

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI ZnO:Zr MELALUI
METODE SOL-GEL DENGAN VARIASI PELARUT SERTA
UJI KINERJANYA UNTUK *DYE SENSITIZED SOLAR CELL***

**Skripsi
Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana Kimia**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2018**



PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Nomor : B.1309/Un.02/DST/PP.05.3/08/2018

Skripsi/Tugas Akhir dengan judul : Sintesis dan Karakterisasi ZnO:Zr Melalui Metode Sol-Gel dengan Variasi Pelarut Serta Uji Kinerjanya untuk *Dye Sensitized Solar Cell*

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :
Nama : Afla Ana Fadila
NIM : 14630004
Telah dimunaqasyahkan pada : 16 Agustus 2018
Nilai Munaqasyah : A
Dan dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

TIM MUNAQASYAH :

Ketua Sidang

Didik Krisdiyanto, M.Sc.
NIP.19811111 201101 1 007

Penguji I

Sudarlin, M.Si.
NIP. 19850611 201503 1 002

Penguji II

Karmanto, M.Sc.
NIP. 19820504 200912 1 005

Yogyakarta, 28 Agustus 2018
UIN Sunan Kalijaga
Fakultas Sains dan Teknologi



Dr. Murtos, M.Si.
NIP.19690101 196901 200003 1 001

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Tugas Akhir/Skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu 'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Afia Ana Fadila

NIM : 14630004

Judul Skripsi : Sintesis dan Karakterisasi ZnO:Zr Melalui Metode Sol-Gel dengan Variasi Pelarut serta Uji Kinerjanya untuk *Dye Sensitized Solar Cell*

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Kimia

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, Juli 2018

Pembimbing



Didik Krisdiyanto, M. Sc.

NIP. 19811111 201101 1 007

NOTA DINAS KONSULTAN

Hal: Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Kepada

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami berpendapat bahwa skripsi Saudari:

Nama : Afia Ana Fadila

NIM : 14630004

Judul Skripsi : Sintesis dan Karakterisasi ZnO:Zr Melalui Metode Sol-Gel dengan Variasi Pelarut serta Uji Kinerjanya untuk *Dye Sensitized Solar Cell*

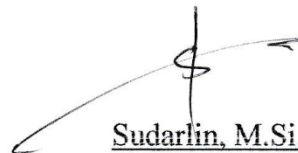
sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terima kasih.

Wassalamalikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, Agustus 2018

Konsultan,



Sudarlin, M.Si.

NIP. 19850611 201503 1 002

NOTA DINAS KONSULTAN

Hal: Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Kepada

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami berpendapat bahwa skripsi Saudari:

Nama : Afia Ana Fadila

NIM : 14630004

Judul Skripsi : Sintesis dan Karakterisasi ZnO:Zr Melalui Metode Sol-Gel dengan Variasi Pelarut serta Uji Kinerjanya untuk *Dye Sensitized Solar Cell*

sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terima kasih.

Wassalamalikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, Agustus 2018

Konsultan,



Karmanto, S.Si., M.Sc.

NIP. 19820504 200912 1 005

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Afia Ana Fadila
NIM : 14630004
Program Studi : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

menyatakan bahwa dalam skripsi saya yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi Zn:Zr Melalui Metode Sol-Gel dengan Variasi Pelarut serta Uji Kinerjanya untuk *Dye Sensitized Solar Cell*” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, Agustus 2018



Afia Ana Fadila


HALAMAN MOTTO

Ikhlas,
and everything will be okay



Every second is learning

HALAMAN PERSEMBAHAN



Sebuah karya teruntuk
almamater Program Studi Kimia
UIN Sunan Kalijaga

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَالِهِ وَعَلَى. وَالْمُرْسَلِينَ نُبِيَّاءِ الْأَشْرَفِ عَلَى وَالسَّلَامُ الصَّلَاةُ. لَمِينَ الْعَارِبِ رَبِّ اللَّهِ الْحَمْدُ
أَمَّا بَعْدُ. وَرَسُولُهُ عَبْدُهُ مُحَمَّدًا أَنْ وَأَشْهَدُ لَهُ لِأَشْرِيكَ وَحْدَهُ إِلَّا اللَّهُ لَا إِلَهَ أَنْ أَشْهَدُ. أَجْمَعِينَ صَحْبِهِ

Puja dan puji syukur ke hadirat Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi ZnO:Zr Melalui Metode Sol-Gel dengan Variasi Pelarut serta Uji Kinerjanya untuk *Dye Sensitized Solar Cell*” ini dapat diselesaikan sebagai salah satu persyaratan mencapai derajat Sarjana Kimia.

Ucapan terima kasih penyusun sampaikan kepada seluruh pihak yang telah memberi dukungan dalam berbagai bentuk sehingga tahap demi tahap penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan. Secara khusus, ucapan terima kasih tersebut penyusun sampaikan kepada pihak-pihak berikut.

1. Dr. Murtono, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Dr. Susy Yunita Prabawati, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Ketua Program Studi Kimia yang telah memberikan motivasi dan pengarahan selama studi.
3. Didik Krisdiyanto, M.Sc. selaku pembimbing skripsi yang secara ikhlas dan sabar telah meluangkan waktunya untuk membimbing, mengarahkan dan memotivasi penyusun dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini.

4. Seluruh karyawan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membantu sehingga penyusunan skripsi ini dapat berjalan dengan lancar.
5. Laboran dan karyawan Laboratorium Terpadu UIN Sunan Kalijaga secara umum serta laboran Laboratorium Kimia khususnya atas saran, bimbingan dan bantuan yang diberikan selama proses penelitian.
6. Teman-teman di Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga atas saran dan bantuannya.
7. Bapak Mahfud, Ibu Asmah dan Fahmi Lefi Mazid selaku pemberi dukungan moril dan materiil terbesar.
8. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu atas bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.

Demi kesempurnaan skripsi ini, kritik dan saran sangat penulis harapkan. Penulis berharap skripsi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan secara umum dan kimia secara khusus.

Yogyakarta, Juli 2018

Afia Ana Fadila
14630004

DAFTAR ISI

PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iii
NOTA DINAS KONSULTAN	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	vi
HALAMAN MOTTO	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah	4
C. Rumusan Masalah	4
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	6
A. Tinjauan Pustaka.....	6
B. Landasan Teori.....	8
1. <i>Dye sensitized solar cell</i>	8
2. Semikonduktor DSSC	10
3. Zink oksida.....	11
4. Zirkonium.....	13
5. Karakterisasi material dengan XRD.....	14
6. Penentuan energi celah pita material.....	15
C. Hipotesis Penelitian	16

BAB III METODE PENELITIAN.....	18
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	18
B. Alat-alat Penelitian.....	18
C. Bahan Penelitian	18
D. Cara Kerja Penelitian	19
1. Sintesis ZnO:Zr dengan pelarut berbeda dan karakterisasinya	19
2. Aplikasi ZnO:Zr hasil sintesis untuk DSSC.....	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Analisis Struktur ZnO:Zr dengan Difraksi Sinar X.....	21
B. Energi Celah Pita ZnO:Zr	23
C. Morfologi ZnO:Zr.....	26
D. Ekstraksi Daun Kelor.....	27
E. Perangkaian <i>Dye Sensitized Solar Cell</i>	29
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	31
B. Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN.....	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Skema susunan DSSC.	8
Gambar II.2 Skema konversi radiasi matahari menjadi listrik dalam DSSC.....	10
Gambar II.3 Struktur <i>wurtzite</i> heksagonal (a), struktur <i>rock salt</i> (b), struktur <i>zinblende</i> (c), atom O berwarna putih dan atom Zn berwarna hitam (Coleman dan Jagadish, 2006).....	12
Gambar IV.1 Difraktogram ZnO:Zr.....	22
Gambar IV.2 Penentuan energi celah pita (a) ZH, (b) ZM, (c) ZE dan (d) ZP.....	24
Gambar IV.3 Citra SEM ZnO:Zr	27
Gambar IV.4 Grafik serapan hasil ekstraksi daun kelor	28



DAFTAR TABEL

Tabel IV.1 Pola difraksi sinar X ZnO:Zr	22
Tabel IV.2 Nilai parameter kisi kristal ZnO:Zr	23
Tabel IV.3 Ukuran kristalit dan <i>dislocation density</i> ZnO:Zr	23
Tabel IV.4 Energi celah pita ZnO:Zr	25
Tabel IV.5 Ukuran partikel ZnO:Zr	27



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan jumlah rekatan untuk doping Zr 1%.....	38
Lampiran 2 Contoh perhitungan parameter kisi kristal heksagonal	39
Lampiran 3 Perhitungan ukuran kristalit dan <i>dislocation density</i> kristal ZnO:Zr	40
Lampiran 4 Perhitungan energi celah pita ZnO:Zr	41
Lampiran 5 Difraktogram ZnO:Zr (H ₂ O)	42
Lampiran 6 Difraktogram ZnO:Zr (Metanol)	43
Lampiran 7 Difraktogram ZnO:Zr (Etanol)	44
Lampiran 8 Difraktogram ZnO:Zr (Isopropanol)	45
Lampiran 9 Absorbansi ZnO:Zr (H ₂ O) pada panjang gelombang UV-Vis.....	46
Lampiran 10 Absorbansi ZnO:Zr (metanol) pada panjang gelombang UV-Vis...	47
Lampiran 11 Absorbansi ZnO:Zr (etanol) pada panjang gelombang UV-Vis.....	48
Lampiran 12 Absorbansi ZnO:Zr (isopropanol) pada panjang gelombang <i>UV-Visible</i>	49
Lampiran 13 Citra SEM ZnO:Zr.....	50
Lampiran 14 Absorbansi ekstrak daun kelor	52
Lampiran 15 Nilai tegangan DSSC.....	53

ABSTRAK

SINTESIS DAN KARAKTERISASI ZnO:Zr MELALUI METODE SOL-GEL DENGAN VARIASI PELARUT SERTA UJI KINERJANYA UNTUK DYE SENSITIZED SOLAR CELL

Afia Ana Fadila
14630004

Nanopartikel ZnO:Zr untuk semikonduktor DSSC telah disintesis melalui metode sol-gel dengan prekursor berupa $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Doping Zr pada ZnO adalah sebesar 1%. Sintesis tersebut menggunakan pelarut berbeda, yaitu H_2O , metanol, etanol dan isopropanol. Selanjutnya dilakukan studi terhadap struktur kristal, energi celah pita (E_g) dan morfologi ZnO:Zr yang diperoleh serta uji kinerja DSSC yang menggunakan ZnO:Zr hasil sintesis sebagai semikonduktor.

Struktur kristal ZnO:Zr dianalisis berdasarkan karakterisasi menggunakan *x-ray diffraction* (XRD) dengan menghitung nilai parameter kisi kristal berdasarkan puncak 2θ dari difraktogram masing-masing senyawa. E_g ZnO:Zr dianalisis berdasarkan karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Visibel dengan metode *absorption spektrum fitting* (ASF) berdasarkan absorbansi senyawa pada panjang gelombang 200-800 nm. Morfologi partikel ZnO:Zr diamati dengan *scanning electron microscopy* (SEM) yang memberikan citra permukaan dan kisaran ukuran partikel. Kinerja DSSC yang menggunakan ZnO:Zr hasil sintesis sebagai semikonduktor diuji berdasarkan nilai tegangan yang dihasilkan.

Berdasarkan analisis dengan XRD, difraktogram yang diperoleh sesuai dengan difraktogram standar ZnO heksagonal dengan pergeseran nilai 2θ menjadi lebih kecil sehingga nilai parameter kisi kristal heksagonal (a , c , dan L) material lebih besar dari parameter kisi kristal standar ZnO. Hal tersebut mengindikasikan terjadinya penyisipan Zr^{4+} yang jari-jari ioniknya lebih besar dari Zn^{2+} sehingga jarak antar atom dalam kisi kristal semakin besar kristal ZnO tanpa mengubah struktur heksagonal ZnO. Nilai rata-rata parameter kisi kristal ZnO:Zr heksagonal yang berupa a , c dan L berturut-turut adalah 3,30 Å, 5,19 Å dan 10,04 Å. Berdasarkan data dari karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Visibel yang diolah dengan metode ASF diketahui E_g ZnO:Zr yang dihasilkan dari penggunaan pelarut H_2O , metanol, etanol dan isopropanol berturut-turut adalah 3,267 eV, 3,162 eV, 3,100 eV dan 3,176 eV. E_g tersebut mengkonfirmasi terjadinya penyisipan Zr^{4+} dalam kisi kristal karena nilainya lebih kecil dari E_g ZnO tanpa doping (3,34 eV). Citra SEM ZnO:Zr hasil sintesis menunjukkan bahwa penggunaan pelarut yang semakin tidak polar menghasilkan partikel dengan ukuran yang lebih kecil. Adapun urutan kinerja DSSC dari yang terbaik berdasarkan nilai tegangannya adalah DSSC yang menggunakan ZnO:Zr hasil sintesis dengan pelarut etanol (44,96 mV), air (42,41 mV), metanol (42,05 mV) dan isopropanol (35,89 mV).

Kata kunci: DSSC, ZnO:Zr, nanopartikel, doping, pelarut berbeda, sol-gel

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kehidupan kontemporer di dunia berbasis pada peralatan yang penggunaannya memerlukan energi terutama listrik. Dewasa ini, perkiraan kebutuhan energi untuk tujuh miliar orang adalah sebesar 13 terawatt (TW) yang akan terus meningkat sebanyak 10 TW dalam 40 tahun. Akan tetapi, ketersediaan fosil sebagai sumber energi utama semakin berkurang. Oleh karena itu, diperlukan energi alternatif agar kebutuhan energi dapat terpenuhi (Kalyanasundaram, 2010).

Salah satu energi alternatif yang cukup potensial dan melimpah adalah cahaya matahari. Cahaya matahari tersebut dapat dikonversi menjadi energi listrik menggunakan sel surya. *Dye sensitized solar cell* (DSSC) adalah salah satu sel surya generasi ketiga yang dipertimbangkan memiliki efisiensi *indoor* lebih tinggi dari sel surya berbasis silikon. Selain itu, DSSC merupakan sel surya yang ramah lingkungan dan pembuatannya mudah serta murah (Marimuthu et al., 2016). Akan tetapi, efisiensi sel surya tersebut tergolong lebih rendah dibandingkan sel surya berbasis silikon. Oleh karena itu, hingga saat ini penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja DSSC terus dikembangkan (Apostolopoulou et al., 2015).

DSSC tersusun atas empat komponen, yaitu semikonduktor sebagai fotoanoda, zat warna sebagai penyerap cahaya, elektrolit dan elektrode lawan. Semikonduktor merupakan komponen inti DSSC yang memiliki peran penting dalam mobilitas elektron. Mobilitas elektron tersebut dipengaruhi oleh energi celah pita yang dimiliki semikonduktor. Ukuran celah pita semikonduktor menjadi

persoalan penting karena berpengaruh terhadap sifat elektronik material yang akan berpengaruh pula terhadap kinerja DSSC (Cavallo et al., 2017). Morfologi semikonduktor juga merupakan hal yang mempengaruhi efisiensi DSSC (Marimuthu et al., 2016). Oleh karena itu, diperlukan pengembangan material semikonduktor dengan karakteristik paling sesuai untuk DSSC yang tidak memerlukan biaya tinggi.

Sejauh ini, material yang sering digunakan sebagai semikonduktor DSSC merupakan oksida logam seperti TiO_2 , ZnO , SnO , Nb_2O_5 dan lain-lain di mana TiO_2 adalah material yang paling sering digunakan. Akan tetapi, ZnO yang memiliki celah pita setara dengan TiO_2 akhir-akhir ini sering digunakan sebagai material semikonduktor alternatif pada DSSC. Hal tersebut karena ZnO lebih stabil, mobilitas elektronnya tinggi dan memiliki *direct band gap* yang memungkinkan eksitasi elektron lebih cepat (Apostolopoulou et al., 2015). ZnO memiliki energi celah pita sebesar 3,37 eV pada temperatur kamar dan memiliki transparansi tinggi terhadap cahaya tampak sehingga cukup potensial menjadi semikonduktor DSSC (Boudjouan et al., 2016). Selain itu, kelimpahan ZnO cukup tinggi dan tidak bersifat toksik (Tsay dan Lee, 2013).

Preparasi lapis tipis ZnO dapat dilakukan dengan berbagai teknik, salah satunya adalah melalui proses pelarutan baik berupa metode sol-gel, hidrotermal, solvotermal maupun *self Assembly* (Saragi et al., 2016). Metode sol-gel memiliki keunggulan dibanding metode lain karena mudah, biaya yang dibutuhkan rendah, cacat intrinsik dapat dikurangi, kristalisasi dapat dilakukan pada temperatur rendah dan komposisi in-situ material dapat dikontrol (Boudjouan et al., 2016).

Sintesis ZnO melalui metode sol-gel telah dilakukan dengan berbagai variasi untuk memperoleh karakteristik ZnO yang diinginkan. Variasi tersebut diantaranya adalah variasi pH menggunakan pelarut etanol (Nugroho et al., 2012), variasi konsentrasi polietilen glikol dan waktu tunda evaporasi amonia menggunakan pelarut akuades (Yuwono, 2015). Selain itu, modifikasi struktural ZnO untuk meingkatkan efisiensi DSSC melalui metode sol-gel juga dilakukan dengan penyisipan ion logam dalam struktur material (*doping*) (Cherifi et al., 2016).

Unsur yang biasa disisipkan dalam doping ZnO adalah unsur golongan III (B, Al, Ga, In dan lain-lain) serta golongan IV (Ti, Zr, Sn, Hf dan lain-lain). Unsur-unsur tersebut dapat meningkatkan atau mengontrol sifat elektrik lapis tipis ZnO. Zr^{4+} merupakan salah satu ion logam yang dapat mensubstitusi Zn^{2+} dengan mudah karena perbedaan jari-jari ioniknya kecil (Tsay dan Lee, 2013). Jari-jari ionik Zr^{4+} (0,8 Å) lebih besar dari Zn^{2+} (0,74 Å) sehingga doping Zr terhadap ZnO dapat meningkatkan transparansi terhadap sinar tampak. Doping Zr pada ZnO telah dilakukan dengan variasi konsentrasi Zr yang berasal dari zirkonium asetat (Tsay dan Fan, 2008). Doping Zr dengan variasi konsentrasi pada ZnO juga telah dilakukan menggunakan Zr yang berasal dari zirkonium oksiklorida produksi PSTA BATAN Yogyakarta (Slamet, 2016).

Sejauh ini, studi mengenai doping ZnO dengan Zr yang berasal dari zirkonium oksiklorida produksi PSTA BATAN Yogyakarta sangat terbatas. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan studi pengaruh pelarut dalam sintesis ZnO doping Zr yang berasal dari zirkonium oksiklorida produksi PSTA BATAN Yogyakarta terhadap karakteristik material yang diperoleh. Metode

sintesis yang digunakan adalah metode sol-gel dan karakteristik material yang diamati adalah struktur, morfologi serta sifat optiknya. Selain itu, akan dilakukan pula pengujian kinerja DSSC yang menggunakan ZnO:Zr hasil sintesis sebagai fotoanoda.

B. Batasan Masalah

1. Bahan dasar yang digunakan dalam sintesis ZnO:Zr dengan metode sol-gel adalah $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ produksi PSTA BATAN Yogyakarta sebagai doping.
2. Doping Zr terhadap ZnO adalah sebesar 1%.
3. Pelarut yang digunakan dalam sintesis ZnO:Zr dengan metode sol-gel adalah akuades, metanol, etanol dan isopropanol.
4. Karakteristik ZnO:Zr yang diamati adalah struktur kristal, energi celah pita dan morfologi.
5. Zat warna yang digunakan dalam rangkaian DSSC adalah ekstrak daun kelor.
6. Uji kinerja DSSC dilakukan dengan mengukur tegangannya pada rangkaian terbuka menggunakan multimeter.

C. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik ZnO:Zr yang disintesis melalui metode sol-gel dengan variasi pelarut?

2. Bagaimana kinerja *dye sensitized solar cell* (DSSC) yang menggunakan ZnO:Zr yang disintesis melalui metode sol-gel dengan variasi pelarut sebagai semikonduktornya?

D. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui struktur ZnO:Zr yang disintesis melalui metode sol-gel dengan variasi pelarut.
2. Mengetahui energi celah pita ZnO:Zr yang disintesis melalui metode sol-gel dengan variasi.
3. Mengetahui morfologi ZnO:Zr yang disintesis melalui metode sol-gel dengan variasi pelarut.
4. Mengetahui kinerja *dye sensitized solar cell* (DSSC) yang menggunakan ZnO:Zr yang disintesis melalui metode sol-gel dengan variasi pelarut sebagai semikonduktornya.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi tambahan referensi mengenai karakteristik ZnO:Zr yang disintesis menggunakan pelarut berbeda melalui metode sol-gel, khususnya karakteristik yang berupa struktur kristal, energi celah pita dan morfologi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu pertimbangan dalam modifikasi ZnO:Zr pada penelitian selanjutnya. Selain itu, melalui penelitian ini diharapkan upaya pengembangan DSSC terus meningkat khususnya DSSC berbasis semikonduktor ZnO:Zr sebagai upaya menangani krisis energi konvensional.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Dewasa ini, penggunaan ZnO sebagai semikonduktor DSSC semakin marak sebagai alternatif penggunaan TiO₂. Hal tersebut karena ZnO memiliki beberapa persamaan dengan TiO₂ seperti letak pita elektronik dan energi celah pitanya. Sejauh ini, sintesis ZnO telah dilakukan dengan berbagai teknik dan variasi untuk memperoleh karakteristik yang paling sesuai sebagai semikonduktor DSSC. Variasi tersebut seperti doping dan perlakuan-perlakuan berbeda dalam proses sintesis.

Sejauh ini, ZnO telah didoping dengan berbagai atom seperti Pb (Boudjouan et al., 2016), unsur golongan III dan unsur golongan IV. Selain itu, ZnO juga didoping dengan Zr⁴⁺ yang dapat mensubstitusi Zn²⁺ dengan mudah karena perbedaan jari-jari ioniknya kecil (Tsay dan Lee, 2013). Doping Zr pada ZnO telah dilakukan dengan variasi konsentrasi Zr yang berasal dari zirkonium asetat (Tsay dan Fan, 2008). Doping Zr dengan variasi konsentrasi pada ZnO juga telah dilakukan menggunakan Zr yang berasal dari zirkonium oksiklorida produksi PSTA BATAN Yogyakarta (Slamet, 2016).

Selain doping, ZnO juga telah disintesis dengan teknik berbeda yang salah satunya adalah penggunaan pelarut yang berbeda. Sintesis ZnO melalui metode solvotermal dengan pelarut organik berupa metanol, etanol, 1-propanol, 1-butanol, 1-pentanol, 1-heksanol, aseton dan isopropanol telah dilakukan. Penggunaan pelarut berbeda tersebut menghasilkan ZnO dengan bentuk dan morfologi berbeda sehingga sifat optiknya juga berbeda (Hu et al., 2010). Sintesis ZnO dengan pelarut

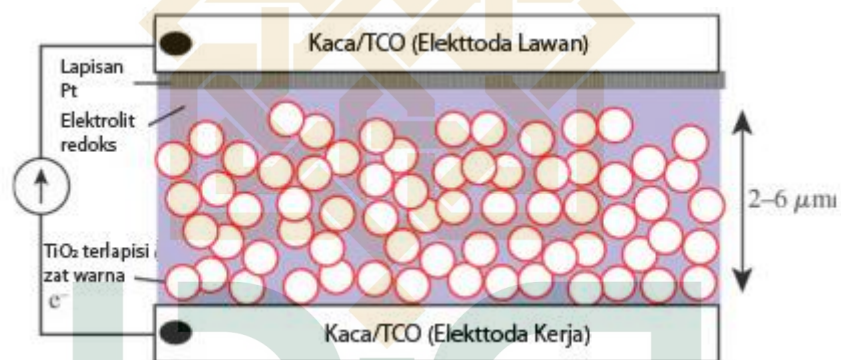
berbeda (aseton, kloroform, etil asetat, etanol dan metanol) juga telah dilakukan melalui metode kopresipitasi. Hasil yang diperoleh adalah ZnO dengan berbagai bentuk, yaitu nanopartikel, *nanorod* dan *nanosheet* yang mengakibatkan perbedaan sifat fisi-kimia dan biologinya (Ali et al., 2017). Penggunaan pelarut berbeda yang berupa metanol dan etilen glikol juga telah dilakukan untuk sintesis ZnO melalui metode hidrotermal. Penelitian tersebut menghasilkan ZnO *nanorod* untuk pelarut etanol dan *nanosphere* untuk pelarut etilen glikol (Saleh et al., 2017). Selain itu, telah dilakukan pula variasi pelarut dalam sintesis ZnO melalui metode sol-gel. Pelarut yang digunakan adalah metanol dan 2-metoksietanol di mana penggunaan 2-metoksietanol menghasilkan kristal ZnO yang lebih baik serta luas permukaannya lebih besar (Boukaous et al., 2014). Metanol, etanol, isopropil alkohol dan 2-metoksietanol juga telah digunakan dalam sintesis ZnO dengan metode sol-gel. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tersebut, penggunaan 2-metoksietanol menghasilkan kristal ZnO dengan transmitansi tertinggi (>90%), kekasaran permukaan yang rendah dan energi celah pita tertinggi (Foo et al., 2014).

Berdasarkan uraian di atas, diketahui bahwa pelarut mempengaruhi bentuk dan morfologi kristal ZnO hasil sintesis yang kemudian berpengaruh terhadap sifat-sifat serta aplikasinya. Akan tetapi, studi tentang pengaruh pelarut terhadap ZnO yang didoping khususnya ZnO:Zr belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan variasi pelarut dalam sintesis ZnO:Zr dengan metode sol-gel agar diketahui pengaruh pelarut tersebut terhadap karakteristik ZnO:Zr serta implikasinya dalam DSSC.

B. Landasan Teori

1. *Dye sensitized solar cell*

Dye sensitized solar cell (DSSC) merupakan perangkat sel surya generasi ketiga yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Komponen utama DSSC adalah zat warna, elektroda semikonduktor, elektrolit dan elektroda lawan. DSSC juga memiliki komponen lain seperti substrat kaca dan agen penutup (Narayan, 2011). Skema susunan DSSC ditunjukkan oleh gambar II.1. Dalam skema tersebut, digunakan semikonduktor TiO_2 , elektroda lawan Pt dan kaca substrat TCO (K Kalyanasundaram, 2010).



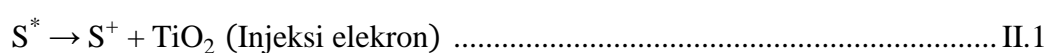
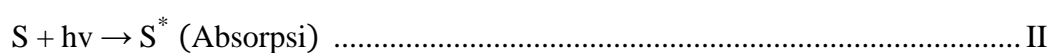
Gambar II.1 Skema susunan DSSC.

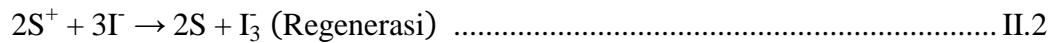
Komponen-komponen DSSC hingga saat ini terus dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi DSSC tersebut. Meski demikian, masing-masing komponen DSSC memiliki kriteria dasar. Zat warna DSSC harus memiliki kemampuan intens mengabsorpsi radiasi sinar tampak dan dapat diserap (adsorpsi) oleh permukaan semikonduktor serta mampu menginjeksi elektron agar terjadi eksitasi pada semikonduktor. Akan tetapi, zat warna tersebut harus dapat diregenerasi dengan cepat untuk menghindari rekombinasi elektron sehingga sistem tetap stabil baik dalam keadaan dasar maupun tereksitasi (Narayan, 2011).

Secara umum, DSSC dapat menghasilkan listrik karena terjadi aliran elektron dalam sistem akibat penyerapan radiasi matahari. Terdapat dua tahap penting dalam konversi radiasi matahari menjadi listrik tersebut, yaitu absorpsi radiasi dengan eksitasi elektron dan pemisahan pembawa muatan (William et al., 2011). Zat warna yang merupakan molekul organik teradsorpsi pada permukaan semikonduktor dan mengabsorpsi radiasi sinar tampak matahari (Reddy, 2012). Pada semikonduktor tersebut, terjadi oksidasi zat warna melalui transfer sebuah elektron dari molekul zat warna yang tereksitasi menuju pita konduksi semikonduktor (Kalyanasundaram, 2010).

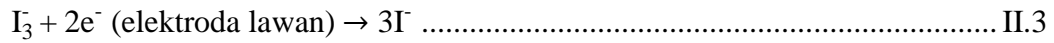
Konversi radiasi matahari menjadi listrik dalam DSSC terjadi melalui beberapa tahapan transfer elektron yang secara skematik ditunjukkan oleh gambar II.2 (Reddy, 2012). Proses yang terjadi adalah absorpsi radiasi matahari oleh zat warna (S) sehingga zat warna tersebut berada dalam keadaan tereksitasi (S^*). Elektron yang tereksitasi dari zat warna tersebut diinjeksikan ke pita konduksi semikonduktor sehingga zat warna mengalami oksidasi (S^+). Elektron kemudian berdifusi melalui pori semikonduktor seperti TiO_2 sebelum mencapai anoda, sedangkan S^+ direduksi oleh spesi pasangan redoks dari elektrolit seperti I^-/I_3^- . Setelah itu, I_3^- mencapai katoda dan direduksi menjadi I^- kembali. Secara singkat, reaksi yang terjadi dalam proses konversi radiasi matahari menjadi listrik dalam DSSC adalah sebagai berikut (Narayan, 2011).

Reaksi di anoda:

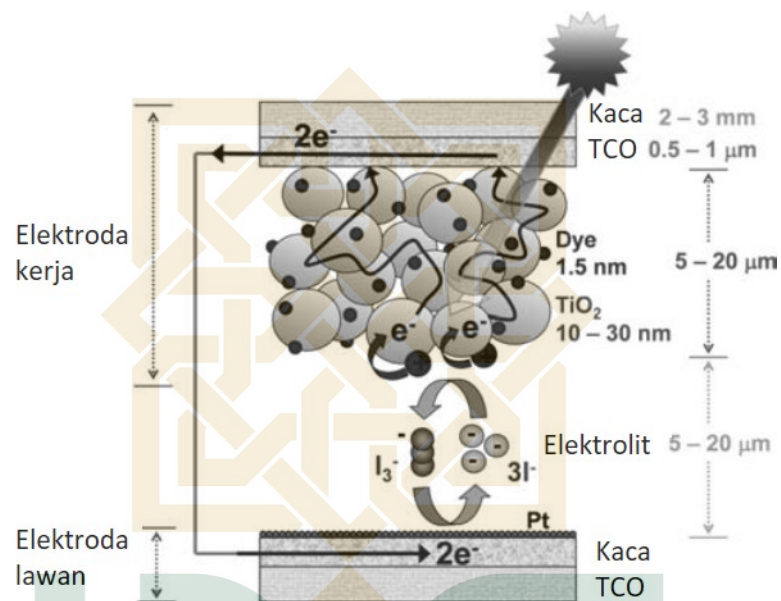




Reaksi di katoda:



Reaksi dalam sel:



Gambar II.2 Skema konversi radiasi matahari menjadi listrik dalam DSSC

2. Semikonduktor DSSC

Semikonduktor merujuk pada material yang mempunyai konduktivitas moderat, yaitu lebih tinggi dari isolator dan lebih rendah dari konduktor. Sebagian besar semikonduktor adalah material anorganik meskipun terdapat beberapa semikonduktor organik. Konduktivitas semikonduktor tersebut sangat bergantung pada keadaannya, seperti temperatur dan kemurnian (Enderlein dan Horing, 1997).

Semikonduktor merupakan komponen yang sangat penting dalam DSSC dan karakteristiknya mempengaruhi kinerja DSSC tersebut. Semikonduktor dalam DSSC harus memiliki mobilitas elektron tinggi, luas permukaan besar dan kemampuan menghamburkan cahaya dengan baik (Marimuthu et al., 2016). Semikonduktor yang sering digunakan dalam DSSC adalah TiO_2 (anatase), tapi saat ini telah digunakan oksida lain sebagai alternatif seperti ZnO , SnO_2 , Nb_2O_5 dan lain sebagainya (Apostolopoulou et al., 2015; Chergui et al., 2011).

3. Zink oksida

Zink oksida (ZnO) berupa padatan putih yang mempunyai struktur intan dengan jaringan ikatan kovalen. Dalam kristalnya, setiap atom Zn dikelilingi oleh empat atom O (tetrahedron) dan setiap atom O dikelilingi oleh empat atom Zn (tetrahedron). Jika dipanaskan, warna ZnO dapat berubah menjadi kuning dan kembali berwarna putih jika didinginkan. Hal tersebut karena pemanasan menyebabkan beberapa atom O hilang dari kisi kristal sehingga terjadi kelebihan elektron yang dapat berpindah menghasilkan beda potensial. Ketika didinginkan, atom O yang keluar dari kisi kristal kembali ke posisi semula sehingga warna ZnO kembali putih. Oleh karena itu, ZnO termasuk material semikonduktor (Sugiyarto dan Suyanti, 2010).

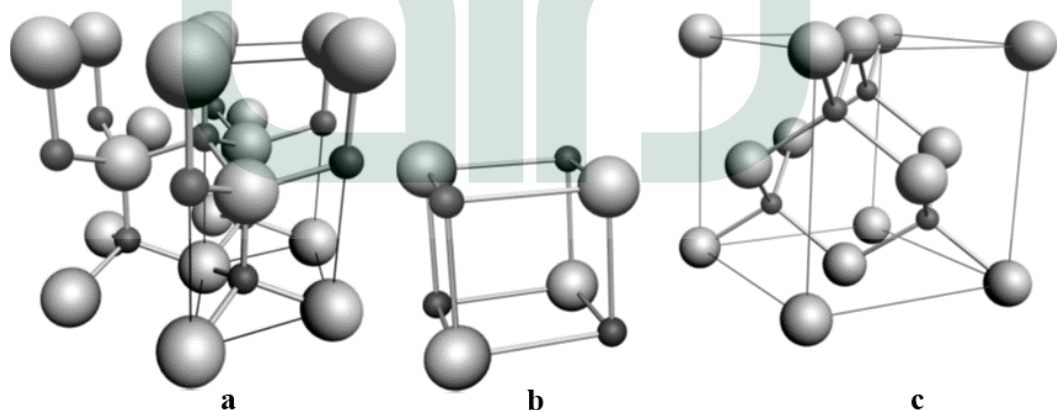
Semikonduktor ZnO cukup menarik untuk diaplikasikan pada DSSC karena dapat menjadi konduktor listrik yang baik jika didoping dengan atom yang sesuai (Moezzi et al., 2012). ZnO memiliki energi celah pita sebesar 3,37 eV dan energi eksitasi sebesar 60 meV pada temperatur ruang. Mobilitas elektron ZnO cukup

tinggi dan struktur pita elektroniknya sama dengan TiO_2 (Marimuthu et al., 2016). Selain itu, ZnO dapat diperoleh dalam berbagai morfologi berukuran nano melalui sintesis dengan metode rendah biaya seperti metode berbasis larutan dan metode sol-gel. Morfologi tersebut seperti *nanosheet*, *nanowire*, *nanoflower*, *nanotube* dan *nanobelt* yang memiliki karakteristik berbeda sehingga memberi pengaruh berbeda terhadap kinerja DSSC (Apostolopoulou et al., 2015; Saurdi et al., 2014).

a. Struktur ZnO

ZnO memiliki tiga struktur kristal, yaitu *wurtzite* heksagonal, *cubic zinblende* dan *cubic rocksalt*. Dari ketiga struktur tersebut, bentuk *wurtzite* merupakan yang paling stabil secara termodinamika (Moezzi et al., 2012). Akan tetapi, struktur *wurtzite* memiliki kekosongan yang besar sehingga mudah disisipi atom lain bahkan yang jari-jari ionnya lebih besar dari Zn^{2+} (Boudjouan et al., 2016).

Adapun struktur masing-masing kristal ZnO ditunjukkan pada gambar II.3.



Gambar II.3 Struktur *wurtzite* heksagonal (a), struktur *rock salt* (b), struktur *zinblende* (c), atom O berwarna putih dan atom Zn berwarna hitam (Coleman dan Jagadish, 2006).

b. Sintesis ZnO dengan metode sol-gel

ZnO, terutama dalam bentuk nanopartikel telah disintesis melalui berbagai metode dan menghasilkan karakteristik yang beragam (Ali et al., 2017). Salah satu metode yang banyak digunakan untuk sintesis ZnO adalah metode sol-gel. Metode tersebut memiliki cukup menarik karena mudah, murah, dapat dilakukan pada temperatur rendah, komposisi mudah dikontrol dan memungkinkan untuk mengurangi cacat intrinsik (Boudjouan et al., 2016).

Selain doping, terdapat faktor lain dalam sintesis yang mempengaruhi karakteristik ZnO. Faktor tersebut seperti waktu, temperatur, pH, konsentrasi reaktan, prekursor dan pelarut (Khoza et al., 2012; Moezzi et al., 2012). Dalam sintesis melalui metode sol-gel, pelarut menjadi salah satu faktor penting dalam reaksi. Pelarut menjadi medium terjadinya reaksi yang dapat digunakan untuk mengontrol temperatur reaksi tersebut. Kepolaran pelarut dianggap menjadi faktor utama yang mempengaruhi nukleasi dan pertumbuhan kristal sehingga menentukan bentuk, ukuran dan rasio kristal ZnO. Selain itu, viskositas, kelarutan dan energi permukaan pelarut juga mempengaruhi pertumbuhan partikel. Oleh karena itu, penggunaan pelarut berbeda akan menghasilkan kristal ZnO dengan bentuk, morfologi dan ukuran berbeda sehingga sifat-sifat dan aplikasinya juga berbeda (Ungula dan Dejene, 2015).

4. Zirkonium

Zirkonium (Zr) merupakan logam yang kuat, lentur dan mengkilap seperti *stainless steel*. Massa atom relatif Zr adalah 91,224 g/mol dengan jari-jari atom

sebesar 15,90 nm. Akan tetapi, dalam bentuk ion Zr^{4+} , jari-jari ioniknya menjadi 7,5 nm. Logam Zr murni memiliki tiga fasa padat, yaitu ω -Zr, α -Zr dan β -Zr. Fasa ω -Zr memiliki struktur kristal heksagonal terbuka dan stabil di bawah 200 K pada tekanan standar lingkungan namun bisa stabil hingga 1000 K pada 6 GPa. Fasa α -Zr memiliki struktur heksagonal rapat dan stabil pada 200 K hingga 1125 K. Adapun struktur kristal fasa β -Zr adalah kubus pusat badan yang stabil antara 1125 K hingga pada temperatur lelehnya (Nielsen dan Wilfing, 2012).

5. Karakterisasi material dengan XRD

ZnO merupakan padatan kristalin sehingga dapat dianalisis dengan difraksi sinar X (XRD). XRD digunakan secara luas dalam analisis semikonduktor termasuk ZnO karena bersifat nondestruktif dan dapat memberikan informasi struktural kristal material. Informasi tersebut misalnya adalah orientasi kristal, cacat kristal, konstanta kisi kristal ukuran partikel dan kelimpahan penyusun kristal (Munekawa, 1998).

Informasi struktural material termasuk ZnO berdasarkan data hasil analisis dengan XRD perlu ditentukan melalui perhitungan tertentu. Jarak antar bidang (d) ditentukan berdasarkan persamaan II.6, volume sel satuan dari struktur heksagonal ditentukan berdasarkan persamaan II.7.

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \dots\dots\dots \text{II.5}$$

$$V = \frac{\sqrt{3}}{2} a^2 c = 0,866 a^2 c \dots\dots\dots \text{II.6}$$

dengan h , k , l merupakan indeks Miller dan a serta c merupakan parameter kisi kristal heksagonal. Selain itu, dapat ditentukan panjang ikatan antar atom Zn dan O

(L) berdasarkan persamaan II.8 di mana nilai u untuk kristal heksagonal *wurzite* ditentukan berdasarkan persamaan II.9 (Murtaza et al., 2014).

$$L = \sqrt{\left(\frac{a^2}{3} + \left(\frac{1}{2} - u\right)^2\right)} c^2 \dots\dots\dots \text{II.7}$$

$$u = \frac{a^2}{3c^2} + 0,25 \dots\dots\dots \text{II.8}$$

Adapun ukuran kristal (D) ditentukan berdasarkan persamaan Debye-Scherrer (persamaan II.10) dan ukuran kristal rata-rata ditentukan berdasarkan persamaan Williamson-Hall (persamaan II.11).

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \dots\dots\dots \text{II.9}$$

$$\beta_{hkl} \cos \theta = 4\varepsilon \sin \theta + \frac{K\lambda}{D} \dots\dots\dots \text{II.10}$$

dengan K adalah konstanta Scherrer (0,9), λ adalah panjang gelombang sinar X yang digunakan, θ adalah sudut Bragg dan β adalah lebar setengah tinggi intensitas puncak (FWHM) (Sharma dan Jha, 2017). Berdasarkan ukuran kriticalit kemudian dapat ditentukan *dislocation density* (δ) menurut persamaan II.12.

$$\delta = \frac{1}{D^2} \dots\dots\dots \text{II.11}$$

6. Penentuan energi celah pita material

Energi celah pita suatu material dapat ditentukan berdasarkan absorbansinya pada rentang panjang gelombang UV hingga visibel melalui metode *absorption spectrum fitting* (ASF). Persamaan yang biasa digunakan untuk menentukan E_g adalah persamaan II.13 dengan B, $h\nu$ dan $\alpha(\nu)$ secara berturut-urut adalah konstanta, energi foton serta koefisien absorpsi. Koefisien absorpsi tersebut

ditentukan berdasarkan hukum Lambert-Beer pada persamaan II.14 di mana d merupakan ketebalan lapis tipis dan A merupakan absorbansi. Adapun dalam metode ASF, persamaan II.13 diolah sebagai fungsi panjang gelombang menjadi persamaan II.15 di mana λ_g , h dan c berturut-urur adalah panjang gelombang untuk E_g , konstanta Planc serta kecepatan cahaya. Berdasarkan hukum Lambert-Beer, persamaan II.5 kemudian diolah menjadi persamaan II.16 dengan $B_1 = [B(hc)^{m-1} \times d/2,303]$ dan B_2 merupakan konstanta yang berkaitan dengan refraktansi. Penentuan E_g dilakukan dengan membuat plot antara $1/\lambda$ dan $(Abs/\lambda)^{1/m}$ di mana nilai m untuk semikonduktor jenis *direct bandgap* seperti ZnO adalah $1/2$. Nilai E_g dalam joule ditentukan berdasarkan persamaan II.17 dan kemudian dikonversi menjadi elektro volt (eV) (Ghobadi, 2013).

$$\alpha(v)hv = B(hv - E_g)^m \dots\dots\dots \text{II.12}$$

$$\alpha(v) = \frac{2,303 \times A(\lambda)}{d} \text{II.13}$$

$$\alpha(\lambda) = B(hc)^{m-1} \lambda \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_g} \right)^m \text{II.14}$$

$$A(\lambda) = B_1 \lambda \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_g} \right)^m + B_2 \dots\dots\dots \text{II.15}$$

$$E_g = \frac{hc}{\lambda} \dots\dots\dots \text{II.16}$$

C. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya, kepolaran pelarut diketahui mempengaruhi nukleasi dan pertumbuhan kristal ZnO. Semakin rendah kepolaran pelarut yang digunakan, maka laju deposisi dan ionisasi semakin lambat sehingga diperoleh partikel berukuran lebih kecil (Ungula dan Dejene, 2015). Oleh karena itu, jika digunakan akuades, metanol, etanol dan

isopropanol sebagai pelarut, maka ukuran partikel yang dihasilkan akan semakin kecil karena kepolaran akuades > metanol > etanol > n-propanol.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan hal berikut.

1. Struktur kristal ZnO:Zr yang disintesis menggunakan pelarut berbeda (H₂O, metanol, etanol dan isopropanol) melalui metode sol-gel tidak jauh berbeda. Hal tersebut dibuktikan dengan perolehan nilai parameter kisi kristal yang cenderung sama.
2. Energi celah pita (E_g) ZnO:Zr yang disintesis menggunakan pelarut berbeda (H₂O, metanol, etanol dan isopropanol) melalui metode sol-gel secara kualitatif mengalami penurunan seiring penggunaan pelarut yang semakin kurang polar. Akan tetapi, E_g ZnO:Zr yang disintesis menggunakan pelarut paling kurang polar (isopropanol) mengalami kenaikan. Perbedaan nilai E_g tersebut diduga tidak dipengaruhi oleh perbedaan pelarut secara langsung, namun karena pengaruh pelarut terhadap keberhasilan doping Zr pada ZnO yang dilakukan.
3. Morfologi ZnO:Zr yang disintesis menggunakan pelarut berbeda (H₂O, metanol, etanol dan isopropanol) melalui metode sol-gel sama yaitu nanopartikel, namun ukurannya secara kualitatif berbeda, yaitu berkisar antara 45-126 nm. Ukuran partikel ZnO:Zr cenderung semakin kecil seiring penggunaan pelarut yang semakin kurang polar. Hal tersebut terjadi karena semakin kurang polar pelarut yang digunakan, maka laju nukleasi dan pertumbuhan kristal semakin lambat.
4. Urutan kinerja DSSC dari yang terbaik berdasarkan nilai tegangan rata-ratanya adalah DSSC yang menggunakan ZE, ZH, ZM dan ZP. Nilai tinggi tegangan DSSC yang menggunakan ZE dapat disebabkan karena nilai E_g-nya merupakan

yang paling kecil dan ukuran partikelnya juga tergolong kecil sehingga proses transfer elektron dalam sistem DSSC lebih mudah terjadi. Meski tegangan DSSC yang menggunakan ZH lebih tinggi dari ZM, namun nilai tegangan DSSC yang menggunakan ZM lebih stabil dibandingkan dengan ZH. Hal tersebut dapat disebabkan oleh ukuran ZH yang terlalu besar dan bentuk partikelnya yang kurang homogen. Adapun DSSC yang menggunakan ZP menghasilkan tegangan yang paling rendah meski ukuran partikelnya paling kecil yang dapat disebabkan karena partikel ZP kurang stabil dan cenderung mengalami aglomerasi dan nilai E_g ZP yang lebih tinggi dari E_g ZM dan ZE.

B. Saran

Penelitian ini menitikberatkan pada kajian karakteristik ZnO:Zr (struktur kristal, energi celah pita dan morfologi) yang disintesis melalui metode sol-gel dengan pelarut berbeda. Akan tetapi, karakterisasi dan analisis data yang dilakukan masih kurang maksimal. Agar diperoleh data yang lebih akurat untuk penentuan ukuran kristalit dan *dislocation density*, sebaiknya analisis menggunakan XRD dilakukan pada rentang 2θ spesifik. Adapun untuk karakterisasi morfologi, karena ukuran partikel ZnO:Zr yang dihasilkan cukup kecil (45-126 nm), sebaiknya menggunakan *field emission scanning electron microscopy* (FESEM) agar dihasilkan citra yang lebih jelas karena FESEM mampu memberikan resolusi dan perbesaran gambar yang lebih tinggi dibanding SEM. Selain itu, sebaiknya juga dilakukan karakterisasi EDS (*energy dispersive spectroscopy*) yang tergabung dengan SEM/FESEM agar diketahui

kelimpahan unsur relatif di permukaan material sehingga dapat diketahui secara lebih jelas jika terdapat pengotor.

Terkait dengan aplikasi ZnO:Zr untuk DSSC yang melibatkan komponen lain yang salah satunya adalah zat warna, sebaiknya digunakan zat yang lebih sesuai. Sejauh ini, antosianin adalah zat warna yang cukup sesuai untuk DSSC sehingga jika menggunakan bahan alam sebagai sumber antosianin, sebaiknya digunakan bahan alam dengan kandungan antosianin tinggi dan jika perlu dilakukan pemisahan terlebih dahulu. Selain itu, sebaiknya uji kinerja DSSC tidak hanya dilakukan dengan mengukur tegangan yang dihasilkan, namun juga dilakukan pengukuran arus agar efisiensi DSSC dapat ditentukan.



DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., Ambreen, S., Javed, R., Tabassum, S., ul Haq, I., Zia, M., 2017. ZnO Nanostructure Fabrication in Different Solvents Transforms Physio-Chemical, Biological and Photodegradable Properties. *Mater. Sci. Eng. C* 74, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.01.004>
- Apostolopoulou, A., Karageorgopoulos, D., Rapsomanikis, A., Stathatos, E., 2015. Dye-Sensitized Solar Cells with Zinc Oxide Nanostructured Films Made with Amine Oligomers as Organic Templates and Gel Electrolytes. *J. Clean Energy Technol.* 4, 311–315. <https://doi.org/10.18178/JOCET.2016.4.5.303>
- Boudjouan, F., Chelouche, A., Touam, T., Djouadi, D., Ouerdane, Y., 2016. Influence of Pb Doping on The Structural, Morphological and Optical Properties of Sol-gel ZnO Films. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 41, 382–389. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2015.10.007>
- Boukaous, C., Telia, A., Horwat, D., Ghanem, S., Miska, P., 2014. Effect of Solvents on the Properties of ZnO Thin Layers Obtained by Sol Gel Dip Coating Process. *J. New Technol. Mater.* 4, 94–98.
- Cavallo, C., Di Pascasio, F., Latini, A., Bonomo, M., Dini, D., 2017. Nanostructured Semiconductor Materials for Dye-Sensitized Solar Cells. *J. Nanomater.* 2017, e5323164. <https://doi.org/10.1155/2017/5323164>
- Chergui, Y., Nehaoua, N., Mekki, D.E., 2011. Comparative Study of Dye-Sensitized Solar Cell Based on ZnO and TiO₂ Nanostructures. *Sol. Cells - Dye-Sensitized Devices.* <https://doi.org/10.5772/21452>
- Cherifi, Y., Chaouchi, A., Lorgoilloux, Y., Rguitu, M., Kadri, A., Courtois, C., 2016. Electrical, Dielectric and Photocatalytic Properties of Fe-doped ZnO Nanomaterials Synthesized by Sol Gel Method. *Process. Appl. Ceram.* 10, 125–135.
- Coleman, V., Jagadish, C., 2006. *Basic Properties and Applications of ZnO*. Elsevier Zinc Oxide Bulk Thin Films Nanostructures.
- Enderlein, R., Horing, N.J., 1997. *Fundamentals of Semiconductor Physics and Devices*. World Scientific Publishing, Singapore.
- Foo, K., Kashif, M., Hashim, U., Liu, W.-W., 2014. Effect of Different Solvents on the Structural and Optical Properties of Zinc Oxide Thin Films for Optoelectronic Applications. *Ceram. Int.* 40, 753–761. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.06.065>
- Ghobadi, N., 2013. Band gap determination using absorption spectrum fitting procedure. *Int. Nano Lett.* 3, 2.

- Hu, Q.R., Wang, S.L., Jiang, P., Xu, H., Zhang, Y., Tang, W.H., 2010. Synthesis of ZnO nanostructures in organic solvents and their photoluminescence properties. *J. Alloys Compd.* 496, 494–499. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.02.086>
- Kalyanasundaram, Kuppaswamy, 2010. *Dye-Sensitized Solar Cells*. EPFL press, Switzerland.
- Kalyanasundaram, K, 2010. Photochemical and Photoelectrochemical Approaches to Energy Conversion, in: *Dye-Sensitized Solar Cell*. EPFL Press, Switzerland.
- Khoza, P.B., Moloto, M.J., Sikhwivhilu, L.M., 2012. The Effect of Solvents, Acetone, Water, and Ethanol, on the Morphological and Optical Properties of ZnO Nanoparticles Prepared by Microwave. *J. Nanotechnol.* 2012, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2012/195106>
- Marimuthu, T., Anandhan, N., Thangmuthu, R., Surya, S., 2016. Facile Growth of ZnO Nanowire Arrays and Nanoneedle Arrays with Flower Structure on ZnO-TiO₂ Seed Layer for DSSC Applications.
- Moezzi, A., McDonagh, A.M., Cortie, M.B., 2012. Zinc Oxide Particles: Synthesis, Properties and Applications. *Chem. Eng. J.* 185–186, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.01.076>
- Munekawa, S., 1998. Application of X-Ray Diffraction Techniques to the Semiconductor Field. *Rigaku J.* 5, 31–34.
- Murtaza, G., Ahmad, R., Rashid, M.S., Hassan, M., Hussnain, A., Khan, M.A., Ehsan ul Haq, M., Shafique, M.A., Riaz, S., 2014. Structural and Magnetic Studies on Zr Doped ZnO Diluted Magnetic Semiconductor. *Curr. Appl. Phys.* 14, 176–181. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2013.11.002>
- Narayan, M.R., 2011. Review: Dye sensitized Solar Cells Based on Natural Photosensitizers. *Renew. Sustain. Energy Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.148>
- Nielsen, R.H., Wilfing, G., 2012. Zirconium and Zirconium Compounds. *Ullmanns Encyclopedia Ind. Chem.* 39, 754–778. https://doi.org/10.1002/14356007.a28_543.pub2
- Nugroho, D., Akwalia, P., Rahman, T., Nofrizal, Ikono, R., Widayanto, W., Sukarto, A., Siswanto, Rochman, N., 2012. Pengaruh Variasi pH pada Sintesis Nanopartikel ZnO dengan Metode Sol-Gel, in: *Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Bahan*. BATAN, Serpong.
- Reddy, P.J., 2012. *Solar Power Generation: Technology, New Concepts & Policy*. Taylor & Francis Group, Boca Raton.

- Saleh, S.M., Soliman, A.M., Sharaf, M.A., Kale, V., Gadgil, B., 2017. Influence of Solvent in The Synthesis of Nano-structured ZnO by Hydrothermal Method and Their Application in Solar-still. *J. Environ. Chem. Eng.* 5, 1219–1226. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.02.004>
- Saragi, T., Purba, Y., Auffa, S.D., Oktaviani, M., Susilawati, T., Bahtiar, A., 2016. Karakteristik Nanopartikel ZnO: Studi Efek Pelarut pada Proses Hidrotermal. *J. Mater. Dan Energi Indones.* 6, 31–35.
- Saurdi, I., Mamat, M., Malek, M., Rusop, M., 2014. Preparation of Aligned ZnO Nanorod Arrays on Sn-Doped ZnO Thin Films by Sonicated Sol-Gel Immersion Fabricated for Dye-Sensitized Solar Cell. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2014. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/636725>
- Sharma, D., Jha, R., 2017. Analysis of Structural, Optical and Magnetic Properties of Fe/Co co-doped ZnO Nanocrystals. *Ceram. Int.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.03.201>
- Slamet, D., 2016. Sintesis Nanopartikel ZnO Doping Zirkonium Oksiklorida Produksi PSTA Batan Yogyakarta sebagai Semikonduktor Photo Anoda untuk Sel Surya Tersensitisasi Zat Warna (DSSC) (skripsi). UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Sugiyarto, K.H., Suyanti, R.D., 2010. *Kimia Anorganik Logam*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Swanson, H.E., Fuyat, R.K., 1953. *Standard X-ray Diffraction Powder Patterns*. National Bureau of Standard.
- Talam, S., Karumuri, S.R., Gunnam, N., 2012. Synthesis, Characterization, and Spectroscopic Properties of ZnO Nanoparticles. *Int. Sch. Res. Netw. Nanotechnol.* <https://doi.org/10.5402/2012/372505>
- Thirumoorthi, M., Prakash, J.T.J., 2016. Structure, Optical and Electrical Properties of Indium Tin Oxide Ultra Thin Films Prepared by Jet Nebulizer Spray Pyrolysis Technique. *J. Asian Ceram. Soc.* 4, 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.jascr.2016.01.001>
- Tsay, C.-Y., Fan, K.-S., 2008. Optimization of Zr-Doped ZnO Thin Films Prepared by Sol-Gel Method. *Mater. Trans.* 49. <https://doi.org/10.2320/matertrans.MER2008111>
- Tsay, C.-Y., Lee, W.-C., 2013. Effect of Dopants on The Structural, Optical and Electrical Properties of Sol-gel Derived ZnO Semiconductor Thin Films. *Curr. Appl. Phys.* 13, 60–65. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2012.06.010>
- Ungula, J., Dejene, B., 2015. Effect of Solvent Medium on the Structural, Morphological and Optical Properties of ZnO Nanoparticles Synthesized by

Sol-Gel Method. Phys. B Phys. Condens. Matter.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.physb.2015.10.007>

William, A.V.L., Cesar, A.Q.S., Johann, A.H.S., 2011. The Chemistry and Physics of Dye-Sensitized Solar Cells, in: Solar Cells – Dye-Sensitized Devices. IntechOpen, pp. 399–418.

Yuwono, A.H., 2015. Fabrikasi Nanorod Seng Oksida (Zno) Menggunakan Metode Sol-Gel dengan Variasi Konsentrasi Polyethylene Glycol dan Waktu Tunda Evaporasi Amonia. Metalurgi 26, 101–108.
<https://doi.org/10.14203/mtl.v26i2.14>



LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan jumlah rekatan untuk doping Zr 1%

$$\text{Massa Zn as} = [\text{Zn as}] \times V_{\text{larutan}} \times \text{Mr Zn as}$$

$$= 0,75 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,1 \text{ L} \times 219,5 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 16,4625 \text{ g}$$

$$\text{Massa Zn} = \frac{\text{Ar Zn}}{\text{Mr Zn as}} \times \text{massa Zn as} = \frac{65,39 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{219,6 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \times 16,4625 \text{ g} = 4,90425 \text{ g}$$

$$\sum \text{atom Zn} = \frac{\text{Massa Zn} \times NA}{\text{Ar Zn}} = \frac{4,90425 \text{ g} \times 6,022 \times \frac{10^{23} \text{ atom}}{\text{mol}}}{65,39 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}$$

$$= 4,5165 \times 10^{22} \text{ atom}$$

$$\sum 1\% \text{ Zr} = \frac{1}{100} \times \sum \text{atom Zn} = \frac{1}{100} \times 4,5165 \times 10^{22} \text{ atom}$$

$$= 4,5165 \times 10^{20} \text{ atom}$$

$$\text{Massa Zr 1\%} = \frac{\sum 1\% \text{ Zr} \times \text{Ar Zr}}{NA}$$

$$= \frac{4,5165 \times 10^{20} \text{ atom} \times 91,244 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{6,022 \times \frac{10^{23} \text{ atom}}{\text{mol}}} = 0,068418 \text{ g}$$

$$\text{Massa ZrO} = \frac{\text{Massa Zr 1\%} \times \text{Mr ZrO}}{\text{Ar Zr}}$$

$$= \frac{0,068418 \times 322,12 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{91,224 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,24159 \text{ g}$$

Lampiran 2 Contoh perhitungan parameter kisi kristal heksagonal

Perhitungan parameter kisi kristal ZnO:Zr yang disintesis dengan pelarut etanol

Bidang difraksi	d_{hkl}
100	2,841
002	2,653

1. Penentuan parameter kisi kristal a, c dan volume

$$\frac{1}{(d_{hkl})^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk^2 + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$

$$\frac{1}{(d_{hkl})^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{1^2 + 0^2 + 0^2}{a^2} \right) + \frac{0^2}{c^2}$$

$$\frac{1}{(2,841)^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{1}{a^2} \right) + \frac{0}{c^2}$$

$$\frac{1}{8,071281} = \frac{4}{3a^2}$$

$$a^2 = \frac{4}{3} \times 8,071281$$

$$a^2 = 10,761708$$

$$a = 3,28050 \text{ \AA} = 0,328050 \text{ nm}$$

$$\frac{1}{(d_{hkl})^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk^2 + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$

$$\frac{1}{(2,653)^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{0^2 + 0^2 + 0^2}{a^2} \right) + \frac{2^2}{c^2}$$

$$\frac{1}{7,038409} = \frac{4}{3} \left(\frac{0^2 + 0^2 + 0^2}{a^2} \right) + \frac{2^2}{c^2}$$

$$\frac{1}{7,038409} = 0 + \frac{4}{c^2}$$

$$c^2 = 4 \times 7,038409 = 28,153636$$

$$c = 5,306 \text{ \AA} = 0,5306 \text{ nm}$$

$$V = \frac{\sqrt{3}}{2} a^2 c$$

$$V = 0,8660254 \times (0,32805 \text{ nm})^2 \times 0,5306 \text{ nm} = 0,04945133 \text{ nm}^3$$

2. Penentuan panjang ikatan Zn-O (L)

$$u = \frac{a^2}{3c^2} + 0,25$$

$$L = \sqrt{\left(\frac{a^2}{3} + \left(\frac{1}{2} - u \right)^2 \right) c^2}$$

	H	M	E	P	ZnO (Swanson dan Fuyat, 1953)
a (Å)	3,269	3,284	3,280	3,320	3,2490
c (Å)	5,250	5,256	5,306	5,308	5,2050
c/a	1,606	1,600	1,617	1,599	1,5570
V (Å ³)	48,59	49,09	49,45	50,66	47,62
u	0,379	0,380	0,377	0,380	0,380
L (Å)	9,929	9,985	10,07	10,19	9,784

Lampiran 3 Perhitungan ukuran kristalit dan *dislocation density* kristal ZnO:Zr

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} = \frac{0,89 \times 1,54}{\beta \cos\theta} = \frac{1,3705}{\beta \cos\theta}$$

$$\delta = \frac{1}{D^2} = \frac{1}{(D (\text{Å}) \times 10^{-8} \text{ cm/Å})^2}$$

	β	2θ (°)	θ (rad)	$\cos \theta$	D (Å)	δ (garis/cm ²)
ZH	0.41	35.96	0.31381	0.9512	3.515	8.096E+14
ZM	0.37	35.76	0.312065	0.9517	3.892	6.601E+14
ZE	0.10	35.60	0.310634	0.9521	14.395	4.826E+13
ZP	0.26	35.48	0.309621	0.9524	3.515	8.096E+14

Lampiran 4 Perhitungan energi celah pita ZnO:Zr

$$E_g (J) = \frac{hc}{\lambda} = 6,62607004 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 \times \frac{1}{\lambda} \times 10^9$$

$$E_g (eV) = 6,242 \times 10^{18} \times E_g(J)$$

	$1/\lambda$	$E_g (J)$	$E_g (eV)$
ZH	0,002633	5,23404E-19	3,267
ZM	0,002548	5,06513E-19	3,162
ZE	0,002499	4,96677E-19	3,100
ZP	0,002560	5,08840E-19	3,176

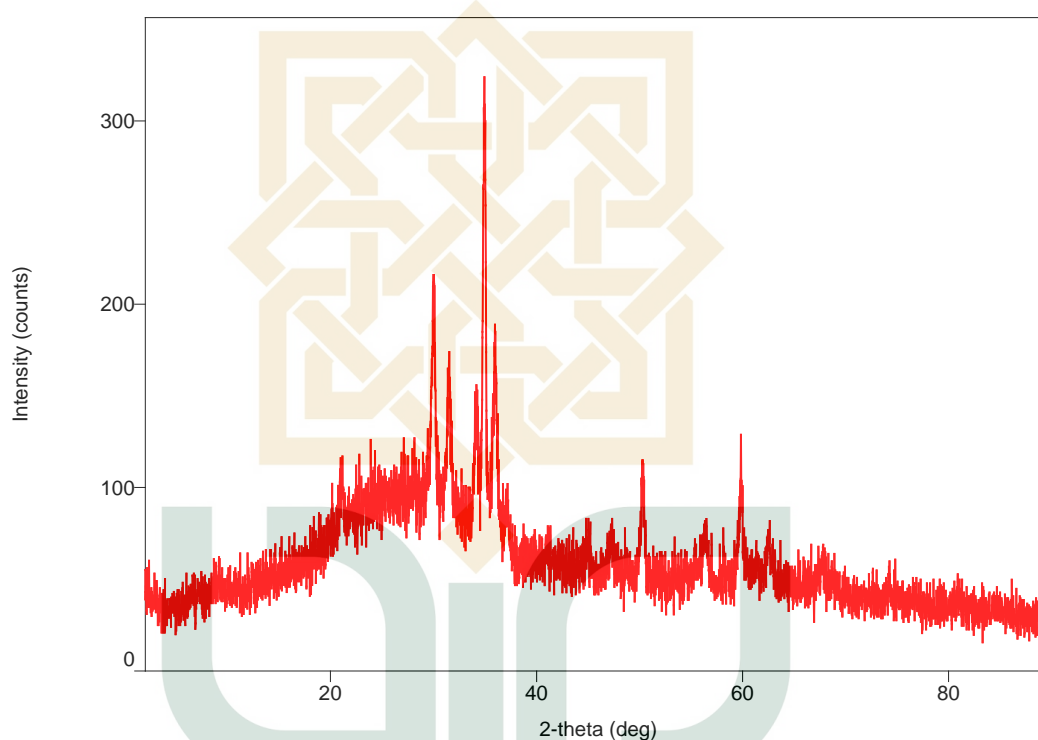
Lampiran 5 Difraktogram ZnO:Zr (H₂O)

Peak List

General information

Analysis date	2018/04/23 14:13:40	Measurement date	2018/04/23 13:46:43
Sample name	ZnO:Zr (H)	Operator	administrator
File name	352-xrd-2018.ras		
Comment			

Measurement profile



Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height (counts)	FWHM (deg)	Int. I(counts deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	31.58(3)	2.831(3)	31(6)	0.90(17)	54(5)	1.7(5)	4(3)
2	34.13(4)	2.625(3)	44(7)	0.41(5)	23(3)	0.54(15)	1.0(4)
3	34.957(15)	2.5647(10)	162(13)	0.281(16)	54(3)	0.34(4)	2.5(7)
4	35.96(3)	2.495(2)	60(8)	0.47(3)	36(2)	0.59(11)	1.4(4)
5	59.82(4)	1.5449(10)	34(6)	0.37(4)	15.3(15)	0.45(12)	1.8(7)

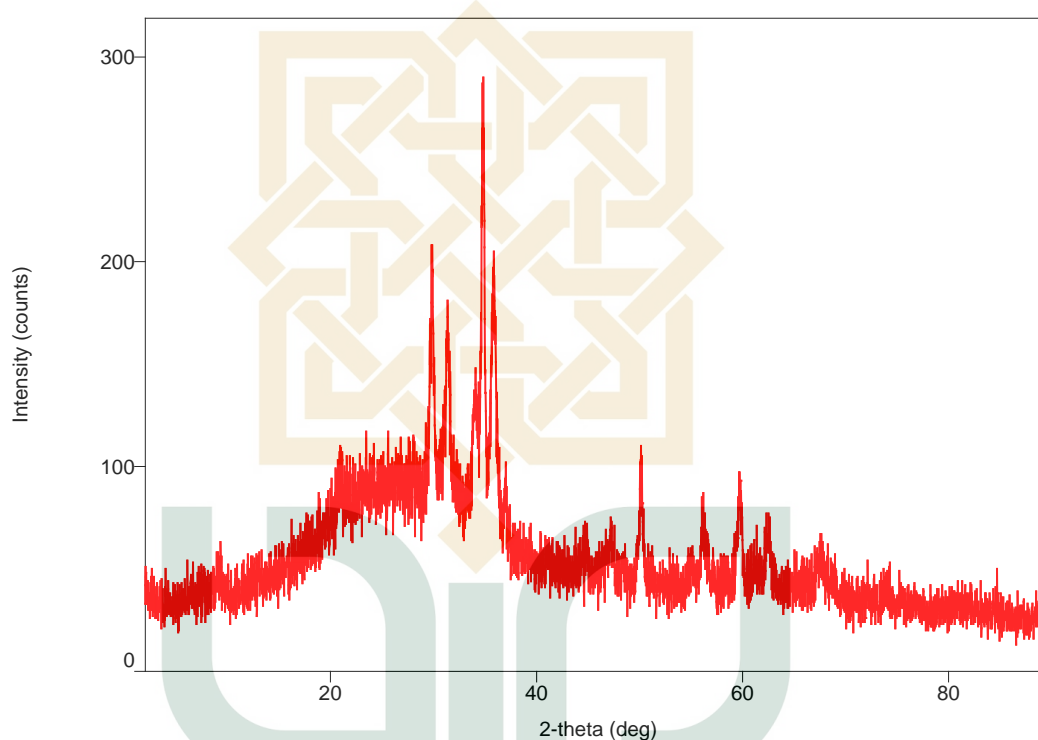
Lampiran 6 Difraktogram ZnO:Zr (Metanol)

Peak List

General information

Analysis date	2018/04/23 14:19:57	Measurement date	2018/04/23 14:07:40
Sample name	ZnO:Zr (Me)	Operator	administrator
File name	354-xrd-2018.ras		
Comment			

Measurement profile



Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height (counts)	FWHM (deg)	Int. I(counts deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	20.83(12)	4.26(2)	15(4)	0.71(19)	19(2)	1.3(5)	0.5(6)
2	29.88(3)	2.988(3)	64(8)	0.41(3)	32.8(16)	0.51(9)	1.9(8)
3	31.43(4)	2.844(3)	49(7)	0.52(4)	31(2)	0.62(13)	2.5(10)
4	34.84(2)	2.5729(16)	126(11)	0.37(3)	79(3)	0.62(8)	2.8(10)
5	35.76(3)	2.509(2)	84(9)	0.50(4)	66(3)	0.78(12)	0.63(19)
6	47.17(7)	1.925(3)	17(4)	0.24(12)	6.6(12)	0.40(17)	0.8(12)
7	59.72(7)	1.5472(17)	27(5)	0.45(5)	13.1(16)	0.48(15)	1.8(12)
8	67.33(6)	1.3895(11)	9(3)	1.20(17)	11(2)	1.3(7)	0.4(3)

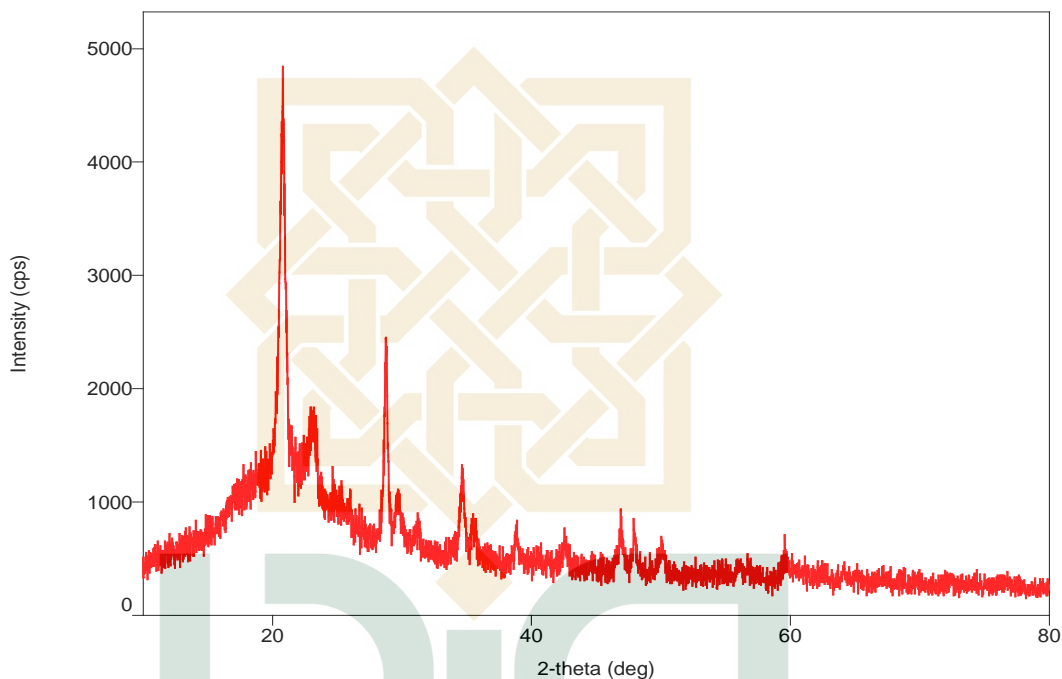
Lampiran 7 Difraktogram ZnO:Zr (Etanol)

Peak List

General information

Analysis date	2018/03/14 11:03:14	Measurement date	2018/03/14 10:51:48
Sample name	ZnO:Zr(et)	Operator	administrator
File name	260-xrd-2018.ras		
Comment			

Measurement profile



Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	20.8182	4.26343	2.71534e+	0.1	718.234	0.0002645	1
2	23.2929	3.81576	205.077	0.1	169.226	0.825183	1
3	28.8081	3.09657	3717.5	0.1	357.309	0.096115	1
4	29.7273	3.00288	100.828	0.1	85.7657	0.850615	1
5	31.3535	2.85073	206.46	0.1	60.4308	0.292700	1
6	34.6768	2.58476	1903.62	0.1	155.428	0.081648	1
7	35.596	2.52009	130.891	0.1	65.5087	0.500482	1
8	38.8485	2.31626	418.754	0.1	76.612	0.182952	1
9	42.596	2.12075	295.93	0.1	70.1272	0.236972	1
10	46.9091	1.93531	737.696	0.1	106.618	0.144528	1
11	48.0404	1.89235	374.548	0.1	93.8129	0.250469	1
12	50.2323	1.81479	173.841	0.1	60.111	0.345781	1
13	56.596	1.6249	158.025	0.1	53.0788	0.335889	1
14	59.5657	1.55079	465.735	0.1	79.4513	0.170593	1

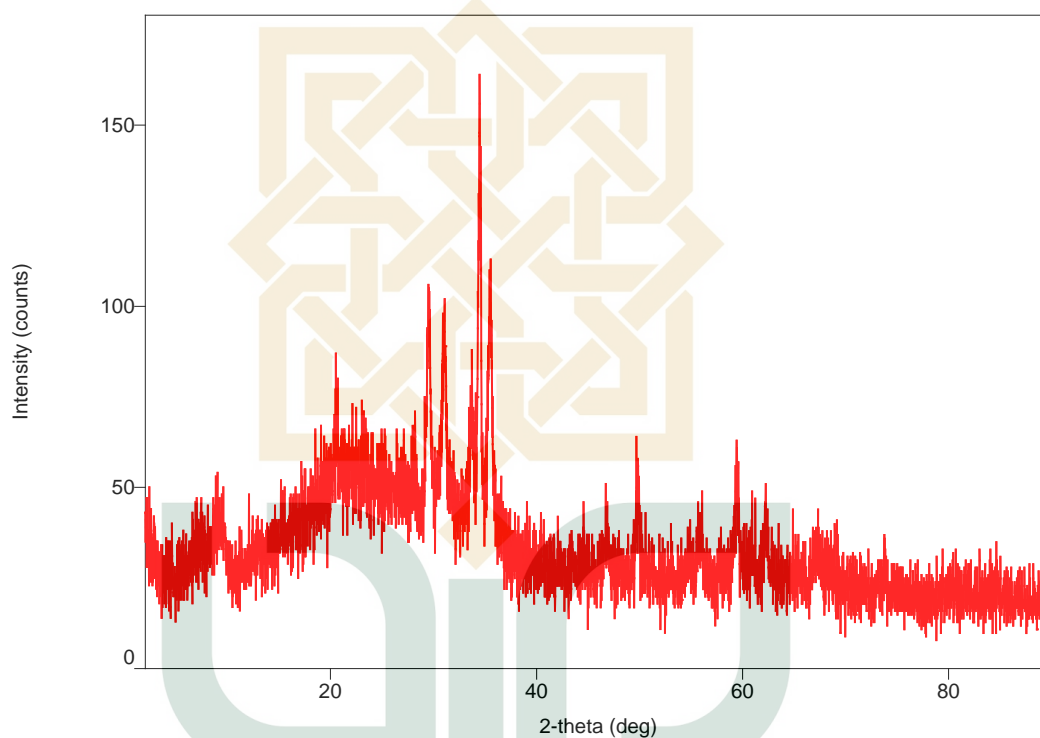
Lampiran 8 Difraktogram ZnO:Zr (Isopropanol)

Peak List

General information

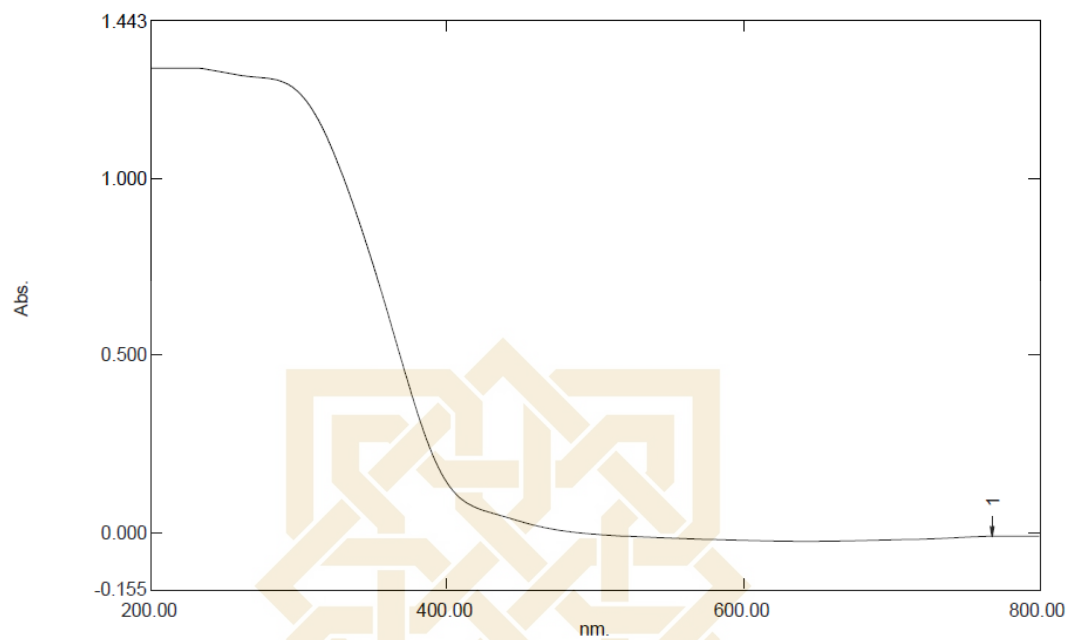
Analysis date	2018/04/23 14:14:23		
Sample name	ZnO:Zr (Pr)	Measurement date	2018/04/23 13:57:05
File name	353-xrd-2018.ras	Operator	administrator
Comment			

Measurement profile

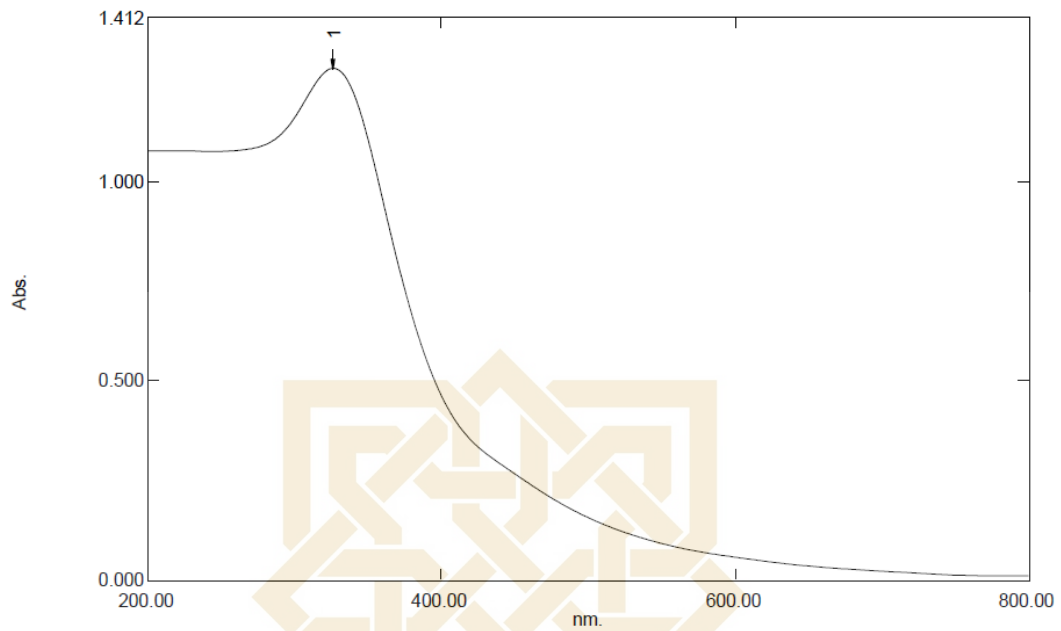


Peak list

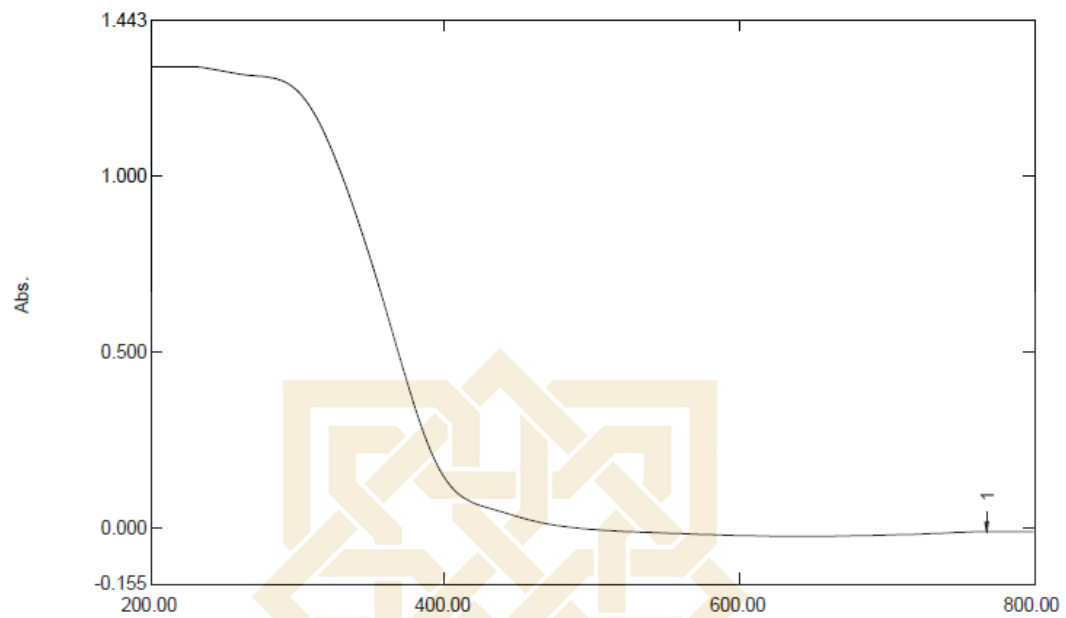
No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height (counts)	FWHM (deg)	Int. I(counts deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
	31.07			0.35			
1	34.49(2)	2.5981(16)	78(9)	0.26(5)	30.7(16)	0.40(7)	3(2)
2	35.48(5)	2.528(4)	45(7)	0.43(5)	28.7(18)	0.64(13)	1.1(7)

Lampiran 9 Absorbansi ZnO:Zr (H₂O) pada panjang gelombang UV-Vis

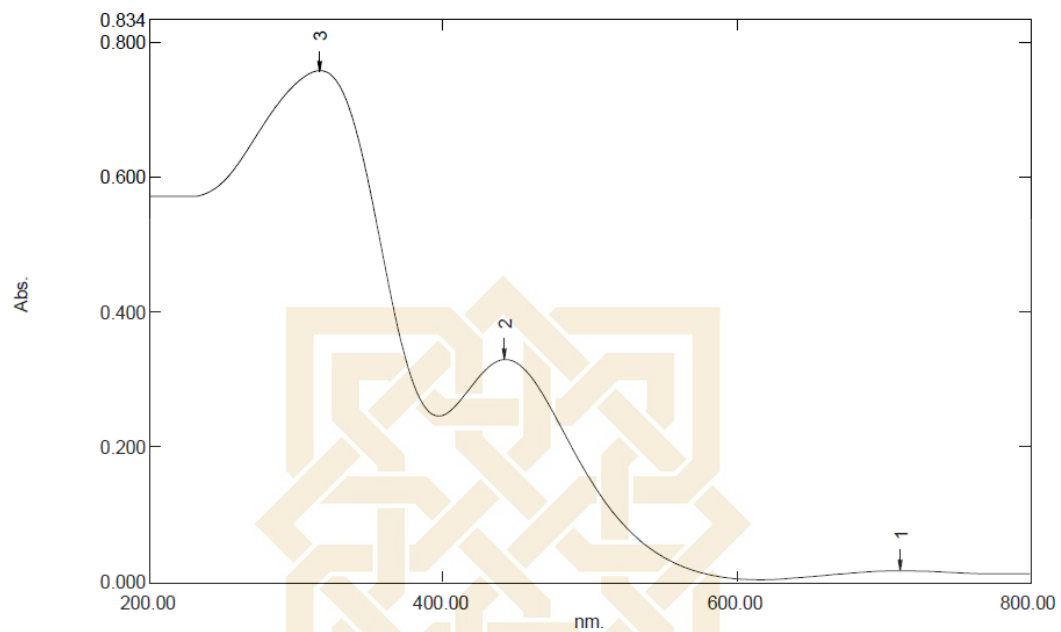
No.	P/V	Wavelength	Abs.	Description
1	↑	768.00	-0.008	
2	↓	643.00	-0.022	

Lampiran 10 Absorbansi ZnO:Zr (metanol) pada panjang gelombang UV-Vis

No.	P/V	Wavelength	Abs.	Description
1	●	326.00	1.285	
2	●	768.00	0.009	
3	●	243.00	1.075	

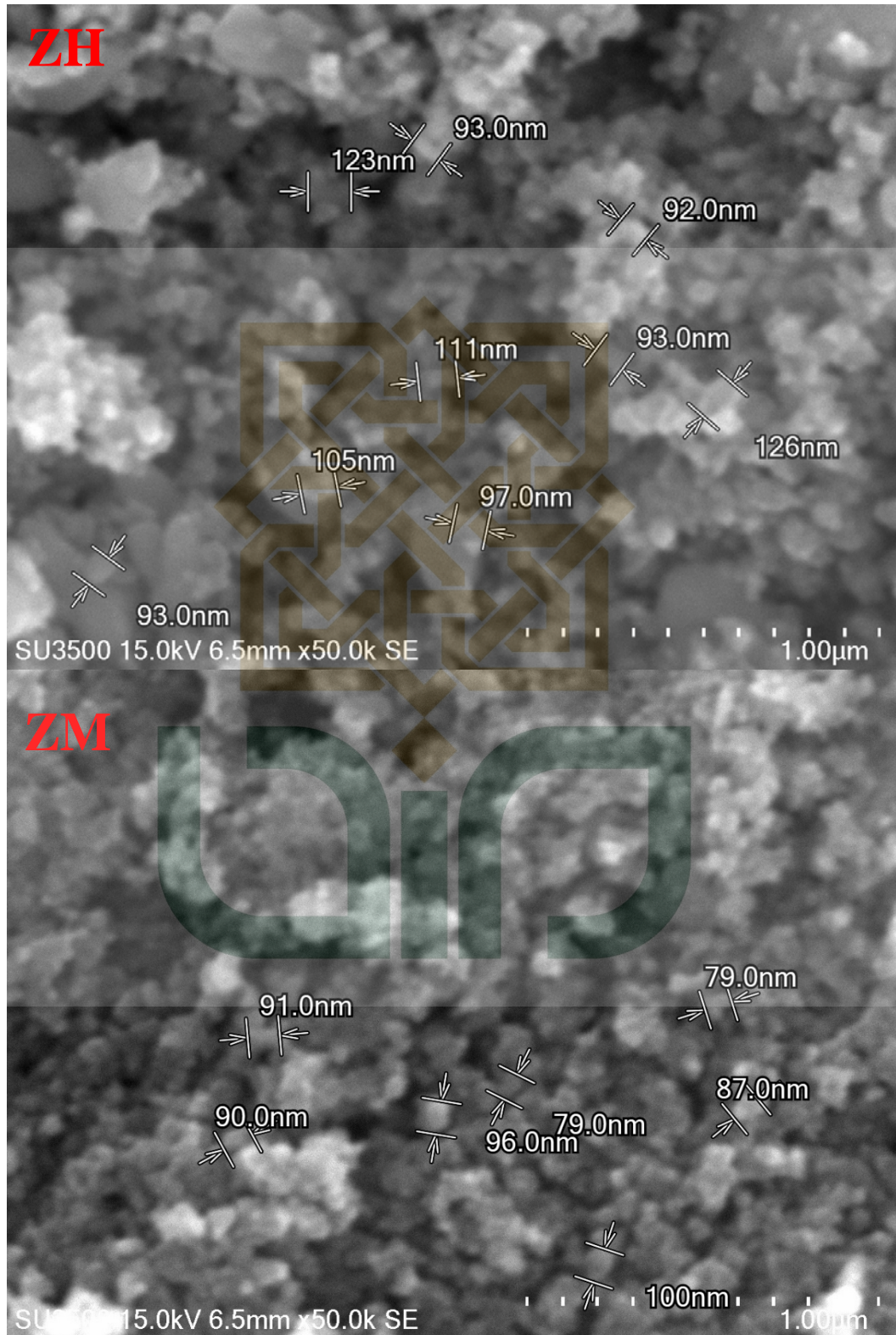
Lampiran 11 Absorbansi ZnO:Zr (etanol) pada panjang gelombang UV-Vis

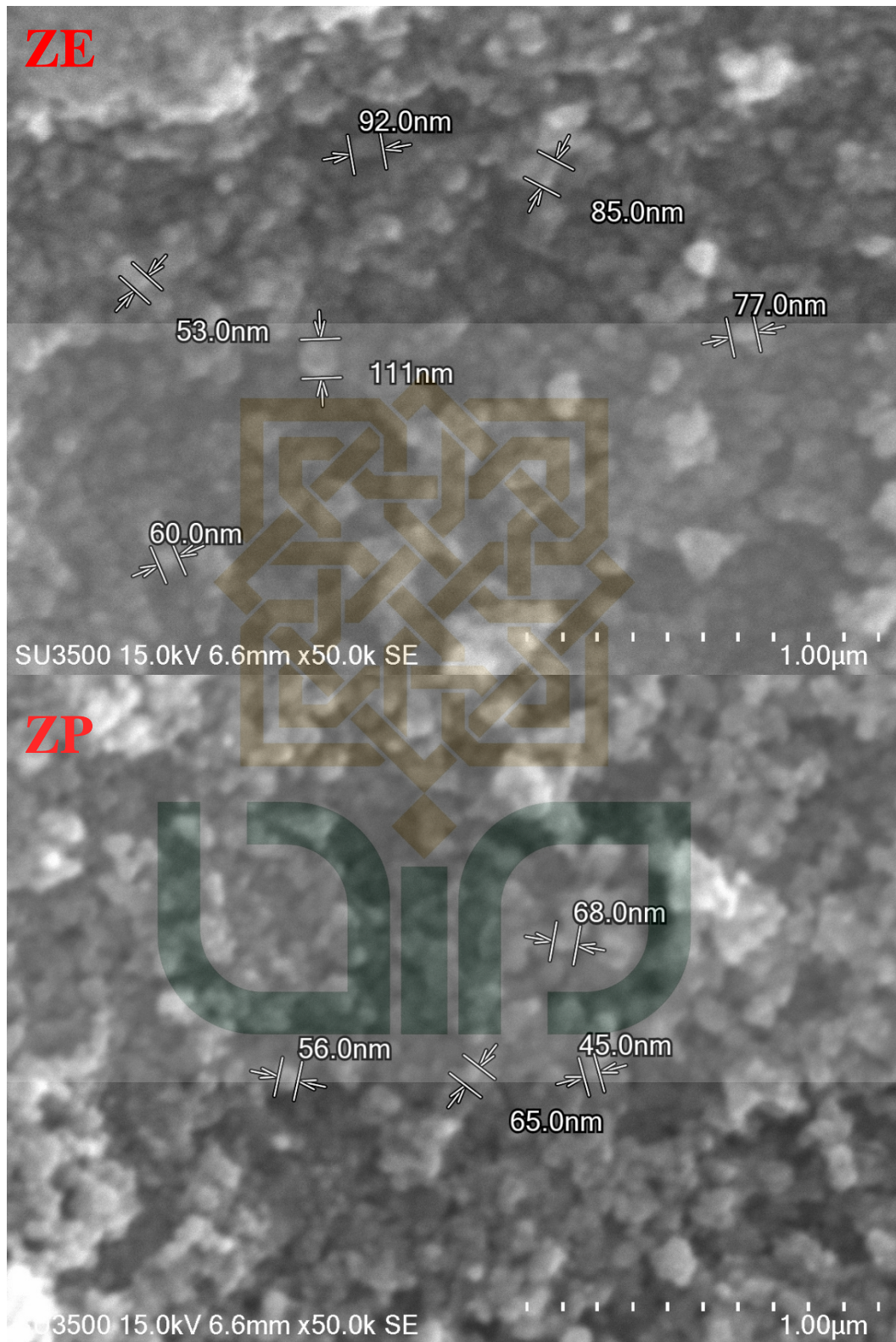
No.	P/V	Wavelength	Abs.	Description
1	↑	768.00	-0.008	
2	↓	643.00	-0.022	

Lampiran 12 Absorbansi ZnO:Zr (isopropanol) pada panjang gelombang UV-***Visible***

No.	P/V	Wavelength	Abs.	Description
1	⬆	711.00	0.016	
2	⬆	442.00	0.330	
3	⬆	316.00	0.759	
4	⬇	768.00	0.012	
5	⬇	616.00	0.003	
6	⬇	397.00	0.246	

Lampiran 13 Citra SEM ZnO:Zr

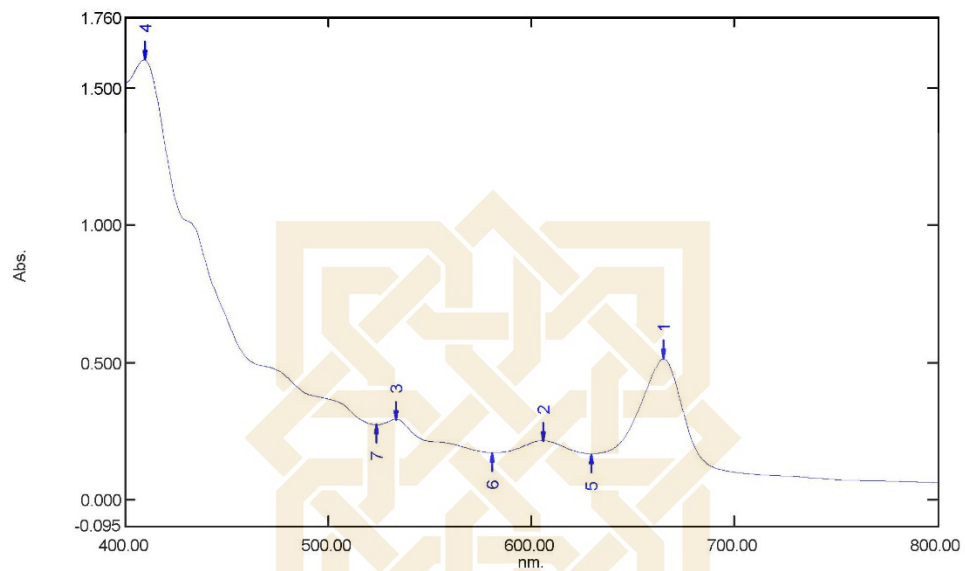




Lampiran 14 Absorbansi ekstrak daun kelor


 Thank you for using PDF Complete.
 13/03/2018 12:17:45 PM

[Click Here to upgrade to unlimited Pages and Expanded Features](#)



[Measurement Properties]
 Wavelength Range (nm.):
 Scan Speed:
 Sampling Interval:
 Auto Sampling Interval:
 Scan Mode:

400.00 to 800.00
 Medium
 0.5
 Enabled
 Auto

[Instrument Properties]
 Instrument Type:
 Measuring Mode:
 Slit Width:
 Light Source Change Wavelength:
 S/R Exchange:

UV-1800 Series
 Absorbance
 1.0 nm
 295.0 nm
 Normal

[Attachment Properties]
 Attachment:

None

[Operation]

Threshold:
 Points:
 InterPolate:
 Average:

0.0010000
 5
 Disabled
 Disabled

[Sample Preparation Properties]

Weight:
 Volume:
 Dilution:
 Path Length:
 Additional Information:

No.	P/V	Wavelength	Abs.	Description
1	⬆	665.00	0.512	
2	⬆	606.00	0.214	
3	⬆	533.00	0.292	
4	⬆	409.50	1.605	
5	⬇	629.50	0.166	
6	⬇	581.00	0.170	
7	⬇	524.00	0.271	

Lampiran 15 Nilai tegangan DSSC

Waktu (Menit)	Voc DSSC (mV)								Rata-rata
	5	10	15	20	25	30	35	40	
ZH	44,4	42,1	40,5	45	42,8	43,3	40,4	40,8	42,41
ZM	39,2	40,1	41,8	41,8	43,3	42,1	43,6	44,5	42,05
ZE	42,9	43,1	44,3	43,6	46,8	47	46	46	44,96
ZP	31,7	34,5	33,4	36,1	35,9	38	37,8	39,7	35,89



CURRICULUM VITAE



AFIA ANA FADILA

TEMPAT, TANGGAL LAHIR

Blitar, 18 April 1996

JENIS KELAMIN

Perempuan

ALAMAT

Siraman RT 02 RW 04 Kesamben
Blitar
Jawa Timur
66191

DOMISILI

Sapen GK 1 No. 625,
Demangan, Gondokusuman,
Yogyakarta

KONTAK PRIBADI

☎ 081515279179
✉ afiafadil@gmail.com

PENDIDIKAN FORMAL

MI Safinatul Ulum Siraman	2002-2008
MTsN Jambewangi Selopuro	2008-2011
MAN Tlogo Blitar	2011-2014
Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta	2014-2018

PENDIDIKAN INFORMAL

Madrasah Diniyah Riyadlus Shalihin	2000-201
------------------------------------	----------