



TUGAS AKHIR - TF 181801

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI
Ce-*DOPED* ZnO NANORODS
BERBASIS METODE *HYDROTHERMAL*
UNTUK APLIKASI SENSOR GAS CO**

**KARIANA KUSUMA DEWI
NRP. 023115 40000 060**

**Dosen Pembimbing
Lizda Johar Mawarani, ST, MT
Prof. Dr. Ratno Nuryadi**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**



FINAL PROJECT - TF181801

***SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION
OF Ce-DOPED ZnO NANORODS
BASED ON HYDROTHERMAL METHODS
FOR CO GAS SENSOR APPLICATION***

KARIANA KUSUMA DEWI
NRP. 023115 40000 060

Supervisors
Lizda Johar Mawarani, ST, MT
Prof. Dr. Ratno Nuryadi

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Kariana Kusuma Dewi
NRP : 023115 40000 060
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **SINTESIS DAN KARAKTERISASI Ce-DOPED ZnO NANORODS** BERBASIS METODE *HYDROTHERMAL* UNTUK APLIKASI SENSOR GAS CO adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, Desember 2018
Yang membuat pernyataan,

Kariana Kusuma Dewi
NRP. 02311540000060

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI
Ce-DOPED ZnO NANORODS
BERBASIS METODE *HYDROTHERMAL*
UNTUK APLIKASI SENSOR GAS CO**

Oleh:

Kariana Kusuma Dewi
NRP. 023115 40000 060

Surabaya, Januari 2019
Mengetahui/Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.
NIPN. 19740815 199703 2 001

Dosen Pembimbing II



Prof. Dr. Ratno Nuryadi
NIPN. 19731017 199301 1 001

**Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS**



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIPN. 19780902 200312 1 002

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI
Ce-DOPED ZnO NANORODS
BERBASIS METODE HYDROTHERMAL
UNTUK APLIKASI SENSOR GAS CO**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

KARIANA KUSUMA DEWI
NRP. 023115 40000 060

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T. (Pembimbing I)
2. Prof. Dr. Ratno Nuryadi (Pembimbing II)
3. Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc. (Penguji I)
4. Ir. Zulkifli, M.Sc. (Penguji II)
5. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA (Penguji III)

**SURABAYA
JANUARI 2019**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI
Ce-DOPED ZnO NANORODS
BERBASIS METODE *HYDROTHERMAL*
UNTUK APLIKASI SENSOR GAS CO**

Nama : Kariana Kusuma Dewi
NRP : 02311540000060
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Lizda Johar Mawarani, ST, MT
Prof. Dr. Ratno Nuryadi

Abstrak

Perkembangan sensor sudah merambah ke tingkat material nano terutama untuk sensor gas CO dengan memanfaatkan berbagai macam material semikonduktor, salah satunya adalah ZnO *nanorods* yang didoping dengan unsur lain misalnya Ce untuk meningkatkan performansi sehingga memunculkan permasalahan mengenai rasio Ce-Zn yang tepat. Penelitian ini mengembangkan material untuk aplikasi sensor gas CO. Sintesis material sensor ZnO *nanorods* dilakukan dengan variasi doping *cerium* yang ditumbuhkan pada substrat *interdigitated electrode arrays* menggunakan metode penumbuhan secara hidrotermal. Morfologi ZnO *nanorods* akan berpengaruh pada sifat listrik dan sensitivitas sensor terhadap penginderaan gas CO. Hasil karakterisasi penelitian ini menunjukkan bahwa kristalinitas paling tinggi terjadi pada sampel dengan *doping cerium* 3% dan penambahan konsentrasi *doping* Ce mengecilkan ukuran *rods*. Karakterisasi I-V dilakukan pada temperatur dengan variasi dari 150°C sampai 250°C menunjukkan hasil bahwa peningkatan temperatur menyebabkan nilai arus semakin kecil. Karakteristik yang lain terhadap sampel menunjukkan bahwa nilai sensitivitas yang paling besar terjadi pada tegangan 8 Volt yaitu untuk sampel Ce 4% sebesar 1,60.

Kata kunci : *doping cerium*, kurva I-V, sensitivitas, ZnO *nanorods*.

**SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF
CE-DOPED ZnO NANORODS
BASED ON HYDROTHERMAL METHODS
FOR CO GAS SENSOR APPLICATION**

Name : Kariana Kusuma Dewi
NRP : 02311540000060
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Lizda Johar Mawarani, ST, MT
Prof. Dr. Ratno Nuryadi

Abstract

The development of sensors has penetrated to the level of nano materials, especially for CO gas sensors by utilizing various kinds of semiconductor materials, one of which is ZnO nanorods doped with other elements such as Ce to improve performance so as to raise problems regarding the right Ce-Zn ratio. This research develops material for the application of CO gas sensors. The synthesis of ZnO nanorods sensor material was carried out with variations in cerium doping grown on interdigitated electrode arrays using hydrothermal growth methods. The morphology of ZnO nanorods will affect the electrical properties and sensitivity of the sensor to CO gas sensing. The results of the characterization of this study indicate that the highest crystallinity occurred in samples with 3% cerium doping and the addition of Ce doping concentrations played down the size of the rods. Characterization of I-V carried out at temperatures with variations from 150 ° C to 250 ° C shows that increasing temperature causes smaller current values. Other characteristics of the sample indicate that the greatest sensitivity value occurs at 8 Volt, for Ce 4% samples of 1.60.

Keywords: *cerium doped, I-V curve, sensitivity, ZnO nanorods*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga dapat terselesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Sintesis dan Karakterisasi Ce-Doped ZnO Nanorods Berbasis Metode Hydrothermal untuk Aplikasi Sensor Gas CO”**.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini :

1. Bapak Prof. Dr. Ratno Nuryadi selaku pembimbing Tugas Akhir dan Mbak Rina Dewi Mayasari MSi, selaku pembimbing di lapangan.
2. Seluruh staff Pusat Teknologi Material (PTM) – Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
3. Ibu Lizda Johar Mawarani, ST, MT. selaku dosen pembimbing dan dosen wali yang telah sabar dalam memberikan dukungan, bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Dr.-Ing Doty Dewi Risanti, ST, MT selaku kepala Laboratorium Rekayasa Bahan yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Agus Muhammad Hatta, ST, M.Si, Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS
6. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama kuliah.
7. Laboratorium Sentral Universitas Malang dan Laboratorium SEM Jurusan Teknik Mesin ITS
8. Kedua orang tua (Bapak Sukari dan Ibu Suparmiati) dan Adik (Mario Alfauzan Hakim) atas kasih sayang dan dukungan dalam segala bentuk
9. Teman seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir bidang Rekayasa Bahan, Risa Indriani dan Muhammad Husain Haekal
10. Teman-teman Laboratorium Rekayasa Bahan
11. Seluruh teman-teman angkatan 2015 yang turut memberikan dukungannya

12. Semua pihak yang terlibat dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan guna penyempurnaan laporan tugas akhir. Semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, Desember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PENGESAHAN..	Error! Bookmark not defined.
Abstrak	xi
Abstract.....	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 ZnO (<i>Zinc oxide</i>).....	5
2.2 Struktur Kristal ZnO <i>Nanorods</i>	6
2.3 Unsur <i>Cerium</i>	7
2.5 Metode <i>Hydrothermal</i>	9
2.6 Sambungan Metal-Semikonduktor	11
2.7 Karakterisasi untuk Material Sensor	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Identifikasi Permasalahan dan Penentuan Variabel Penelitian	26

3.2	Preparasi Alat dan Bahan.....	26
3.3	Sintesis Seed Layer ZnO <i>Nanorods</i>	27
3.4	Sintesis ZnO <i>Nanorods</i>	29
3.6	Karakterisasi ZnO <i>Nanorods</i>	32
3.7	Analisis Data dan Pembuatan Laporan Akhir	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		38
4.1	Hasil Uji Mikroskop Optik	38
4.2	Hasil Uji XRD.....	38
4.3	Hasil Uji EDX.....	42
4.4	Hasil Uji SEM.....	43
4.5	Karakteristik Kurva I-V	47
4.6	Pengaruh Temperatur terhadap Kurva I-V	50
4.7	Karakteristik Respon Gas CO	53
BAB V KESIMPULAN.....		58
LAMPIRAN A.....		A-1
LAMPIRAN B		B-1
LAMPIRAN C		C-1
LAMPIRAN D.....		D-1
LAMPIRAN E		E-1
LAMPIRAN F		F-1
LAMPIRAN G.....		G-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur kristal ZnO	6
Gambar 2.2	<i>Wurtzite lattice</i>	6
Gambar 2.3	Skema ilustrasi mekanisme doping Ce	7
Gambar 2.4	Skema desain <i>interdigitated electrode arrays</i>	8
Gambar 2.5	<i>Interdigitated electrode arrays</i>	8
Gambar 2.6	Proses penumbuhan ZnO <i>nanorods</i> menggunakan metode hidrotermal	10
Gambar 2.7	<i>Ohmic</i> dan <i>schottky contact</i>	11
Gambar 2.8	Struktur pita energi sambungan M-S	12
Gambar 2.9	Richardson's plot pada sambungan schottky contact In/p-Si	13
Gambar 2.10	Hasil uji SEM (a). <i>Undoped ZnO nanorods</i> (b). <i>Ce-doped ZnO nanorods</i>	15
Gambar 2.11	Hasil karakterisasi SEM ZnO dan Ce-doped ZnO	15
Gambar 2.12	Difraksi sinar-X pada kisi kristal	16
Gambar 2.13	Hasil uji XRD	17
Gambar 2.14	Hasil uji XRD <i>pure ZnO</i> dan <i>Ce-doped ZnO</i>	18
Gambar 2.15	Karakteristik <i>current-voltage</i> Au-ZnO/Si temperatur 150-400K	20
Gambar 2.16	Kurva I-V pada Pd-ZnO <i>nanorods</i>	21
Gambar 2.17	Hasil uji respon gas CO pada <i>nanosstruktur</i>	22
Gambar 2.18	Respon ZnO <i>nanorods</i> pada 100 ppm gas CO	22
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	25
Gambar 3.2	Diagram alir pembuatan <i>seed layer</i>	28
Gambar 3.3	Proses <i>dip coating</i>	27
Gambar 3.4	Diagram alir penumbuhan ZnO <i>nanorods</i>	29
Gambar 3.5	Proses perendaman substrat pada larutan ZnO <i>nanorods</i>	30

Gambar 3.6	Substrat setelah penumbuhan ZnO <i>nanorods</i>	31
Gambar 3.7	Set up alat pengujian I-V	33
Gambar 3.8	Skema rangkaian pembagi tegangan	33
Gambar 3.9	Proses pengujian I-V	34
Gambar 3.10	Skema pengujian respon gas CO	35
Gambar 4.1	Hasil uji mikroskop optik sampel tanpa doping	38
Gambar 4.2	Hasil uji XRD sampel ZnO <i>nanorods</i> tanpa doping	39
Gambar 4.3	Hasil uji XRD sampel ZnO <i>nanorods</i> doping cerium 3 %	39
Gambar 4.4	Hasil uji XRD sampel ZnO <i>nanorods</i> doping cerium 5 %	40
Gambar 4.5	Hasil uji XRD sampel Ce-doped ZnO <i>nanorods</i> (0%, 3% dan 5%)	41
Gambar 4.6	Hasil uji EDAX sampel pure ZnO <i>nanorods</i>	42
Gambar 4.7	Hasil uji EDAX sampel ZnO <i>nanorods</i> doping Ce 5%	42
Gambar 4.8	Ilustrasi penumbuhan ZnO <i>nanorods</i> ideal	43
Gambar 4.9	Hasil uji SEM sampel pure ZnO <i>nanorods</i> perbesaran 20000x	44
Gambar 4.10	Hasil uji SEM sampel ZnO <i>nanorods</i> doping cerium 5% perbesaran 20000x	44
Gambar 4.11	Hasil uji SEM sampel pure ZnO <i>nanorods</i> perbesaran 50000x	45
Gambar 4.12	Hasil uji SEM sampel ZnO <i>nanorods</i> doping cerium 5% perbesaran 5000x	45
Gambar 4.13	Hasil uji SEM sampel pure ZnO <i>nanorod cross section</i> perbesaran 3500x	46
Gambar 4.14	Hasil uji kurva I-V sampel doping Ce 4%	47
Gambar 4.15	Schottky contact pada sampel doping Ce 4%	48

Gambar 4.16	Perubahan nilai arus terhadap kenaikan temperatur pada tegangan 8V	49
Gambar 4.17	Richardson's plot	50
Gambar 4.18	Respon gas CO perubahan resistansi terhadap waktu sampel tanpa <i>doping</i>	53
Gambar 4.19	Respon gas CO perubahan resistansi terhadap waktu sampel <i>doping</i> Ce 3%	54
Gambar 4.20	<i>Respon dan recovery time</i>	56

“Halaman ini memang dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat Fisis ZnO	5
Tabel 4.1	Besaran-besaran pada Richardson's plot	51
Tabel 4.2	Nilai Ketinggian <i>Barrier</i> Semua Sampel	52
Tabel 4.3	Nilai Sensitivitas Semua Sampel	55

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sensor sudah merambah ke tingkat material nano terutama sebagai sensor gas CO dengan memanfaatkan berbagai macam material semikonduktor menggunakan teknik pelapisan tipis pada substrat. Sensor merupakan suatu instrumen yang penting dalam dunia teknologi manusia, penelitian tentang sensor semakin berkembang untuk mendapatkan sensor yang memiliki sensitivitas optimal, material yang digunakan untuk sensor adalah material semikonduktor yang berukuran nano sehingga dapat meningkatkan performansi *device*. Material semikonduktor dengan celah pita energi 3,3 eV diantaranya adalah ZnO, SnO₂, Fe₂O₃, WO₃, sedangkan yang banyak dikembangkan sebagai sensor saat ini adalah *Zinc oxide* atau ZnO (S. Xu, 2011). ZnO diaplikasikan sebagai sensor terutama sensor gas diantaranya adalah gas amonia, ethanol NO₂, CO₂, dan CO. ZnO juga memiliki energi ikat eksitasi yang besar sehingga banyak diaplikasikan dalam bidang lain juga seperti solar cells, photocatalysts, chemicalsensors, dan piezoelectric devices (Khairul Anuar Wahida, 2013). ZnO memiliki bentuk struktur yang berbeda-beda diantaranya adalah *nanoparticle*, *nanowire*, *nanoflower*, dan *nanorods*, aplikasi yang berbeda memerlukan jenis struktur, ukuran, bentuk, morfologi, dan orientasi pertumbuhan yang berbeda. Sifat-sifat ZnO *nanostructures* sangat bergantung pada morfologi sehingga akan memberikan efek optimum untuk setiap aplikasi tertentu (J. Zhang, 2012).

ZnO biasanya didoping dengan unsur golongan III, IV, V, dan VI (e.g., Al, Ga, In, Sn, Sb and S) tetapi dapat juga didoping dengan logam tanah jarang (LTJ) misalnya Eu, Er, La dan Ce yang dapat meningkatkan proses energi transfer pada semikonduktor (J. Lang, 2010). Penelitian yang telah dilakukan oleh Chi-Jung Chang tentang *Ce-doped ZnO nanorods*, adanya *doping* meningkatkan sifat-sifat ZnO, *doping* dengan elemen selektif menawarkan keefektifan metode untuk menyesuaikan sifat listrik, optik, dan

magnetik ZnO. Pada penelitian tersebut menggunakan perkursor $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ dengan variasi konsentrasi 1 mM, 2 mM dan 3 mM yang ditumbuhkan pada substrat Al_2O_3 . *Nanorods* tumbuh vertikal pada *seed layer*, *doping* Ce 2 mM memberikan hasil respon gas yang paling optimal untuk mendeteksi adanya gas NO_2 (Chi-Jung Changa, 2014). Penelitian lain dilakukan oleh Dangge Gao, memvariasikan Ce-Zn dengan rasio 0%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5% dan 3% dan didapatkan hasil bahwa adanya Ce tidak berpengaruh secara spesifik pada membesar atau mengecilnya ukuran *nanorods*, dimana dengan penambahan doping Ce 1% sampai 2,5 % ukuran *nanorods* semakin mengecil namun ketika didoping 3% ukuran *nanorods* justru membesar (Dangge Gao, 2017) hal ini kemudian juga berpengaruh pada karakteristik listrik ZnO *nanorods* dan keefektifan sensor. Dalam bentuk *nanostructure* ZnO divariasikan doping Ce 1% , 5% dan 10% didapatkan respon optimal untuk gas alkohol pada Ce 5% (Chunqiao Gea, 2007) berdasarkan penelitian-penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk aplikasi sensor gas yang berbeda, struktur ZnO yang berbeda, dibutuhkan konsentrasi doping Ce optimal yang berbeda pula, sehingga penelitian tentang Ce-*doped* ZnO masih terus dikembangkan untuk mendapatkan rasio Ce-ZnO yang optimal khususnya untuk aplikasi sensor gas CO yang mana pada penelitian sebelumnya telah didapatkan sensitivitas ZnO *nanorods* tanpa doping dalam mendeteksi adanya gas CO dioperasikan pada temperatur 300 °C sebesar 50% (Sang Kyoo Lima, 2011) sehingga dengan penambahan doping Ce pada ZnO *nanorods* diharapkan dapat meningkatkan sensitivitas sensor.

Penelitian ini akan mensintesis ZnO *nanorods* untuk aplikasi sensor gas CO menggunakan substrat *interdigitated electrode arrays* dengan metode *hydrothermal*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik ZnO *nanorods* dari segi sifat kelistrikan, struktur kristal dan morfologi akibat pengaruh doping Ce dan mengetahui pengaruh temperatur pengujian terhadap hasil I-V.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat diambil permasalahan sebagai berikut :

- a. Bagaimana karakteristik ZnO *nanorods* yang ditumbuhkan pada *interdigitated electrode arrays* sebagai aplikasi sensor gas CO ?
- b. Bagaimana pengaruh temperatur terhadap hasil uji I-V ?

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Untuk mengetahui karakteristik ZnO *nanorods* yang ditumbuhkan pada *interdigitated electrode arrays* sebagai aplikasi sensor gas CO
- b. Untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap hasil uji I-V

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Substrat penumbuhan yang digunakan adalah *Interdigitated Electrode Arrays*
- b. ZnO yang ditumbuhkan berstruktur *nanorods*
- c. Metode penumbuhan ZnO *nanorods* yang dipakai adalah metode *hydrothermal*
- d. Doping Ce menggunakan $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan variasi konsentrasi 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%
- e. Variasi temperatur pengujian I-V curve adalah 150°C, 160°C, 170°C, 180°C, 190°C, 200°C, 210°C, 220°C, 230°C, 240°C dan 250°C

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 ZnO (*Zinc oxide*)

ZnO merupakan material semikonduktor tipe-n yang memiliki lebar celah pita energi 3,37 eV dan energi ikat eksiton sebesar 60 meV pada temperatur ruang. Energi ikat eksiton sebesar 60 meV memungkinkan ZnO dipakai sebagai bahan baku perangkat elektronik yang stabil pada temperatur ruang dan menjamin suatu emisi eksiton yang efisien pada suhu kamar sehingga membuat ZnO begitu menjanjikan bagi material elektronik dan fotonik generasi mendatang. Material ZnO dapat tumbuh pada temperatur rendah yaitu dibawah 500°C, sifat fisis lainnya yang dimiliki oleh ZnO terdapat pada **Tabel 2.1** (Feng, 2012)

Tabel 2. 1 Sifat Fisis ZnO (Feng, 2012)

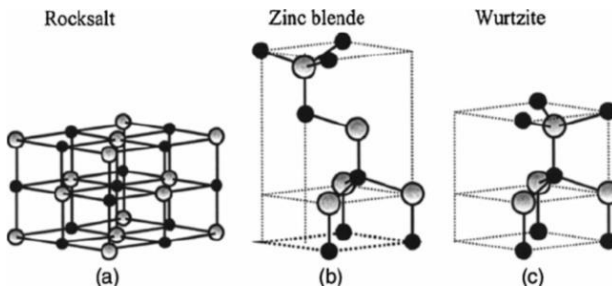
Sifat	Nilai
Kerapatan	5,606 g/cm ⁻³
Fase Stabil	Wurtzite
Titik Leleh	1975 °C
Energi gap	1,3 eV
Energi eksitasi	60 meV

Oksida ZnO merupakan bubuk berwarna putih yang hampir tidak larut dalam larutan netral tetapi dapat larut di dalam basa atau asam. ZnO merupakan material unik dan menarik sehingga banyak diteliti dan dikembangkan seperti evaluasi sifat listrik, sifat fisis, struktur kristal dan struktur mikronya (Bednarek, 2009). Keuntungan *zinc oxide* dari bahan-bahan semikonduktor pita lebar yang populer sebelumnya (SiC dan GaN) adalah selain karena dia bisa dioperasikan dalam lingkungan yang keras dan bersuhu tinggi, resistansi yang lebih tinggi untuk keadaan radiasi energi tinggi (Nugroho, 2004). ZnO digunakan sebagai bahan pendeteksi gas

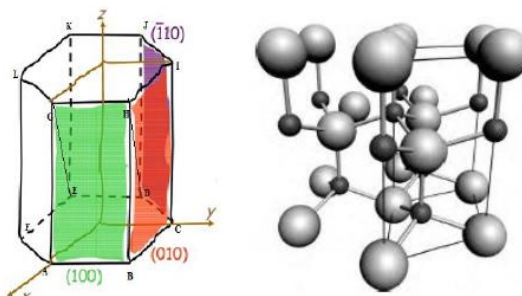
karena mobilitas konduksi elektronnya tinggi serta stabilitas termal yang baik.

2.2 Struktur Kristal ZnO Nanorods

ZnO adalah rumus senyawa anorganik untuk seng oksida. ZnO diklasifikasikan sebagai senyawa golongan IIB-VIA. Tiga struktur kristal ZnO yaitu *hexagonal wurtzite*, *cubic zincblende*, dan *cubic rocksalt* (McCune, 2012). Struktur *wurtzite* paling stabil pada kondisi lingkungan sehingga menjadi paling umum digunakan sedangkan *zinc blende* dapat dihasilkan dengan melakukan sintesis di atas substrat dengan struktur kristal kubik. Struktur *rocksalt* (*NaCl-type*) hanya diamati pada tekanan tinggi sekitar 10 GPa.



Gambar 2.1 Struktur kristal ZnO (a) *cubic rocksalt* (b) *cubic zinc blende* (c) *hexagonal Wurtzite* (Espitia, 2012)

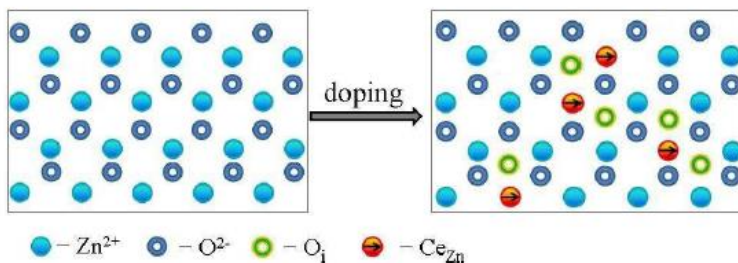


Gambar 2.2 kisi wurtzite (Frestika, 2017)

Kristalinitas *nanorods* ZnO dapat dipengaruhi oleh waktu dan temperatur reaksi. Struktur *nanorods* ZnO (**Gambar 2.1**) akan memiliki kristalinitas yang lebih tinggi dengan kenaikan temperatur reaksi. Hal tersebut dibuktikan oleh Chu, D. (2009) di mana hasil penelitiannya layak dipertimbangkan bahwa kecepatan nukleasi akan meningkat pada temperatur tinggi sehingga menghasilkan kristalinitas yang tinggi pula. Sedangkan **Gambar 2.2** menunjukkan struktur kristal *wurtzite* dengan parameter konstanta kisi $a = 3,249 \text{ \AA}$ dan $c = 5,207 \text{ \AA}$.

2.3 Unsur Cerium

Serium merupakan unsur tanah jarang yang paling melimpah di alam. Serium pertama kali ditemukan di Bastnas, Swedia oleh Jons Jakob Berzelius dan Wilhelm Hisinger, dan secara terpisah oleh Martin Heinrich Klaproth di Jerman pada tahun 1803. Di alam, serium ditemukan dalam bentuk oksida dengan nama *ceria*. Serium ditemukan dalam mineral *allamite*, *monazite*, *bashmasite*, *hydroxylbastmasite*, *rhabdophane*, *zircon* dan *sychysite*. Serium umumnya mempunyai dua bilangan oksidasi yaitu +3 dan +4, senyawa serium yang paling umum adalah serium (IV) oksida (CeO_2).



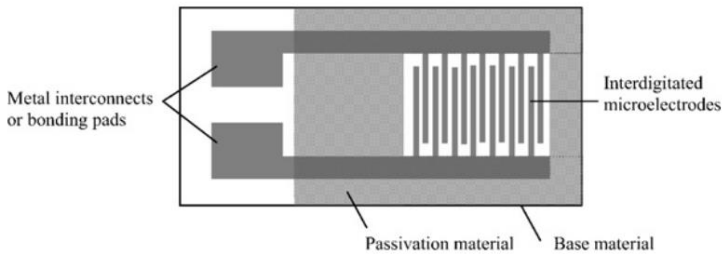
Gambar 2.3 Skema ilustrasi mekanisme *doping* Ce
(Y. J. Liu, 2016)

Kedua bentuk serium memiliki perbedaan sifat yang cukup signifikan yaitu serium (III) bersifat basa kuat sebanding dengan lantanida trivalen lainnya, sedangkan serium (IV) bersifat basa lemah. Serium (IV) dalam kondisi asam bersifat oksidator kuat tapi

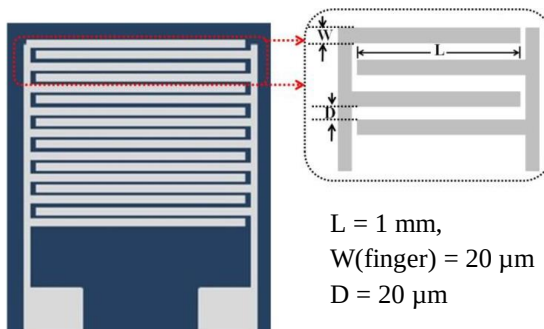
stabil dalam kondisi alkali, sedangkan serium (III) adalah reduktor kuat dan mudah teroksidasi dalam udara terbuka. **Gambar 2.3** merupakan skema ilustrasi mekanisme *doping* Ce pada ZnO, dimana unsur Ce disubstitusikan ke dalam unsur ZnO.

2.4 Interdigitated Electrode Arrays

Interdigitated electrode arrays diperuntukkan untuk sensor biokimia dengan material kaca (SiO_2) yang dilapisi Au 150 nm dan dengan celah interdigitated 10,20,30 dan 50 μm . **Gambar 2.4** dan **Gambar 2.5** menunjukkan *interdigitated electrode arrays* ketika dilihat dari mikroskop optik.



Gambar 2.4 Skematik design interdigitated electrode arrays (Varshney, 2009)



Gambar 2.5 *Interdigitated electrode arrays* (Mahesh Soni, 2016)

ZnO *nanorods* tumbuh diantara elektroda emas di bagian seperti jari-jari dengan lebar celah 20 μm yang bertujuan untuk menghubungkan antara elektroda yang satu dengan yang lainnya. Ketika arus listrik dapat mengalir maka sampel dapat diukur konduktivitasnya, kemudian ketika sampel bereaksi dengan partikel gas akan mengakibatkan perubahan nilai konduktivitasnya. Perubahan nilai konduktivitas digunakan untuk mengetahui sensitivitas bahan terhadap gas. Konduktivitas berhubungan dengan resistivitas elektroda yang dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1). Resistivitas sensor elektroda *interdigitated* dapat dimodelkan sebagai rantai resistor individual yang disusun secara paralel (Grover, 1999) banyak jari pada *interdigitated electrode arrays* berjumlah 40 buah.

$$\rho = \frac{RA}{l} \quad (2.1)$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (2.2)$$

dengan,

ρ = Resistivitas elektroda

R = Resistansi

A = Luas penampang elektroda yang dialiri
arus listrik

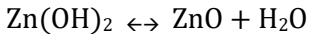
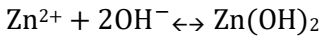
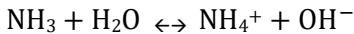
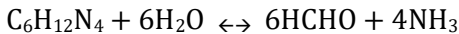
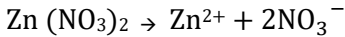
l = Panjang elektroda

2.5 Metode *Hydrothermal*

Ada berbagai metode untuk menumbuhkan ZnO *nanorods*, yaitu *organic chemical vapor deposition*, *electro-chemical deposition*, *sputter deposition*, dan *pulse laser deposition*. Namun, proses ini memerlukan kondisi reaksi yang berat, seperti suhu tinggi, konsentrasi gas yang akurat, laju aliran gas yang kaku dan kontrol proses yang ketat (H.-S. Choi, 2012). Sebaliknya, pengaturan proses hidrotermal lebih sederhana dengan temperatur yang relatif rendah memungkinkan pertumbuhan luas dan parameter pertumbuhan yang mudah dikendalikan (J.B. Shim, 2011).

Hidrotermal adalah penggunaan air pada suhu dan tekanan tinggi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.6** untuk mengubah struktur kristal dan membentuk material *nanostruktur*. Metode hidrotermal merupakan salah satu dari beberapa teknik kristalisasi dengan tujuan untuk mendapatkan tingkat kristalinitas yang tinggi pada nanostruktur ZnO. Pada jurnal ini, prekursor yang dipakai adalah *Hexamethylenetetramine* (HMT) dan *Zinc Nitrate Tetrahydrate* (ZNT).

Proses sintesis khas dari *nanorods* ZnO dalam larutan *Zinc Nitrate* dan *Hexamethylenetetramine* berdasarkan pada reaksi sebagai berikut (Kim, 2014)



Telah dilakukan sintesis nanostruktur ZnO melalui teknik hidrotermal untuk mempelajari peran HMT sebagai molekul perangsang bentuk dalam pertumbuhan *nanowires*. Peran HMT yaitu untuk menyediakan ion OH^- saat menjalani dekomposisi termal menjadi formaldehid dan amonia (Sugunan, 2006).

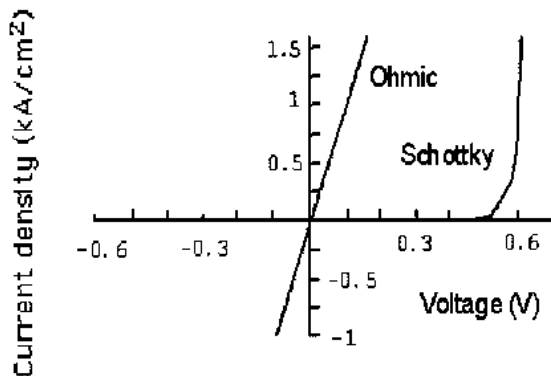


Gambar 2.6 Proses penumbuhan dengan metode hidrotermal

Berdasarkan penelitian mengenai sintesis menggunakan metode hidrotermal menunjukkan bahwa kenaikan temperatur berpengaruh terhadap berkurangnya gugus hidroksil (OH). Hal tersebut menunjukkan adanya penyempurnaan kondensasi dan terkait dengan kristalinitas yang dihasilkan, sedangkan perkembangan kristalografi dari setiap *nanorods* ZnO tergantung pada orientasinya masing-masing dan kesejajaran selama proses pertumbuhan hidrotermal (Sugihartono, 2015).

2.6 Sambungan Metal-Semikonduktor

Sambungan metal-semikonduktor memiliki dua jenis kontak yaitu *schottky contact* dan *ohmic contact*, perbedaan antara keduanya terletak pada jenis dan nilai fermi level antara metal dan semikonduktor yang digunakan. *Ohmic contact* adalah sambungan dimana perubahan tegangan tidak cukup berpengaruh terhadap nilai arus yang dihasilkan, pada kurva I-V sambungan ini menunjukkan tren garis linier yang curam, sedangkan *schottky contact* adalah sambungan yang memiliki tegangan *cut-in* lebih kecil daripada sambungan PN, pada kurva I-V menunjukkan tren garis eksponensial dengan tegangan *cut-in* yang sangat kecil (Zambuto, 1989). **Gambar 2.7** merupakan kurva I-V sambungan *ohmic* dan *schottky*

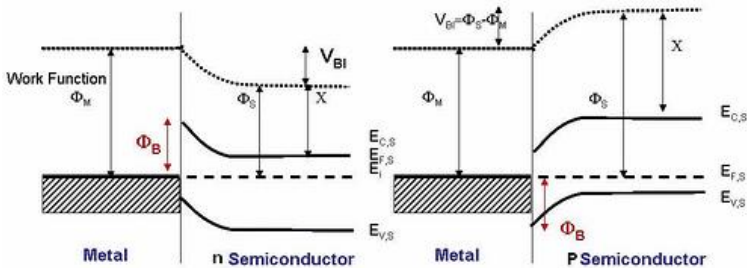


Gambar 2.7 *Ohmic* dan *schottky contact* (Wagoner, 2015)

Sambungan *schottky contact* yang terbentuk dari semikonduktor tipe p dan tipe n memiliki karakteristik yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.8**

$\phi_M > \phi_S = \text{bent upwards}$, untuk tipe n terdapat penghalang elektron dari semikonduktor ke metal sedangkan pada tipe-p tidak menyebabkan adanya hambatan sehingga terjadi kontak *ohmic*.

$\phi_M < \phi_S = \text{bent downwards}$, memberikan *ohmic contact* pada semikonduktor tipe n, sedangkan pada tipe p terjadi *rectifying contact*. (Rhoderick, 1982).



Gambar 2.8 Struktur pita energi sambungan M-S (Cska, 2016)

Perubahan nilai arus terhadap peningkatan temperatur yang diberikan dapat diketahui berdasarkan *Richardson's plot*. Persamaan (2.3) (Sze, 2007) merupakan dasar yang digunakan untuk membuat *Richardson's plot*, $J_{m \rightarrow s}$ adalah arus yang mengalir dari metal ke semikonduktor, berdasarkan persamaan tersebut didapatkan nilai *barrier height* (ϕ_{Bn}) yaitu penghalang diantara metal dan semikonduktor. Nilai *barrier height* berubah berdasarkan temperatur.

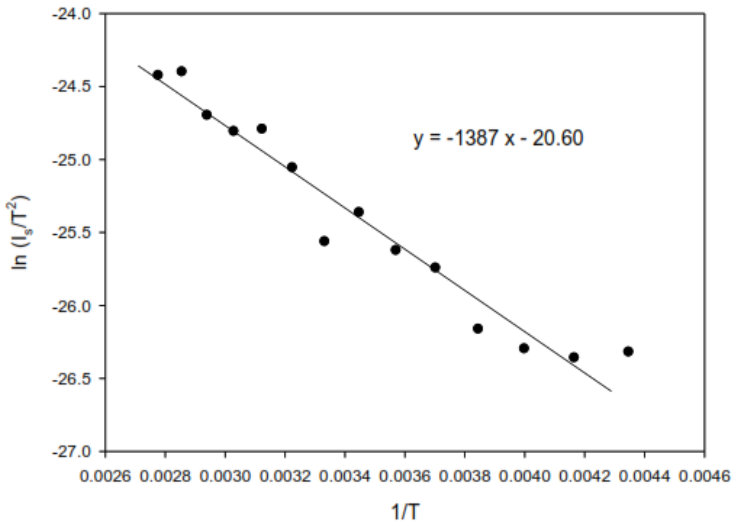
$$J_{m \rightarrow s} = -A^* T^2 \exp \left(-\frac{q \phi_{Bn}}{kT} \right) \quad (2.3)$$

Richardson's plot dapat dimodifikasi menjadi beberapa macam bentuk misalnya berdasarkan persamaan (2.3) menjadi persamaan (2.4)

$$\ln\left(\frac{I_s}{T^2}\right) = \ln(AA^*) - \frac{q\phi_{bo}}{kT} \quad (2.4)$$

I_s adalah arus saturasi, T adalah temperatur, A adalah luas penampang sambungan, A^* adalah konstanta *richardson*, q adalah muatan elektron, ϕ_{bo} adalah ketinggian *barrier* dan k adalah konstanta bolztman (J.M. Dhimmar, 2016)

Dengan memvariasikan $\ln\left(\frac{I_s}{T^2}\right)$ vs $\frac{1}{T}$ didapatkan kurva yang tidak linier pada range temperatur tertentu seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.9**, kemudian berdasarkan grafik tersebut dapat dicari nilai *barrier* ϕ_{bo} berdasarkan persamaan linearitas (2.4) dimana nilai gradien sama dengan $\frac{q\phi_{bo}}{k}$, dengan q adalah 1 eV maka ϕ_{bo} senilai dengan gradien dikalikan k .



Gambar 2.9 Richardson's plot pada sambungan schottky contact In/p-Si (J.M. Dhimmar, 2016)

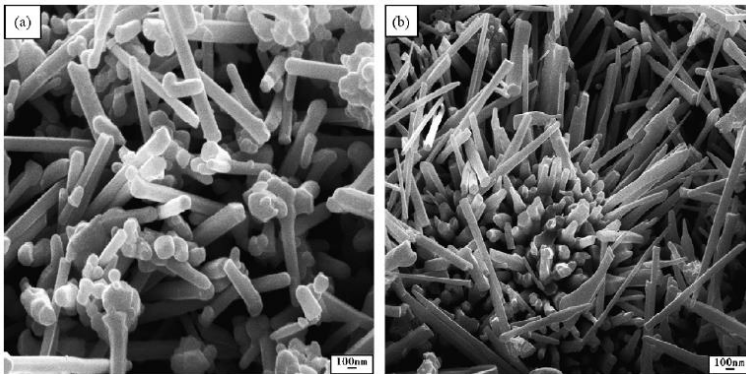
2.7 Karakterisasi untuk Material Sensor

2.7.1 SEM (*Scanning Electron Microscope*)

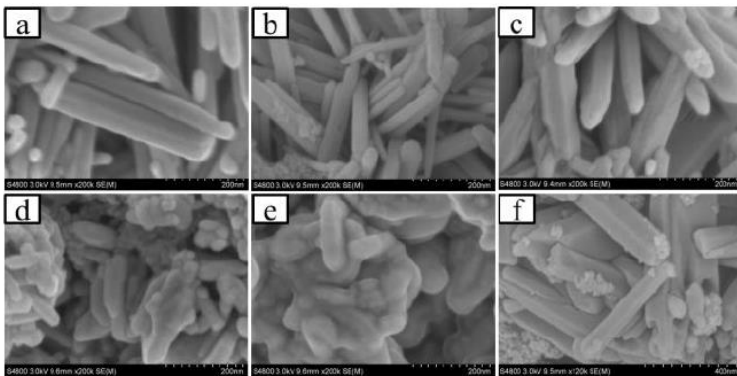
SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambar profil permukaan benda. Prinsip kerja SEM adalah menembakkan permukaan benda dengan berkas elektron berenergi tinggi (Abdullah, 2008). Berikut adalah hasil uji SEM ZnO nanorods dan Ce-doped ZnO nanorods yang disintesis dengan metode sol gel dengan *annealing* pada temperatur 500 °C. Karakteristik morfologi dan mikrostruktur ZnO nanorods memiliki diameter rata-rata 300 nm dan panjang 1–3 µm sedangkan untuk Ce-doped ZnO nanorods memiliki diameter rata-rata 100-200 nm dan panjang beberapa mikrometer. Ce merupakan unsur *doping* yang ideal pada ZnO karena memiliki struktur kisi yang mirip sehingga memungkinkan dilakukan metode penumbuhan dengan temperatur yang rendah. Ini dapat dikaitkan dengan transformasi preferensial dari ion Ce^{3+} . Pada sistem sol gel Ce-Zn kompleks nanocrystals CeO_2 pertama kali terbentuk setelah anil pada temperatur 500°C Ce-Zn kompleks. Nanocrystals memiliki banyak wajah kristal yang berbeda dengan perbedaan energi permukaan. Telah diketahui bahwa untuk agregasi nanopartikel yaitu mengurangi energi permukaan dengan menghilangkan energi permukaan yang lebih tinggi. Beberapa wajah kristal juga bisa mengurangi energi permukaan ZnO, dan nanokristalin dapat dibentuk cepat di bawah kondisi suhu rendah (Jinghai Yang a, 2008). **Gambar 2.10** menunjukkan hasil uji SEM ZnO nanorods dan ZnO nanorods yang didoping Ce sedangkan **Gambar 2.11** menunjukkan hasil karakterisasi SEM dengan variasi doping Ce.

Penelitian Ce-doped ZnO (Ce-ZnO) nanorods dengan variasi molar Ce 1%, 1,5%, 2%, 2,5%, dan 3% menghasilkan kecenderungan morfologi ukuran rod Ce-ZnO menurun dengan kenaikan molar unsur Ce dari 1% menjadi 2,5%, namun ketika didoping 3% ukuran nanorods membesar, panjang nanorods adalah 400 nm dengan diameter 60 nm. Ketika didoping Ce 2,5% memiliki panjang 180 nm dengan diameter 40 nm (Dangge Gao,

2017). Sedangkan menurut penelitian lain interaksi antara Zn dan Ce dapat menghambat pertumbuhan ZnO (Li H L, 2013).



Gambar 2.10 Hasil uji SEM (a) undoped ZnO nanorods (b) Ce-doped ZnO nanorods (**Jinghai Yang a, 2008**)



Gambar 2.11 Hasil karakterisasi SEM ZnO dan Ce-doped ZnO
(a) ZnO, (b) 1% Ce-ZnO, (c) 1,5% Ce-doped ZnO
(d) 2% Ce doped ZnO, (e) 2,5% Ce-doped ZnO
(f) 3% Ce-doped ZnO (**Dangge Gao, 2017**)

2.7.2 XRD (X-Ray Diffraction)

Karakterisasi menggunakan XRD ditujukan untuk mengetahui struktur kristal berupa arah orientasi bidang kristal (hkl), fasa kristal yang terbentuk, dan parameter kisi kristal.

Ukuran butir (kristal yang memiliki arah orientasi yang sama) dapat dihitung melalui persamaan *Debye-Scherrer* sebagai berikut (Maddu, 2006)

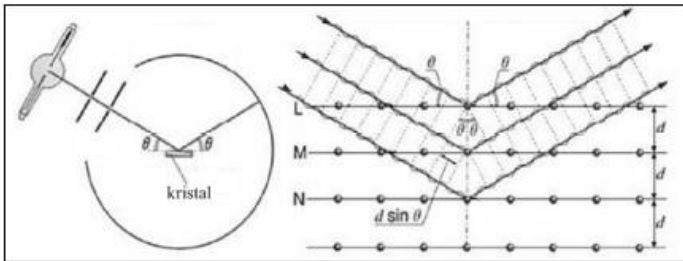
$$D = \frac{0,94 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2.3)$$

D adalah ukuran butir (nm)

λ adalah panjang gelombang sumber sinar-X (nm)

β adalah lebar puncak difraksi pada setengah tinggi puncak maksimum (radian)

θ adalah sudut difraksi (°)



Gambar 2.12 Difraksi sinar-X pada kisi kristal (Abdullah, 2008)

Prinsip kerja XRD didasarkan oleh adanya hubungan fase tertentu antara dua gerak gelombang atau lebih sehingga paduan gelombang tersebut saling menguatkan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.12**. Difraksi akan saling menguatkan jika memenuhi persamaan Bragg sebagai berikut :

$$2d \sin \theta = n \lambda \quad (2.4)$$

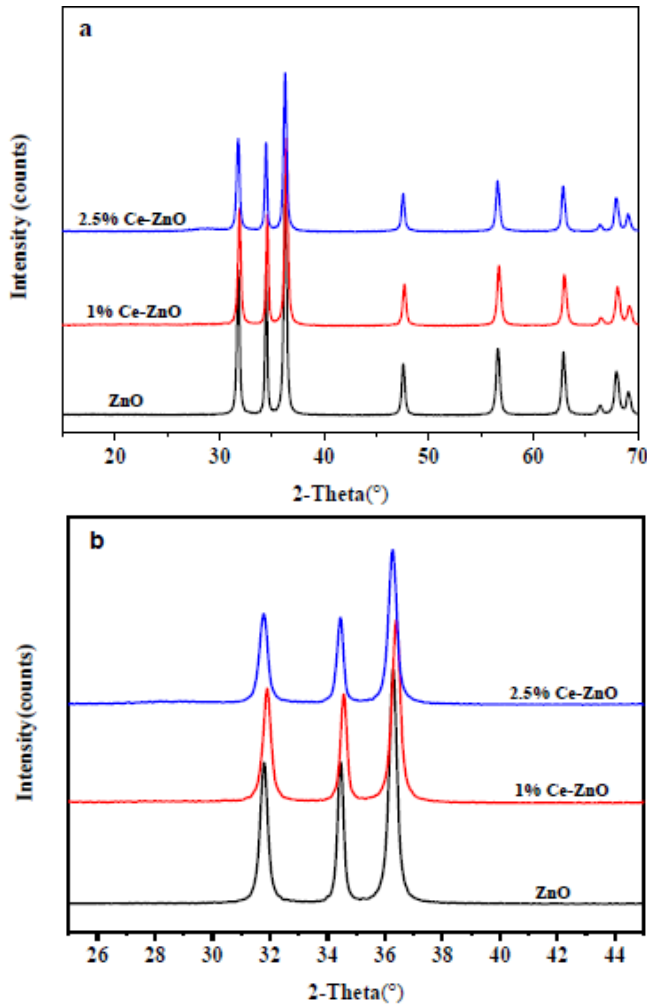
dengan :

d adalah jarak antar bidang atau lebar celah (nm)

n adalah orde (0, 1, 2, 3, ...)

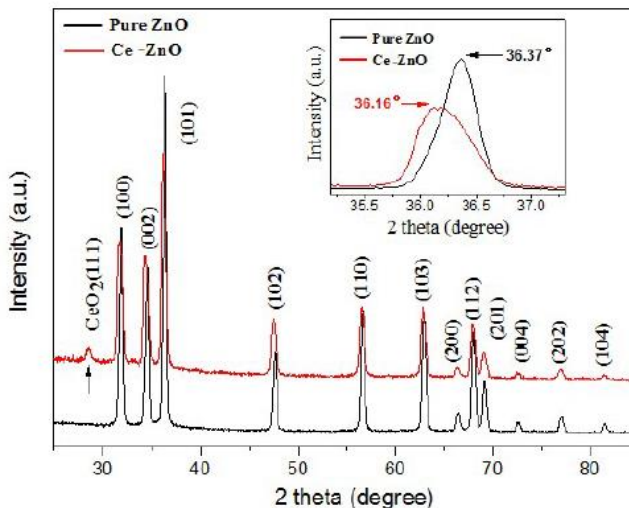
Penelitian tentang *Ce-doped ZnO nanorods* dengan mensintesis 7,32g *Zinc acetate dehydrate* dan *Cerium nitrate hexahydrate* (Ce/Zn ratios: 0%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3%) menggunakan metode *chemical precipitation* (90°C selama 3 jam) diperoleh hasil seperti pada **Gambar 2.13** dapat dilihat intensitas

puncak difraksi struktur kristal ZnO *nanorods* dan Ce-doped ZnO *nanorods* adalah *wurtzite hexagonal*. Hasil uji XRD tersebut tidak menunjukkan adanya intensitas puncak difraksi baru untuk *cerium*,



Gambar 2.13 Hasil uji XRD (a) Ce-doped ZnO *nanorods* (b) perbesaran gambar a (Dangge Gao, 2017)

hal ini mengindikasikan bahwa Ce terdistribusi ke dalam *lattice* ZnO dan ion Ce^{3+} disubstitusikan ke dalam Zn^{2+} . Uji XRD pada sudut rendah ditunjukkan pada **Gambar 2.13 b**, 2θ Ce-ZnO adalah *peak* (110), (002), dan (101) mengalami sedikit pergeseran yang menunjukkan adanya *doping* Ce pada kisi ZnO (Dangge Gao, 2017). Ce^{4+} menahan penggumpalan nanokristal ZnO dan berpengaruh pada penurunan tingkat kristalinitas yang ditunjukkan dengan penurunan intensitas puncak difraksi (Chi-Jung Changa, 2014).



Gambar 2.14 Hasil uji XRD *pure* ZnO dan Ce-*doped* ZnO (Liu, 2016)

Gambar 2.14 menunjukkan karakteristik kristalografi berdasarkan pola XRD dari ZnO murni *nanofibers* dan ZnO Ce-*doped* *nanofibers* yang disintesis dari 1,2g *zinc acetate* ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Aldrich) dan 0,02g *cerium nitrat* ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Aldrich) menggunakan metode *electrospinning*. Puncak pola difraksi menunjukkan ZnO murni dan Ce-*doped* ZnO keduanya memiliki kristalinitas yang baik. Spektrum XRD membuktikan bahwa nanofiber ZnO murni memiliki struktur wurtzit heksagonal (JCPDS 36-1451) dengan mengamati puncak

difraksi pada 2θ nilai 31.77° , 34.42° , 36.26° masing-masing dengan (100), (002), dan (101). Berbeda dengan ZnO yang *didoping* dengan Ce, puncak baru terletak di $2\theta = 28.55^\circ$ sesuai dengan (111) puncak difraksi dari CeO₂ (JCPDS 34-0394) muncul pada nanofibers Ce-doped ZnO karena doping ion Ce. Selain itu, dengan membandingkan profil XRD antara *nanofibers* ZnO murni dan *nanofibers* Ce-doped ZnO, puncak difraksi serat Ce-doped ZnO memiliki pergeseran kecil (~ 0.31 derajat) ke sudut bawah. Jari-jari atom Ce⁴⁺ (87 pm) lebih besar daripada Zn²⁺ (74 pm) yang diganti, yang akan mengarah ke kisi ZnO yang lebih besar. Menurut persamaan difraksi Bragg bahwa konstanta kisi adalah proporsional terhadap d (jarak antarplanar), puncak difraksi akan bergeser ke derajat yang lebih kecil dengan jari-jari atom yang semakin meningkat, menunjukkan penggabungan ion Ce ke dalam kisi ZnO. Hasil XRD juga menunjukkan bahwa *nanofibers* yang disintesis adalah fase senyawa dengan ZnO dari struktur *wurtzit heksagonal* dan CeO₂ dari struktur kubik. Tidak ada impuritas puncak kecuali elemen Ce yang mencolok dalam pola XRD, sehingga sampel adalah ZnO struktur *wurtzit heksagonal* dan CeO₂ struktur kubik dengan kemurnian tinggi. *Peaks* yang muncul tersebut disesuaikan dengan standar JCPDS untuk setiap unsur yang berbeda memiliki peaks yang berbeda (Liu, 2016)

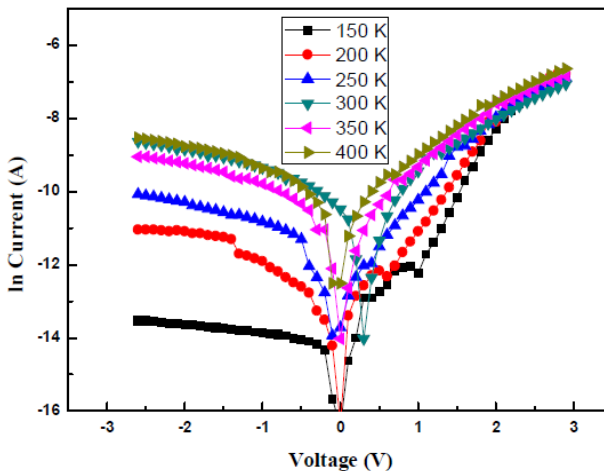
2.7.3 Karakterisasi Sifat Listrik

Sifat listrik suatu material berkaitan dengan kontak sambungan yang dapat membentuk *PN Junction*, metal-metal atau metal-semikonduktor. Berdasarkan penelitian tentang Au-ZnO/Si didapatkan kurva I-V untuk variasi temperatur 150-400K (**Gambar 2.15**) dengan hubungan ketika temperatur dinaikkan maka arus yang dihasilkan semakin besar.

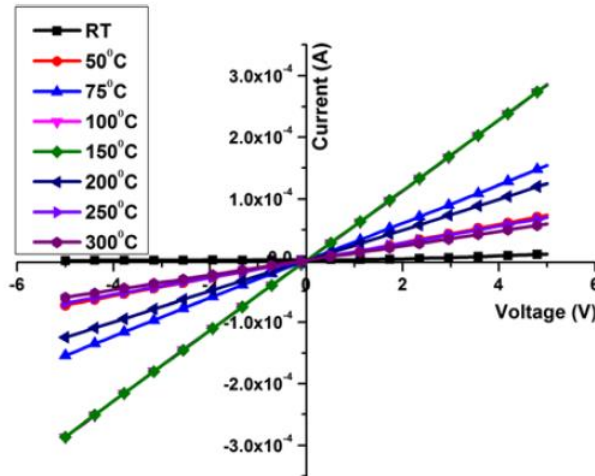
Penelitian lain menunjukkan bahwa ketika temperatur dinaikkan terjadi suatu keadaan dimana arus justru mengecil hal ini terjadi pada oksida logam ZnO, dapat dilihat pada **Gambar 2.16** pada saat temperatur dinaikkan menjadi 150°C menunjukkan bahwa elektron mendapatkan energi yang cukup untuk mengatasi ketinggian penghalang sehingga arus yang mengalir meningkat.

Penurunan nilai arus saat temperatur di atas 200°C adalah karena pembentukan wilayah *chemisorption* pada suhu tinggi di mana molekul oksigen teradsorpsi di permukaan oksida logam dan menjebak elektron. Dalam rentang suhu rendah, molekul oksigen secara fisik teradsorpsi di permukaan, namun pada temperatur operasi tinggi, oksigen yang diserap menerima elektron bebas dari pita konduksi ZnO dan diubah menjadi ion oksigen. Ion-ion oksigen ini (O^{2-} dan O^-) meningkatkan resistansi permukaan ZnO *nanorods*. Kemudian dalam rentang suhu yang semakin tinggi, molekul oksigen teradsorpsi berubah ke *chemisorptions* (yaitu, objek ikatan kimia), dan konsentrasi molekul oksigen yang teradsorpsi

di permukaan secara bertahap meningkat. Akibatnya, oksigen yang diserap bisa menjebak lebih banyak elektron bebas dari pita konduksi ZnO. Dengan kata lain, ketika molekul oksigen dari atmosfer mengalami *chemisorbed*, ia menarik elektron-elektron dari pita konduksi yang menyebabkan *bending* dalam *band* dan menciptakan penghalang permukaan dan penipisan elektron (Kashif, 2013)



Gambar 2.15 Karakteristik *Current-voltage* Au/ZnO/Si pada temperatur 150-400K (Asghar, 2013)



Gambar 2.16 Kurva I-V pada Pd-ZnO nanorods (Kashif, 2013)

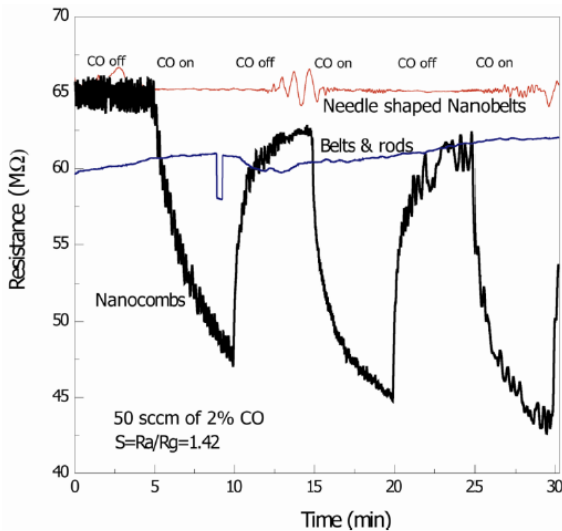
2.7.4 Karakterisasi Respon Gas

Mekanisme penginderaan sensor gas berbasis ZnO bergantung pada perubahan dalam konduktivitas listrik sebagai hasil dari reaksi kimia antara molekul gas dan oksigen yang diserap ion pada permukaan struktur nano ZnO. Konduktivitas ZnO *nanostructure* meningkat ketika dialirkan gas CO 200 ppm pada *sensor chamber*, hal ini karena pertukaran elektron antara spesies *ionosorbed* dan ZnO *nanostructure*. Reaksi kimia antara CO ion oksigen adalah sebagai berikut

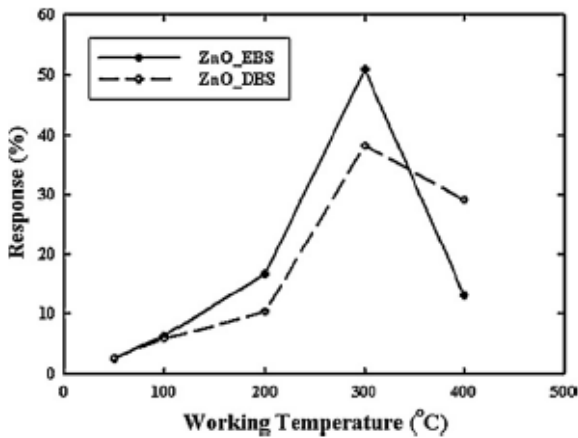


Sinyal respon ZnO *nanostructure* akibat dialiri gas CO pada temperatur 75°C (**Gambar 2.17**), menunjukkan bahwa ZnO *comb-like structure* memiliki nilai $S = 1,42$ (dimana $S = R_a/R_g$) R_a adalah resistansi akibat udara dan R_g adalah resistansi akibat gas. Deteksi gas CO pada struktur ZnO yang berbeda memberikan efek yang berbeda pula karena pengaruh morfologi, arah *crystallographic* dan *atomic termination* yang berbeda. Penelitian ini memberikan hasil bahwa deteksi gas CO pada *comb-like structure* ZnO

disebabkan oleh adanya pertumbuhan *c-axis* pada *secondary arms* (Muhammad Amin 1, 2012).



Gambar 2.17 Hasil uji respon gas CO pada ZnO nanostruktur (Muhammad Amin 1, 2012)



Gambar 2.18 Respon ZnO nanorods pada 100 ppm gas CO (Sang Kyoo Lima, 2011)

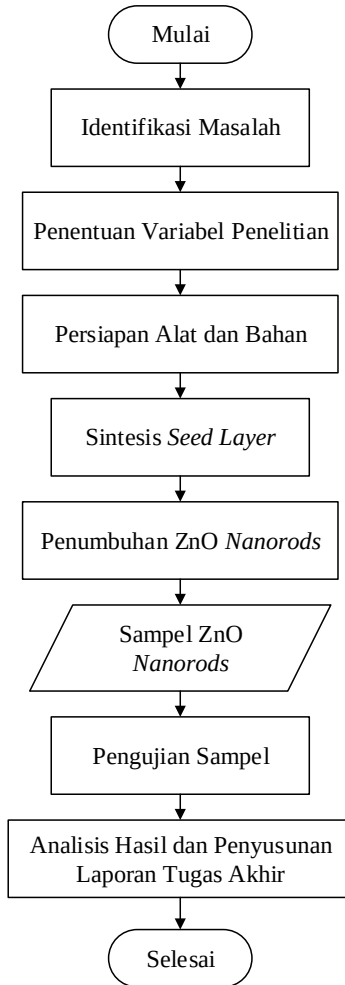
Penelitian lain menunjukkan *sensing* gas CO pada *nanosstructure* berbentuk *rods* dengan luas permukaan yang berbeda disintesis dengan metode mikroemulsi didapatkan hasil bahwa ZnO *nanorods* menunjukkan respons sensor yang tinggi terhadap CO di udara. Aspek rasio dan morfologi *nanorods* ZnO dapat dikontrol oleh panjang surfaktan. Luas permukaan ZnO *nanorods* disintesis oleh EBS dan DBS adalah 20,2 dan 14,1 m² / g. Respon sensor dapat dilihat pada **Gambar 2.18** dimana respon optimal sebesar 50% pada pengujian 300 °C (Sang Kyoo Lima, 2011).

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Berikut adalah diagram alir penelitian secara umum dalam tugas akhir ini



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.1 Identifikasi Permasalahan dan Penentuan Variabel Penelitian

Identifikasi permasalahan berawal dari penelitian-penelitian sebelumnya tentang ZnO sebagai sensor gas CO, yang mana ZnO di doping dengan unsur tertentu untuk meningkatkan karakteristik dan sensitivitas sensor, namun untuk morfologi *nanorods* dan variasi doping cerium sendiri belum didapatkan hasil rasio Ce-Zn yang tepat untuk mendapatkan sensitivitas yang bagus.

Variabel penelitian terdiri dari variabel bebas dan terikat. Dalam penelitian ini variabel bebas adalah konsentrasi *doping* Ce yaitu sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%, sedangkan variabel terikat adalah karakteristik ZnO *nanorods* yaitu sifat listrik, morfologi, komposisi dan struktur kristal zat yang terbentuk serta respon sensor terhadap gas CO. Karakteristik sifat listrik dapat diketahui dari uji *I-V Curve*, morfologi serta komposisi *nanorods* dapat diketahui dari uji SEM-EDX, struktur kristal dapat diketahui dari uji XRD, dan pengujian respon sensor terhadap gas CO dapat diketahui dengan mengalirkan gas CO 300 ppm 0,6 nl/menit pada sampel.

3.2 Preparasi Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain timbangan ohaus, gelas beker 100 ml dan 250 ml, gelas ukur, spatula, pipet tetes, pinset, *magnetic stirrer*, *magnetic bar*, *oven*, *furnace*, botol schoot duran, perekat, termometer, multimeter, resistor, *breadboard*, *power supply*, dan substrat yang digunakan adalah *Interdigitated electrode arrays*.

Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini antara lain Zinc Acetate Dihydrate, DEA (Diethanolamine), MEA (Monoethanolamine), ZNT (Zinc Nitrate Tetrahydrate), HMT (Hexamethylene-tetramine), dan Aqua DM

Persiapan substrat yang akan disintesis melalui beberapa langkah yaitu dibersihkan dengan *acetone*, *alkohol* dan *aqua DM* masing-masing 5-10 tetes kemudian ditunggu kering. Peralatan yang akan digunakan dicuci dengan proses cuci menggunakan

sabun cuci terlebih dahulu, kemudian dikeringkan menggunakan *hair dryer* selanjutnya dicuci menggunakan *acetone* dan dimasukkan kedalam alat ultrasonic selama 5 menit, setelah itu dicuci menggunakan *alkohol* dan *aqua DM* dengan proses cuci yang sama kemudian dikeringkan.

3.3 Sintesis Seed Layer ZnO Nanorods

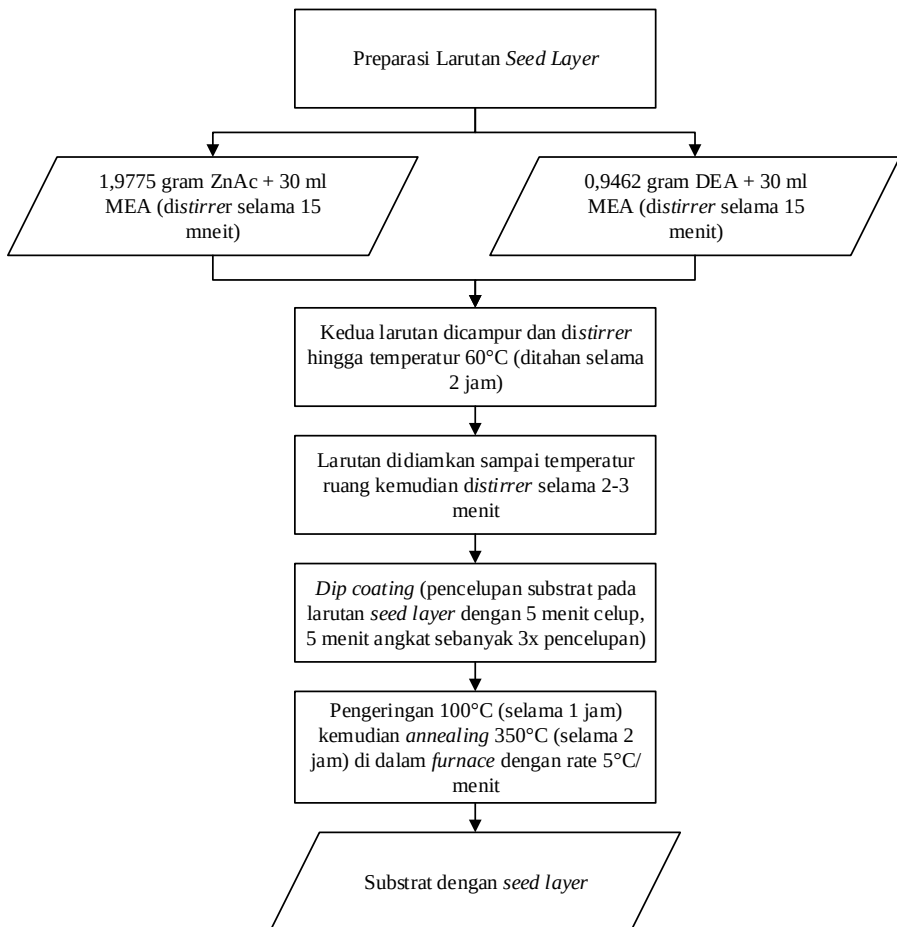
Proses pembuatan *seed layer* bertujuan untuk membentuk lapisan pertama guna menumbuhkan ZnO *nanorods* pada substrat. Sintesis *seed layer* ini melalui beberapa langkah seperti yang ditunjukkan pada diagram alir **Gambar 3.2**.

Langkah pertama yang dilakukan adalah dibuat dua macam larutan yaitu, larutan pertama terdiri dari 1,9775 gram *Zinc Acetate Dihydrate* dalam 30 ml *MEA (Monoethanolamine)*, larutan dimasukkan ke dalam gelas beker 100 ml kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit. Larutan kedua dibuat dengan melarutkan 0,9462 gram *DEA (Diethanolamine)* dalam 30 ml *MEA (Monoethanolamine)*, larutan dimasukkan ke dalam gelas beker 100 ml kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit. Kedua larutan tersebut kemudian dicampur sehingga terbentuk larutan *Zinc Acetate Dihydrate* 0,15 M dalam *MEA (Monoethanolamine)* dan diaduk kembali menggunakan *hotplate stirrer* hingga larutan mencapai suhu 60°C dan ditahan selama 2 jam.



Gambar 3.2 Proses *dip coating*

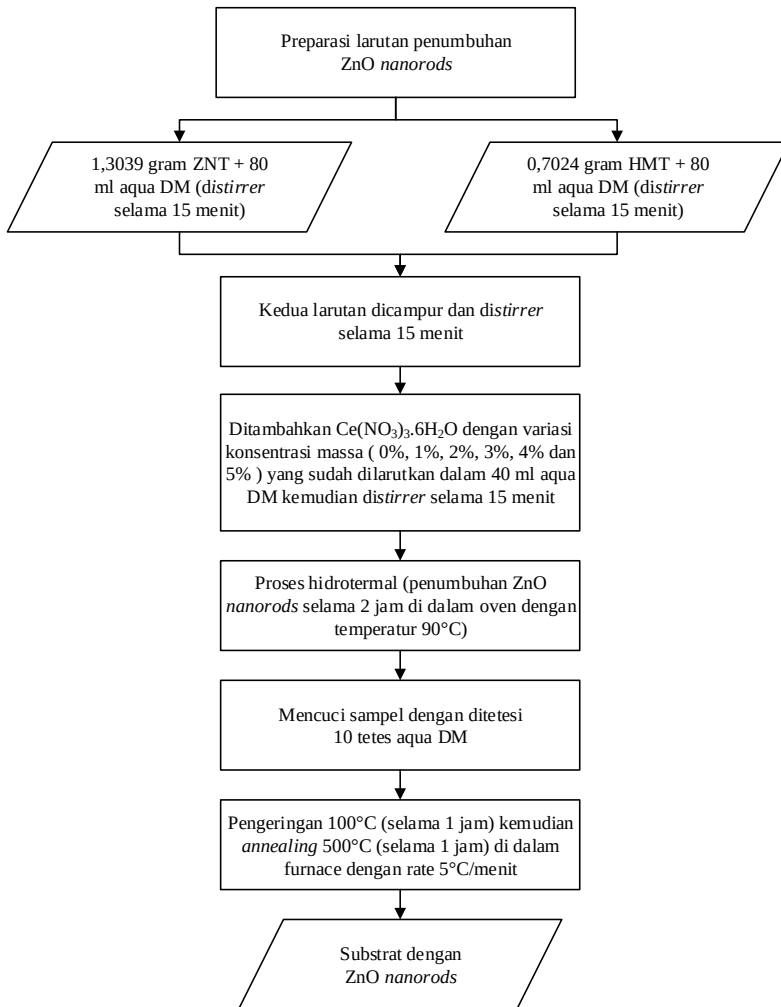
Setelah itu larutan didiamkan hingga suhu larutan turun sampai suhu ruang kemudian dilanjutkan proses *dip coating* seperti pada **Gambar 3.3** yaitu dengan mencelupkan substrat ke dalam larutan selama 5 menit, kemudian diangkat selama 5 menit dan dilakukan dengan 3 kali pencelupan. Selanjutnya substrat dikeringkan pada temperatur 100°C selama 1 jam dan *annealing* pada temperatur 350°C selama 2 jam di dalam *furnace* dengan kenaikan 5°C/menit.



Gambar 3.3 Diagram alir pembuatan *seed layer*

3.4 Sintesis ZnO Nanorods

Sintesis ZnO *nanorods* dilakukan pada substrat yang telah dilapisi *seed layer*. Proses sintesis ZnO *nanorods* melalui langkah-langkah seperti pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3.4 Diagram alir penumbuhan ZnO nanorods

Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat dua jenis larutan yaitu larutan dari 1,3039 gram ZNT (*Zinc Nitrate Tetrahydrate*) dalam 100 ml aqua DM di dalam gelas beker 250 ml kemudian

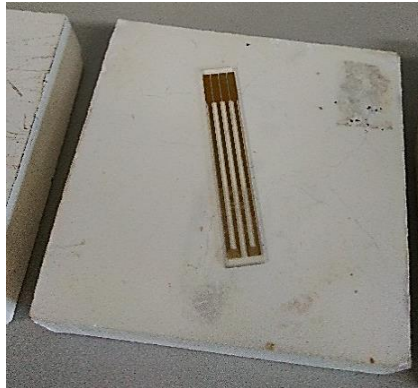
diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit. Larutan kedua dibuat dari 0,7024 gram *HMT* (*Hexamethylene-tetramine*) dalam 100 ml *aqua DM* di dalam gelas beker 250 ml kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit. Selanjutnya kedua larutan tersebut dicampur dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit sehingga menghasilkan larutan *ZnO nanorods*. *Cerium nitrat* dengan konsentrasi 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% masing-masing dilarutkan dalam 40 ml *aqua DM*, kemudian larutan *cerium nitrat* tersebut diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit selanjutnya dicampurkan ke dalam larutan *ZnO nanorods* dan diaduk kembali selama 15 menit. Larutan *ZnO nanorods* dituang ke dalam botol penumbuhan seperti pada **Gambar 3.5**, pada tutup botol dibuat holder untuk mengaitkan substrat yang telah dilapisi *seed layer* kemudian substrat dicelupkan dalam larutan dengan arah tegak lurus.



Gambar 3.5 Proses perendaman sampel pada larutan *ZnO nanorods*

Proses penumbuhan dilakukan dengan metode hidrotermal selama 2 jam di dalam *drying oven* dengan suhu 90°C. Setelah sampel dikeluarkan dari *oven* kemudian dicuci menggunakan *aqua*

DM sebanyak 10 kali tetes. Tahap terakhir adalah proses pengeringan 100°C selama 1 jam dan *annealing* 500°C selama 1 jam di dalam *furnace* dengan kenaikan temperatur $5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Sampel hasil sintesis yang telah siap dikarakterisasi dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3.6 Substrat yang telah ditumbuhkan ZnO *nanorods*

3.6 Karakterisasi ZnO *Nanorods*

Karakterisasi yang dilakukan adalah foto mikro, XRD, SEM-EDX, uji kurva I-V dan Respon gas CO. Masing-masing pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari sampel yang telah dibuat sehingga dapat diperoleh data yang kemudian dilakukan analisis terhadap data tersebut.

3.6.1 Uji Mikroskop Optik

Uji mikroskop optik digunakan untuk memvalidasi keberhasilan penumbuhan ZnO *nanorods* secara makroskopik. Semua sampel yang dibuat diuji dan didapatkan hasil berupa gambar. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat perbesaran bagian substrat yang ditumbuhi ZnO *nanorods* yaitu dibagian ujung yang berupa jari-jari elektroda.

3.6.2 Uji XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk memvalidasi adanya unsur ZnO dan Ce-*doped* ZnO serta bagaimana struktur kristalnya.

Prinsip kerja dari alat uji XRD yaitu memanfaatkan sinar-X yang bersifat monokromatik ditembakkan pada sebuah kristal material dan akan diabsorpsi, ditransmisikan bahkan dihamburkan oleh material itu ke segala arah tergantung dari tata letak atom kristal material yang di amati. Pantulan sinar X dari material ini akan diterima oleh detektor. Sudut kedatangan sinar X akan menentukan pantulan spektrum secara spesifik yang berhubungan langsung dengan *lattice spacing* dari kristal yang dianalisis. Hasil dari pengujian XRD adalah difraktogram yang berupa susunan garis atau puncak dengan intensitas dan posisi berbeda sesuai dengan spesifikasi material yang di analisis. Pengujian XRD dilakukan pada sampel dengan Ce 0%, 3% dan 5% .

3.6.3 Uji SEM-EDX

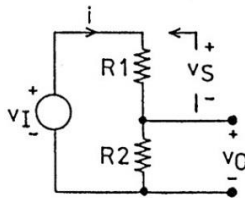
Uji SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi sampel secara mikroskopik, morfologi tersebut dianalisis berdasarkan distribusi diameter *rods*. Prinsip kerja SEM (*Scanning electron microscopy*) memanfaatkan elektron untuk menscan permukaan sampel yang kemudian didapatkan hasil berupa gambar dari permukaan sampel yang dideteksi. Pengujian SEM dilakukan pada sampel Ce 0% dan 5% untuk mengetahui perbedaan morfologi antara pure ZnO *nanorods* dan ZnO *nanorods* yang *didoping cerium*. Sudut pengambilan gambar dilakukan dari atas dan *cross section* sehingga didapatkan gambar tampak atas dan tampak samping sedangkan uji EDX dilakukan untuk memvalidasi unsur apa saja yang terdapat pada sampel.

3.6.4 Uji I-V

Uji I-V bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat listrik. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *set up* alat yang terdiri dari *power supply*, multimeter digital, laptop yang telah terinstal *software GUI Gas Chamber and IV Curve VISA*, *breadboard* dengan susunan resistor, semua peralatan dirangkai seperti pada **Gambar 3.7**.



Gambar 3.7 Set up alat pengujian I-V



Gambar 3.8 Skema rangkaian pembagi tegangan
(Admin, 2016)

Dalam pengukuran *I-V Curve*, digunakan rangkaian pembagi tegangan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.8** R1 merupakan hambatan sensor (*ZnO nanorods* pada *Interdigitated Electrode Arrays*), R2 adalah hambatan referensi, V_i adalah tegangan input dari *power supply*, dan V_o adalah tegangan output yang dideteksi oleh multimeter digital, sehingga pada *Software GUI Gas Chamber and IV Curve VISA* akan ditransformasikan menjadi grafik *I-V Curve*. Persamaan-persamaan yang terjadi pada proses ini yaitu sebagai berikut:

$$V_o = V_i \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (3.1)$$

$$V = I \cdot R \quad (3.2)$$

pada persamaan (3.1) menunjukkan pembacaan tegangan output oleh multimeter digital dengan tegangan input yang diberikan sebesar 0,1 V – 10 V dengan interval 0,1 V. Ketika tegangan output telah diketahui, maka dengan menggunakan persamaan (3.2) akan dapat diketahui arus yang mengalir dan dapat diplot dengan menggunakan *Software GUI Gas Chamber and IV Curve VISA*.



Gambar 3.9 Proses pengujian I-V

Gambar 3.9 menunjukkan proses pengujian kurva I-V pada sampel dengan meletakkan sampel dalam *gas chamber* dan dihubungkan dengan *set up* alat menggunakan holder sampel, pengujian dilakukan dengan mevariasikan temperatur pemanasan sampel yaitu dari 150°C – 250°C dengan interval kenaikan sebesar 10°C, hal ini dimaksudkan untuk mengetahui perubahan arus yang dihasilkan akibat pengaruh peningkatan temperatur pemanasan pada sampel. Hasil dari pengujian ini direpresentasikan dalam bentuk grafik arus terhadap tegangan yang disebut kurva I-V.

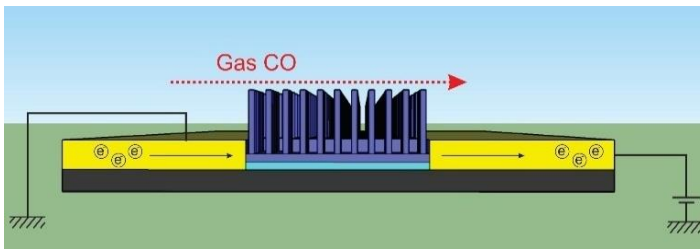
3.6.5 Uji Respon Gas CO (Karbon Monoksida)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sensitivitas sensor terhadap gas CO untuk masing-masing sampel. Uji respon

gas dilakukan dengan menggunakan *set up* alat yang sama dengan pengujian *I-V* yaitu terdiri dari *power supply*, multimeter digital, laptop yang telah terinstal *software GUI Gas Chamber and IV Curve VISA*, *breadboard* dengan susunan resistor, *interdigitated electrode holder* yang tersambung pada sampel serta *heater*. Pada saat pengujian dipilih tool resistansi pada aplikasi *software GUI Gas Chamber and IV Curve VISA* yang telah terinstall di laptop. Kemudian setelah semua peralatan siap sampel diletakkan pada gas chamber dan dihubungkan dengan holder, keadaan dibuat vakum dan dipanaskan dengan temperatur 200°C. Pada sampel dialiri gas CO 300 ppm 60 nl/menit dengan interval waktu on 5 menit off 5 menit. Hasil dari pengujian ini berupa data resistansi yang berubah terhadap interval waktu pengaliran gas yang kemudian dapat diplot ke dalam grafik untuk dicari nilai sensitivitas nya menggunakan persamaan (3.3)

$$S = R_a/R_g \quad (3.3)$$

R_a adalah resistansi akibat udara dan R_g adalah resistansi akibat gas. Skematik pengujian respon gas CO dapat dilihat pada **Gambar 3.10**.



Gambar 3.10 Skema pengujian respon gas CO

3.7 Analisis Data dan Pembuatan Laporan Akhir

Data hasil uji SEM dianalisis dengan melihat perbedaan morfologi ZnO *nanorods* tanpa doping dengan yang didoping *cerium*. Data hasil uji XRD dianalisis dengan mengetahui

perbedaan intensitas *peaks* ZnO *nanorods* tanpa *doping* dengan yang *didoping* Ce 1% dan 3%. Data I-V *Curve* yang didapat dianalisis dengan membandingkan karakteristik I-V *Curve* antara ZnO tanpa *doping* dengan ZnO yang *didoping* Ce (1%, 2%, 3%, 4%, 5%) serta variasi temperatur (150°C, 160°C, 170°C, 180°C, 190°C, 200°C, 210°C, 220°C, 230°C, 240°C dan 250°C). Data hasil uji respon gas CO dianalisis dengan mengetahui perbedaan sensitivitas sensor ZnO *nanorods* tanpa *doping* dengan yang *didoping* Ce (1%, 2%, 3%, 4%, 5%) terhadap adanya gas CO. Hasil dari analisis data pada penelitian ini dibuat kesimpulan dengan menjawab tujuan awal penelitian dan dibuat laporan akhir.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

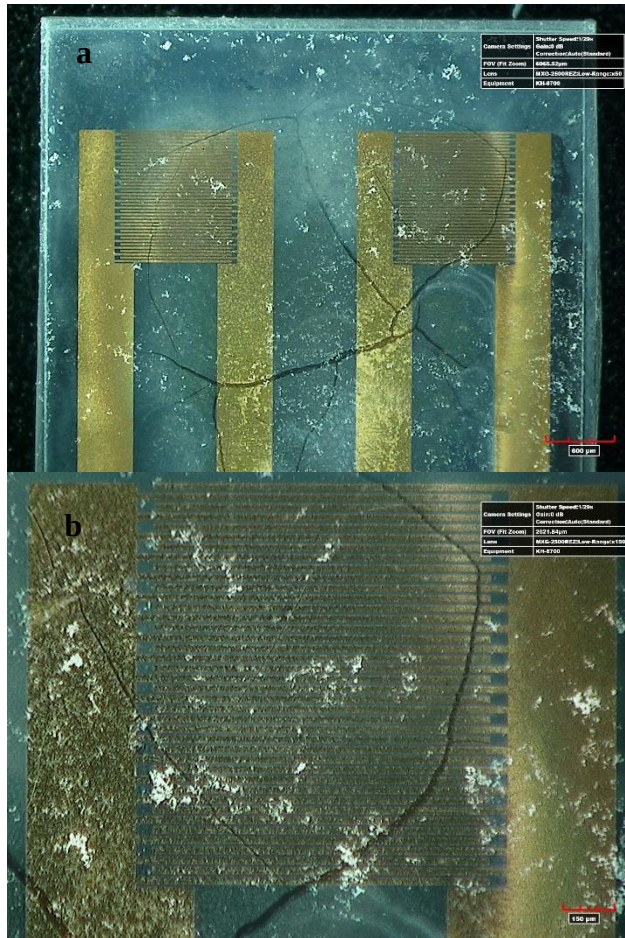
4.1 Hasil Uji Mikroskop Optik

ZnO *nanorods* secara makroskopik telah berhasil ditumbuhkan pada *interdigitated electrode arrays* menggunakan metode *hydrothermal* berdasarkan hasil uji mikroskop optik. ZnO *nanorods* diharapkan tumbuh pada sela-sela jari elektroda yang bertujuan untuk menghubungkan jari elektroda yang satu dengan yang lainnya sehingga elektron dapat mengalir. Ketebalan dan persebaran ZnO *nanorods* untuk masing-masing sampel dapat dilihat pada lampiran B. Pengujian dengan mikroskop optik ini belum bisa memperlihatkan ZnO *nanorods* karena ukurannya dalam skala nano sedangkan mikroskop optik hanya mampu melihat objek maksimum dengan skala mikro sehingga perlu dilakukan pengujian *scanning electron microscope* untuk mengetahui morfologi, ukuran diameter dan persebaran ZnO *nanorods*. **Gambar 4.1** merupakan hasil uji mikroskop optik untuk sampel ZnO *nanorods* tanpa *doping*.

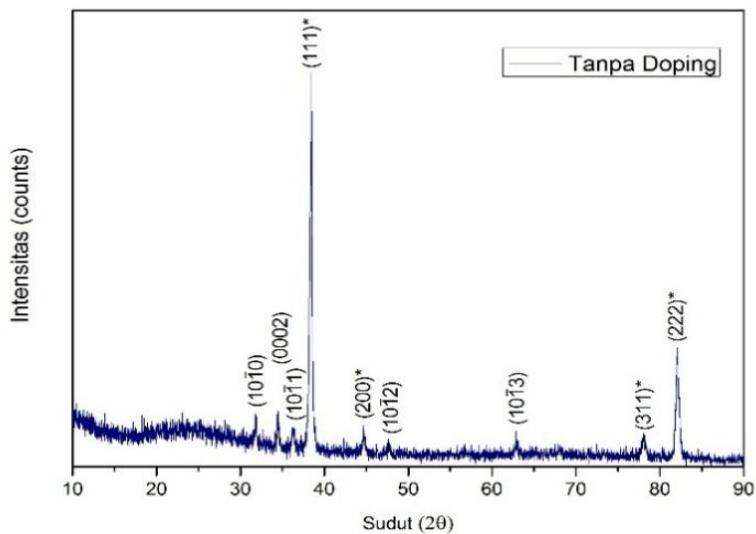
4.2 Hasil Uji XRD

Uji XRD (*XRay Diffractometry*) telah dilakukan pada sampel tanpa *doping*, *doping* Ce 3% dan 5% untuk mengetahui struktur kristal ZnO *nanorods* yang terbentuk didapatkan hasil bahwa intensitas puncak difraksi muncul pada sudut 2θ sama dengan $31,77^\circ$; $34,42^\circ$; $36,26^\circ$; $47,53^\circ$; $62,86^\circ$ yang masing-masing menunjukkan bidang kristal $(10\bar{1}0)$, (0002) , $(10\bar{1}1)$, $(10\bar{1}2)$, $(10\bar{1}3)$ sesuai standar JCPDS 36-1451 menunjukkan struktur kristal ZnO yang terbentuk adalah *wurtzite hexagonal*. Sedangkan untuk intensitas puncak difraksi lain yang muncul adalah milik Au sesuai dengan JCPDS 04-0784 yaitu pada 2θ sama dengan $38,2$ (111) ; $44,4$ (200) ; $77,6$ (311) ; $81,7$ (222) . Intensitas puncak difraksi Au lebih besar daripada ZnO, hal ini dikarenakan pengujian dilakukan pada sampel elektroda *interdigitated electrode arrays* bukan pada serbuk ZnO *nanorods* sehingga kristal Au pada sampel menjadi

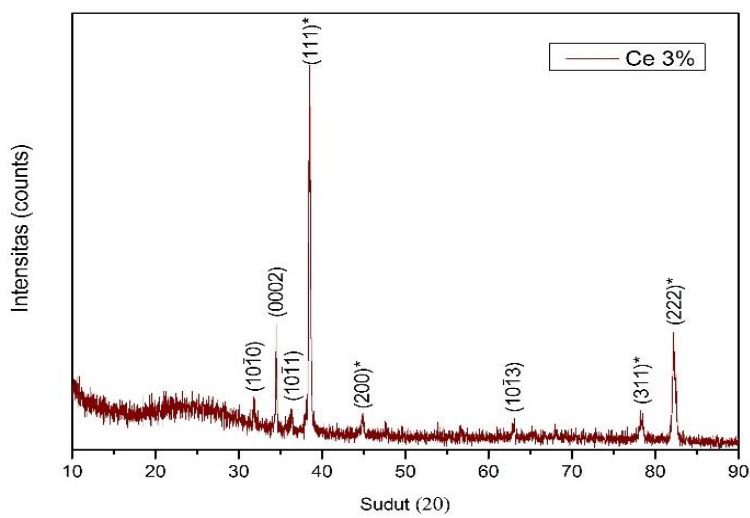
dominan dan menyebabkan intensitas (*count*) nya lebih tinggi. Intensitas puncak difraksi tersebut dapat dilihat sesuai dengan pengolahan hasil uji XRD yang disajikan pada **Gambar 4.2** untuk sampel *pure* ZnO, **Gambar 4.3** untuk sampel didoping cerium 3% dan **Gambar 4.4** untuk sampel didoping cerium 5%.



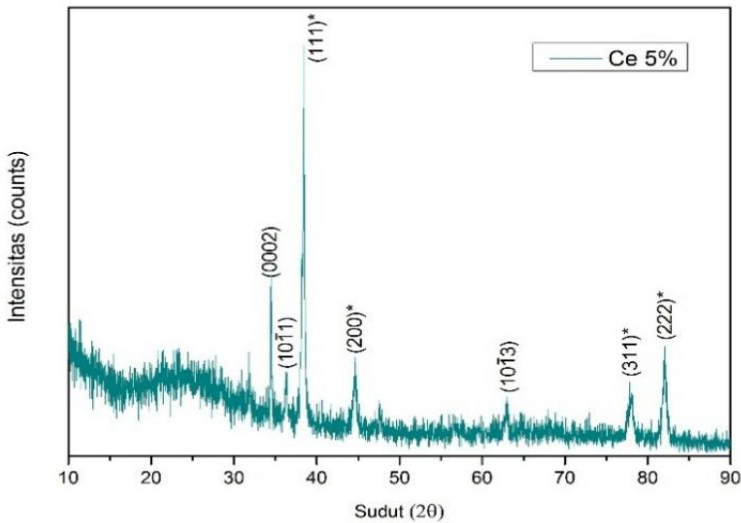
Gambar 4.1 Hasil uji mikroskop optik elektroda dengan sampel *pure* ZnO Nanorods (a.) elektroda (b.) perbesaran elektroda sebelah kanan



Gambar 4.2 Hasil uji XRD sampel *pure ZnO nanorods*



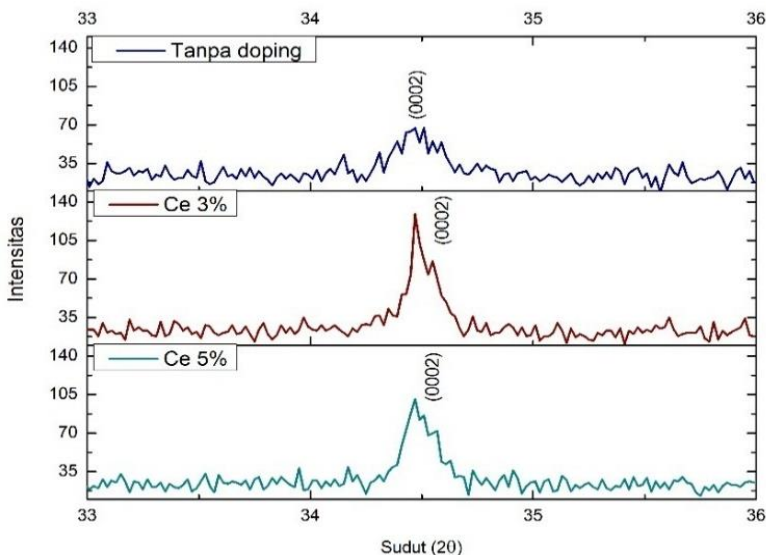
Gambar 4.3 Hasil uji XRD sampel *ZnO nanorods doping cerium 3%*



Gambar 4.4 Hasil uji XRD sampel ZnO *nanorods* doping cerium 5%

Hasil pengujian masing-masing sampel didapatkan perbedaan karakteristik antara sampel ZnO *nanorods* tanpa doping dan yang didoping *cerium*, untuk membandingkan karakteristik tersebut maka dibuatlah grafik seperti **Gambar 4.5**. Grafik tersebut tidak menunjukkan adanya puncak difraksi *cerium*, perbandingan karakteristik sampel dengan variasi doping (0%, 3% dan 5%) terlihat pada perubahan besar intensitas puncak difraksi. *Peaks* ZnO yang dominan muncul yaitu pada 2θ sama dengan $34,42^\circ$ dengan bidang kristal (0002), dimana berdasarkan referensi diketahui bahwa pemberian *doping cerium* menyebabkan pergeseran puncak difraksi ke sudut bawah hal ini disebabkan karena jari-jari atom Ce^{4+} lebih besar daripada Zn^{2+} yang diganti, yang akan mengarah ke kisi ZnO yang lebih besar. Menurut persamaan difraksi *Bragg* bahwa konstanta kisi adalah proporsional terhadap d (jarak antarplanar), puncak difraksi akan bergeser ke derajat yang lebih kecil dengan jari-jari atom yang semakin meningkat (Liu, 2016). Namun berdasarkan hasil

pengujian XRD yang dilakukan pada sampel menunjukkan fenomena yang berbeda bahwa penambahan *doping* justru menyebabkan pergeseran puncak difraksi ke sudut atas walaupun tidak secara signifikan, terlihat bahwa penambahan doping 3% memiliki intensitas puncak difraksi yang lebih tinggi dari pada penambahan doping 5%, hal ini dipengaruhi oleh besar konsentrasi impuritas pada sampel sehingga untuk penambahan dengan rentang konsentrasi tertentu bisa jadi menurunkan ataupun meningkatkan kristalinitas.

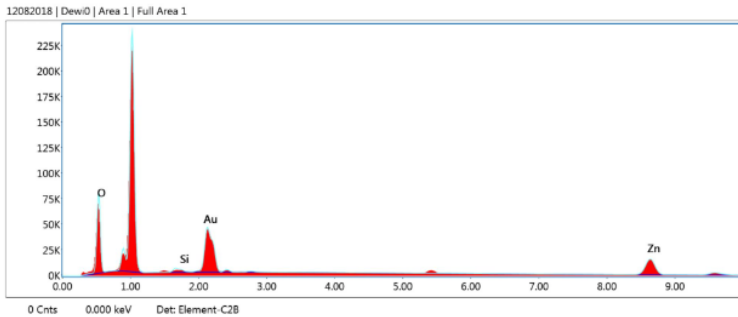


Gambar 4.5 Perbandingan intensitas peaks (0002) pada sampel Ce-doped ZnO nanorods (0%, 3% dan 5%)

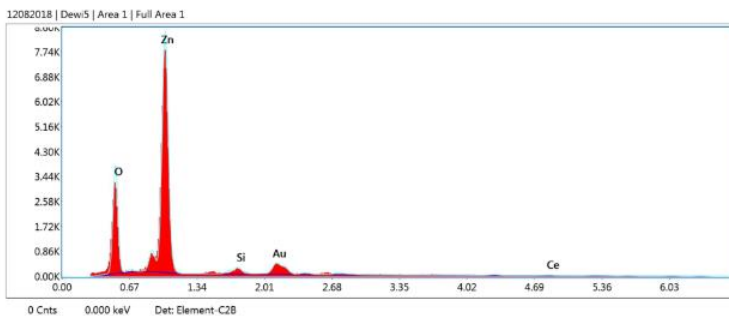
4.3 Hasil Uji EDX

Berdasarkan hasil uji XRD penambahan unsur *cerium* tidak menunjukkan adanya *peaks* baru pada ZnO nanorods sehingga untuk memastikan komposisi pada ZnO nanorods dan Ce-doped ZnO nanorods maka dilakukan pengujian EDX. Pengujian EDX

dilakukan pada sampel ZnO *nanorods* tanpa *doping* dan *doping cerium* 5%



Gambar 4.6 Hasil uji EDX sampel *pure ZnO nanorods*



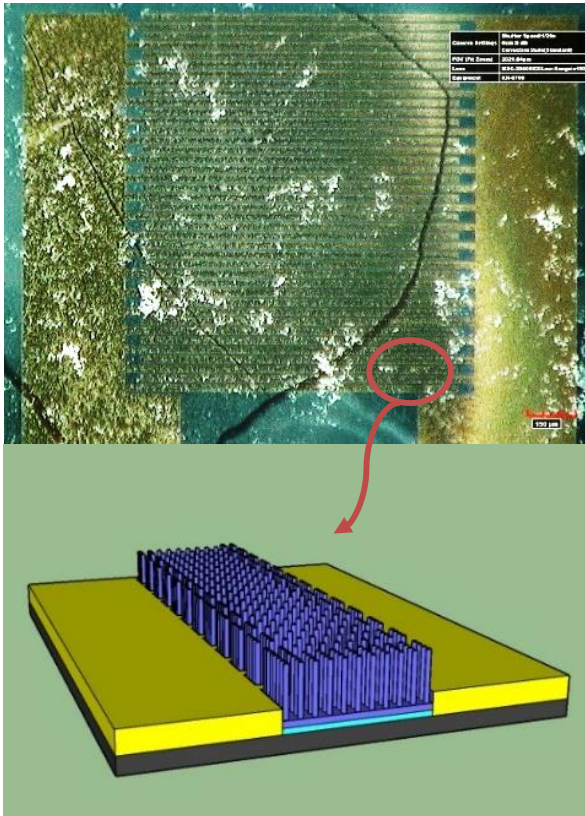
Gambar 4.7 Hasil uji EDX ZnO *nanorods doping* Ce 5%

Berdasarkan **Gambar 4.6** dapat dipastikan bahwa pada sampel *pure ZnO nanorods* terdapat unsur Zn , O , Au, Si sedangkan pada ZnO dengan *doping* Ce 5% sesuai **Gambar 4.7** terdapat unsur Zn, O, Au, Si dan Ce. Unsur Au dan Si merupakan material dari substrat *interdigitated electrode arrays*.

4.4 Hasil Uji SEM

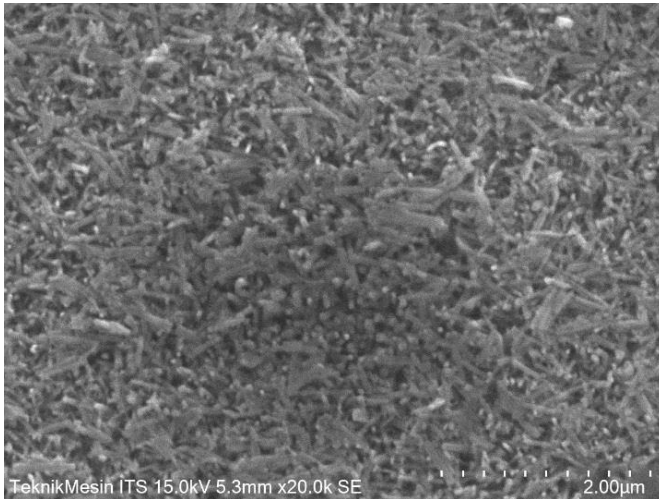
Penumbuhan ZnO *nanorods* bertujuan untuk menghubungkan jari-jari elektroda Au sehingga dapat mengalirkan elektron , ilustrasi penumbuhan ZnO *nanorods* ideal dapat dilihat pada

Gambar 4.8 yaitu pertumbuhan ZnO *nanorods* dengan arah tegak lurus susbtrat, ZnO *nanorods* tumbuh diatas *seed layer* dan menghubungkan jari-jari elektroda emas.

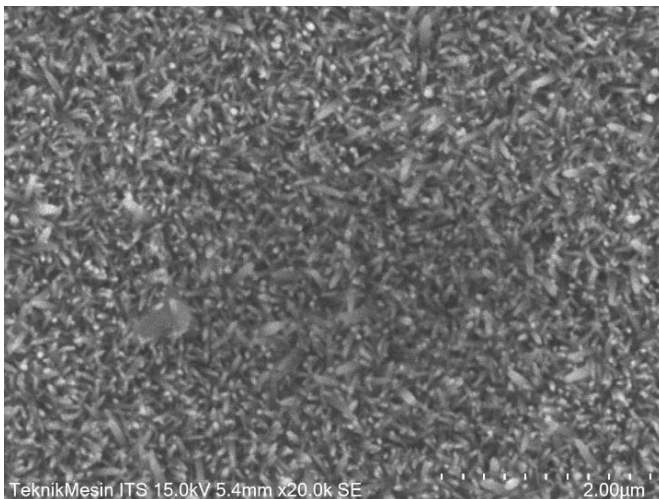


Gambar 4.8 Ilustrasi penumbuhan ZnO nanorods ideal

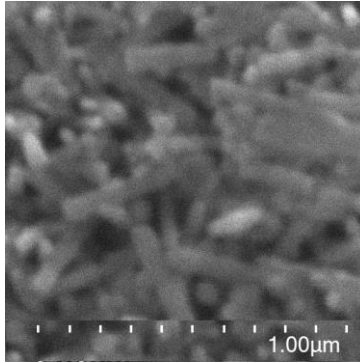
Untuk mengetahui morfologi ZnO *nanorods* yang ditumbuhkan pada sampel maka dilakukan pengujian SEM (*scanning electron microscope*). Pengujian ini hanya dilakukan pada sampel tanpa *doping* dan sampel *doping* Ce 5% dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan morfologi ZnO *nanorods* sebelum dan sesudah didoping *cerium*.



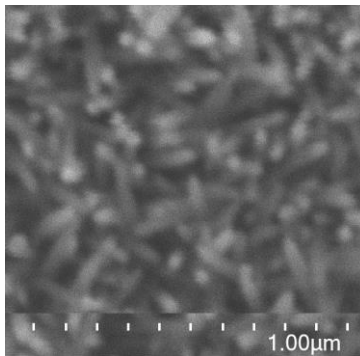
Gambar 4.9 Hasil uji SEM sampel *pure* ZnO *nanorods* perbesaran 20000x



Gambar 4.10 Hasil uji SEM sampel ZnO *nanorods* *doping* Ce 5% perbesaran 20000x



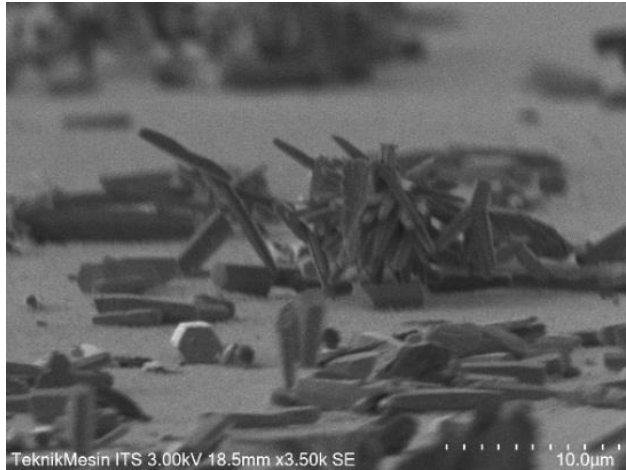
Gambar 4.11 Hasil uji SEM sampel *pure ZnO nanorods* perbesaran 50000x



Gambar 4.12 Hasil uji SEM sampel *ZnO nanorods doping Ce 5%* perbesaran 50000x

Hasil pengujian sampel dapat dilihat pada **Gambar 4.9** dan **Gambar 4.10** untuk hasil uji SEM perbesaran 20000x masing-masing untuk sampel tanpa *doping* dan *doping* Ce 5% menunjukkan pertumbuhan *nanorods* yang merata. Berdasarkan teori, pendopingan Ce pada ZnO *nanorods* akan mempengaruhi morfologinya dilihat dari ukuran diameter *nanorods*, sesuai hasil uji SEM dengan perbesaran gambar 50000x ditunjukkan pada **Gambar 4.11** dan **Gambar 4.12**, ZnO *nanorods* dengan *doping* Ce 5% memiliki ukuran yang lebih kecil daripada ZnO *nanorods*

tanpa doping. Seperti halnya pada teori, pendopongan unsur *cerium* pada ZnO *nanorods* menyebabkan ukuran *nanorods* semakin kecil, yang kemudian berakibat pada meningkatnya rasio volume sehingga dapat meningkatkan sensitivitas sensor.



Gambar 4.13 Hasil uji SEM sampel *pure ZnO nanorods* *cross section* perbesaran 3500x

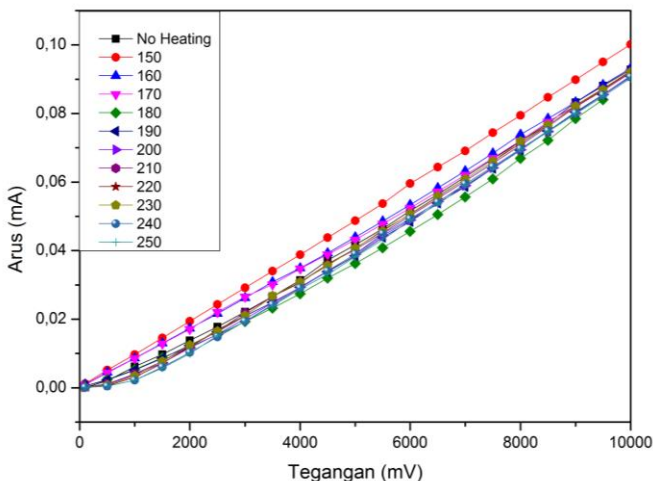
Kemudian untuk mengetahui arah pertumbuhan ZnO *nanorods*, dilakukan pengambilan gambar SEM dari arah *cross section*. Sampel yang diuji hanya *pure ZnO nanorods* untuk mewakili semua sampel, berdasarkan **Gambar 4.13** dapat diketahui bahwa arah pertumbuhan ZnO nanorods bervariasi, pengambilan gambar dilakukan pada daerah ujung elektroda bukan pada daerah jari-jari elektroda dikarenakan keterbatasan alat sehingga gambar yang didapatkan tidak cukup menggambarkan arah pertumbuhan *nanorods* secara menyeluruh.

4.5 Karakteristik Kurva I-V

Hasil uji kurva I-V menunjukkan karakteristik sifat listrik masing-masing sampel, pemanasan dengan variasi temperatur pada pengujian bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai arus

terhadap perubahan temperatur yang diberikan dimana berdasarkan teori adanya kenaikan temperatur akan berpengaruh pada kinerja sensor karena kenaikan temperatur akan mempengaruhi sambungan metal-semikonduktor (sambungan antara elektroda Au dan ZnO *nanorods*) dan tentunya akan mempengaruhi kinerja sensor terhadap gas CO.

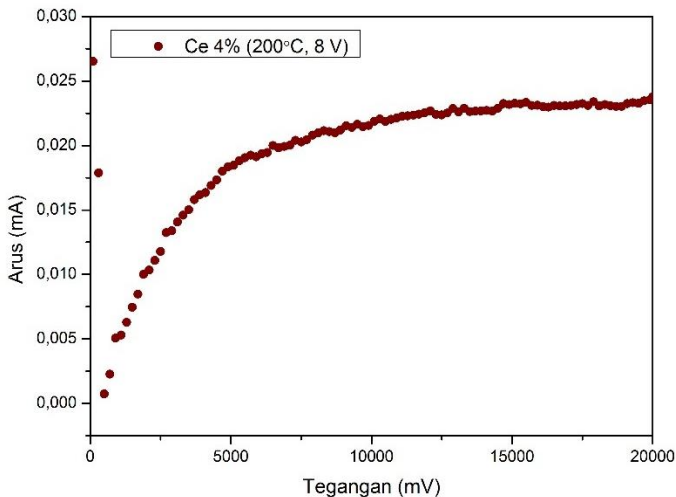
Kontak *metal-semiconductor* menghasilkan sambungan yang disebut *schottky barrier* dan *ohmic contact*. *Ohmic contact* terjadi jika *barrier* antara metal dan semikonduktor sangat kecil sehingga arus yang mengalir besar dan tidak terpengaruh oleh tegangan *drops*. Sedangkan kontak antara Au-ZnO membentuk suatu sambungan yang disebut *schottky contact/schottky barrier*, yaitu kontak antara metal dan semikonduktor yang menunjukkan adanya perbedaan penghalang di sambungannya dengan tegangan *cut-in* yang lebih rendah daripada PN *junction* (Zambuto, 1989). Dalam penelitian ini kontak metal-semikonduktor terjadi pada Au dan semikonduktor tipe n ZnO.



Gambar 4.14 Hasil uji I-V sampel *doping* 4%

Hasil uji kurva I-V semua sampel (Lampiran F) menunjukkan karakteristik yang sesuai dengan hukum ohm yaitu apabila

tegangan yang diberikan dinaikkan maka arus juga akan semakin besar dapat dilihat pada sampel *doping* Ce 4% (**Gambar 4.14**). Berdasarkan grafik kurva I-V temperatur pengujian optimal untuk semua sampel terjadi pada temperatur 150°C, hal tersebut berarti bahwa ketika sampel dioperasikan pada temperatur 150°C elektron yang mengalir pada elektroda semakin besar karena kenaikan temperatur menambah energi dan mempercepat gerak elektron dari pita valensi ke pita konduksi sehingga konduktivitas meningkat, kemudian kurva I-V tersebut menunjukkan bahwa memang benar terjadi kontak antara metal dan semikonduktor yaitu kontak *Schottky* yang dapat dilihat lebih jelas pada **Gambar 4.15**

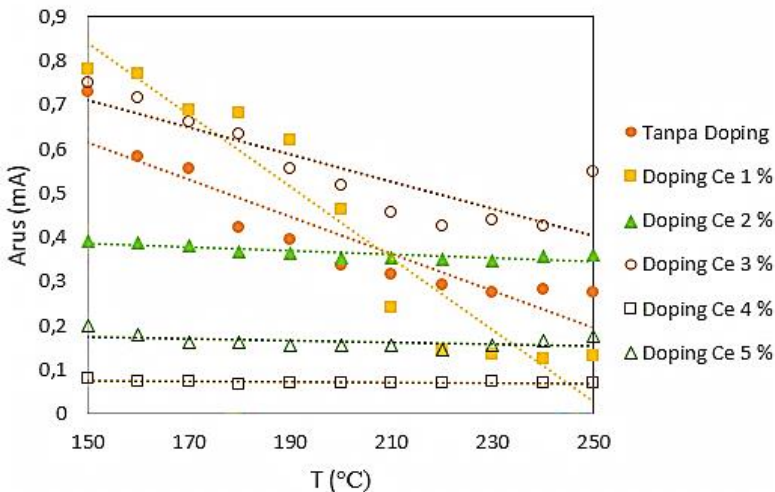


Gambar 4.15 *Schottky contact* pada sambungan M-S sampel Ce 4%

Schottky contact memiliki tegangan *cut-in* yang lebih kecil dari pada sambungan PN, berdasarkan **Gambar 4.15** dapat diketahui adanya arus saturasi mulai tegangan 5 Volt yaitu arus jenuh ketika kenaikan tegangan yang diberikan mulai tidak berpengaruh. Hasil pengujian sampel lainnya dapat dilihat pada lampiran G-9.

4.6 Pengaruh Temperatur terhadap Kurva I-V

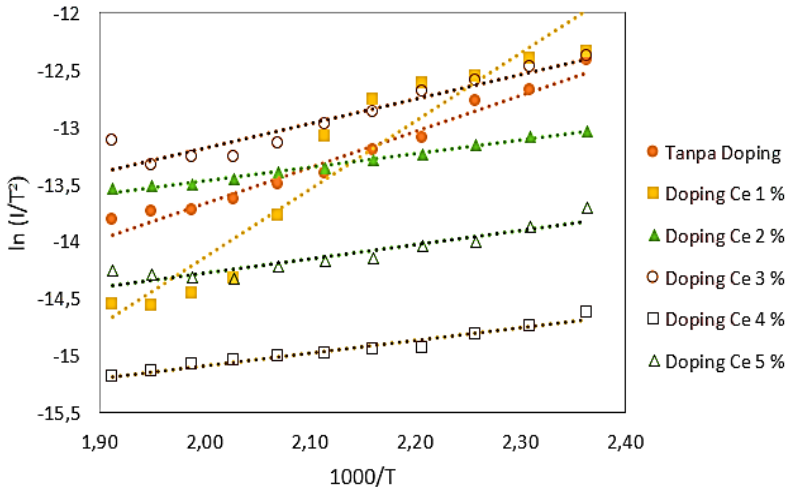
Berdasarkan grafik hubungan arus terhadap temperatur bahwa penambahan konsentrasi *doping cerium* menyebabkan sampel semakin tidak terpengaruh terhadap peningkatan temperatur ditunjukkan pada **Gambar 4.16** kurva di *trendline* secara linier namun ketika konsentrasi *cerium* dinaikkan menjadi 4% dan 5% tren garis semakin tidak linier yang berarti bahwa sampel tersebut tidak terpengaruh dengan perubahan temperatur yang diberikan.



Gambar 4.16 Perubahan nilai arus terhadap kenaikan temperatur pada tegangan 8V

Perubahan nilai arus terhadap peningkatan temperatur yang diberikan dapat diketahui berdasarkan *Richardson's plot*. Besar arus dipengaruhi oleh tegangan yang diberikan dan berubah terhadap temperatur, hal ini disebabkan karena performansi dan stabilitas dari *schottky contact* pada sampel dipengaruhi oleh formasi antara M-S, dan *inhomogenitas*. *Schottky contact* berdasarkan teori emisi termionik menunjukkan penurunan tinggi penghalang dengan penurunan suhu. (J.M. Dhimmar, 2016).

Richardson's plot dibuat berdasarkan persamaan (2.4), untuk hasil pengujian dengan tegangan 8 Volt ditunjukkan pada **Gambar 4.17** sedangkan untuk pengujian pada 2 Volt dan 5 Volt dilampirkan pada lampiran F-4.



Gambar 4.17 *Richardson's plot* pada tegangan 8 V

Grafik pada **Gambar 4.17** dapat dibuat persamaan garis dan didapatkan nilai gradien, *intercept* dan R^2 sesuai pada **Tabel 4.1**, nilai gradien dikalikan dengan k ($8,617 \times 10^{-5}$ eV) menunjukkan besar *barrier height* sedangkan *intercept* nya menunjukkan konstanta *Richardson* (A^*). Setiap sampel menunjukkan nilai yang berbeda-beda, yang berarti bahwa karakteristik sampel juga berbeda-beda, hal tersebut menunjukkan bahwa *pendopingan cerium* cukup berpengaruh pada karakteristik sampel. Semua sampel menunjukkan adanya peningkatan temperatur berpengaruh pada besarnya *barrier height* sehingga menyebabkan nilai arus mengecil. Hal tersebut dapat dijelaskan berdasarkan teori yang menyebutkan bahwa penurunan nilai arus saat temperatur tinggi adalah karena pembentukan wilayah *chemisorption* di mana molekul oksigen teradsorpsi di permukaan oksida logam dan

menjebak elektron. Dalam rentang suhu rendah, molekul oksigen secara fisik teradsorpsi di permukaan, namun pada temperatur operasi tinggi, oksigen yang diserap menerima elektron bebas dari pita konduksi ZnO dan diubah menjadi ion oksigen. Ion-ion oksigen ini (O^{2-} dan O^-) meningkatkan resistansi karena menyebabkan *bending* dalam pita dan menciptakan penghalang permukaan serta penipisan elektron (Kashif, 2013).

Tabel 4.1 Besaran-besaran pada *Richardson's Plot*

Pada tegangan 2 V			
Sampel	Gradien	Intercept	R^2
Ce 0%	2,5321	-20,043	0,8622
Ce 1%	3,3285	-21,529	0,9591
Ce 2%	1,1752	-17,226	0,9865
Ce 3%	1,9656	-18,49	0,8841
Ce 4%	2,2513	-21,436	0,9268
Ce 5%	1,1467	-17,942	0,7199
Pada tegangan 5 V			
Sampel	Gradien	Intercept	R^2
Ce 0%	2,8365	-19,804	0,9285
Ce 1%	5,099	-24,587	0,9155
Ce 2%	1,1817	-16,316	0,9887
Ce 3%	2,072	-17,791	0,8941
Ce 4%	1,2733	-18,221	0,9052
Ce 5%	1,1489	-17,086	0,7532
Pada tegangan 8 V			
Sampel	Gradien	Intercept	R^2
Ce 0%	3,1492	-19,96	0,9696
Ce 1%	5,9644	-26,069	0,9107
Ce 2%	1,182	-15,832	0,9897
Ce 3%	2,1555	-17,496	0,9066
Ce 4%	1,1031	-17,298	0,9579
Ce 5%	1,2347	-16,743	0,8713

Nilai ketinggian *barrier* dapat dilihat pada **Tabel 4.2**. tinggi *barrier* didapatkan berdasarkan persamaan (2.4), nilai tinggi *barrier* yang didapatkan sangat kecil yang berarti bahwa *barrier* tersebut tidak cukup untuk menghalangi elektron, sehingga sambungan yang terjadi memiliki nilai *cut-in schottky contact* terlalu kecil dan hampir mendekati *ohmic contact*.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Tinggi *Barrier* Sampel

Konsentrasi <i>Doping Ce (%)</i>	Ketinggian <i>Barrier</i> (10^{-4} eV)		
	2 Volt	5 Volt	8 Volt
0	2,18	2,45	2,71
1	2,87	4,40	5,14
2	1,02	1,02	1,02
3	1,70	1,78	1,86
4	1,94	1,09	0,948
5	0,991	0,991	1,06

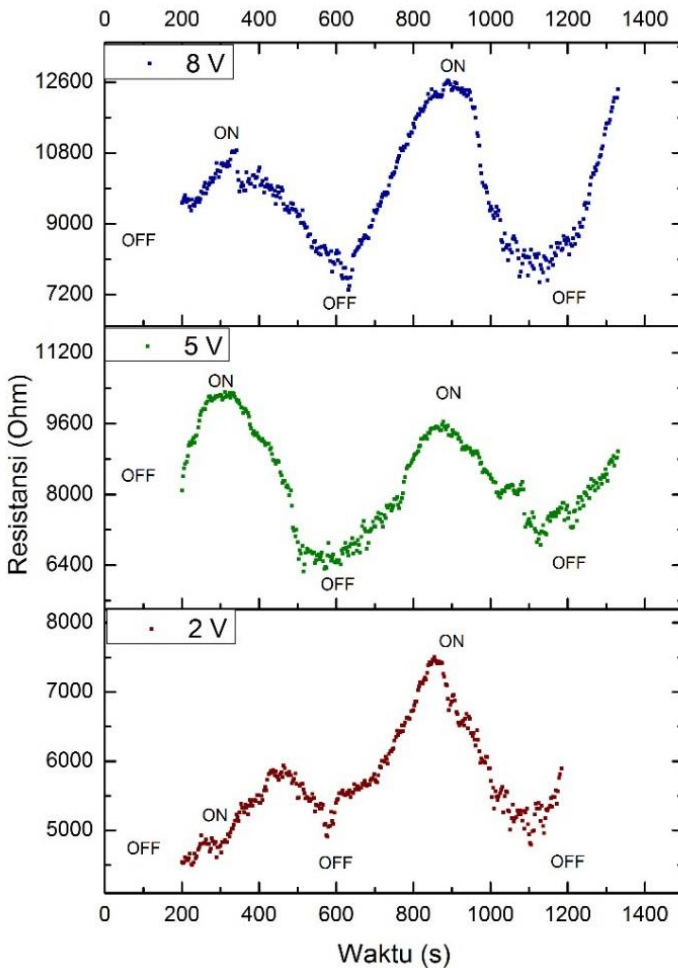
4.7 Karakteristik Respon Gas CO

Pengujian respon gas CO dilakukan dengan pemanasan sampel pada temperatur 150°C, 180°C, 200°C dan 220°C yang ternyata sampel merespon dengan baik pada temperatur 200°C sehingga variasi pengujian dipersempit pada temperatur 200°C saja dengan variasi tegangan sumber 2V, 5V, dan 8V. Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian dapat dibuat grafik respon untuk semua sampel (dapat dilihat pada lampiran G).

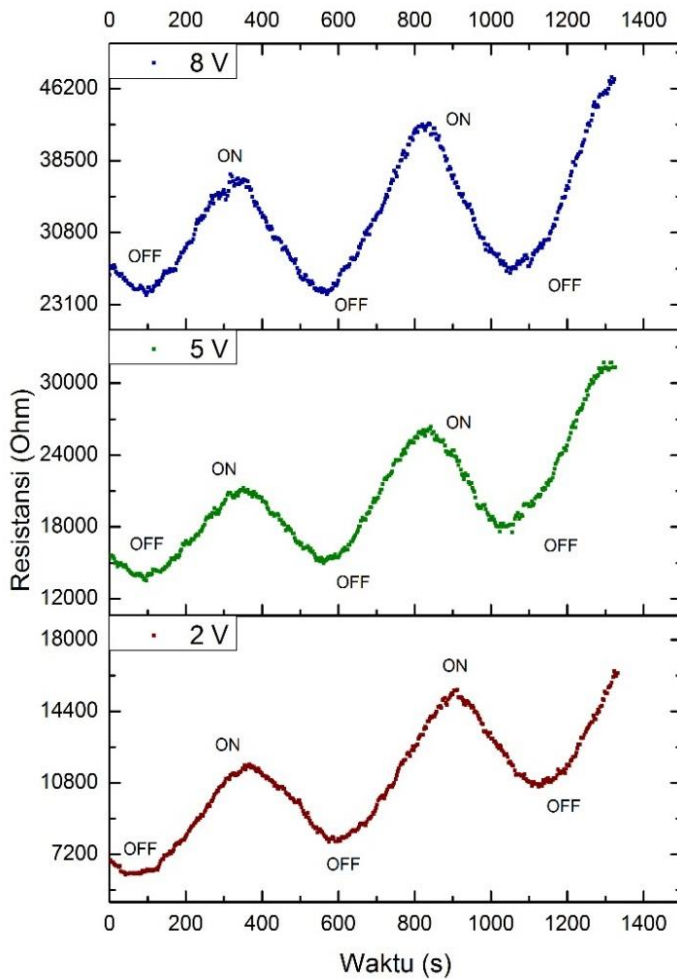
Gambar 4.18 dan **Gambar 4.19** masing-masing menunjukkan respon pada sampel tanpa doping dan doping Ce 3%, dapat dilihat bahwa respon pada sampel doping Ce 3% lebih stabil di setiap tegangan dibandingkan sampel tanpa doping. Berdasarkan grafik respon tersebut dapat dicari nilai sensitivitas menggunakan persamaan (3.3).

Tabel 4.3 menunjukkan nilai sensitivitas terbesar yaitu 1,6 dan 1,55 masing-masing pada sampel Ce 4% dan Ce 3% dengan tegangan sumber 8 V, hal ini sesuai dengan hasil uji kurva I-V dan

XRD yang menunjukkan keunggulan pada sampel Ce 3% yang memiliki kristalinitas paling tinggi, sedangkan untuk doping Ce 4% tidak dilakukan pengujian XRD tetapi diperkirakan memiliki kristalinitas yang tinggi juga sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.



Gambar 4.18 Respon gas CO perubahan resistansi terhadap waktu untuk sampel tanpa doping



Gambar 4.19 Respon gas CO perubahan resistansi terhadap waktu untuk sampel doping Ce 3%

Sampel Ce 2% dan Ce 4% pada tegangan 2 V dan 5 V mengalami *delay respon* 200 sekon dan Ce 5% tidak menunjukkan adanya respon ketika dialiri gas CO pada semua tegangan yang

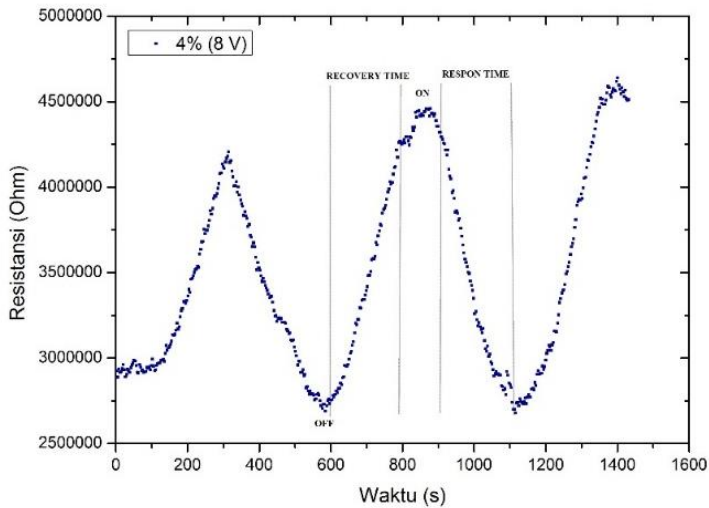
diberikan, hal ini kemungkinan disebabkan oleh keadaan sampel yang mulai berubah akibat faktor lingkungan dan pengujian-pengujian yang dilakukan sebelumnya. *Respon time* dan *recovery time* pada sampel dapat diketahui berdasarkan grafik **Gambar 4.20**, berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai *respon time* dan *recovery time* sampel Ce 4% pada 8 V sebesar 200 sekon atau sekitar 3,3 menit.

Tabel 4.3 Nilai Sensitivitas Sampel terhadap Gas CO

Konsentrasi <i>Doping Cerium</i> (%)	Sensitivitas		
	2 Volt	5 Volt	8 Volt
0	1,49	1,46	1,49
1	1,23	1,4	1,48
2	1,5	1,36	1,23
3	1,47	1,46	1,55
4	1,32	1,22	1,6
5	0	0	0

Mekanisme *sensing ZnO nanorods* dapat dijelaskan bahwa ketika *ZnO nanorods* dialiri gas CO (ON) resistansinya akan menurun sehingga menyebabkan konduktivitas meningkat namun ketika aliran gas CO dimatikan (OFF), resistansi *ZnO nanorods* akan meningkat kembali. Hal ini terjadi karena ketika *ZnO nanorods* terpapar udara molekul oksigen akan terserap pada permukaan *ZnO* untuk menghasilkan oksigen *chemisorbed* (O_2^- , O^- , O^{2-}) yang dapat menangkap elektron pada pita konduksi sehingga mengurangi konduktivitas *nanorods* (resistivitas meningkat). Kemudian ketika *ZnO nanorods* dialiri gas CO pada temperatur tertentu gas CO tersebut bereaksi dengan molekul oksigen yang ada di permukaan *ZnO nanorods* sehingga menyebabkan konsentrasi oksigen menurun, hal ini diikuti dengan melepasnya elektron pada pita konduksi *ZnO* dan menyebabkan konduktivitas meningkat (resistivitas menurun). Mekanisme ini juga bergantung pada temperatur operasi yaitu kenaikan temperatur meningkatkan

kereaktifan molekul oksigen sehingga dapat meningkatkan sensitivitas namun jika temperatur dinaikkan terlalu banyak justru dapat menyebabkan sensitivitas menurun karena desorpsi semua molekul oksigen teradsorpsi sebelumnya terjadi lagi (Shao-Lin Zhang, 2012).



Gambar 4.20 *Respon dan recovery time*

BAB V

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Sampel dengan intensitas puncak kristal ZnO (0002) yang paling tinggi dimiliki oleh sampel *doping cerium* 3%
- Penambahan konsentrasi doping Ce menyebabkan ukuran *nanorods* mengecil
- Nilai sensitivitas yang paling besar terjadi pada tegangan 8 Volt yaitu untuk sampel Ce 4% sebesar 1,60
- Kenaikan temperatur pengujian secara umum menyebabkan penurunan nilai arus yang dihasilkan dengan tren linier
- Kenaikan temperatur pengujian berpengaruh pada meningkatnya tinggi *barrier*. Nilai tinggi *barrier* sangat kecil ($0,948 \cdot 10^{-4} - 5,14 \cdot 10^{-4}$ eV) menunjukkan sambungan *schottky* mendekati sambungan *ohmic*

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. d. (2008). Review: Karakterisasi Nanomaterial. *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi* Vol. 2, No. 1, ISSN 1979-0880.
- Admin. (2016, Mei 11). *Belajar Elektronika*. Dipetik Agustus 19, 2018, dari Belajar Elektronika All Rights Reserved: <http://belajarelekttronika.net/rangkaian-pembagi-tegangan-dan-arus-bercabang>
- Asghar, M. (2013). Electrical characterization of Au/ZnO/Si Schottky. *J. Phys*, 439 012030.
- Bednarek, P. (2009). Forming Methods and Properties of Final Element. *Ceramic Materials*(Warsaw University of Technology : Division of Inorganic Technology and Ceramic).
- Bhuiyan, A. (1988). A Richardson Plot For Non Ideal Schottky diodes. *Thin Solid Film*, 93-100.
- Chi-Jung Chang, n. C.-Y.-K.-H. (2014). Ce-doped ZnO nanorods based low operation temperature NO₂ gas sensors. *Ceramics International*, 10867–10875.
- Chu, D. H. (2009). Growth and Electrical Properties of ZnO Films Prepared by Chemical Bath Deposition Methods. *Wiley InterScience: Phys. Status Solidi A* 206, No. 4, 718-723.
- Chunqiao Gea, C. X. (2007). Preparation and gas-sensing properties of Ce-doped. *Materials Science and Engineering B* 137, 53-58.
- Copa B J, P. C. (2004). *Appl. Phys.*, 92 5886.
- Cska, A. (2016, Oktober). *Physics*. Diambil kembali dari The band diagram of a p-n and metal semiconductor junctions: <https://physics.stackexchange.com/questions/287272/the-band-diagram-of-a-p-n-and-metal-semiconductor-junctions>
- Dangge Gao, L. L. (2017). Multifunctional cotton fabric loaded with Ce doped ZnO. *Accepted Manuscript*.
- E. Omotoso, W. F. (2015). "The influence of high energy electron irradiation on the Schottky barrier height and the

- Richardson constant of Ni/4H-SiC Schottky diodes. *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 39, pp. 112-118.
- Espitia, P. J. (2012). Zinc Oxide Nanoparticles: Synthesis, Antimicrobial Activity. *Food Bioprocess Technol*, 1447-1464.
- Feng, Z. C. (2012). *Handbook of Zinc Oxide and Related Materials : Volume One, Materials*. Florida : CRC Press.
- Frestika, M. (2017). *Pengaruh variasi waktu penumbuhan ZnO rods berbasis hidrotermal di atas permukaan mikrokantilever*. Universitas Negeri Jakarta.
- Grover, W. H. (1999). Interdigitated Array Electrode Sensors: Their Design, Efficiency, and Applications. *Trace: Tennessee Research and Creative Exchange*.
- H.-S. Choi, M. V.-H.-B. (2012). Growth of high aspect ratio ZnO nanorods by solution process: effect of polyethyleneimine. *Journal of solid state chemistry*, 25-33.
- J. Lang, Q. (2010). Fabrication and optical properties of Ce-doped ZnO nanorods. *J.Appl.Phys*, 107.
- J. Zhang, D. G. (2012). Study on synthesis and optical properties of ZnO hierarchical nanostructure by hydrothermal method. *Internal Journal of Material and Mechanical Engineering 1*, 38-43.
- J.B. Shim, H. C.-O. (2011). Rapid hydrothermal synthesis of zinc oxidenanowires by annealing methods on seed layers. *Journal of Nanomaterials*, <http://dx.doi.org/10.1155/2011/582764> (article ID 582764).
- J.M. Dhimmarr, H. D. (2016). Analysis of the Inhomogeneous Barrier in In/p-Si Schottky Contact and Modified Richardson Plot. *Journal of nano and electronic physics*, Vol 8 No 2.
- Jinghai Yang a, b. M. (2008). Low-temperature growth and optical properties of Ce-doped ZnO nanorods. *Applied Surface Science*, 2646–2650.

- Kashif, M. (2013). Impact of hydrogen concentrations on the impedance spectroscopic behavior of Pd-sensitized ZnO nanorods. *Nanoscale Research Letters*, 8:68.
- Khairul Anuar Wahida, b. W. (2013). Effect of seed annealing temperature and growth duration on hydrothermal ZnO nanorod structures and their electrical characteristics. *Applied Surface Science*, 7.
- Kim, K. U. (2014). Structural Properties of Zinc Oxide Nanorods Grown on Al-Doped Zinc Oxide Seed Layer and Their Applications in Dye-Sensitized Solar Cells. *Open Access Materials*, 2522-2533.
- Li H L, Z. Z. (2013). Optical and structural analysis of rare earth and Li. *Journal of Alloys and Compounds*, 550: 526-530.
- Liu, Y. J. (2016). Influence of Ce doping on optoelectronic and sensing properties of electrospun ZnO nanofibers. *Royal society of chemistry*, Hal 4-5 DOI: 10.1039/x0xx00000x.
- Maddu, A. B. (2006). Struktur dan Sifat Optik Film ZnO Hasil Deposisi dengan Teknik Spin-Coating Melalui Proses Sol-Gel. *Jurnal Sains Materi Indonesia Vol. 7, No. 3,ISSN: 1411-1098*, 85-90.
- Mahesh Soni, 1. T. (2016). GO/ μ -IDEs/p-Si Based Real Time Sensors for F- Detection in Natural Drinking Water.
- McCune, M. (2012). *Fundamental Study of The Fabrication of Zinc Oxide*. Georgia: SMARTech.
- Morrison, S. (1981). Semiconductor gas sensors. *Actuators B*, 329-341.
- Muhammad Amin 1, U. M. (2012). Synthesis of ZnO Nanostructures for Low Temperature CO and. *Sensors*, 13842-13851.
- Nidhi Sinhaa, b. G. (2014). Synthesis and enhanced properties of cerium doped ZnO nanorods. *CeramicsInternational*.
- Nugroho, P. (2004). Devais Mikroelektronika ZnO. (Yogyakarta : Teknik Elektro UGM).
- Rhoderick, P. E. (1982). Metal-semiconductor contacts. *IEE Proceedings I Solid State and Electron Devices*, 129. doi:10.1049/ip-i-1.1982.0001.

- S. Xu, Z. (2011). One-dimensional ZnO nanostructures :solution growth and functional properties. *Nano Res*, 1013-1098.
- Sang Kyoo Lima, *. S.-H. (2011). Preparation of ZnO nanorods by microemulsion synthesis and their application as. *Sensors and Actuators B* 160 , 94-98.
- Shao-Lin Zhang, J.-O. L.-S. (2012). Selective Growth of ZnO Nanorods and Its Gas Sensor Application. *IEEE SENSORS JOURNAL*, VOL. 12, NO. 11.
- Shawn C, B. J. (2008). *Appl. Phys.Lett*, 92 012103.
- Sugihartono, I. F. (2015). Room Temperature Photoluminescence Properties of ZnO Nanorods Grown by Hydrothermal . *International Symposium on Current Progress in Mathematics and Sciences*.
- Sugunan, A. W. (2006). Zinc Oxide Nanowires in Chemical Bath on Seeded Substrates: Role of Hexamine. Springer: J Sol-Gel. *Sci Techn* 39:49-56, DOI 10.1007/s10971-006-6969-y.
- Sumadiyasa, M. (2018). Determining Crystallite Size Using Scherrer Formula, Williamson-Hull Plot, and Particle Size with SEM. *Buletin Fisika Vol. 19* , 28-35.
- Sze, S. (2007). *Physics of semiconductor device*. Canada: John Wiley & Sons.
- Varshney, M. (2009). Interdigitated array microelectrodes based impedance biosensors. *Biosensors and Bioelectronics*, 2951–2960.
- Wagoner, J. V. (2015, 01 31). *Electronics: What is the difference between an ohmic contact and a rectifying contact?* Diambil kembali dari Quora: <https://www.quora.com/Electronics-What-is-the-difference-between-an-ohmic-contact-and-a-rectifying-contact>
- Y. J. Liu, H. (2016). Influence of Ce doping on optoelectronic and sensing properties of electrospun ZnO nanofibers. *The Royal Society of Chemistry*.

Zambuto, M. (1989). Metal-Semiconductor Junction. Dalam *Semiconductor Device* (hal. 244-246). Singapore: ISBN O-07-072700-7.

LAMPIRAN A SINTESIS ZNO NANORODS



Proses *dip coating* (pembuatan *seed layer*)



Larutan ZnO *nanorods* variasi doping cerium

A-2



Proses *stirrer* larutan ZnO *nanorods*



Perendaman sampel pada larutan ZnO *nanorods*



Proses hidrotermal



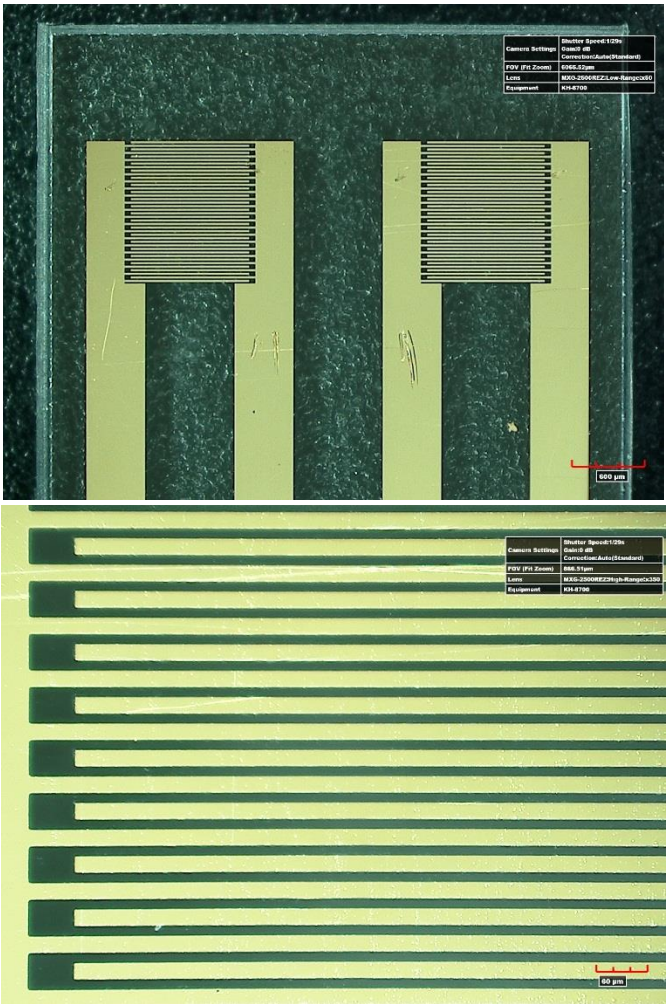
Sampel dimasukkan kedalam *furnace*

A-4

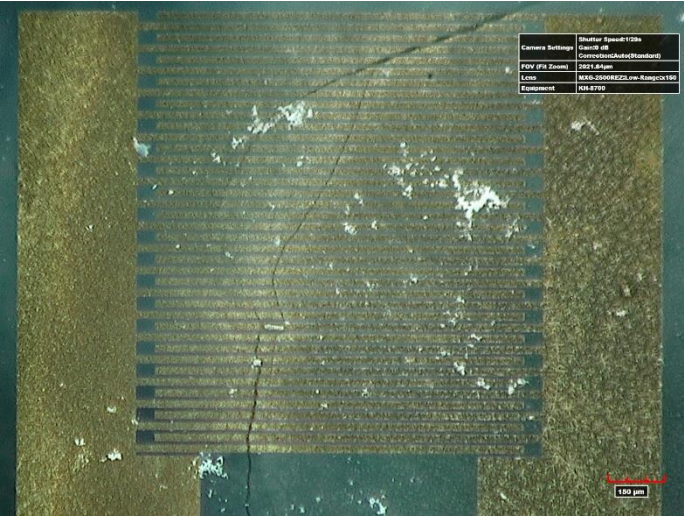


Sampel siap di karakterisasi

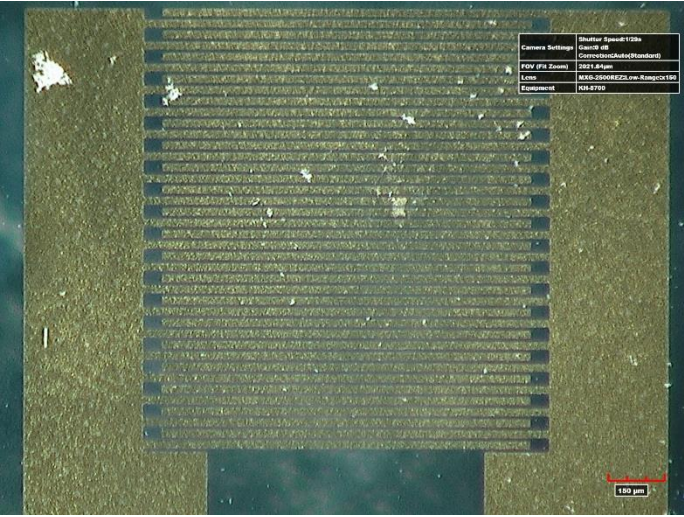
LAMPIRAN B
HASIL UJI MIKROSKOP OPTIK



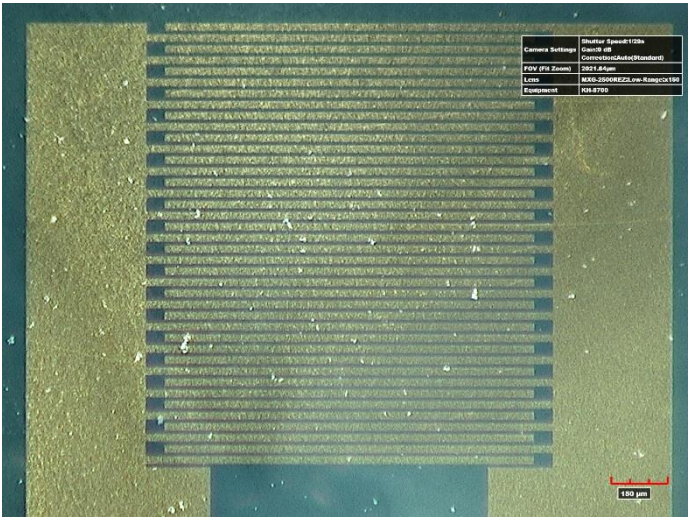
Interdigitated elctrode arrays



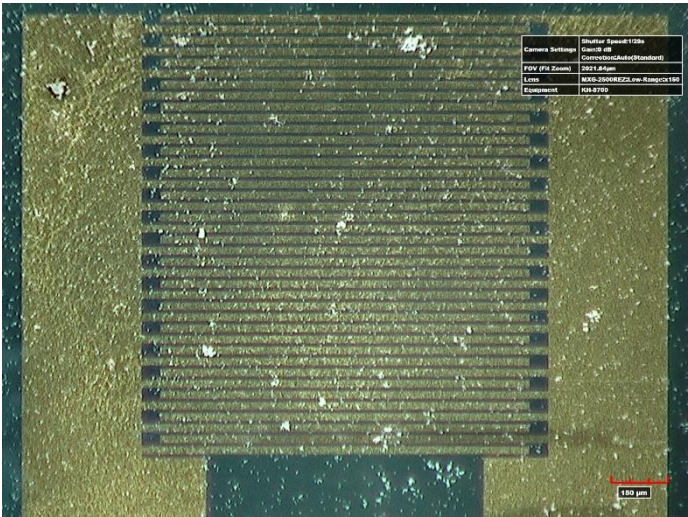
Sampel tanpa doping



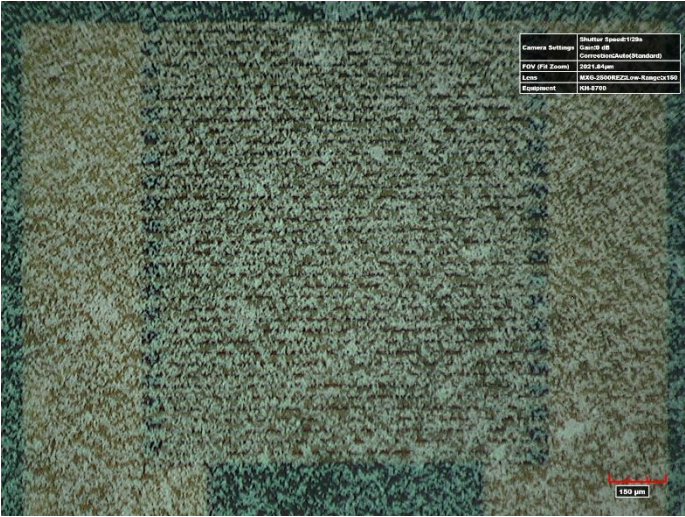
Sampel doping Ce 1%



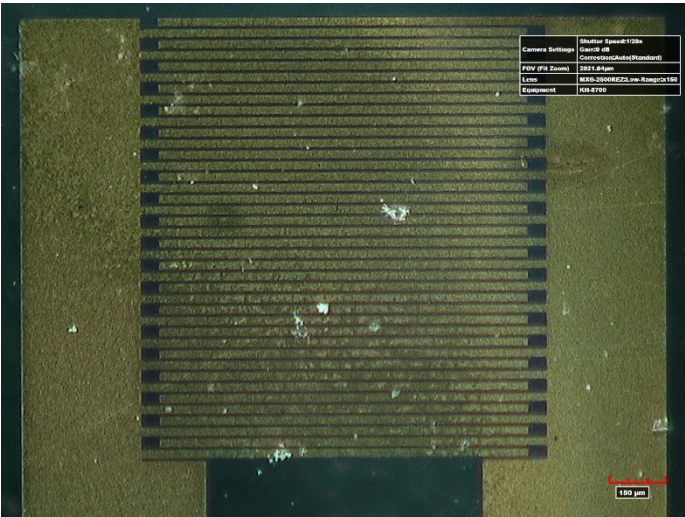
Sampel doping Ce 2%



Sampel doping Ce 3%



Sampel doping Ce 4%



Sampel doping Ce 5%

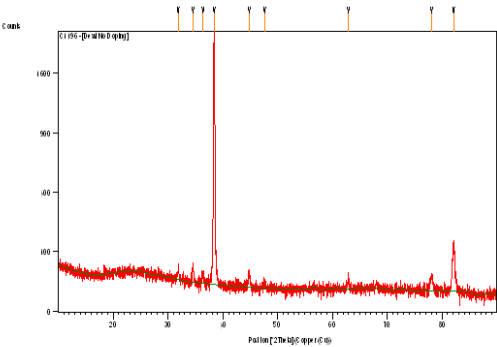
LAMPIRAN C
HASIL UJI XRD

Date: 10/24/2018 Time: 11:48:37 AM File: C1196 - [Dewi No Doping] User: State Univ of Malang

Anchor Scan Parameters

Dataset Name:	C1196 - [Dewi No Doping]
File name:	E:\XPerf\Data\2018\Won UM\ITS\Risya Indriani\C1196 - [Dewi No Doping].xrdml
Sample Identification:	C1196 - [Dewi No Doping]
Comment:	Theta (10-90) Configuration=Stage Flat Samples, Owner=User-1, Creation date=9/15/2009 2:20:30 PM Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001 Sample stage=PW3071/xx Bracket Diffractometer system=XPert-PRO Measurement program=Theta (10-90), Owner=User-1, Creation date=1/25/2018 8:59:22 AM 0.02 degree per min 45 min
Measurement Date / Time:	10/24/2018 9:44:07 AM
Operator:	State Univ of Malang
Raw Data Origin:	XRD measurement ("XRDML)
Scan Axis:	Gonio
Start Position ["2Th.]:	10.0100
End Position ["2Th.]:	89.9900
Step Size ["2Th.]:	0.0200
Scan Step Time (s):	0.7000
Scan Type:	Continuous
Offset ["2Th.]:	0.0000
Divergence Slit Type:	Fixed
Divergence Slit Size [":	0.9570
Specimen Length [mm]:	10.00
Receiving Slit Size [mm]:	0.1000
Measurement Temperature [°C]:	25.00
Anode Material:	Cu
K-Alpha1 [Å]:	1.54060
K-Alpha2 [Å]:	1.54443
K-Beta [Å]:	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio:	0.50000
Generator Settings:	35 mA, 40 kV
Diffractometer Type:	0000000011063758
Diffractometer Number:	0
Goniometer Radius [mm]:	240.00
Dist. Focus/Diverg. Slit [mm]:	91.00
Incident Beam Monochromator:	No
Spinning:	No

Graphics



Peak List

Date: 10/24/2018 Time: 11:48:37 AM

File: C1196 - [Dewi No Doping]

User: State Univ of Malang

Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing[$\text{\AA}$]	Rel. Int. [%]
31.8177	27.33	0.2362	2.81253	1.24
34.4775	37.58	0.1968	2.60141	1.70
36.3027	17.51	0.3149	2.47469	0.79
38.3373	2212.70	0.1378	2.34791	100.00
44.6910	22.81	0.2362	2.02776	1.03
47.6978	7.98	0.4723	1.90672	0.36
62.8892	11.25	0.4723	1.47781	0.51
78.0512	22.47	0.3936	1.22436	1.02
82.0629	121.19	0.2880	1.17339	5.48

Document History

Insert Measurement:

- File name = "C1196 - [Dewi No Doping].xrdml"
- Modification time = "10/24/2018 11:48:23 AM"
- Modification editor = "State Univ of Malang"

Default properties:

- Measurement step axis = "None"
- Internal wavelengths used from anode material: Copper (Cu)
- Original K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
- Used K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
- Original K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
- Used K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
- Original K-Beta wavelength = "1.39225"
- Used K-Beta wavelength = "1.39225"
- Dist. focus to div. slit = "91.00000"
- Irradiated length = "10.00000"
- Spinner used = "No"
- Linear detector mode = "None"
- Length linear detector = "2"
- Step axis value = "0.00000"
- Offset = "0.00000"
- Sample length = "10.00000"
- Modification time = "10/24/2018 11:48:23 AM"
- Modification editor = "State Univ of Malang"

Search Peaks:

- Minimum significance = "2.00"
- Minimum tip width = "0.01"
- Maximum tip width = "1.00"
- Peak base width = "2.00"
- Method = "Top of smoothed peak"
- Modification time = "4/17/2017 8:55:53 AM"
- Modification editor = "State Univ of Malang"

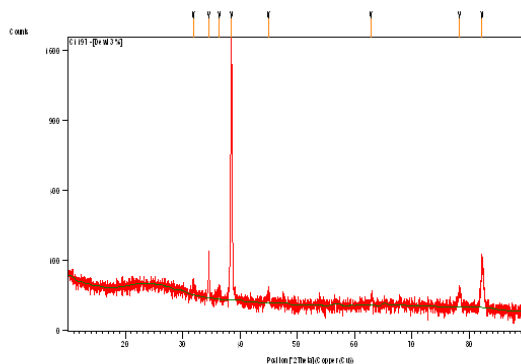
Date: 10/24/2018 Time: 11:49:02 AM

File: C1197 - [Dewi 3 %]

User: State Univ of Malang

Anchor Scan Parameters

Dataset Name: C1197 - [Dewi 3 %]
 File name: E:\XP\Pat Data\2018\Non UMNITS\Risa Indriani\C1197 - [Dewi 3 %].xrdml
 Sample Identification: C1197 - [Dewi 3 %]
 Comment: Theta (10-90)
 Configuration=Stage Flat Samples, Owner=User-1, Creation date=9/15/2009 2:20:30 PM
 Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta 0.001; Minimum step size Omega 0.001
 Sample stage=PW3071/xy Bracket
 Diffractometer system=KPERT-PRD
 Measurement program=Theta (10-90), Owner=User-1, Creation date=1/25/2018 8:59:22 AM
 0.02 degree/min 45 min
 Measurement Date / Time: 10/24/2018 10:40:16 AM
 Operator: State Univ of Malang
 Raw Data Origin: XRD measurement (*.XRDML)
 Scan Axis: Goni
 Start Position [°2Th.]: 10.0100
 End Position [°2Th.]: 89.9900
 Step Size [°2Th.]: 0.0200
 Scan Step Time [s]: 0.7000
 Scan Type: Continuous
 Offset [°2Th.]: 0.0000
 Divergence Slit Type: Fixed
 Divergence Slit Size [°]: 0.9570
 Specimen Length [mm]: 10.00
 Receiving Slit Size [mm]: 0.1000
 Measurement Temperature [°C]: 25.00
 Anode Material: Cu
 K-Alpha1 [Å]: 1.54060
 K-Alpha2 [Å]: 1.54443
 K-Beta [Å]: 1.39225
 K-A2 / K-A1 Ratio: 0.50000
 Generator Settings: 35 mA, 40 kV
 Diffractometer Type: 0000000011063758
 Diffractometer Number: 0
 Goniometer Radius [mm]: 240.00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]: 91.00
 Incident Beam Monochromator: No
 Spinning: No

Graphics**Peak List**

Date: 10/24/2018 Time: 11:49:02 AM

File: C1197 - [Dewi 3 %]

User: State Univ of Malang

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel.Int. [%]
31.8217	23.24	0.2362	2.81219	1.33
34.5054	77.70	0.1181	2.59937	4.44
36.3083	21.47	0.2362	2.47433	1.23
38.4260	1748.21	0.1378	2.34270	100.00
44.8681	19.63	0.2362	2.02017	1.12
62.8556	6.64	0.9446	1.47852	0.38
76.3032	18.15	0.4723	1.22105	1.04
82.2048	101.06	0.2400	1.17172	5.78

Document History**Insert Measurement:**

- File name = "C1197 - [Dewi 3 %].xdml"
- Modification time = "10/24/2018 11:48:51 AM"
- Modification editor = "State Univ of Malang"

Default properties:

- Measurement step axis = "None"
- Internal wavelengths used from anode material: Copper (Cu)
- Original K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
- Used K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
- Original K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
- Used K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
- Original K-Beta wavelength = "1.39225"
- Used K-Beta wavelength = "1.39225"
- Dist. focus to div. slit = "91.00000"
- Irradiated length = "10.00000"
- Spinner used = "No"
- Linear detector mode = "None"
- Length linear detector = "2"
- Step axis value = "0.00000"
- Offset = "0.00000"
- Sample length = "10.00000"
- Modification time = "10/24/2018 11:48:51 AM"
- Modification editor = "State Univ of Malang"

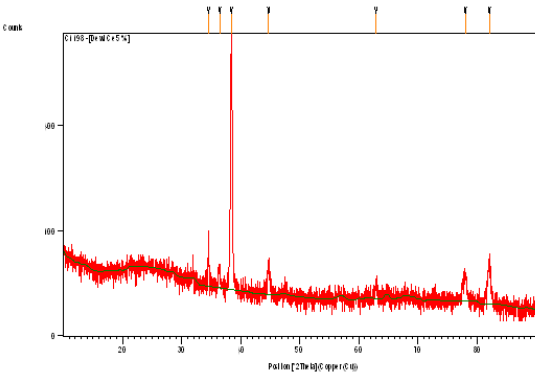
Search Peaks:

- Minimum significance = "2.00"
- Minimum tip width = "0.01"
- Maximum tip width = "1.00"
- Peak base width = "2.00"
- Method = "Top of smoothed peak"
- Modification time = "4/17/2017 8:55:59 AM"
- Modification editor = "State Univ of Malang"

Anchor Scan Parameters

Dataset Name: C1198 - [Dewi Ce 5 %]
File name: E:\XPerf Data\2018\Non UMNITS\Risa Indriani\C1198 - [Dewi Ce 5 %].xrdml
Sample Identification: C1198 - [Dewi Ce 5 %]
Comment: Theta (10-90)
Configuration=Stage Flat Samples, Owner=User-1, Creation date=9/15/2009 2:20:30 PM
Goniometer=Pw3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001
Sample stage=Pw3071/xx Bracket
Diffractometer system=X'PERT-PRO
Measurement program=Theta (10-90), Owner=User-1, Creation date=1/25/2018 8:59:22 AM
0.02 deg/rev in 45 min
Measurement Date / Time: 10/24/2018 11:45:18 AM
Operator: State Univ of Malang
Raw Data Origin: XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis: Gonio
Start Position [2Th.]: 10.0100
End Position [2Th.]: 89.9900
Step Size [2Th.]: 0.0200
Scan Step Time [s]: 0.7000
Scan Type: Continuous
Offset [2Th.]: 0.0000
Divergence Slit Type: Fixed
Divergence Slit Size [°]: 0.9570
Specimen Length [mm]: 10.00
Receiving Slit Size [mm]: 0.1000
Measurement Temperature [°C]: 25.00
Anode Material: Cu
K-Alpha1 [Å]: 1.54060
K-Alpha2 [Å]: 1.54443
K-Beta [Å]: 1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio: 0.50000
Generator Settings: 35 mA, 40 kV
Diffractometer Type: 0000000011063758
Diffractometer Number: 0
Goniometer Radius [mm]: 240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]: 91.00
Incident Beam Monochromator: No
Spinning: No

Graphics



Peak List

Date: 10/24/2018 Time: 2:35:11 PM

File: C1198 - [Dewi Ce 5 %]

User: State Univ of Malang

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
34.4894	67.51	0.1574	2.60054	8.46
36.3648	22.80	0.2755	2.47061	2.86
38.3620	798.25	0.1574	2.34646	100.00
44.6390	27.77	0.3936	2.03001	3.48
62.8850	9.34	0.4723	1.47790	1.17
78.0057	18.92	0.4723	1.22496	2.37
82.0366	45.04	0.4800	1.17370	5.64

Document History

Insert Measurement:

- File name = "C1198 - [Dewi Ce 5 %].cdt"
- Modification time = "10/24/2018 2:35:00 PM"
- Modification editor = "State Univ of Malang"

Default properties:

- Measurement step axis = "None"
- Internal wavelengths used from anode material: Copper (Cu)
- Original K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
- Used K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
- Original K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
- Used K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
- Original K-Beta wavelength = "1.39225"
- Used K-Beta wavelength = "1.39225"
- Dist. focus to div. slit = "91.00000"
- Irradiated length = "10.00000"
- Spinner used = "No"
- Linear detector mode = "None"
- Length linear detector = "2"
- Step axis value = "0.00000"
- Offset = "0.00000"
- Sample length = "10.00000"
- Modification time = "10/24/2018 2:35:00 PM"
- Modification editor = "State Univ of Malang"

Search Peaks:

- Minimum significance = "2.00"
- Minimum tip width = "0.01"
- Maximum tip width = "1.00"
- Peak base width = "2.00"
- Method = "Top of smoothed peak"
- Modification time = "4/17/2017 8:55:59 AM"
- Modification editor = "State Univ of Malang"

LAMPIRAN D
HASIL UJI EDAX

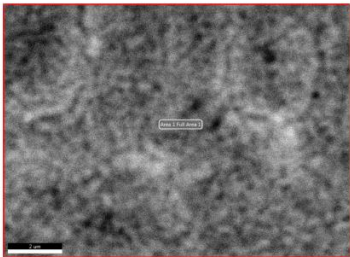
EDAX APEX

Page 1

12082018

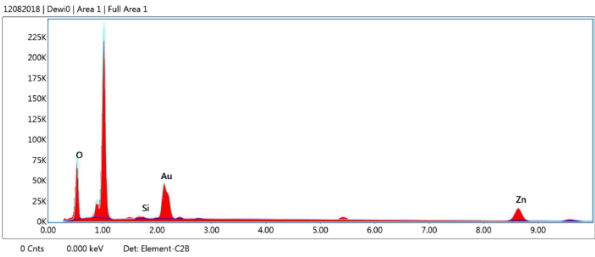
Author: Teknik Mesin FTI - ITS
Creation: 11/12/2018 1:41:14 PM
Sample Name: Dewi0

Area 1



Full Area 1

kV: 15 Mag: 10000 Takeoff: 30 Live Time(s): 200 Amp Time(μs): 3.84 Resolution(eV): 129.4



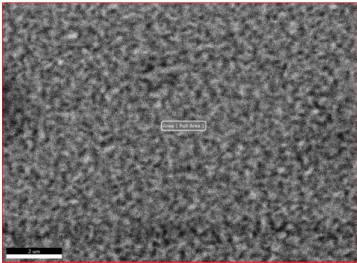
Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
O K	18.69	53.76	2380.38	8.11	0.0811	1.3276	0.3268	1.0000
SiK	0.51	0.84	99.70	8.47	0.0032	1.2111	0.5190	1.0009
AuM	24.44	5.71	1909.28	1.70	0.1891	0.7646	1.0091	1.0027
ZnK	56.36	39.69	1268.99	3.56	0.5577	0.9838	0.9942	1.0016

12082018

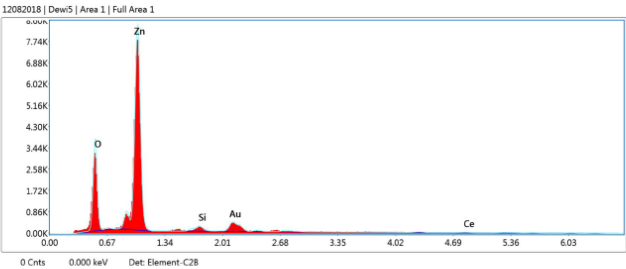
Author: Teknik Mesin FTI - ITS
Creation: 11/12/2018 1:48:54 PM
Sample Name: Dewi5

Area 1



Full Area 1

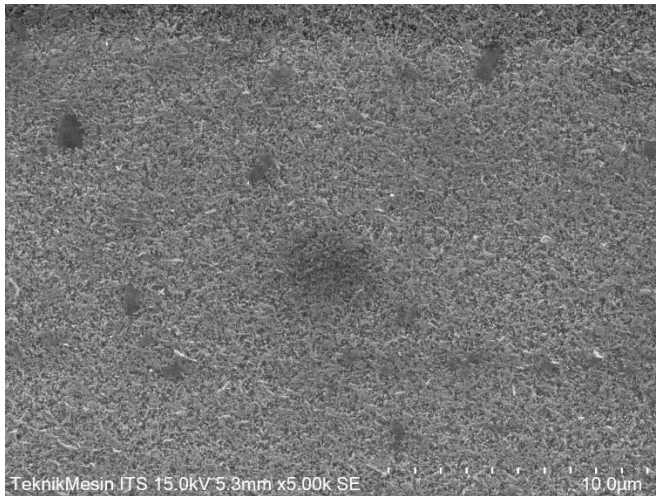
kV: 10 Mag: 10000 Takeoff: 30 Live Time(s): 200 Amp Time(μs): 3.84 Resolution:(eV) 129.4



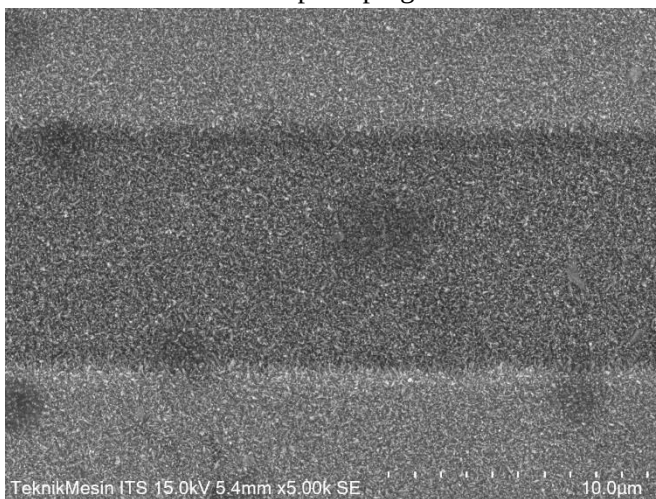
Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
O K	17.97	48.80	112.16	7.58	0.1208	1.3283	0.5061	1.0000
ZnL	69.25	46.03	220.82	3.52	0.5846	0.9570	0.8825	0.9995
SiK	1.61	2.48	9.00	11.89	0.0128	1.1946	0.6657	1.0008
AuM	8.67	1.91	16.73	8.05	0.0626	0.7077	1.0232	0.9980
CeL	2.51	0.78	1.10	50.02	0.0189	0.7333	1.0202	1.0050

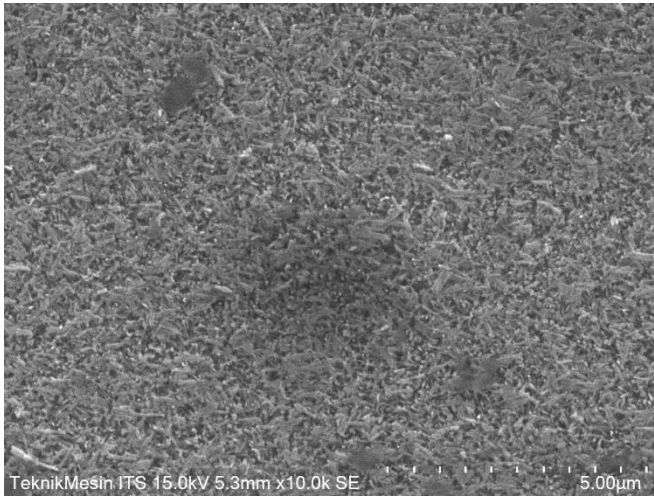
LAMPIRAN E HASIL UJI SEM



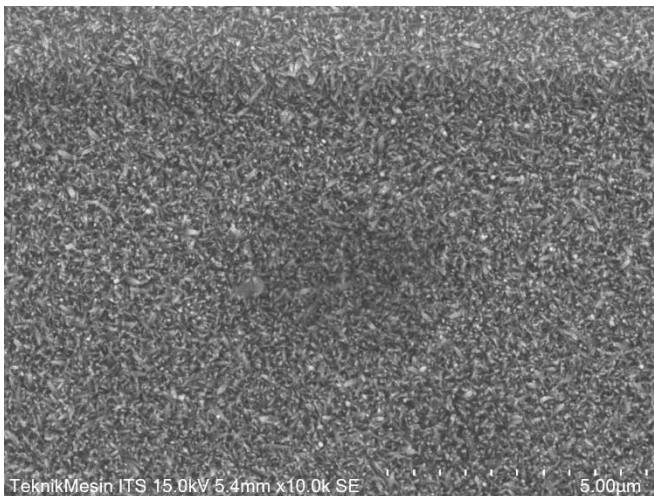
Tanpa doping



Doping Ce 5%



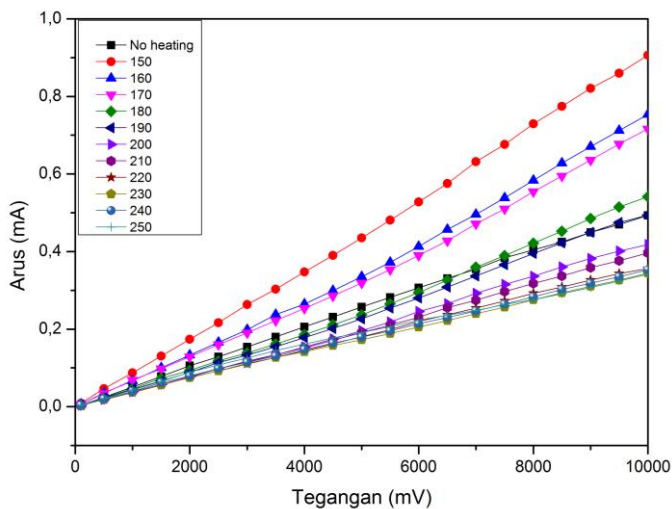
Tanpa doping



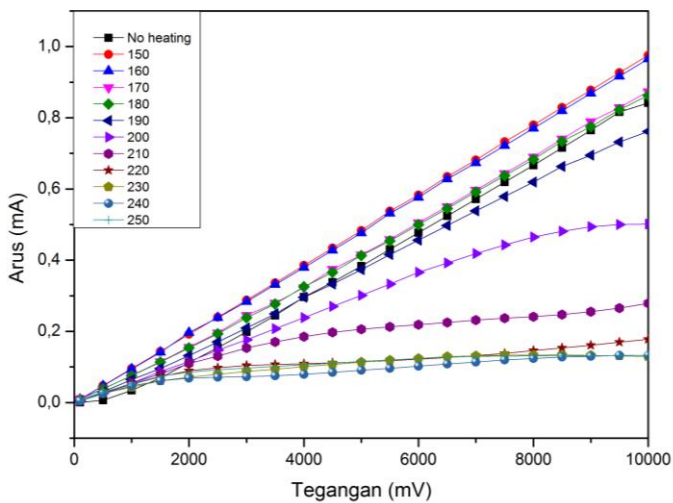
Doping Ce 5%

LAMPIRAN F

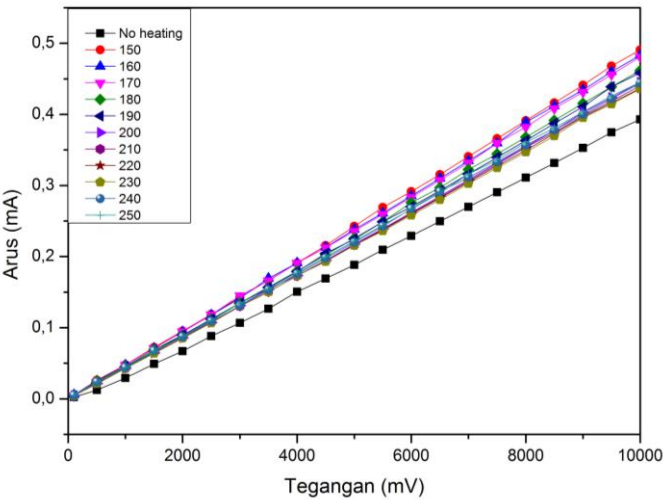
HASIL UJI I-V CURVE



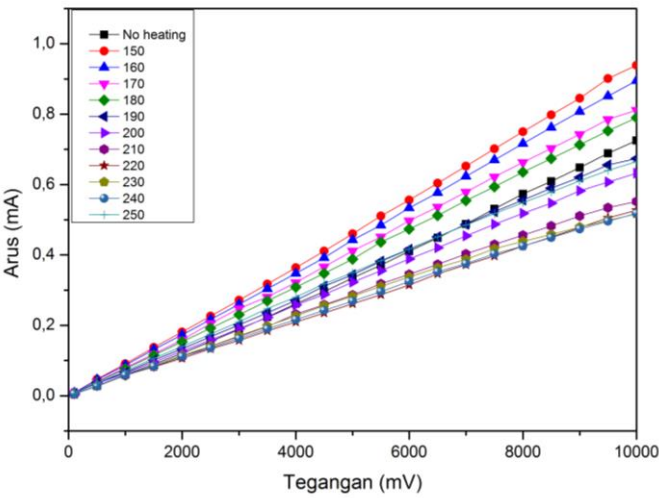
Tanpa doping



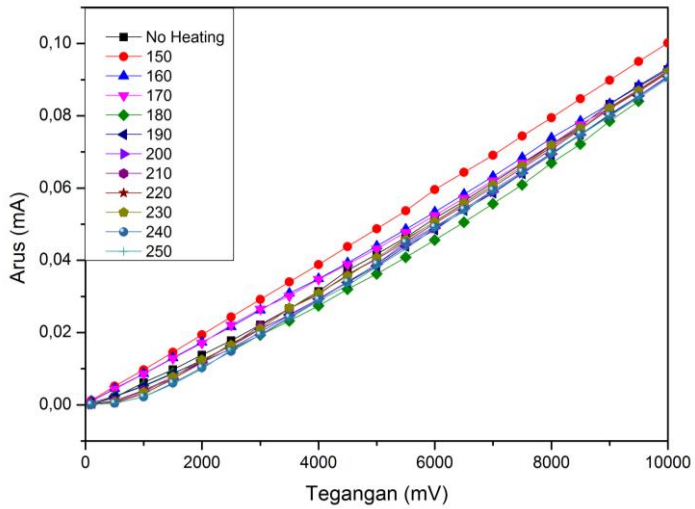
Doping Ce 1%



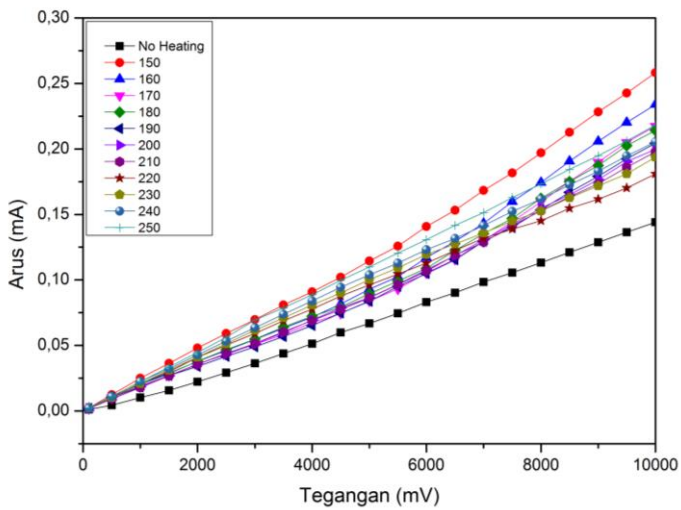
Doping Ce 2%



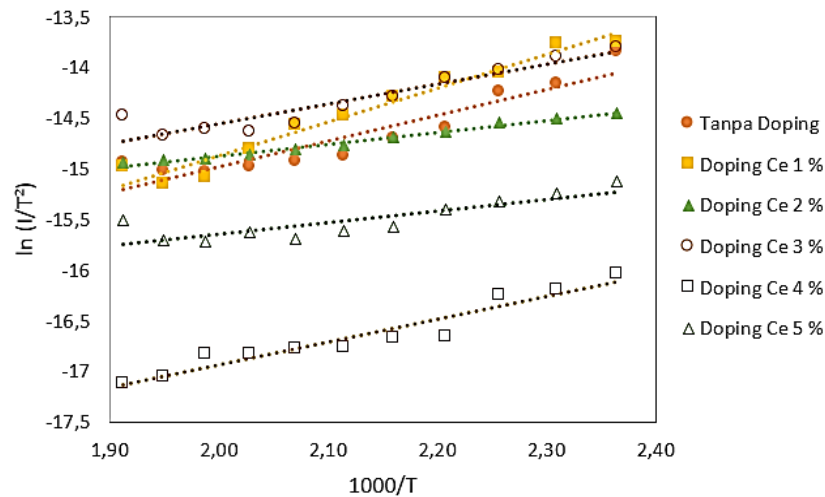
Doping Ce 3%



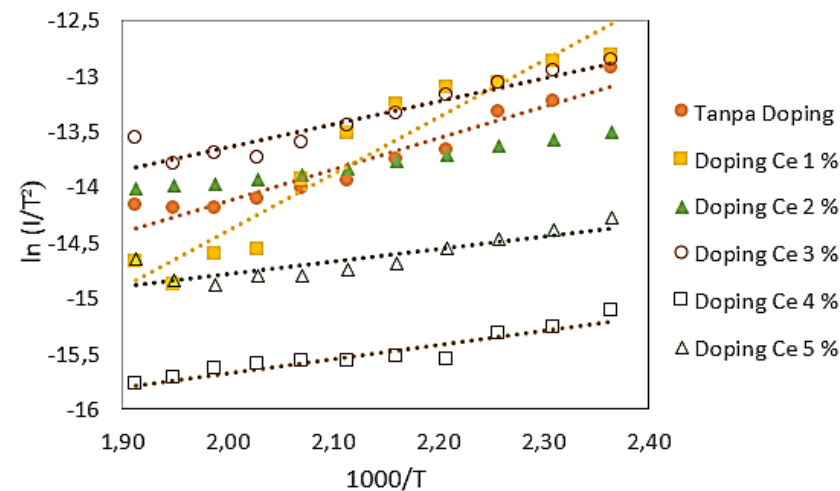
Doping Ce 4%



Doping Ce 5%



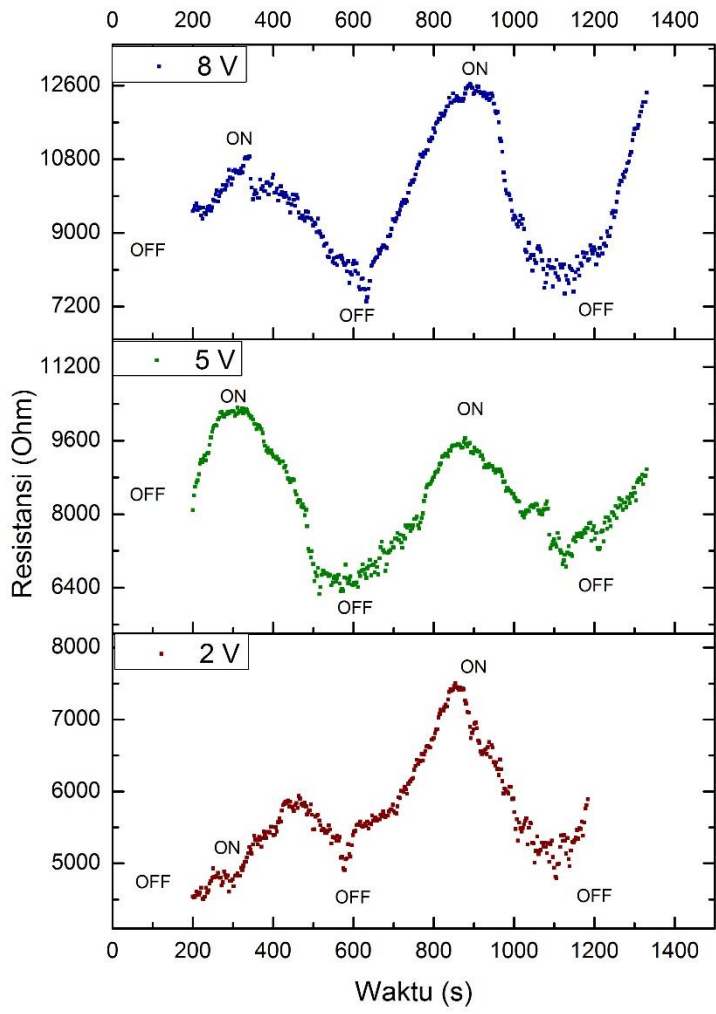
Richardson's plot pada tegangan 2 V



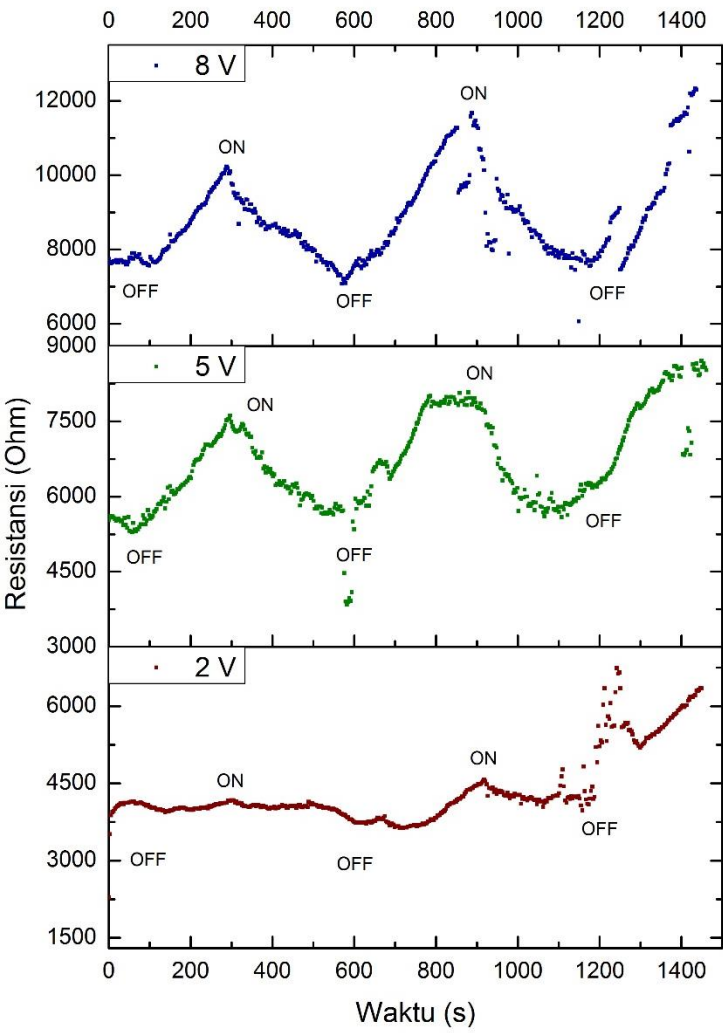
Richardson's plot pada tegangan 5 V

LAMPIRAN G
HASIL UJI RESPON GAS CO

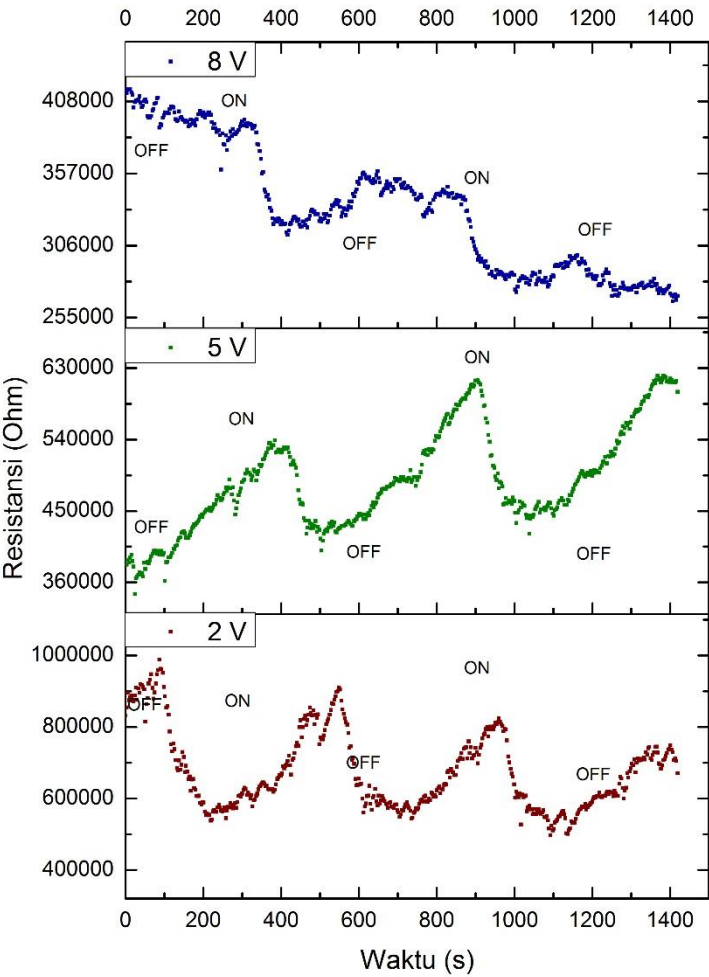
Tanpa doping



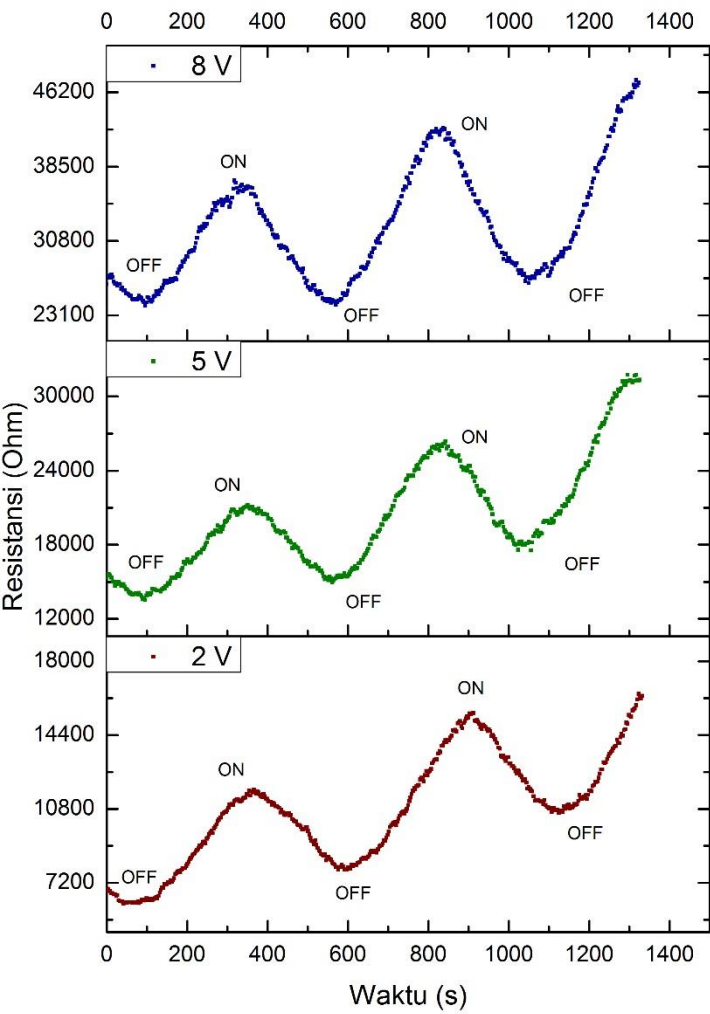
Doping Ce 1%



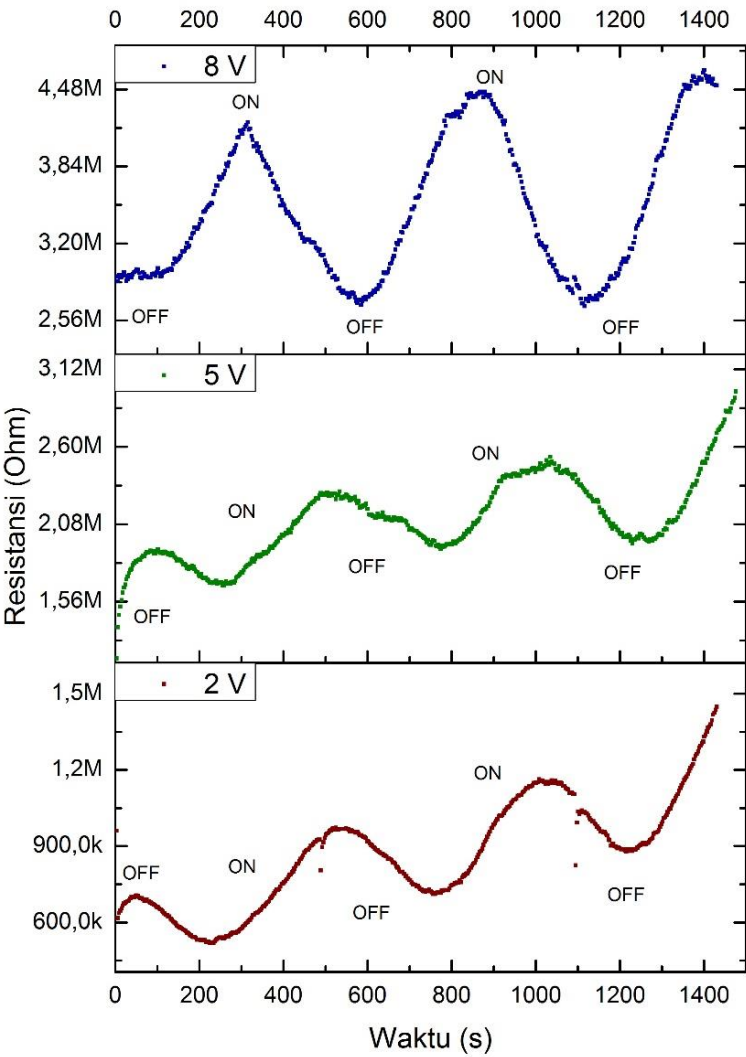
Doping Ce 2%



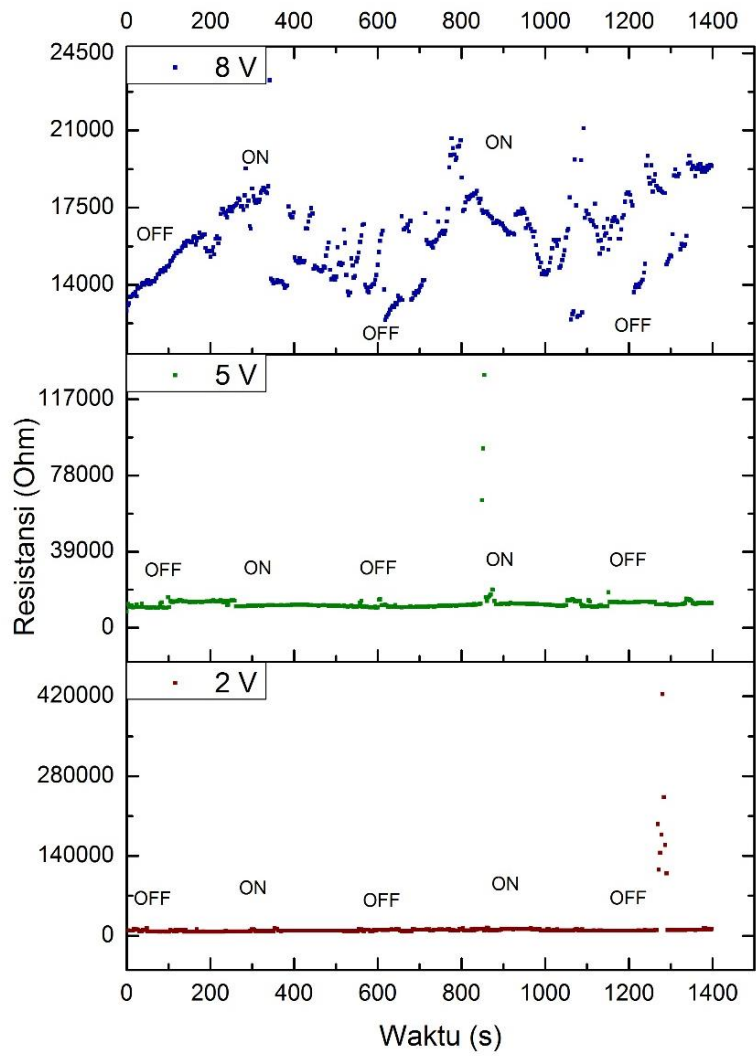
Doping Ce 3%

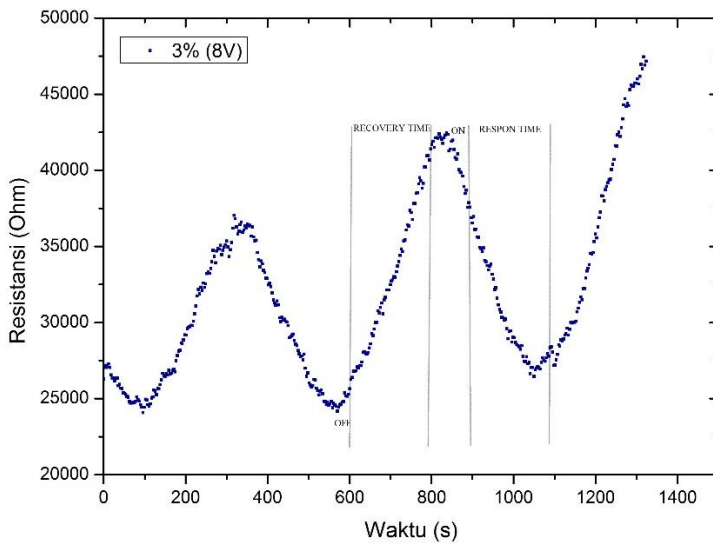
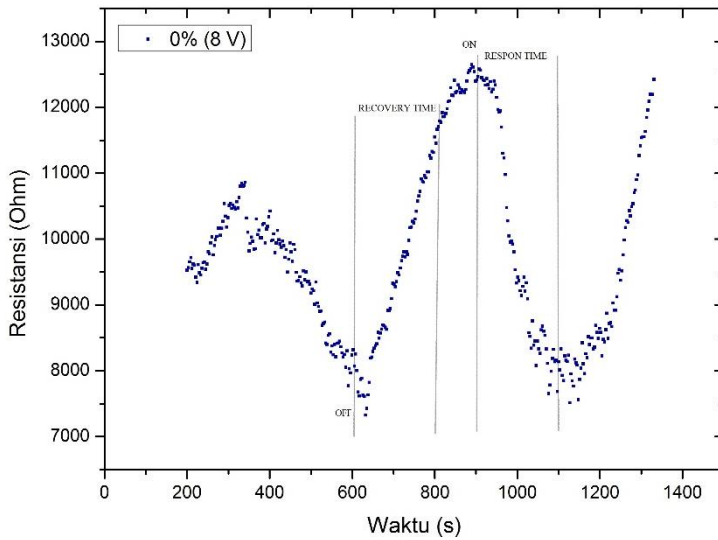


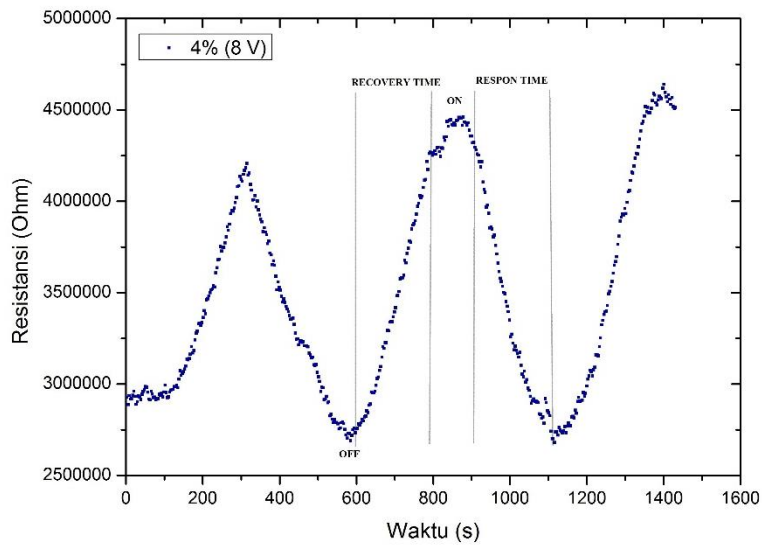
Doping Ce 4%

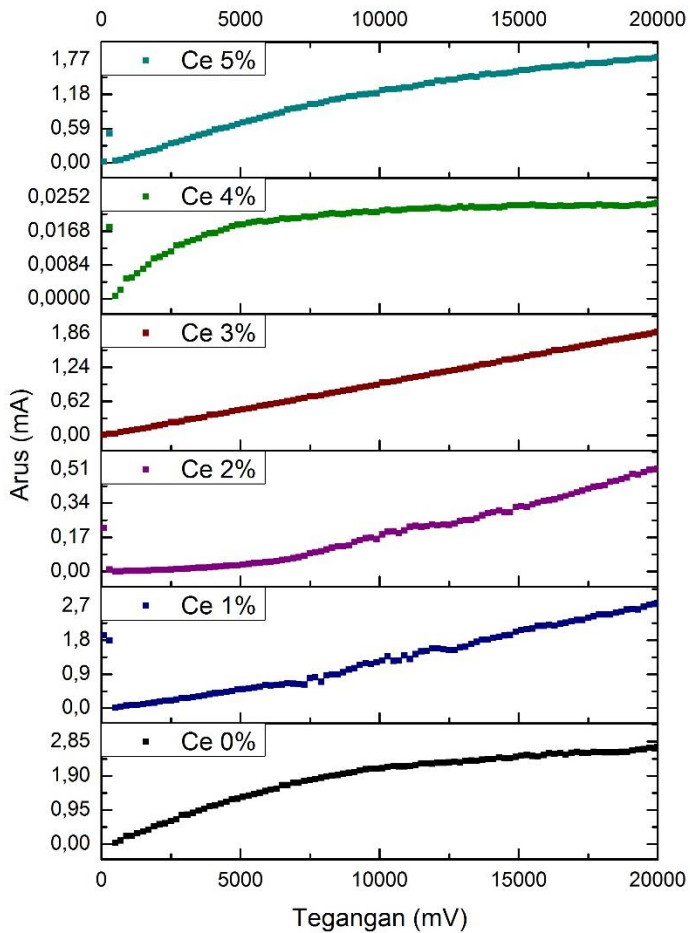


Doping Ce 5%



Respon dan Recovery time



Kurva I-V semua sampel pada temperatur 200°C

BIODATA PENULIS



Nama : Kariana Kusuma Dewi
TTL : Trenggalek, 15 Januari 1997

Riwayat pendidikan
2002-2009 SDN II Ngrayung
2009-2012 MTsN MODEL Trenggalek 2012-
2015 SMAN 1 Trenggalek

Penulis memulai perkuliahan pada tahun 2015 dengan program studi Teknik Fisika ITS. Selama menjadi mahasiswa, penulis mengambil bidang minat rekayasa bahan dan menjadi asisten Laboratorium Rekayasa Bahan di Teknik Fisika FTI ITS. Tahun 2017 penulis mengikuti program kreativitas mahasiswa dan terdani. Penulis pernah melakukan *internship* di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI. Pada *internship* tersebut, penulis melakukan sintesis superkonduktor FeSe menggunakan metode reaksi padatan melalui proses *powder in sealed tube* (PIST) dengan tabung Cu. Bulan Januari 2019 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Sintesis dan Karakterisasi Ce-doped ZnO Nanorods Berbasis Metode Hydrothermal untuk Aplikasi Sensor Gas CO”**. Penulis dapat dihubungi melalui *e – mail*: karianakusuma7@gmail.com

