapan cahaya pada *dye* bayam merah lebih tinggi dibandingkan *dye* jahe merah. Absorbansi dipengaruhi oleh kandungan antosianin yang ada dalam larutan dan yang terserap (teradsorpsi) pada permukaan ZnO, dimana kandungan antosianin sebanding dengan cahaya yang diserap (absorbansi). Secara otomatis tingkat efisiensi dari *dye* bayam merah lebih tinggi dari *dye* jahe merah.

Untuk lebih jelasnya spesifikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan lapisan tipis ZnO yang di variasikan ke dalam *dye* dapat dilihat pada Tabel 4.8 di bawah ini.

Tabel 4.8 Karakteristik I-V DSSC dengan Variasi *Dye* pada lapisan ZnO

Karakterisasi	<i>Dye</i> Bayam Merah	<i>Dye</i> Jahe Merah
V_{oc} (V)	0.40666	0.324939
I_{sc} (A)	0.000114	0.00016
P_{max} (Watt)	2.06E-05	2.33E-05
V_{max} (V)	0.263312	0.222908
I_{max} (A)	7.82E-05	0.000105
FF	0.444764	0.44762
η (%)	0.051544	0.023202

Efisiensi DSSC dipengaruhi oleh tiga parameter yaitu I_{sc} (*short circuit current*), V_{oc} (*open circuit voltage*) dan FF (*Fill Factor*). I_{sc} merupakan arus rangkaian pendek yang terjadi ketika tegangan bisa sama dengan nol. Arus ini sama

dengan jumlah foton yang dikonversikan menjadi pasangan elektron-hole. Semakin banyak elektron yang tereksitasi, maka efisiensi yang dihasilkan juga semakin besar. V_{oc} merupakan nilai tegangan ketika arus bernilai nol karena semua eksiton terekombinasi sehingga dalam DSSC tidak mengalir arus. FF merupakan perbandingan daya maksimum (P_{max}) terhadap arus kontak (I_{sc}) dan tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}). *Fill Factor* bertambah dengan meningkatnya mobilitas elektron. Peningkatan mobilitas elektron akan meningkatkan arus. Jika nilai *fill factor* lebih tinggi dari 0,7 atau 70% maka sel tersebut lebih baik.

Efisiensi yang dihasilkan yaitu 0,051% untuk *dye* bayam merah dan 0,023% untuk *dye* jahe merah. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak *dye* yang terabsorb mempengaruhi kinerja sel surya yang baik.

Karakterisasi I-V DSSC yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 menunjukkan bahwa absorpsi dan konduktivitas berpengaruh terhadap DSSC. Semakin banyak cahaya yang diserap maka semakin banyak elektron diciptakan sehingga akan meningkatkan arus. Semakin tinggi konduktivitas maka semakin tinggi kemampuan *dye* untuk menghantarkan listrik.

Nilai arus keluaran DSSC disebabkan oleh beberapa faktor yaitu ukuran partikel dan ketebalan pasta ZnO yang dideposisikan pada kaca FTO, lama perendaman pada *dye* dan penggunaan elektrolit cair (Kumara & Sukma, 2012). Ketebalan lapisan yang relatif besar memperbesar hambatan internal sehingga mengurangi mobilitas muatan yang melewati sel. Tegangan pada sel surya berbasis DSSC ini dihasilkan dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda

semikonduktor ZnO dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit redoks, dan arus yang dihasilkan berhubungan dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi, intensitas penyinaran serta *dye* yang digunakan sebagai sensitizer (Cari, dkk., 2013).

Elektron dalam sistem sel surya dihasilkan dari elektron zat warna yang tereksitasi karena mendapat cahaya pada daerah cahaya tampak, kemudian akan diinjeksi ke dalam pita konduksi semikonduktor ZnO. Terjadinya injeksi elektron zat warna kedalam pita konduksi ZnO dipermudah dengan adanya interaksi/ikatan antara zat warna dan ZnO, elektron lebih sulit mengalami injeksi sehingga terjadi aliran elektron yang kemudian menghasilkan sistem sel surya yang mati. Sistem sel surya juga bisa mati karena terjadinya *short* pada sistem akibat kontak langsung elektroda kerja (*working electrode*) dan elektroda lawan (*counter electrode*). Hal ini bisa terjadi jika larutan elektrolit tidak terdistribusi secara merata pada seluruh permukaan kontak elektroda kerja – elektroda lawan. Oleh karena itu penggunaan *sealant* dari bahan polimer berfungsi untuk menahan elektrolit supaya tidak kemana-mana.

Hasil keluaran tegangan dan arus yang diperoleh dengan menggunakan sumber cahaya *sun simulator* AM 1.5 serta dilengkapi sensor *pyranometer* dengan intensitas 500 W/m^2 terlihat bahwa tegangan yang dihasilkan sudah cukup baik dan stabil namun arus yang dihasilkan kurang optimal. Intensitas sangat mempengaruhi daya keluaran dari DSSC.

Semakin besar intensitas, semakin banyak jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi, sehingga semakin besar arus. Selain itu, rendahnya arus keluaran ini juga disebabkan oleh beberapa faktor yaitu ukuran partikel dan ketebalan pasta ZnO yang dideposisikan pada kaca FTO, lama perendaman pada *dye*, penggunaan elektrolit cair. Dalam penelitian ini digunakan elektrolit cair, dimana elektrolit tersebut semakin lama digunakan akan semakin habis karena menguap, dan menghasilkan siklus transfer elektron yang kurang maksimal. Sesuai dengan fungsi dari elektrolit yaitu transfer elektron/muatan, jika elektrolit habis atau bahkan tidak ada, maka aktivitas transfer elektron akan berkurang/tidak ada.

Ukuran ZnO yang digunakan dalam penelitian ini adalah berukuran mikro. Sebenarnya, yang paling utama dalam pembuatan DSSC adalah ZnO dengan fasa anatase (seperti yang telah digunakan dalam penelitian ini) karena memiliki bandgap yang lebar. Pada umumnya, yang digunakan dalam pembuatan DSSC adalah ZnO berfasa anatase dengan ukuran nano. Dimana ukuran nano ini memiliki pengaruh terhadap jumlah *dye* yang terserap.

Kemudian, ketebalan lapisan yang tidak seragam sehingga berpengaruh pada terhambatnya proses keluarnya elektron. Dalam DSSC tegangan yang timbul karena adanya perbedaan tingkat energi konduksi elektroda ZnO dengan potensial elektrokimia. Dan arus yang timbul dipengaruhi oleh (intensitas) foton yang diserap *dye* dan akan di transfer oleh elektrolit. Proses akan terjadi secara kontinyu. Proses tersebut merupakan proses konversi energi dari foton menjadi listrik.