



**KARAKTERISTIK OPTIK DAN STRUKTUR KRISTAL
FILM TIPIS $\text{TiO}_2\text{:Au}$ DITUMBUHKAN DENGAN
METODE *SPIN COATING***

SKRIPSI

Oleh

**Oryza Ardhiarisca
NIM 081810201020**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER**

2013



**KARAKTERISTIK OPTIK DAN STRUKTUR KRISTAL
FILM TIPIS $\text{TiO}_2\text{:Au}$ DITUMBUHKAN DENGAN
METODE *SPIN COATING***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

oleh:
Oryza Ardhiarisca
NIM 081810201020

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2013

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Orangtuaku tercinta, Ir. Chonaini Agustiningwati dan Ir. Iskandar Hadiyanto, M.M., terima kasih atas kasih sayang, dukungan, nasihat dan doa yang senantiasa mengiringi setiap langkah bagi keberhasilanku;
2. guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
3. Almamater Fakultas MIPA Universitas Jember.

MOTO

Demi masa. Sungguh, manusia berada dalam kerugian,
kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan kebajikan serta saling
menasihati untuk kebenaran dan saling menasihati untuk kesabaran
(Al-‘Asr 1-3)*

Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.
Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras
(untuk urusan yang lain), dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap
(Al-Insyirah 6-8)*

Dan Dialah yang menjadikan kamu sebagai khalifah-khalifah di bumi dan
Dia mengangkat (derajat) sebagian kamu di atas yang lain, untuk mengujimu atas
(karunia) yang diberikan-Nya kepadamu. Sesungguhnya Tuhanmu sangat cepat
memberi hukuman dan sungguh, Dia Maha Pengampun, Maha penyayang
(Al-An’am 165)*

Ya Allah, sinarilah hati kami sebagaimana Engkau menyinari bumi
dengan cahaya matahari untuk selama-lamanya.
Ya Allah, tambahkanlah cahaya kepadaku, berikanlah cahaya kepadaku dan
jadikanlah cahaya bagiku dan jadikanlah diriku cahaya.
-Amien-

*) Departemen Agama Republik Indonesia. 2002. *Al-Qur’an dan Terjemahannya*.
Surabaya: PT Mekar Surabaya.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Oryza Ardhiarisca

NIM : 081810201020

jurusan : Fisika / S-1

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: Karakteristik Optik dan Struktur Kristal Film Tipis TiO_2/Au Ditumbuhkan dengan Metode *Spin Coating* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Februari 2013

Yang menyatakan,

Oryza Ardhiarisca
NIM 081810201020

SKRIPSI

KARAKTERISTIK OPTIK DAN STRUKTUR KRISTAL FILM TIPIS $\text{TiO}_2\text{:Au}$ DITUMBUHKAN DENGAN METODE *SPIN COATING*

Oleh

Oryza Ardhiasca
NIM 081810201020

Pembimbing:

Dosen Pembimbing I : Dr. Edy Supriyanto, S. Si., M. Si

Dosen Pembimbing II : Endhah Purwandari, S. Si., M.Si

PENGESAHAN

Skripsi berjudul Karakteristik Optik dan Struktur Kristal Film Tipis TiO_2/Au Ditumbuhkan dengan Metode *Spin Coating* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada:

Hari :

tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua (Dosen Pembimbing I),

Sekretaris (Dosen Pembimbing II),

Dr. Edy Supriyanto, S. Si., M. Si
NIP. 19671215 199802 1 001

Endhah Purwandari, S. Si., M.Si
NIP. 19811111 200501 2 001

Anggota I,

Anggota II,

Nurul Priyantari, S. Si., M. Si.
NIP. 19700327 199702 2 001

Puguh Hiskiawan, S. Si., M. Si.
NIP. 19741215 200212 1 001

Mengesahkan
Dekan,

Prof. Drs. Kusno, DEA, Ph. D.
NIP 19610108 198602 1 001

RINGKASAN

Karakteristik Optik dan Struktur Kristal Film Tipis TiO₂:Au Ditumbuhkan dengan Metode *Spin Coating*; Oryza Ardhiarisca, 081810201020; 2013: 59 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Emisi kendaraan bermotor dan industri memicu meningkatnya polusi udara. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mengontrol polusi udara yang dapat dilakukan dengan menggunakan sensor gas. Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai lapisan sensitif pada sensor adalah TiO₂:Au. Tujuan penelitian ini adalah untuk menumbuhkan film tipis TiO₂:Au dengan metode *spin coating* dan mengarakterisasi sifat optik dan struktur kristal film dengan memberikan variasi konsentrasi doping Au.

Penumbuhan film tipis TiO₂:Au diawali dengan preparasi substrat dan preparasi prekursor. Dalam preparasi prekursor, bahan Au₂O₃ dilarutkan dalam pelarut *tetrahydrofuran* (THF, C₄H₈O) dan diberikan variasi konsentrasi Au yaitu 0,1 M; 0,2 M; 0,4 M; dan 0,5 M. Larutan yang diperoleh kemudian dicampur dengan *Titanium (IV) Isopropoxide* atau [Ti{OCH(CH₃)₂}₄] (97%) dengan perbandingan 1:4. Hasil akhirnya berupa gel. Setelah preparasi substrat, substrat diletakkan di atas *spinner* dan dilapisi dengan *wetting layer* TTIP. Langkah selanjutnya adalah penumbuhan film tipis di atas substrat dengan laju *spinner* 1500 rpm selama satu menit.

Tahap berikutnya dilakukan penguapan pelarut dengan memanaskan lapisan tipis pada temperatur 100°C dengan menggunakan *furnace*. Selanjutnya dilakukan deposisi film tipis dengan memanaskan lapisan tipis pada temperatur 500°C di dalam *furnace*. Hasil akhir dari proses ini adalah film tipis TiO₂:Au yang siap untuk

dikarakterisasi menggunakan *High Resolution X-Ray Diffraction (HR-XRD)*, *Optical Reflectance Spectroscopy* dan *Energy Dispersive X-Ray Spectrometer (EDS)*.

Kandungan atom Au pada film tipis TiO₂:Au dengan konsentrasi Au 0,1 M; 0,2 M; 0,4 M dan 0,5 M secara berturut-turut adalah 0,01%, 0,02%, 0,04% dan 0,05%. Adapun struktur kristal dari film yang dihasilkan menunjukkan bahwa pada konsentrasi Au sebesar 0,1 M dan 0,2 M dihasilkan bidang kristal tunggal *rutile* (002) (R(002)). Sedangkan pada konsentrasi Au sebesar 0,4 M dan 0,5 M dihasilkan bidang polikristal. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian dopan Au dengan variasi 0,4 M dan 0,5 M mengindikasikan kehadiran doping Au yang cukup untuk menghasilkan puncak baru. Berkaitan dengan sifat optik dari film tipis TiO₂:Au, spektrum reflektansi bahan menunjukkan adanya keteraturan pola puncak osilasi film tipis pada variasi konsentrasi Au sebesar 0,1 M; 0,2 M; 0,4 M dan 0,5 M. Hal ini mengindikasikan homogenitas dari film yang dihasilkan. Semakin banyak doping Au yang diberikan pada film dapat menghasilkan film yang semakin tebal. Hal ini ditunjukkan dari semakin banyaknya puncak osilasi film. Disamping itu, berdasarkan spektrum reflektansi dari film tipis TiO₂:Au, diperoleh lebar celah pita energi film tipis TiO₂:Au dengan konsentrasi Au sebesar 0,1 M; 0,2 M; 0,4 M dan 0,5 M berturut-turut adalah 3,50 eV; 3,41 eV; 3,39 eV dan 3,37 eV. Sedangkan film tipis TiO₂:Au murni tanpa doping memiliki lebar celah pita energi 3,78 eV.

Hasil penelitian ini diperoleh sebagai berikut: peningkatan persentase kandungan atom Au dalam film tipis TiO₂:Au, penurunan lebar celah pita energi film tipis, dan perubahan struktur kristal film tipis disebabkan oleh peningkatan konsentrasi Au. Film tipis TiO₂:Au dengan konsentrasi 0,1 M dan 0,2 M dapat diaplikasikan sebagai divais sensor, karena mempunyai butiran film yang homogen dan struktur kristal tunggal.

PRAKATA

Alhamdulillahirobilalamin, segala syukur kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Karakteristik Optik dan Struktur Kristal Film Tipis TiO₂:Au Ditumbuhkan dengan Metode Spin Coating**”. Karya ilmiah ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Dalam penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan semua pihak, baik itu berupa dorongan, nasehat, saran maupun kritik yang sangat membantu. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Edy Supriyanto, S. Si., M. Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember dan Dosen Pembimbing I;
2. Endhah Purwandari, S. Si., M. Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahnya dalam menyelesaikan skripsi ini;
3. Nurul Priyantari, S. Si., M. Si. selaku Dosen Penguji I dan Puguh Hiskiawan, S. Si., M. Si. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan arahnya dalam menyelesaikan skripsi ini;
4. Drs. Yuda C. Hariadi, M. Sc. Phd., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran;
5. seluruh Bapak dan Ibu dosen beserta Staf Karyawan di lingkungan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
6. kedua orang tua, Ayahanda Ir. Iskandar Hadiyanto, M. M. dan Ibunda Ir. Chonaini Agustiningwati, yang selalu memberikan doa dan dukungan;
7. adikku Ardhizea Maysmugaffillah dan Naufal Ardhisabillah yang selalu memberikan dukungan;

8. seluruh keluarga besarku yang selalu menemaniku, Djaminah, M. Abdul Gaffur, Badria Elok Purnawati, S. Sos., Aini purnaningwati, E.A. Zaenal Marzuki, S. H., M. H., Farida Kurniawati, S. H., Aswaji, S. H., Soni Yudi H, S. Pd., M. Pd., Reni Mauren Margareth, Aulia Yudhawati Arini, Akbarian Aryudhiansyah, Faiqoh Rusdianawati Lestari, Hisyam Fadlullah, atas segala dukungan dan doanya;
9. Nur Faizin yang selalu memberikan motivasi dan menemaniku setiap waktu;
10. rekan kerjaku Dewi Ria Agustin dan Fatimatuz Zahroh, S. Si. yang telah banyak membantu dan memotivasi;
11. kawan seperjuangan sejak masuk kuliah: Yuliatin, Wira Dian, Hery Indria, Dewi Yuliana, Retno Wulandari, Iva Kurniawati, Alfa Rianto, Sudarmono, Khoirul Marzuki, Jalal Rosyidi S., A. Syaiful Lutfi, Heri Kurniawan, terima kasih untuk segala kebersamaan, pembelajaran hidup dan kekeluargaan yang telah kalian berikan;
12. sahabat terbaik, Rizki Amalia Pratiwi, Siti Aisyah, Nisa Tiara Dani Fitri, Ivo Ayu Permatasari, Ratih Ika Maharani, Yuli Yuliani Kaltsum, Shanti, Dera, Tiara, Uwi, terimakasih atas segala doa dan dukungan yang diberikan;
13. Universitas Jember atas bantuannya melalui Hibah Bersaing 2011 (dana DIPA Universitas Jember Nomor: 271/H25.3.1/PL.6/2011);
14. semua pihak yang telah membantu dengan tulus dan ikhlas dalam penyelesaian skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu dengan senang hati dan tangan terbuka penulis menerima saran dan kritik yang berguna untuk menyempurnakan skripsi ini.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan tambahan pengetahuan bagi yang membacanya.

Jember, Februari 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Film Tipis TiO₂	5
2.2 TiO₂ sebagai Sensor Gas.....	7
2.3 TiO₂:Au.....	8
2.4 Prekursor <i>Titanium (IV) Isopropoxide (TTIP)</i>	9
2.5 Prekursor Au₂O₃.....	10
2.6 Pelarut <i>Tetrahydrofuran (THF)</i>	11
2.7 Substrat Silikon (Si).....	12
2.8 <i>Wetting Layer</i>	13

2.9 <i>Spin Coating</i>	14
2.10 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	15
2.11 <i>Optical Reflectance Spectroscopy</i>	17
2.12 <i>Energy Dispersive Spectrometer (EDS)</i>	18
BAB 3. METODELOGI PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	20
3.2 Alat dan Bahan.....	20
3.3 Prosedur Penelitian.....	21
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Komposisi Kimia Film Tipis TiO ₂ :Au.....	23
4.2 Struktur Kristal Film Tipis TiO ₂ :Au	24
4.3 Sifat Optik Film Tipis TiO ₂ :Au	27
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	31
5.1 Kesimpulan.....	31
5.2 Saran.....	31
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN-LAMPIRAN	
A. DATA EDS	38
B. DATA HR-XRD	41
C. DATA OPTIK	45
D. ANALISA SPEKTRUM REFLEKTANSI	50
E. KEGIATAN PENELITIAN	55

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 TiO ₂ dalam bentuk <i>anatase</i>	6
2.2 TiO ₂ dalam bentuk <i>rutile</i>	6
2.3 Peristiwa pada permukaan semikonduktor	7
2.4 Struktur molekul TTIP	9
2.5 Struktur molekul Au ₂ O ₃	11
2.6 Struktur molekul THF	11
2.7 Struktur Si dalam dua dimensi	12
2.8 Struktur Si dalam tiga dimensi (kristal diamond)	12
2.9 Bidang kisi 100	13
2.10 Peralatan <i>spinner</i>	14
2.11 Skema difraktometri.....	15
2.12 Pantulan sinar x dari suatu perangkat bidang kisi dua dimensi	15
2.13 Sistem <i>High Resolution X-Ray Diffraction</i> (HR-XRD).....	16
2.14 Diagram sistem peralatan SEM dan EDS	18
2.15 Sistem <i>Energy Dispersive X-Ray Spectrometer</i> (EDS).....	19
3.1 Alat yang digunakan dalam penelitian	20
3.2 Bahan yang digunakan dalam penelitian.....	21
3.3 Diagram alir penelitian.....	21
4.1 Citra EDS dari permukaan film tipis TiO ₂ :Au dengan konsentrasi Au sebesar (a) 0,1 M; (b) 0,2 M; (c) 0,4M dan (d) 0,5 M.....	23
4.2 Pola HR-XRD Film Tipis TiO ₂ :Au pada Temperatur 500° C dengan variasi konsentrasi Au (a) 0,1 M; (b) 0,2 M; (c) 0,4 M dan (d) 0,5M	25
4.2 Spektrum Reflektansi Film Tipis a) TiO ₂ murni, b) TiO ₂ :Au (0,1 M), c) TiO ₂ :Au (0,2 M), d) TiO ₂ :Au (0,4 M), e) TiO ₂ :Au (0,5 M).....	28

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. DATA EDS	38
B. DATA HR-XRD	41
C. DATA OPTIK	45
D. ANALISA SPEKTRUM REFLEKTANSI	50
E. DOKUMENTASI.....	55

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masalah polusi udara menjadi isu yang hangat dibicarakan. Salah satu penyebab polusi udara adalah proses pembakaran pada kendaraan bermotor dan industri (Khalil *et al.*, 2009). Hal ini berdampak pada perubahan iklim dan *global warming*. Salah satu upaya yang dilakukan oleh Persatuan Bangsa Bangsa (PBB) adalah diadakannya Protokol Kyoto yang merupakan persetujuan internasional mengenai pemanasan global. Protokol Kyoto dilaksanakan pada tahun 1997 yang bertujuan untuk mengurangi emisi enam gas ERK (Efek Rumah Kaca) yaitu karbon dioksida, metan, nitrous oxide, sulfur heksafluorida, HFC dan PFC (WikipediaIndonesia, 2012). Peran Indonesia dimulai dengan diadakannya *Bali Roadmap* pada tahun 2007 yang bertujuan menyelamatkan bumi dari perubahan iklim (Wikipedia, 2012).

Salah satu upaya yang dilakukan para peneliti untuk mendeteksi emisi gas adalah dengan dibuatnya sensor gas. Sensor gas yang dikembangkan pada umumnya berbahan dasar lapisan tipis oksida logam, seperti: SnO₂, In₂O₃, WO₃, ZnO, TiO₂ dan ITO (Widodo, 2010). Proses pendeteksian didasarkan pada peristiwa oksidasi reduksi yang terjadi antara permukaan lapisan tipis dengan gas yang dideteksi (Mawarani *et al.*, 2006). Keuntungan pembuatan semikonduktor oksida logam dalam bentuk lapisan tipis pada sensor gas adalah strukturnya mikro, konstruksi sederhana, biaya rendah, ringan dan konsumsi daya yang rendah (Khalil *et al.*, 2009).

SnO₂ merupakan material yang paling banyak digunakan dalam sensor gas (Widodo, 2010). Akan tetapi, sifat sensor tersebut masih kurang stabil, kurang selektif dan kurang sensitif terhadap gas (Pribady, 2005). Mawarani *et al.* (2006) juga menyatakan hal serupa bahwa pembuatan sensor dengan lapisan tipis SnO₂ memiliki ketidakstabilan tahanan yang selalu berubah terhadap waktu. Selain itu,

hanya gas pada ruangan yang tidak tercampur dengan gas lain yang dapat dideteksi oleh sensor gas berbasis SnO₂.

Alternatif lain yang dapat digunakan sebagai bahan dasar sensor gas adalah titanium dioksida (TiO₂). Hal ini dikarenakan TiO₂ merupakan bahan kimia yang stabil dan mempunyai titik termal tinggi (Faozi, 2011). Tan *et al.* (2006) menyebutkan bahwa TiO₂ merupakan logam yang tahan korosi, kestabilan tinggi, keberadaannya melimpah di bumi dan harganya yang relatif murah.

Film TiO₂ yang berbentuk kristal memiliki tiga fase: *anatase* (tetragonal), *rutile* (tetragonal) dan *brookite* (ortorombik). *Rutile* menjadi fase yang paling stabil dari ketiganya. Secara umum, film tipis TiO₂ dapat bertransformasi dari fase amorf menjadi kristal *anatase* dan dari *anatase* menjadi *rutile* dengan perubahan temperatur (Machiakh dan Bensaha, 2006).

Pemberian dopan pada semikonduktor oksida logam dapat mengubah konduktivitasnya. Pemberian doping bertujuan untuk meningkatkan aktivitas serapan gas (Khalil *et al.*, 2009). Beberapa doping biasa digunakan adalah Pt, Au, Pd dan Ag (Widodo, 2010). Logam Au merupakan logam yang memiliki konduktivitas tinggi dan dapat digunakan sebagai konduktor yang baik terhadap energi termal. Atom dopan mengakibatkan penurunan energi aktivasi reaksi (Khalil *et al.*, 2009).

Beberapa metode penumbuhan film tipis pernah dilakukan oleh peneliti. Metode tersebut diantaranya adalah metode *sputtering*, MOCVD dan *spin coating*. Metode *sputtering* telah digunakan oleh Mawarani *et al.* (2006) untuk menumbuhkan SnO₂/SiO₂ dan Khalil *et al.* (2009) untuk menumbuhkan SnO₂:Au/Al₂O₃. Metode MOCVD digunakan untuk menumbuhkan film tipis TiO₂:Co/Si(100) dan TiO₂:Eu/Si(100) (Supriyanto *et al.*, 2007 dan 2009). Metode *spin coating* digunakan oleh Machiakh dan Bensaha (2006) untuk menumbuhkan TiO₂, Rusdiana *et al.* (2007) untuk menumbuhkan GaN/Al₂O₃ dan Sutanto *et al.* (2008) untuk menumbuhkan GaN/Si(004).

Spin coating adalah metode penumbuhan film tipis dengan meneteskan cairan kemudian diputar dengan kecepatan tertentu (Faozi, 2011). Metode *spin coating*

memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode *sputtering* dan MOCVD. Widodo (2010) menyebutkan bahwa teknik ini tergolong sederhana, mudah dalam pengoperasiannya dan biaya relatif murah. Selain itu, film yang berkualitas dapat dihasilkan dari metode ini, yaitu film yang bersifat transparan dan homogen (Machiakh dan Bensaha, 2006).

Penumbuhan $\text{TiO}_2\text{:Au}$ dengan variasi temperatur kristalisasi yaitu 350°C hingga 550°C telah dilakukan oleh Zahroh (2012). Berdasarkan penelitiannya telah diketahui temperatur optimum dalam penumbuhan $\text{TiO}_2\text{:Au}$ yang menghasilkan film berkualitas terbaik yaitu pada temperatur 500°C . Sehingga dalam penelitian ini akan dilakukan penumbuhan $\text{TiO}_2\text{:Au}$ pada temperatur 500°C dengan memvariasi besarnya dopan Au.

Setelah film berhasil ditumbuhkan maka akan dilakukan karakterisasi optik dan struktur kristal film tipis $\text{TiO}_2\text{:Au}$. Sifat optik diwakili oleh nilai celah pita energi yang ditentukan berdasarkan hasil pengukuran *optical reflectance spectroscopy*. Struktur kristal ditentukan dengan menggunakan *High-Resolution X-Ray Diffraction* (HR-XRD), sedangkan kandungan Au ditentukan dengan menggunakan metode *Energy Dispersive X-Ray Spectrometer* (EDS).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana karakteristik optik dan struktur kristal $\text{TiO}_2\text{:Au}$ dengan variasi konsentrasi Au yang ditumbuhkan dengan metode *spin coating*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. $\text{TiO}_2\text{:Au}$ ditumbuhkan dengan menggunakan metode *spin coating* di atas substrat Si(100) dengan variasi konsentrasi Au.
- b. Prekursor yang digunakan adalah *Titanium (IV) Isopropoxide* (berbentuk cair) dan serbuk Au_2O_3 .

- c. Karakterisasi struktur kristal $\text{TiO}_2:\text{Au}$ ditentukan dengan *High Resolution X-Ray Diffraction* (HR-XRD).
- d. Karakteristik optik $\text{TiO}_2:\text{Au}$ ditentukan dengan *Optical Reflectance Spectroscopy*.
- e. Karakterisasi konsentrasi Au ditentukan dengan *Energy Dispersive X-Ray Spectrometer* (EDS).

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Menumbuhkan film tipis $\text{TiO}_2:\text{Au}$ di atas substrat Si(100) dengan metode *spin coating*.
- b. Mengarakterisasi struktur kristal dan sifat optik film tipis $\text{TiO}_2:\text{Au}$ dengan variasi konsentrasi Au.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

- a. Bagi Peneliti

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi media untuk menerapkan dan mengembangkan pengetahuan yang telah didapat selama berada di bangku kuliah. Serta bagi peneliti yang akan datang, dapat dijadikan referensi penelitiannya.

- b. Bagi Akademisi

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya bagi Jurusan Fisika Universitas Jember mengenai karakteristik film tipis $\text{TiO}_2:\text{Au}$ yang ditumbuhkan dengan metode *spin coating*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

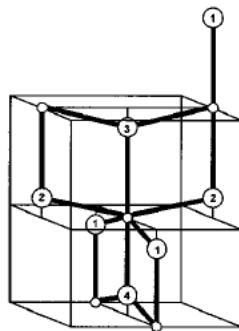
2.1 Film Tipis TiO₂

Pada tahun 1971, unsur titanium ditemukan oleh William Gregor dalam bijih ilmenit, FeTiO₃. Unsur ini dapat dipisahkan dari unsur besinya dengan menambahkan asam hidroklorida sehingga diperoleh titanium oksida (TiO₂). Titanium adalah unsur transisi terbanyak ke sembilan di kerak bumi. Titanium sangat dibutuhkan bagi industri pertahanan dan dapat dimanfaatkan dalam pembuatan bahan pigmen cat. Titanium termasuk logam yang keras dan kuat, berwarna putih keperakkan dan mempunyai densitas yang paling rendah (4,5 g cm⁻³) di antara kelompok logam transisi. Kombinasi sifat keras, kuat, dan densitas yang rendah dari logam titanium ini sangat menguntungkan sebagai bahan pembuatan pesawat terbang dan kapal laut nuklir (Sugiyarto dan Suyanti, 2010).

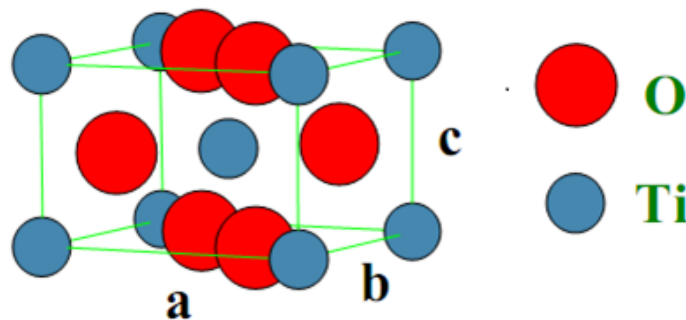
Mulyadi (2009) menyatakan bahwa TiO₂ merupakan kristal yang bersifat asam dan tidak larut dalam air, asam klorida, asam sulfat encer dan alkohol, akan tetapi dapat larut dalam asam sulfat pekat dan asam fluoride yang berwarna. Kristal ini berwarna putih dan memiliki indeks bias sangat tinggi dan titik lebur 1855°C.

Titanium dioxide (TiO₂) adalah bahan kimia yang stabil dan mempunyai titik termal tinggi (Faozi, 2011). Tan *et al.* (2006) menyebutkan bahwa TiO₂ merupakan logam yang tahan korosi, kestabilan tinggi, keberadaannya melimpah di bumi dan harganya yang relatif murah. Machiakh dan Bensaha (2006) menyebutkan bahwa film tipis TiO₂ sangat menarik untuk dipelajari karena sifat kimia, listrik dan optiknya (*band gap* yang lebar, transparan, index refraktif tinggi dan konstanta dielektrik tinggi). Celah pita energi TiO₂ jenis *anatase* sebesar 3,2 eV dan jenis *rutile* sebesar 3.0 eV (Mulyadi, 2009). Film TiO₂ sangat potensial untuk diaplikasikan pada optik, sensor gas, fotokatalis dan pandu gelombang planar.

Film Tipis merupakan salah satu bahan nanomaterial. Nanomaterial merupakan material yang memiliki ukuran berdimensi nanometer. Secara umum ketebalan film tipis berkisar antara 10^{-6} meter sampai dengan 10^{-9} meter (Abdullah dan Khairurrijal, 2009). Film TiO_2 yang berbentuk kristal memiliki tiga fase: *anatase* (tetragonal) ditunjukkan pada Gambar 2.1, *rutile* (tetragonal) yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 dan *brookite* (ortorombik) (Machiakh dan Bensaha, 2006). *Rutile* dan *anatase* mempunyai struktur tetragonal dengan tetapan kisi kristal dan sifat fisika yang berbeda. Struktur *rutile* lebih stabil pada temperatur tinggi, sedangkan *anatase* lebih stabil pada temperatur rendah. *Brookite* mempunyai struktur ortorombik yang sulit dibuat dan jarang ditemukan (Mulyadi, 2009). *Rutile* menjadi fase yang paling stabil dari ketiganya. Secara umum, film tipis TiO_2 dapat bertransformasi dari fase amorf menjadi kristal *anatase* dan dari *anatase* menjadi *rutile* dengan perubahan temperatur (Machiakh dan Bensaha, 2006).



Gambar 2.1 TiO_2 dalam bentuk *anatase* (Sumber: Gonzalez dan Zallen, 1997)

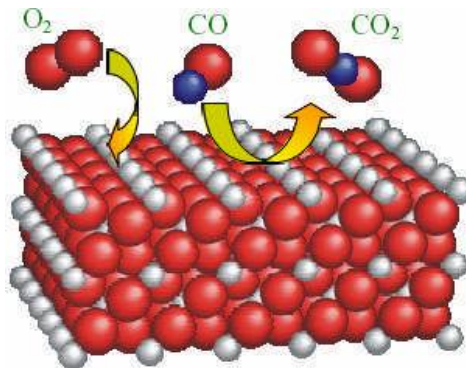


Gambar 2.2 TiO_2 dalam bentuk *rutile* (Sumber: Arbiol dan Cobos, 2001)

2.2 TiO₂ sebagai Sensor Gas

Sensor adalah peralatan yang digunakan untuk mengubah suatu besaran fisik menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisis. Sensor gas merupakan suatu alat yang dapat mendeteksi keberadaan gas-gas tertentu (Widodo, 2010).

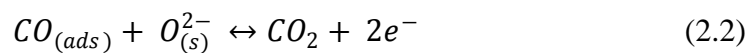
TiO₂ merupakan semikonduktor oksida logam yang dapat dimanfaatkan sebagai lapisan aktif sensor gas. Selain TiO₂, terdapat semikonduktor oksida logam yang memiliki fungsi serupa, yaitu: ZnO, CeO dan SnO₂. Sensor gas ini dapat mendeteksi keberadaan gas CO, H₂, dan CH₄. Pemberian dopan pada semikonduktor oksida logam dapat mengubah konduktivitasnya serta untuk meningkatkan aktivitas serapan gas. Beberapa doping yang biasanya digunakan yaitu Pt, Pd dan Au (Khalil *et al.*, 2009).



Gambar 2.3 Peristiwa pada permukaan semikonduktor (Sumber: Mawarani *et al.*, 2006)

Gambar 2.3 menjelaskan bahwa permukaan semikonduktor diselubungi oleh oksigen teradsorpsi pada kondisi udara normal. Konsentrasi atom-atom tersebut dapat menangkap elektron di daerah sekitar permukaan semikonduktor. Jika gas reduktor seperti gas CO berada di sekitar permukaan, maka dapat mengikat sejumlah atom oksigen yang teradsorpsi. Dalam waktu yang bersamaan, elektron akan dilepaskan kembali ke permukaan semikonduktor. Sehingga konsentrasi elektron bebas bertambah dan meningkatkan konduktivitas bahan (Mawarani *et al.*, 2006).

Ketika konsentrasi gas CO meningkat maka nilai resistansi semikonduktor menurun. Hal ini mengakibatkan sensitivitas sensor gas meningkat. Penurunan nilai resistansi diakibatkan adanya reaksi lapisan tipis dengan gas CO. Dalam hal ini, gas CO bertindak sebagai reduktor yang mengakibatkan oksigen yang berada pada permukaan lapisan tipis tertarik oleh gas CO. Interaksi antara gas CO dengan atom oksigen dalam bentuk $O_{(s)}^{2-}$ atau $O_{(s)}^-$ diperlihatkan pada persamaan berikut:



Atau



(Khalil *et al.*, 2009).

2.3 TiO₂:Au

TiO₂ merupakan salah satu metal oksida yang dapat diaplikasikan sebagai sensor. Widodo (2010) telah berhasil membuat nano kristalin metal oksida untuk aplikasi sensor dengan metode penumbuhan *sol gel*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan logam mulia dapat meningkatkan sensitivitas material metal oksida terhadap gas tertentu.

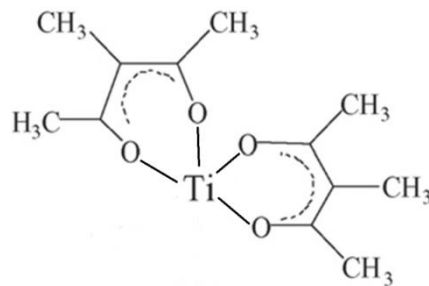
Penambahan doping emas juga telah dilakukan oleh Khalil *et al.* (2009). Lapisan tipis SnO₂ didoping dengan emas. Berdasarkan hasil penelitiannya menunjukkan bahwa doping emas dan perlakuan anil dapat menurunkan resistansi.

Zahroh (2012) telah berhasil menumbuhkan TiO₂:Au dengan metode *spin coating*. Dalam penelitiannya, film tipis tersebut diberi variasi temperatur. Peningkatan temperatur dapat meningkatkan kualitas film. Pada temperatur penumbuhan (350-550)^oC dihasilkan struktur kristal terbaik pada temperatur kristalisasi 500^oC dengan struktur kristal tunggal *rutile* (002) dengan nilai *full width at half maximum* (FWHM) = 0,19, ukuran kristalin 33,93 nm, dengan ketebalan film sekitar 0,4 μm. Hasil SEM menunjukkan butiran penyusun film tipis serbasama dan

memiliki tingkat porositas yang sama. Selain itu, temperatur penumbuhan atau deposisi berpengaruh pada komposisi persentase atom Au. Komposisi persentase atom Au pada film tipis akan semakin kecil dengan semakin tingginya temperatur penumbuhan. Semakin kecil kandungan Au maka akan diperoleh film tipis dengan morfologi yang relatif halus.

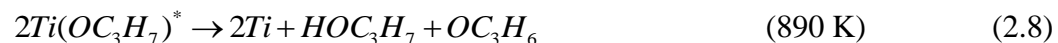
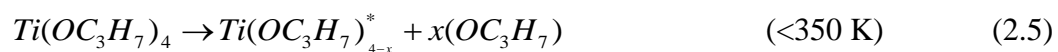
2.4 Prekursor *Titanium (IV) Isopropoxide* (TTIP)

Titanium (IV) isopropoxide (TTIP) merupakan bahan kimia dengan rumus $Ti(OC_3H_7)_4$. TTIP digunakan pada sintesis organik dan ilmu material. Berikut merupakan struktur molekul TTIP yang ditunjukkan pada Gambar 2.4:



Gambar 2.4 Struktur molekul TTIP (Sumber: Chen *et al.*, 2007)

Proses dekomposisi TTIP dapat dijelaskan dengan reaksi sebagai berikut:



Pada persamaan reaksi pertama (persamaan reaksi 2.5) tampak putusya beberapa ikatan Ti-O pada TTIP sehingga dihasilkan ligan-ligan *isopropoxy*. Pada

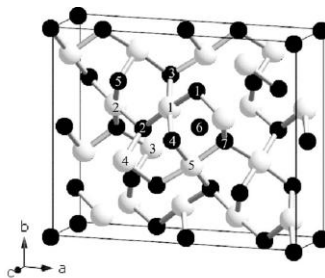
reaksi dua (persamaan reaksi 2.6), ligan *isopropoxy* mengalami proses dekomposisi menjadi *acetone* dan hidrogen pada temperatur 600 K. Pada temperatur 620 K, ligan *isopropoxy* mengalami dekomposisi menjadi *propylene* dan *hydroxyl* (persamaan reaksi 2.7). Sedangkan TTIP yang belum terdekomposisi pada persamaan 2.5, akan mengalami proses dekomposisi pada temperatur yang lebih tinggi. Pada temperatur 890 K, TTIP yang belum terdekomposisi sempurna akan mengalami dekomposisi menjadi titanium, isopropanol dan *acetone* (persamaan reaksi 2.8). Selanjutnya pada temperatur 930 K, TTIP yang belum terdekomposisi sempurna akan mengalami dekomposisi menjadi titanium *hydroxyl* dan *propylene* (persamaan reaksi 2.9). Pada tahap akhir pendekomposisi terjadi pada temperatur lebih dari 1000 K, *titanium hydroxyl* bereaksi dengan oksigen sehingga dihasilkan titanium oksida dan hidrogen (Cho *et al.*, 2001).

2.5 Prekursor Au₂O₃

Keberadaan Au dalam oksida di alam menunjukkan terjadinya penggabungan dengan oksigen membentuk senyawa yang stabil. Senyawa Au_xO_y dapat terurai menjadi emas (Schwitalla, tanpa tahun).

Struktur molekul Au₂O₃ ditunjukkan pada Gambar 2.5. Prekursor Au₂O₃ ini dapat menghasilkan logam Au. Emas (Au) adalah logam dengan konduktivitas tinggi sehingga dapat digunakan sebagai konduktor yang baik. Pemberian dopan Au dapat menurunkan energi aktivasi reaksi sehingga dapat menurunkan resistansi bahan (Khalil *et al.*, 2009). Pemberian dopan dapat meningkatkan sensitivitas dan selektivitas bahan (Widodo, 2010).

Dalam beberapa penelitian yang dilakukan Supriyanto *et al.* (2007 dan 2009) menunjukkan bahwa pemberian dopan seperti Eu dan Co dapat menyebabkan bergesernya celah pita energi ke arah yang lebih kecil serta menurunkan indeks bias.



Gambar 2.5 Struktur molekul Au_2O_3 (Sumber: Shi *et al.*, 2007)

2.6 Pelarut *Tetrahydrofuran* (THF)

Tetrahydrofuran (THF) yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 merupakan senyawa organik heterosiklik dengan rumus kimia $(\text{CH}_2)_4\text{O}$. THF yang memiliki viskositas rendah dan memiliki aroma seperti dietil eter merupakan molekul eter yang paling polar.



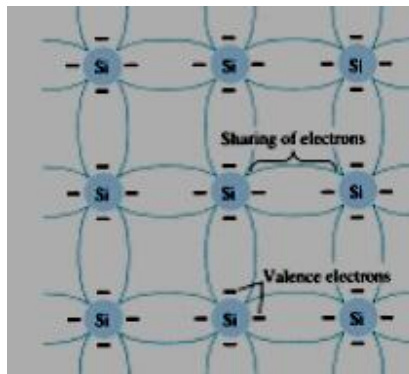
Gambar 2.6 Struktur molekul THF (Sumber: Wikipedia, Tanpa Tahun)

THF yang memiliki titik didih 66°C (339,15 K) sering digunakan untuk menggantikan dietil eter ketika diperlukan pelarut bertitik didih lebih tinggi. THF memiliki atom oksigen yang dapat berkordinasi dengan atom yang kekurangan elektron. Selain itu, keuntungan penggunaan THF adalah dapat menurunkan temperatur uap bahan prekursor (Zahroh, 2012).

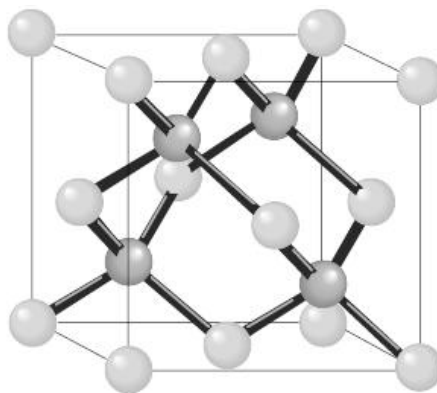
2.7 Substrat Silikon (Si)

Silikon (Si) merupakan bahan semikonduktor murni yang memiliki celah pita energi sebesar 1,12 eV. Pada umumnya semikonduktor memiliki konduktivitas listrik antara $(10^{-6}-10^4) \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ serta mempunyai celah pita energi lebih kecil dari 6 eV. Si

merupakan elemen kelompok IV dan memiliki struktur kristal diamond yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Setiap atom Si terikat dengan atom-atom tetangga terdekatnya dan memakai empat elektron valensi secara bersama-sama membentuk sebuah ikatan kovalen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 (Subekti, 2003).



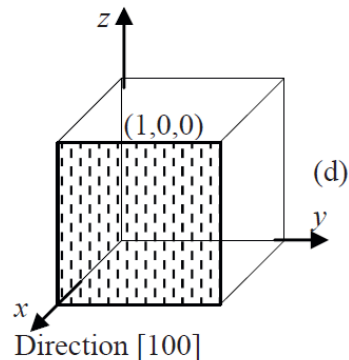
Gambar 2.7 Struktur Si dalam dua dimensi (Sumber: Boylestad dan Nashelsky, 2009)



Gambar 2.8 Struktur Si dalam tiga dimensi (Kristal diamond) (Sumber: Singh, 2003)

Silikon dapat digunakan sebagai substrat, tempat penumbuhan film tipis. Keunggulan yang dimiliki substrat silikon dibandingkan substrat yang lain adalah: substrat silikon banyak tersedia dalam bentuk kristal tunggal, mempunyai ukuran besar, kondisi termal baik, mempunyai laju *etching* tinggi dan stabil pada temperatur tinggi. Dari segi ekonomi, substrat silikon tergolong murah jika dibandingkan dengan sapphire (Anonim. Tanpa Tahun).

Arti (100) pada silikon (100) adalah bidang (hkl) yang diperoleh dari indeks Miller (1,0,0). Indeks Miller didapatkan dari kebalikan perpotongan bidang pada sumbu \bar{a} , \bar{b} , \bar{c} (Subekti, 2003). Berikut merupakan bidang kisi 100 yang ditunjukkan pada Gambar 2.9:



Gambar 2.9 Bidang kisi 100 (Sumber: Moliton, 2009)

2.8 Wetting Layer

Dalam fisika eksperimental, *wetting layer* (lapisan pembasahan) adalah lapisan awal atom yang ditumbuhkan pada permukaan atas film tipis yang akan diciptakan. Hasil penelitian Eisenberg dan Kandel (2000) menyebutkan bahwa dalam penumbuhan film diperlukan adanya *wetting layer*. Penggunaan *wetting layer* dapat mengurangi *lattice mismatch* antara substrat dengan film yang akan ditumbuhkan.

Dalam penelitian ini, untuk mengatasi ketidaksesuaian kisi antara substrat Si(100) dengan film tipis $\text{TiO}_2\text{:Au}$ digunakan *wetting layer precursor* TTIP sebelum menumbuhkan film dengan tujuan memperkecil nilai ketidaksesuaian kisi film tipis dengan substrat.

2.9 Spin Coating

Spin coating adalah metode penumbuhan film tipis di atas substrat dengan cara meneteskan cairan yang kemudian diputar dengan kecepatan tertentu (Faozi, 2011). Dalam proses *spin coating*, terdapat fenomena reaksi gaya sentripetal yang

mengarah keluar pada benda berputar. Hal ini menyebabkan gel yang dideposisikan pada substrat akan tersebar ke seluruh permukaan substrat dan membentuk lapisan tipis. Besarnya gaya sentripetal yang bekerja adalah sebagai berikut:

$$F_{sp} = m\omega^2 r \quad (2.11)$$

Di mana, F_{sp} merupakan gaya sentripetal, ω merupakan kecepatan *spinner*, r merupakan jari-jari *spinner* dan m adalah massa benda (Mulyadi, 2009). Berikut merupakan peralatan *spinner* yang digunakan dalam penelitian ini:

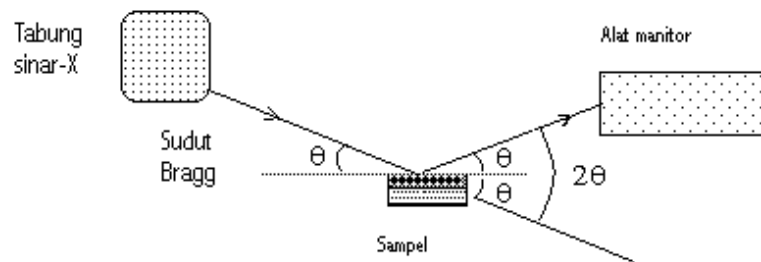


Gambar 2.10 Peralatan *spinner* (Sumber: Laboratorium Fisika Bahan)

Penumbuhan film tipis dengan metode *spin coating* menghasilkan kualitas film tipis yang baik dan biaya operasional yang murah (Faozi, 2011). Dalam teknik ini, substrat yang diberi larutan gel diletakkan di atas *spinner* yang diputar sehingga membentuk lapisan. Kemudian lapisan tersebut dikeringkan di atas *hot plate* dan dideposisikan dalam *furnace*. Setelah dipanaskan, lapisan kristal tersebut didinginkan hingga temperatur ruang sehingga terbentuklah lapisan kristal yang diinginkan (Sutanto *et al.*, 2008).

2.10 X-Ray Diffraction (XRD)

Alat yang digunakan untuk mengarakterisasi struktur kristal film adalah X-Ray Diffraction (XRD). Metode difraktometri digunakan untuk mencatat difraksi sampel polihablar. Berikut merupakan skema difraktometer yang ditunjukkan pada Gambar 2.10:



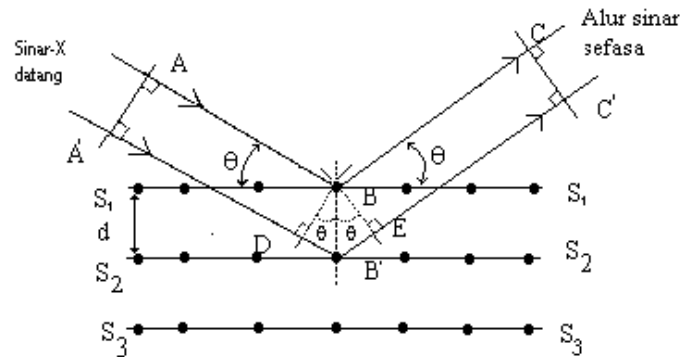
Gambar 2.11 Skema difraktometri (Sumber: Asmuni, 2001)

Alat monitor pada Gambar 2.11 dapat diputar mengelilingi sampel dan diatur pada sudut 2θ terhadap alur datang. Intensitas sinar-x yang didifraksikan oleh sampel diamati sebagai fungsi dari sudut 2θ (Asmuni, 2001). Berikut merupakan *High Resolution X-Ray Diffraction* (HR-XRD) yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 2.12 Sistem *High Resolution X-Ray Diffraction* (HR-XRD) (Sumber: Laboratorium Geologi, Pusat Survei Geologi)

Ketika sinar-x didifraksikan oleh perangkat bidang, sinar tersebut akan tampak seolah-olah dipantulkan oleh sederetan pantulan yang berasal dari dua lapisan (bidang) yang pertama. Berkas sinar yang berada pada bagian bawah akan menempuh jarak yang lebih jauh. Perbedaan jarak yang ditempuh merupakan kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombang karena sinar ini sefasa (Bird, 1987). Berikut merupakan skemanya pada Gambar 2.13:



Gambar 2.13 Pantulan sinar-x dari suatu perangkat bidang kisi dua dimensi (Sumber: Asmuni, 2001)

Garis S_1 , S_2 , S_3 merupakan bidang-bidang atom yang sejajar dan dipisahkan dengan jarak d . Garis AB dan $A'B'$ merupakan lintasan sinar-x yang menuju ke bidang-bidang atom pada sudut θ terhadap bidang dan kemudian dipantulkan dalam arah BC dan $B'C'$. Kedua gelombang tersebut sefase sehingga dapat saling menguatkan. Maka beda lintasan antara gelombang $A'B'C'$ terhadap gelombang ABC merupakan kelipatan bulat panjang gelombang sinar-x.

$$(A'B' + B'C') - (AB + BC) = n\lambda$$

$$DB' + B'E = n\lambda$$

$$2 BB' \sin \theta = n\lambda$$

$$2 d \sin \theta = n\lambda \quad (2.12)$$

Persamaan (2.12) dikenal dengan persamaan Bragg (Asmuni, 2001).

Untuk menentukan struktur kristal maka dapat diketahui dari bidangnya, d_{hkl} .

Berikut merupakan persamaan yang dapat digunakan:

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (2.13)$$

Dimana

d_{hkl} = interplanar spacing

a = panjang sisi kubik

hkl = indeks Miller untuk bidang sistem kubik.

Hasil dari pengukuran difraksi sinar-x dapat berupa *print out* grafik intensitas sebagai fungsi dari sudut 2θ atau dapat berupa *file text*. *File text* merupakan data berupa naskah yang diperoleh dari XRD namun masih perlu diolah kembali untuk mendapatkan grafik pola XRD. Jika data berupa *file text* dilakukan pengolahan data dengan *Microsoft Excel* sehingga diperoleh grafik XRD (Abdullah dan Khairurrijal, 2009). Sedangkan untuk menentukan struktur kristal adalah dengan membandingkan nilai 2θ dengan tabel *Joint Committee on Powder Diffraction Standard* (JCPDS) (Asmuni, 2001).

2.11 Optical Reflectance Spectroscopy

Optical reflectance spectroscopy digunakan untuk mengarakterisasi sifat optik film tipis (Supriyanto *et al.*, 2009), sehingga dapat ditentukan lebar celah pita energinya (Abdullah dan Khairurrijal, 2009). Prinsip dasar dari metode ini adalah ketika material disinari oleh gelombang elektromagnetik maka foton akan diserap oleh elektron dalam material. Hal ini mengakibatkan elektron berusaha menuju ke tingkat energi yang lebih tinggi. Ketika energi foton yang diserap kurang dari lebar celah pita energi maka elektron tidak sanggup menuju ke tingkat energi yang lebih tinggi sehingga elektron tetap berada pada pita valensi. Namun ketika energi foton yang diserap lebih besar dari lebar celah pita energi, mengakibatkan elektron yang berada pada pita valensi dapat berpindah menuju ke pita konduksi (Abdullah dan khairurrijal, 2009).

Output dari metode ini dapat berupa *print out* spektrum reflektansi atau dapat berupa *file text*. Spektrum reflektansi menunjukkan persen reflektansi terhadap energi foton. Pola osilasi reflektansi optik berhubungan dengan morfologi permukaan dan jumlah impuritas pada sampel. Semakin halus permukaan sampel maka pola reflektansi semakin teratur. Namun ketika morfologi permukaan kasar maka pola reflektansinya tidak teratur. Sedangkan, jumlah puncak osilasi reflektansi berhubungan dengan ketebalan film. Semakin tebal film maka semakin banyak puncak osilasinya (Sutanto *et al.*, 2005).

Puncak osilasi terakhir dari spektrum reflektansi menunjukkan transisi *band-to-band* film tipis yang merupakan nilai celah pita energi dari film itu. Semakin besar kandungan unsur dopan mengakibatkan semakin kecil celah pita energi dan indeks bias dari film (Supriyanto *et al.*, 2007).

Energi transisi *band-to-band* pada temperatur ruang dinyatakan dengan:

$$E = E_g + \frac{1}{2}kT$$

$$E_g = E - \frac{1}{2}kT \quad (2.14)$$

Dimana

E_g = celah pita energi

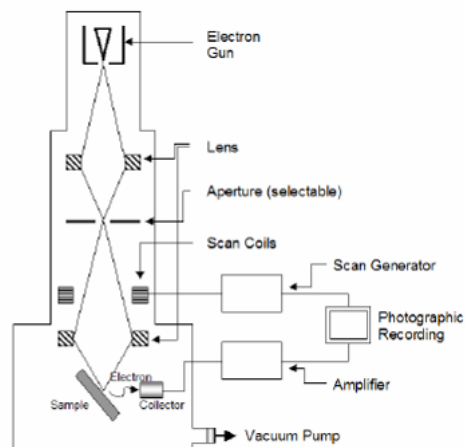
E = energi hasil perhitungan dari spektrum reflektansi

k = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-38}$ Joule/Kelvin)

T = temperatur (Kelvin) (Schubert, 1993).

2.12 Energy Dispersive Spectrometer (EDS)

Energy Dispersive Spectrometer (EDS) digunakan untuk mengukur komposisi kimia atau mengetahui atom-atom penyusun film tipis. Alat EDS menjadi satu dengan SEM. Sistem kerja dari peralatan ini ditunjukkan pada Gambar 2.12. Ketika elektron menumbuk permukaan sampel, dihasilkan radiasi sinar. Jenis radiasi yang dihasilkan meliputi: *secondary electron*, *backscattered electron*, *auger electron* dan *x-ray*. Berkas radiasi tersebut akan dihimpun dalam *collector*. Kemudian akan dikuatkan dalam amplifier, selanjutnya dicitrakan dalam *photographic recording* (Flewitt dan Wild, 1994).



Gambar 2.14 Diagram Sistem Peralatan SEM dan EDS (Sumber: Flewitt dan Wild, 1994)

Perbedaan antara SEM dan EDS terletak pada radiasi yang dihimpun. Pada EDS radiasi yang dihimpun adalah radiasi sinar-x. Identifikasi intensitas radiasi sinar-x dapat menentukan konsentrasi atom tersebut (Zahroh, 2012). Berikut merupakan peralatan EDS yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 2.15 Sistem *Energy Dispersive X-Ray Spectrometer* (EDS) (Sumber: Laboratorium Geologi, Pusat Survei Geologi).

BAB 3. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Bahan Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Jember, Laboratorium Geologi, Pusat Survei Geologi, Bandung. Penelitian ini dilaksanakan bulan Oktober 2012 sampai Desember 2012.

3.2 Alat dan Bahan

Berikut merupakan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

Alat:

- a. *Spinner* berfungsi untuk menumbuhkan film tipis $\text{TiO}_2\text{:Au}$.
- b. *High Resolution X-Ray Diffraction (HR-XRD)* merek PAN *analytical* tipe PW3040/60 berfungsi untuk mengarakterisasi struktur kristal $\text{TiO}_2\text{:Au}$.
- c. *Optical Reflectance Spectroscopy* pada range panjang gelombang 200-2400nm (NIR-UV *Visible Spectroscopy*, PC 101) berfungsi untuk mengarakterisasi optik $\text{TiO}_2\text{:Au}$.
- d. *Energy Dispersive X-Ray Spectrometer (EDS)* merek JEOL tipe JSM 6360 LA berfungsi untuk mengetahui komposisi kimia.
- e. Tabung *furnace* berfungsi untuk menguapkan larutan dan deposisi film.
- f. *Beaker glass* sebagai tempat mencuci substrat.
- g. Pipet tetes untuk meneteskan gel $\text{TiO}_2\text{:Au}$ di atas substrat.
- h. Pinset untuk mengambil film tipis dari *spinner* / pemanas.
- i. Tabung reaksi untuk mencampur larutan.

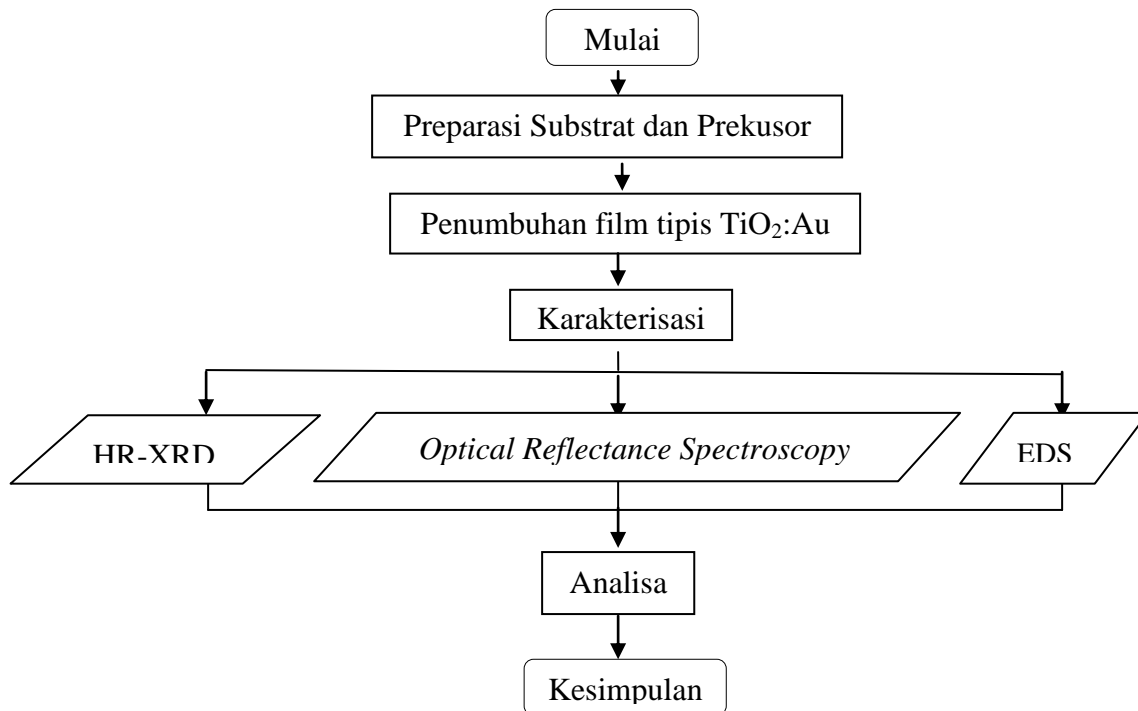
Bahan:

- a. Cairan *Titanium (IV) Isopropoxide* atau $[\text{Ti}\{\text{OCH}(\text{CH}_3)_2\}_4]$ dengan tingkat kemurnian 97% sebagai prekursor TiO_2 .
- b. Serbuk Au_2O_3 99,99% sebagai prekursor Au.

- c. *Tetrahydrofuran* (THF) sebagai pelarut.
- d. *Aceton* untuk mencuci substrat.
- e. *Methanol* untuk mencuci substrat.
- f. *De-ionized water* untuk mencuci substrat.
- g. Gas N₂ dengan tingkat kemurnian 99,99% untuk mengeringkan substrat.

3.3 Prosedur Penelitian

Berikut merupakan diagram alir penelitian ini:



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

Gambar 3.3 menunjukkan diagram alir penelitian yang terdiri dari empat tahapan: preparasi substrat dan prekursor, penumbuhan film tipis, karakterisasi film tipis dan tahap terakhir adalah analisa. Pada preparasi substrat, substrat Si (100) (terlampir pada Lampiran E) dengan dimensi 3cm x 3cm dicuci dengan menggunakan *aceton* selama

5 menit. Kemudian, substrat tersebut dicuci dengan *methanol* selama 5 menit dan diakhiri dengan 10% HF yang dicampur dengan *de-ionized water (DI water)* selama 2 menit. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan lapisan alami SiO_2 dari permukaan substrat. Langkah akhir dari preparasi substrat adalah dengan menyemprotkan gas N_2 yang bertujuan untuk mengeringkan substrat.

Pada preparasi prekursor, bahan Au_2O_3 dilarutkan dalam pelarut *tetrahydrofuran* (THF, $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$). Pada tahap ini akan dilakukan variasi konsentrasi larutan dengan cara memvariasi konsentrasi Au yaitu 0,1 M; 0,2 M; 0,4 M dan 0,5 M. Kemudian Larutan yang diperoleh kemudian dicampur dengan *Titanium (IV) Isopropoxide* atau $[\text{Ti}\{\text{OCH}(\text{CH}_3)_2\}_4]$ (97%) dengan perbandingan 1:4. Hasil akhirnya berupa gel. Setiap gel untuk masing-masing konsentrasi akan dibuat lima sampel.

Tahapan berikutnya adalah penumbuhan film tipis. Setelah mempersiapkan *spinner*, substrat diletakkan di atas *spinner* yang kemudian dilapisi dengan *wetting layer* TTIP. Langkah selanjutnya, gel ditetaskan di atas substrat sebanyak 4-5 tetes, dan kemudian *spinner* diputar pada kecepatan 1500 rpm dalam 1 menit. Setelah proses penumbuhan selesai, lapisan dikeringkan pada 100°C selama 30 menit dengan menggunakan *furnace*. Tahap ini bertujuan untuk menguapkan pelarut sehingga yang tertinggal di atas substrat merupakan hamparan tipis bahan semikonduktor ($\text{TiO}_2:\text{Au}$). Tahap akhir dari proses ini adalah pemanasan pada temperatur tinggi 500°C selama 60 menit menggunakan *furnace*. Tahap ini bertujuan untuk proses kristalisasi bahan semikonduktor dan pelekatan pada permukaan substrat. Hasil akhir dari proses ini adalah sampel lapisan tipis $\text{TiO}_2:\text{Au}$.

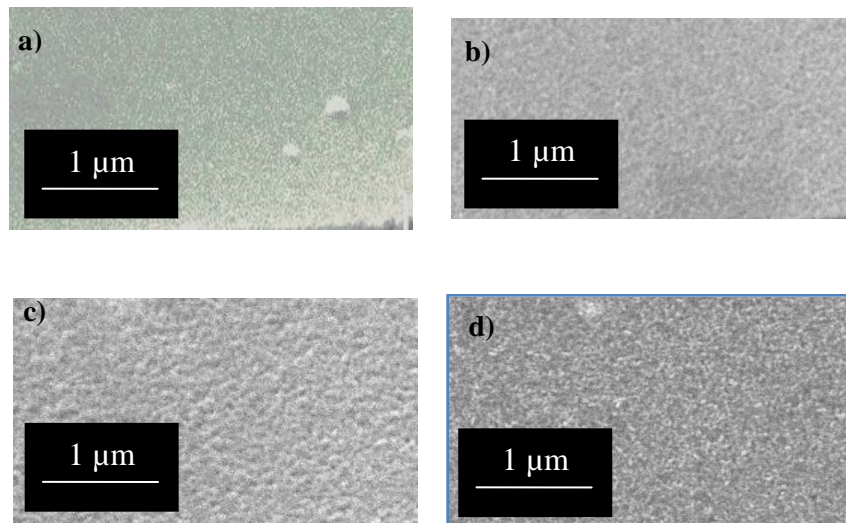
Dari setiap konsentrasi Au akan dihasilkan lima sampel, namun hanya sampel yang terbaiklah yang akan dikarakterisasi menggunakan *High Resolution X-Ray Diffraction* (HR-XRD), *Optical Reflectance Spectroscopy* dan *Energy Dispersive X-Ray Spectrometer* (EDS). Hasil karakterisasi tersebut dianalisa sehingga dapat ditarik kesimpulan.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Komposisi Kimia Film Tipis TiO₂:Au

Komposisi kimia film tipis TiO₂:Au diwakili oleh komposisi atom dari film tipis tersebut. Komposisi atom yang terkandung di dalam film tipis dapat ditentukan dengan menggunakan *Energy Dispersive X-Ray Spectrometer* (EDS). Ketika elektron menumbuk permukaan sampel, akan dihasilkan radiasi. Terdapat empat jenis radiasi yang dihasilkan oleh alat ini. Radiasi yang dihimpun untuk dapat menghasilkan komposisi atom adalah radiasi sinar-x.

Dalam penelitian ini digunakan empat sampel yang memiliki variasi doping Au. Hasil analisis komposisi atom film tipis TiO₂:Au diperoleh dengan menggunakan EDS. Komposisi atom penyusun film tipis TiO₂:Au ditunjukkan pada lampiran C. Persentase atom Au dalam film tipis TiO₂:Au dengan konsentrasi Au sebesar 0,1 M; 0,2 M; 0,4 M dan 0,5 M adalah 0,01%; 0,02%; 0,04% dan 0,05%. Jumlah atom Au dalam film tipis TiO₂:Au meningkat dengan peningkatan konsentrasi Au. Hasil tersebut sesuai dengan citra EDS sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Citra EDS dari permukaan film tipis TiO₂:Au dengan konsentrasi Au sebesar (a) 0,1 M; (b) 0,2 M; (c) 0,4M dan (d) 0,5 M

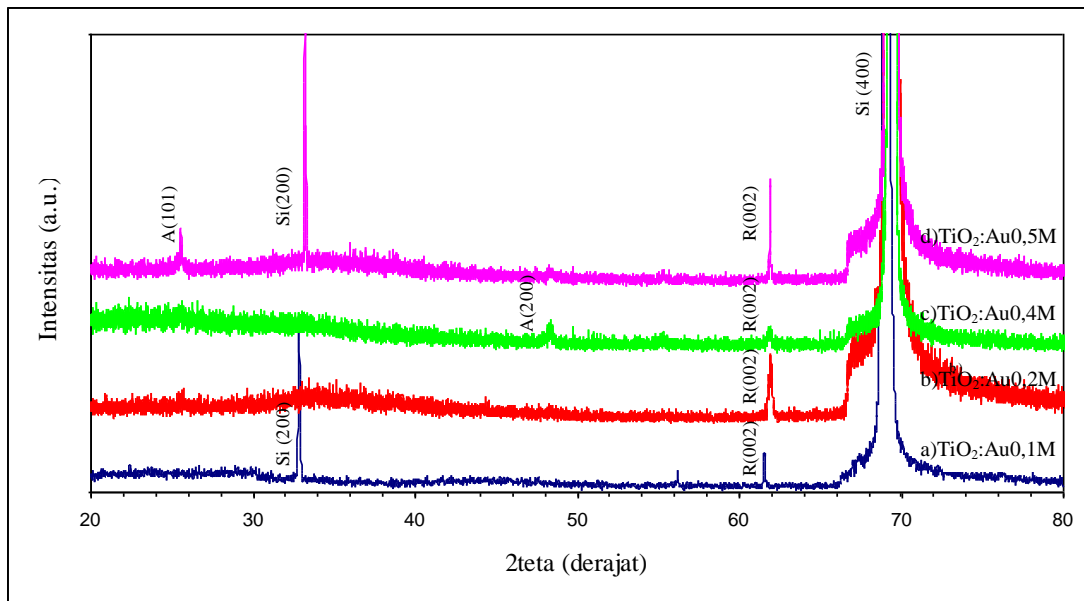
Gambar 4.1 menunjukkan permukaan film tipis TiO₂:Au yang dihasilkan memiliki butiran penyusun film yang homogen. Film tipis TiO₂:Au dengan konsentrasi 0,5 M memiliki ukuran butiran penyusun film yang paling besar. Film dengan konsentrasi terendah, 0,1 M, memiliki ukuran butiran penyusun film yang paling kecil. Berdasarkan analisa EDS diperoleh fakta bahwa dengan peningkatan konsentrasi dopan Au maka dihasilkan film tipis TiO₂:Au dengan butiran yang semakin besar.

4.2 Struktur Kristal Film Tipis TiO₂:Au

Metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengarakterisasi struktur kristal adalah *High Resolution X-Ray Diffraction* (HR-XRD). Ketika sinar-x ditembakkan mengenai film tipis dengan sudut datang θ , maka sinar tersebut akan didifraksikan. Sinar yang didifraksikan tersebut akan ditangkap oleh detektor yang diatur dengan sudut 2θ terhadap sinar datang. Posisi awal 2θ yang digunakan dalam penelitian ini adalah 20° dan berakhir pada posisi 80° dengan interval $0,004^\circ$. Panjang gelombang sinar-X (K-Alpha) yang digunakan dalam penelitian ini adalah $1,54056\text{\AA}$.

Output yang diperoleh dari metode ini berupa *file text* yang merupakan nilai intensitas sinar-x (dalam satuan a.u.) yang didifraksikan sebagai fungsi dari sudut 2θ (derajat). Data tersebut kemudian diolah menggunakan program *Open Office Excel* sehingga dapat dihasilkan pola HR-XRD. Struktur kristal dapat diketahui dari adanya puncak difraksi pada pola HR-XRD. Jika hanya terdapat satu puncak difraksi maka film tipis yang dihasilkan berbentuk kristal tunggal. Namun, jika terdapat lebih dari satu puncak difraksi maka film tipis tersebut berbentuk polikristal. Untuk menentukan jenis bidang kristal yang bersesuaian dengan puncak difraksi maka dilakukan dengan menyesuaikan data 2θ dari puncak difraksi dengan standar difraksi sinar-x.

Pada penelitian ini dihasilkan film tipis TiO₂:Au yang ditumbuhkan di atas substrat Si(100) pada temperatur 500°C sebagai berikut:



Gambar 4.2 Pola HR-XRD Film Tipis $\text{TiO}_2\text{:Au}$ pada Temperatur 500°C dengan variasi konsentrasi Au (a) 0,1 M, (b) 0,2 M, (c) 0,4 M dan (d) 0,5 M

Bidang kristal tunggal *rutile* (002) (R(002)) dihasilkan pada Gambar 4.2(a) dan 4.2(b). Gambar 4.2(a) merupakan pola difraksi film tipis $\text{TiO}_2\text{:Au}$ yang ditumbuhkan pada temperatur 500°C dengan konsentrasi Au sebesar 0,1 M. Sedangkan 4.2(b) merupakan pola difraksi film tipis $\text{TiO}_2\text{:Au}$ yang ditumbuhkan pada temperatur 500°C dengan konsentrasi Au sebesar 0,2 M. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Zahroh (2012). Dalam penelitiannya, Zahroh (2012) menyatakan bahwa film tipis $\text{TiO}_2\text{:Au}$ yang ditumbuhkan dengan metode *spin coating* pada temperatur penumbuhan 500°C akan dihasilkan kristal tunggal dengan bidang kristal *rutile* (002) ((R(002))).

Bidang polikristal dapat diperoleh dengan meningkatkan konsentrasi Au yang lebih banyak. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.2(c) dan 4.2(d). Bidang polikristal *rutile* (002) (R(002)) dan *anatase* (200) (A(200)) ditunjukkan pada Gambar 4.2(c) dengan konsentrasi Au 0,4 M. Film tipis dengan konsentrasi Au sebesar 0,5 M diperoleh bidang polikristal *rutile* (002) (R(002)) dan *anatase* (101) (A(101)) ditunjukkan pada Gambar 4.2(d). Puncak baru pada gambar 4.2(c) dan gambar 4.2(d)

menunjukkan kehadiran atom Au pada film tersebut. Hadirnya puncak difraksi substrat Silikon yang kedua yaitu Si(200) sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.2(a) dan gambar 4.2(d), dikarenakan adanya efek difraksi ganda (Gupta *et al.* 2004).

Dari Gambar 4.2 di atas dapat disimpulkan bahwa pemberian dopan Au dengan variasi 0,1 M dan 0,2 M tidak menunjukkan kehadiran Au. Sedangkan pada pemberian dopan Au dengan variasi 0,4 M dan 0,5 M nampak adanya puncak baru yang mengindikasikan kehadiran dopan Au.

Pada Gambar 4.2(a) dan 4.2(b), struktur kristal yang dihasilkan adalah bidang kristal tunggal (R(002)), namun pada Gambar 4.2(c) dan 4.2(d) terdapat puncak baru yang mengindikasikan kehadiran Au. Hasil ini sesuai dengan penelitian Radecka *et al.* (2004) yang menyebutkan bahwa peningkatan konsentrasi Au menunjukkan adanya puncak difraksi baru. Hal ini disebabkan kehadiran Au telah cukup untuk menghasilkan bidang kristal baru. Dalam penelitiannya, pemberian konsentrasi Au < 0,2% (dengan beberapa perlakuan yaitu variasi temperatur substrat, ketebalan film dan tekanan yang diberikan) menunjukkan tidak ada perubahan dari struktur kristal film. Namun ketika konsentrasi Au ditingkatkan menjadi 3,18% akan dihasilkan puncak baru yang mengindikasikan kehadiran atom Au.

Hasil ini didukung pula oleh penelitian yang dilakukan oleh Loganathan (2012) yang menyatakan bahwa adanya variasi konsentrasi Au pada batas tertentu menunjukkan adanya perubahan struktur kristal dengan munculnya puncak difraksi baru. Dalam penelitiannya terdapat beberapa variasi Au yaitu: TiO₂ murni, 0,1wt%, 0,3wt%, 0,5wt% dan 1,0wt%. Dimana wt% merupakan persentase massa Au pada film tipis TiO₂. Pada konsentrasi Au 0,1wt%, 0,3wt%, 0,5wt% dan TiO₂ murni, tidak terjadi perubahan struktur kristal. Hal ini disebabkan kehadiran partikel Au tidak cukup untuk menghasilkan pola HR-XRD. Namun pada konsentrasi Au 1,0 wt% nampak puncak difraksi baru.

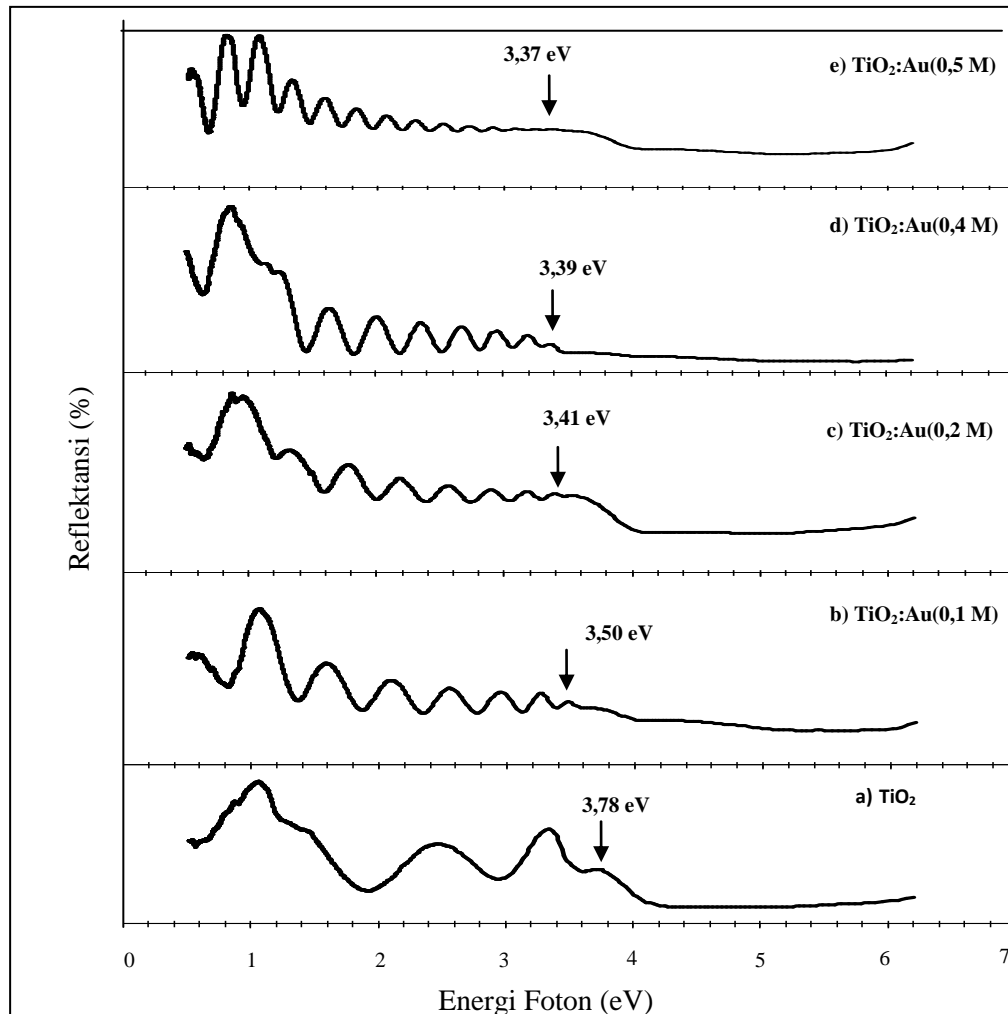
Tidak munculnya struktur kristal yang baru disebabkan dopan Au hanya menyisip (interstitial) pada TiO_2 (Loganathan, 2012). Sedangkan terjadinya perubahan struktur kristal dengan munculnya puncak difraksi baru disebabkan oleh atom dopan yang menyubstitusi pada atom TiO_2 (Effendi dan Bilalodin, 2012).

Ukuran butiran yang semakin meningkat diindikasikan oleh peningkatan intensitas pada puncak difraksi. Peningkatan intensitas tersebut dipengaruhi oleh peningkatan konsentrasi dopan Au (Loganathan *et al.*, 2012). Pada Gambar 4.2(a) dan 4.2(b) terlihat adanya peningkatan intensitas yang disebabkan peningkatan konsentrasi Au. Hal ini mengindikasikan ukuran butiran yang semakin meningkat. Begitu juga pada Gambar 4.2(c) dan 4.2(d) terlihat adanya peningkatan intensitas yang menunjukkan ukuran butiran yang semakin meningkat.

4.3 Sifat Optik Film Tipis $\text{TiO}_2:\text{Au}$

Di dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk mengarakterisasi sifat optik film tipis $\text{TiO}_2:\text{Au}$ adalah *Optical Reflectance Spectroscopy*. Ketika cahaya putih ditembakkan mengenai film tipis maka cahaya tersebut akan dipantulkan kembali dan akan ditangkap oleh *spectrometer*. Panjang gelombang awal yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2400 nm dan berakhir dengan panjang gelombang 200 nm dengan interval 2 nm.

Output dari metode ini berupa *file text* yang berupa data persen reflektansi dan panjang gelombang yang diserap. Informasi panjang gelombang dapat digunakan untuk menentukan energi foton yang diserap. Perhitungan terperinci dari energi foton yang diserap terdapat pada Lampiran C. Adapun profil spektrum reflektansi sebagai fungsi dari energi foton ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Spektrum Reflektansi Film Tipis a) TiO_2 murni, b) $\text{TiO}_2:\text{Au}$ (0,1 M), c) $\text{TiO}_2:\text{Au}$ (0,2 M), d) $\text{TiO}_2:\text{Au}$ (0,4 M), e) $\text{TiO}_2:\text{Au}$ (0,5 M)

Data energi foton yang diserap bahan dalam spektrum reflektansi dapat digunakan untuk menentukan lebar celah pita energi film tipis. Besarnya nilai celah pita energi, yang dapat didefinisikan sebagai *energy band-to-band* di dalam bahan, mengacu pada puncak osilasi terakhir. Spektrum reflektansi pada Gambar 4.3(a) menunjukkan bahwa celah pita energi film tipis TiO_2 yang ditumbuhkan pada temperatur 500°C adalah 3,78 eV. Pola osilasi yang ditunjukkan dari spektrum reflektansi tersebut memiliki keteraturan bentuk.

Spektrum reflektansi Gambar 4.3(b) merupakan spektrum reflektansi dari film tipis TiO₂:Au yang ditumbuhkan pada temperatur 500°C dengan konsentrasi Au 0,1 M. Pola osilasi dari spektrum reflektansi menunjukkan pola yang teratur dengan terdapat sebelas puncak osilasi. Dari spektrum di atas dapat diketahui lebar celah pita energinya adalah 3,50 eV.

Gambar 4.3(c) merupakan spektrum reflektansi dari film tipis TiO₂:Au yang ditumbuhkan pada temperatur 500°C dengan konsentrasi Au 0,2 M. Pola osilasi dari spektrum reflektansi menunjukkan keteraturan dengan terdapat tiga belas puncak osilasi. Dari Gambar 4.3(c) diketahui lebar celah pita energinya adalah 3,41 eV.

Spektrum reflektansi dari film tipis TiO₂:Au yang ditumbuhkan pada temperatur 500°C dengan konsentrasi Au 0,4 M ditunjukkan pada Gambar 4.3(d). Pola osilasi dari spektrum reflektansi menunjukkan pola yang teratur dengan terdapat dua belas puncak osilasi. Dari Gambar 4.3(d) dapat diketahui lebar celah pita energinya adalah 3,39 eV.

Spektrum reflektansi pada Gambar 4.3(e) merupakan spektrum reflektansi dari film tipis TiO₂:Au yang ditumbuhkan pada temperatur 500°C dengan konsentrasi Au 0,5 M. Pola osilasi dari spektrum reflektansi menunjukkan adanya keteraturan. Dari Gambar 4.3(e) terdapat enam belas puncak osilasi dan dapat diketahui lebar celah pita energinya adalah 3,37 eV.

Dari uraian di atas, maka dapat disimpulkan bahwa lebar celah pita energi mengalami penurunan dengan bertambahnya dopan Au yang diberikan pada film tipis TiO₂. Pemberian variasi konsentrasi dopan Au sebesar 0,1 M hingga 0,5 M menunjukkan penurunan lebar celah pita energi dari 3,50 eV hingga 3,37 eV. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sutanto *et al.* (2005), Supriyanto *et al.* (2008), Supriyanto *et al.* (2009), Joseph dan Venkasteswaran (2007) dan Irzaman (2008) yang menyatakan bahwa bertambahnya dopan dapat menurunkan lebar celah pita energi.

Hasil ini sesuai dengan penelitian Joseph dan Venkasteswaran (2007) yang menunjukkan bahwa pemberian dopan Fe dan Mn pada film tipis mengakibatkan

peningkatan pergeseran pada spektrum merah. Hal ini mengindikasikan adanya penurunan lebar celah pita energi. Hal serupa juga disampaikan oleh Liu *et al.*, (2012). Pada penelitiannya, pemberian peningkatan konsentrasi ion logam (dopan) pada suatu film menyebabkan penurunan lebar celah pita energi NaTaO_3 yang disebabkan oleh substitusi ion logam pada bagian tantalum.

Hasil penelitian ini diperkuat dengan penelitian yang dilakukan oleh Irzaman (2008). Dalam penelitiannya diperoleh hasil dengan adanya penambahan dopan akan menyebabkan lebar celah pita energi film tipis menurun. Hal ini disebabkan penambahan sedikit dopan dapat menjadikan perubahan pada: parameter kisi, konstanta dielektrik, sifat elektro-kimia, sifat elektro-optik dan sifat piroelektrik film tipis tersebut (Irzaman, 2008; Utami, 2007). Sehingga apabila atom donor ditambahkan pada suatu bahan semikonduktor, maka tingkat energi yang diperkenankan akan berada sedikit di bawah pita konduksi (Irzaman, 2008). Hal serupa disampaikan pula oleh Schubert (1993) bahwa pada konsentrasi donor yang tinggi maka lebar celah pita energi pada semikonduktor menurun.

Dari kelima spektrum reflektansi yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 nampak adanya keteraturan pola osilasi. Pada penelitian Sutanto *et al.* (2005) dikatakan bahwa tingkat keteraturan pola osilasi dari film menunjukkan film yang ditumbuhkan bersifat homogen. Sehingga dapat disimpulkan bahwa keteraturan pola osilasi tersebut mengindikasikan film yang dihasilkan pada penelitian ini bersifat homogen.

Kelima spektrum reflektansi pada Gambar 4.3 menunjukkan adanya peningkatan jumlah puncak osilasi yang disebabkan oleh peningkatan konsentrasi Au. Pemberian dopan Au sebesar 0,1 M hingga 0,5 M dapat dihasilkan jumlah puncak osilasi yang meningkat dari sebelas hingga enam belas puncak osilasi. Hasil ini sesuai dengan penelitian Sutanto *et al.* (2005) bahwa pemberian dopan menyebabkan puncak osilasi bertambah yang mengindikasikan film yang dihasilkan semakin tebal. Sehingga dapat disimpulkan bahwa peningkatan jumlah puncak osilasi pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa film yang berhasil ditumbuhkan semakin tebal dengan pemberian konsentrasi Au yang semakin meningkat.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Film tipis TiO₂:Au telah berhasil ditumbuhkan dengan metode *spin coating* dengan memberikan variasi konsentrasi Au. Dengan menggunakan *Energy Dispersive X-Ray Spectrometer* (EDS), diperoleh besarnya komposisi atom Au pada film tipis TiO₂:Au pada konsentrasi 0,1 M; 0,2 M; 0,4 M; 0,5 M secara berurutan adalah 0,01%, 0,02%, 0,04% dan 0,05%.

Karakterisasi terhadap struktur kristal film dengan menggunakan *High Resolution X-Ray Diffraction* (HR-XRD) menunjukkan adanya bidang kristal tunggal *rutile* (002) pada film dengan konsentrasi Au sebesar 0,1 M dan 0,2 M, sedangkan pada penambahan konsentrasi Au sebesar 0,4 M dan 0,5 M dihasilkan bidang polikristal. Pemberian dopan pada konsentrasi 0,4 M dan 0,5 M menghasilkan puncak baru yang mengindikasikan kehadiran doping Au.

Karakterisasi sifat optik film tipis TiO₂:Au menggunakan *Optical Reflectance Spectroscopy* telah menunjukkan adanya spektrum reflektansi dengan pola puncak osilasi film tipis yang teratur yang mengindikasikan homogenitas film tipis yang dihasilkan. Konsentrasi Au pada film tipis TiO₂:Au sebesar 0,1 M; 0,2 M; 0,4 M dan 0,5 M menghasilkan lebar celah pita energi masing-masing sebesar 3,50 eV; 3,41 eV; 3,39 eV dan 3,37 eV. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pemberian doping Au dapat menurunkan lebar celah pita energi dari suatu film tipis TiO₂:Au.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka perlu beberapa saran untuk perbaikan dan pengembangan penelitian mengenai film tipis TiO₂:Au dengan memvariasi konsentrasi Au. Untuk perbaikan penelitian ini maka perlu dilakukan karakterisasi morfologi dan ketebalan film dengan menggunakan SEM. Hasil SEM

tersebut dapat dijadikan pembanding analisa yang diperoleh dari *optical reflectance spectroscopy*. Selain itu, untuk dapat mengetahui posisi dopan Au dalam film maka perlu digunakan spektrofotometer IR, sehingga dapat diketahui dengan pasti posisi Au menyisip atau menyubstitusi dalam film. Sedangkan untuk pengembangan penelitian ini, maka film tipis $\text{TiO}_2\text{:Au}$ dengan karakteristik terbaik perlu diaplikasikan sebagai sensor gas CO.

DAFTAR PUSTAKA

Buku

- Abdullah, M. dan Khairurrijal. 2009. *Diktat Workshop Pengolahan Data Karakteristik Nanomaterial*. Bandung: ITB.
- Bird, T. 1987. *Kimia Fisik Untuk Universitas*. Jakarta: Gramedia.
- Boylestad, R. dan Nashelsky, L. 2009. *Electronic Devices and Circuit Theory*. New Jersey: Prentice Hall.
- Flewitt, P. E. J. dan Wild, R. K. 2003. *Physical Methods for Materials Characterisation*. Bristol: Institute of Physics Publishing.
- Moliton, A. 2009. *Solid State Physics for Electronics*. United States: Wiley.
- Schubert, E. F. 1993. *Doping in III-V Semiconductor*. Cambridge: The University Press.
- Singh, J. 2003. *Electronic and Optoelectronic Properties of Semiconductor Structures*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Subekti, A. 2003. *Semikonduktor*. Jember: Fakultas MIPA Universitas Jember.
- Sugiyarto, K. H. dan Suyanti, R. D. 2010. *Kimia Anorganik Logam*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Disertasi

- Arbiol, J. dan Cobos. 2001. "Metal Additive Distribution in TiO₂ and SnO₂ Semiconductor Gas Sensor Nanostructured Materials." Tidak Diterbitkan. Disertasi: Universitas Barcelona.

Skripsi

- Anonim. (Tanpa tahun). "Pengaruh Variasi Temperatur Deposisi Terhadap Nilai Tegangan Barrier Persambungan Al-GaN yang dideposisi dengan Metode Sol Gel Menggunakan Teknik Spin Coating." Tidak Diterbitkan. Skripsi. Bandung: UPI.

- Faozi, M. A. 2011. "Pengaruh Kecepatan Spin Coating terhadap Kehomogenan Ketebalan Film Tipis $\text{TiO}_2\text{:Fe}$." Tidak Diterbitkan. Skripsi. Purwokerto: Universitas Jendral Soedirman.
- Mulyadi. 2009. "Pengaruh Ion Logam Fe(III) terhadap Penurunan Kadar Fenol dengan Katalis Titanium Dioksida (TiO_2) Melalui Reaktor Membran Fotokatallik." Tidak Diterbitkan. Skripsi. Semarang: Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Pribady, A. 2005. "Fabrikasi Lapisan Tipis SnO_2 dengan Metode Sputtering DC Sebagai Elemen Sensor Gas CO ." Tidak Diterbitkan. Skripsi. Surabaya: ITS.
- Zahroh, F. 2012. "Struktur Kristal dan Morfologi Film Tipis $\text{TiO}_2\text{:Au}$ di Atas Substrat Si(100) dengan Metode *Spin-Coating*." Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Universitas Jember.

Jurnal

- Abdullah, M. dan Khairurrijal. 2009. Review: Karakterisasi Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Teknologi*. ISSN 1979-0880. **Vol. 2** (1): 1-9.
- Asmuni. 2001. *Karakteristik Pasir Kuarsa (SiO_2) dengan Metode XRD*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Chen H. J., Wang L., dan Chiu W. Y. 2007. Chelation and Solvent Effect on The Preparation of Titania Colloids. *Materials Chemistry and Physics 101*. Elsevier.
- Cho, S. I., Chung, C. H., dan Moo, S. H. 2001. Temperatur Programmed Desorption Study on the Decomposition Mechanism of $\text{Ti}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4$ on Si(100). *Journal of Electrochemical Society*. 148, C599.
- Eisenberg, H. R. dan Kandel, D. 2000. Wetting Layer Thickness and Early Evolution of Epitaxially Strained Thin Film. *Israel: Weizmann Institute of Science 65.85.Jk*, 68.35.
- Effendi, M. dan Bilalodin. 2012. Effect of Doping Fe on TiO_2 Thin Films Prepared by Spin Coating Method. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*. **Vol. 12** (2): 107-110.
- Gupta, Paramanik, Varma dan Jacob. 2004. CVD Growth And Characterization Of 3C-SiC Thin Films. *Bull Mater Sci*. **Vol. 27** (5): 445-451

- Gonzalez, R. J. dan Zallen, R. 1997. Infrared Reflectivity and Lattice Fundamentals in Anatase TiO₂. *Physical Review B*. Amerika: The American Physical Society. **Vol. 55** (11): 7014-7017.
- Irzaman. 2008. Studi Fotodioda Film Tipis Semikonduktor Ba_{0,6}Sr_{0,4}TiO₃ Didadah Tantalum. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. ISSN : 1411-1098. **Vol. 1** (1): 18-22.
- Joseph, D. P. dan Venkateswaran, C. 2007. Band Gap Engineering in ZnO By Doping With 3d Transition Metal Ions.
- Khalil, A., Purwaningsih, S. Y., dan Darminto. 2009. Pengaruh Doping Emas dan Perlakuan Anil pada Sensitivitas Lapisan Tipis SnO₂ untuk Sensor Gas CO (*Seminar Nasional Pascasarjana IX*).
- Liu, X., Meng, Y., dan Wang, X. 2012. An Investigation on the Transition Metal Doping and Energy Band Structure of NaTaO₃ Nanoparticles. IPCBEE. **Vol. 38** (3rd International Conference on Chemistry and Chemical Engineering).
- Loganathan, Bommusamy, Muthaiappillai, dan Velayutham. 2011. The Syntheses, Characterizations, and Photocatalytic Activities of Silver, Platinum, and Gold Doped TiO₂ Nanoparticles. *Environmental Engineering Research*. pISSN 1226-1025 eISSN 2005-968X. **Vol. 6** (2):81-90.
- Machiakh, R. dan Bensaha, R. 2006. Analysis of Optical and Structural Properties of Sol-Gel TiO₂ Thin Films. *M. J. Condensed Mater*. **Vol. 7** (2): 54-57.
- Mawarani, Santoso, Budiono, dan Pribady. 2006. Karakteristik Lapisan Tipis SnO₂-Sputtering DC sebagai Elemen Sensor Gas CO. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. ISSN:1411-1098. **Vol. 8** (1): 35-39.
- Pal*, Pal, Jimenez, dan Rodriguez. 2011. Effects of Crystallization and Dopant Concentration on the Emission Behavior of TiO₂:Eu Nanophosphors. *Nanoscale Research Paper*. **Vol. 7** (1): 1-12.
- Radecka, Gorzkowska, Zakrzewska, dan Sobaoe. 2004. Nanocermet TiO₂:Au Thin Film Electrodes for Wet Electrochemical Solar Cells. *Opto-Electronics Review*. **Vol. 12** (1): 53-56.
- Rusdiana, Tayubi, Feranie, Karim, Suhandi, dan Arifin. 2007. *Penumbuhan Film Tipis GaN di Atas Substrat Sapphire dengan Teknik Sol-Gel Spin-Coating*. Bandung: UPI.

- Shi, H., Asahi, R., dan Stampfl, C. 2007. Properties of The Gold Oxides Au_2O_3 and Au_2O : First-Principles Investigation. *Physical Review B* 75, 205125. Amerika: The American Physical Society.
- Supriyanto, Wiranto, Hermida, Budiman, Arifin, Sukirno, dan Barmawi. 2007. Pengaruh Kandungan Co Terhadap Sifat Optik Film Tipis $\text{TiO}_2\text{-Co}$ yang Ditumbuhkan dengan Metode MOCVD. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. ISSN: 1411-1098. **Vol. 1**: 227-231.
- Supriyanto, Subagio, Sutanto, Saragih, Budiman, Arifin, Sukirno dan Barmawi. 2008. Effect of Co- doping on Microstructural, Crystal Structure and Optical Properties of $\text{Ti}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_2$ Thin Films Deposited on Si Substrate by MOCVD Method. *Neutron and X-ray scattering in Materials Science and Biology, American Institute of Physics (AIP) Conference Proceedings*. Vol **989**: 237.
- Supriyanto, E. dan Wiranto, G. 2009. Struktur Kristal, Morfologi dan Sifat Optik Film Tipis $\text{TiO}_2\text{:Eu}$ yang Ditumbuhkan di atas Si(100) dengan Metode MOCVD. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, ISSN:1411-8289. Vol. **9**.
- Sutanto, Subagio, Saragih, Supriyanto, Arifin, Budiman, Sukirno, dan Barmawi. 2005. Optical Reflectance Investigation of GaN, AlGaN and AlGaN/GaN Heterostructure Thin Film Grown on Si(111) Substrate by Plasma Assisted Metalorganic Chemical Vapor Deposition Method. Bandung: ITB.
- Sutanto, Nurhasanah, Marhaendrajaya, Taufani, Badriyah, dan Ambikawati. 2008. Penumbuhan Lapisan Tipis Semikonduktor GaN di atas Substrat Silikon dengan Metode Sol-Gel. (*Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses 2008*). ISSN: 1411-4216.
- Tan, Cao, Zhu, Chai, dan Pan. 2003. Ethanol Sensors Based on Nano-Sized $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ with SnO_2 , ZrO_2 , TiO_2 Solid Solutions. *Sensors and Actuators B*. Elsevier.
- Utami, A. C. W. 2007. Studi Efek Fotovoltaik Film Tipis $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$ yang Dididat Tantalum (BSTT) di Atas Substrat Si (100) Tipe-p. Skripsi: Departemen Fisika - IPB, Bogor.
- Widodo, S. 2010. Teknologi Sol Gel pada Pembuatan Nano Kristalin Metal Oksida untuk Aplikasi Sensor Gas. (*Seminar Rekayasa Kimia dan Proses 2010*). ISSN: 1411-4216.

Internet

Cost Effective Equipment. (Tanpa Tahun). *Spin Theory*. http://www.cpmt.org/mm/pkglab/theory/spin_theory.html [2 Juni 2012]

Schwitalla, S. C. (Tanpa Tahun). *Why is Au Found in Nature in the Metallic Form And Not as an Oxide?* <http://www.webtopicture.com/al/al--schwitalla.html> [2 Juni 2012]

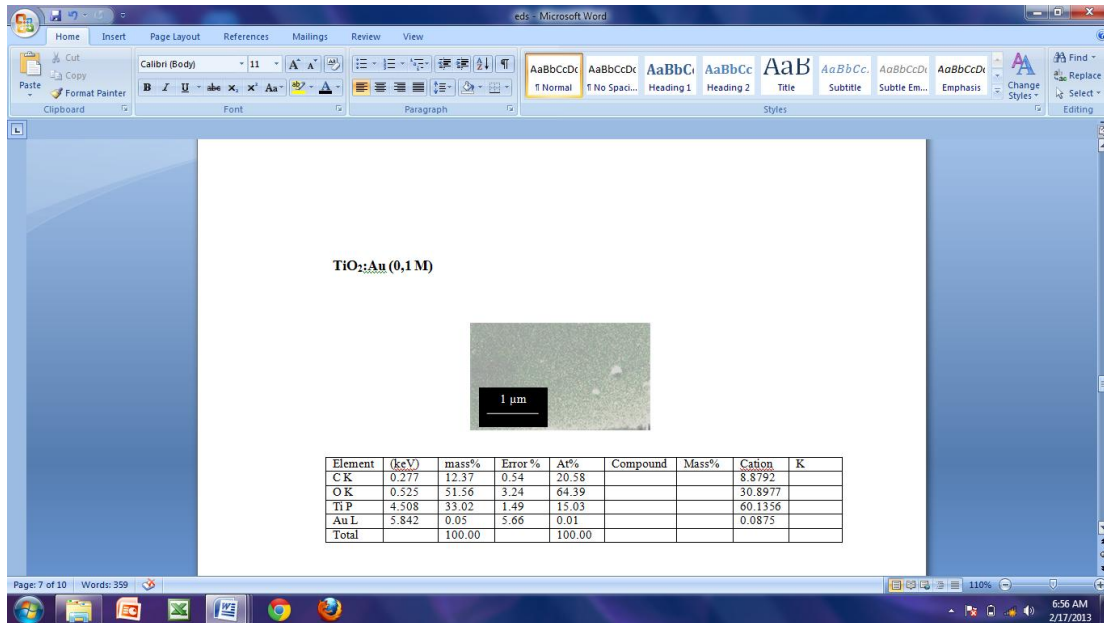
Wikipedia. (Tanpa Tahun). *Tetrahydrofuran*. <http://id.wikipedia.org/wiki/THF> [5 Juni 2012]

WikipediaIndonesia. 2012. *Protokol Kyoto*. http://id.wikipedia.org/wiki/Protokol_Kyoto [27 Oktober 2012]

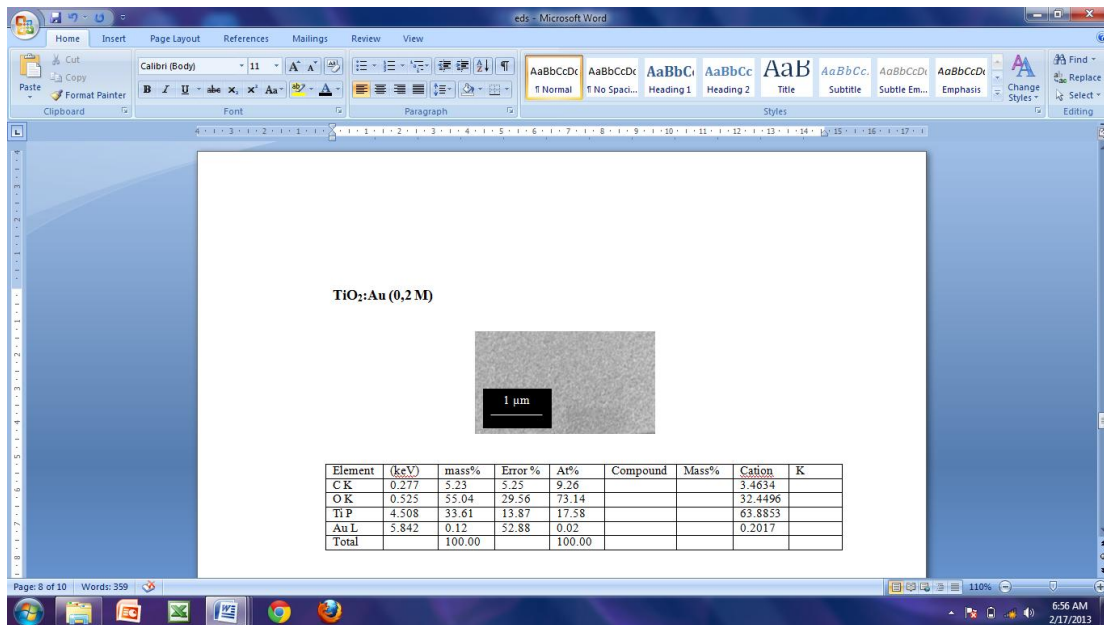
Wikipedia. 2012. *Bali Road Map*. http://id.wikipedia.org/wiki/Bali_Road_Map.htm [27 Oktober 2012]

LAMPIRAN A. DATA EDS

TiO₂:Au (0,1 M)



TiO₂:Au (0,2 M)



TiO₂:Au (0,4 M)

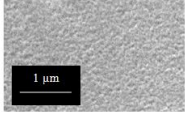
eds - Microsoft Word

Home Insert Page Layout References Mailings Review View

Calibri (Body) 11

Font Paragraph Styles

TiO₂:Au (0,4 M)



Element	(keV)	mass%	Error %	At%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	1.68	11.39	2.89			1.0753	
O K	0.525	64.15	51.88	82.46			44.9425	
Ti P	4.508	33.96	39.67	14.60			53.4753	
Au L	5.842	0.30	112.01	0.04			0.5069	
Total		100.00		100.00				

Page: 9 of 10 Words: 359

6:57 AM 2/17/2013

TiO₂:Au (0,5 M)

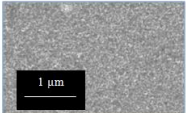
eds - Microsoft Word

Home Insert Page Layout References Mailings Review View

Calibri (Body) 11

Font Paragraph Styles

TiO₂:Au (0,5 M)



Element	(keV)	mass%	Error %	At%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	15.57	10.47	22.86			11.4008	
O K	0.525	62.89	45.08	69.32			53.5668	
Ti P	4.508	21.10	30.34	7.77			34.2742	
Au L	5.842	0.44	111.97	0.05			0.7584	
Total		100.00		100.00				

Page: 10 of 10 Words: 359

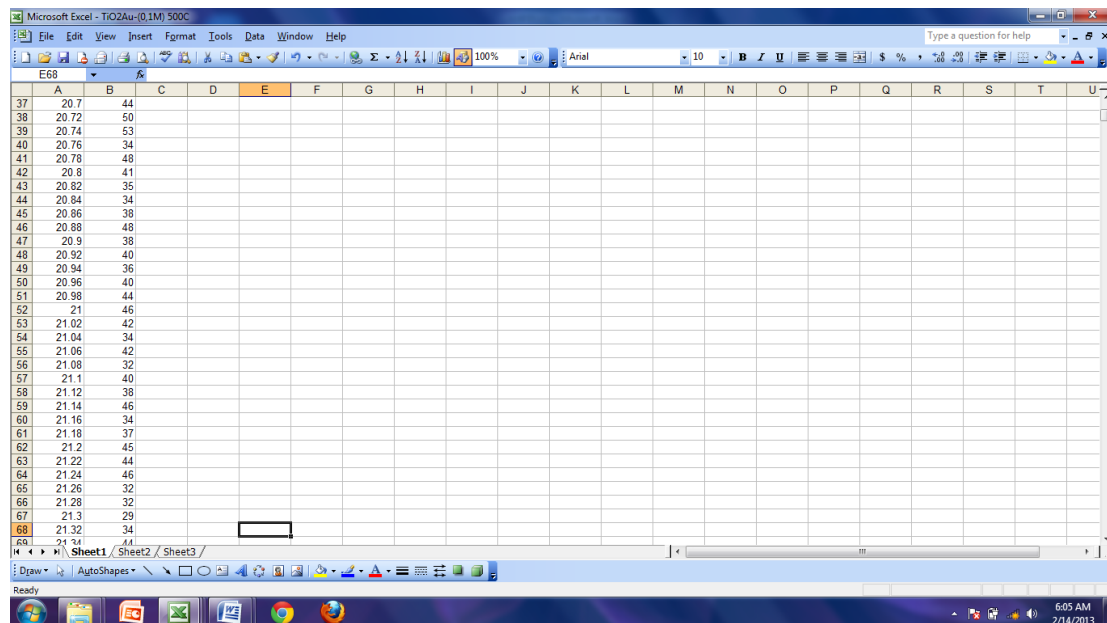
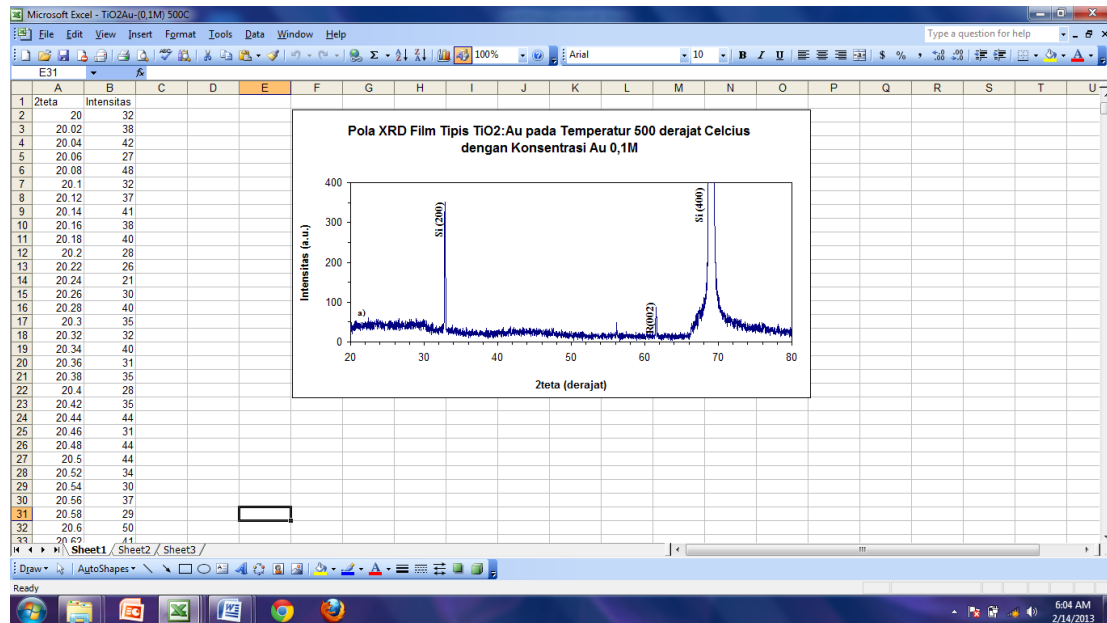
6:57 AM 2/17/2013

Berikut merupakan tabel perbandingan jumlah atom dalam film tipis TiO₂:Au untuk konsentrasi 0,1 M; 0,2 M; 0,4 M dan 0,5 M:

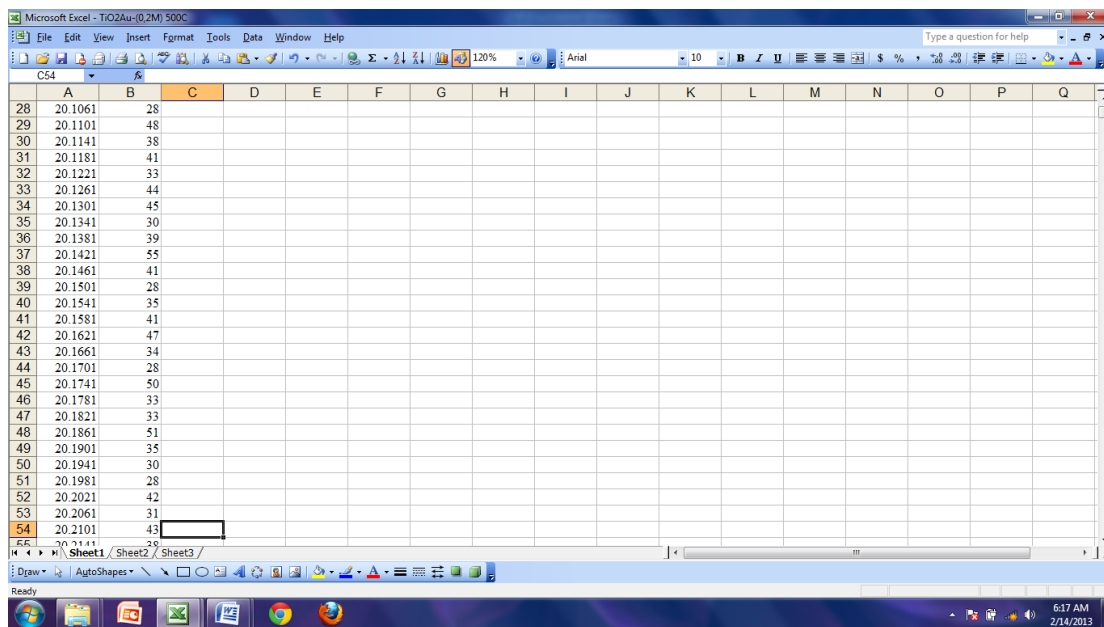
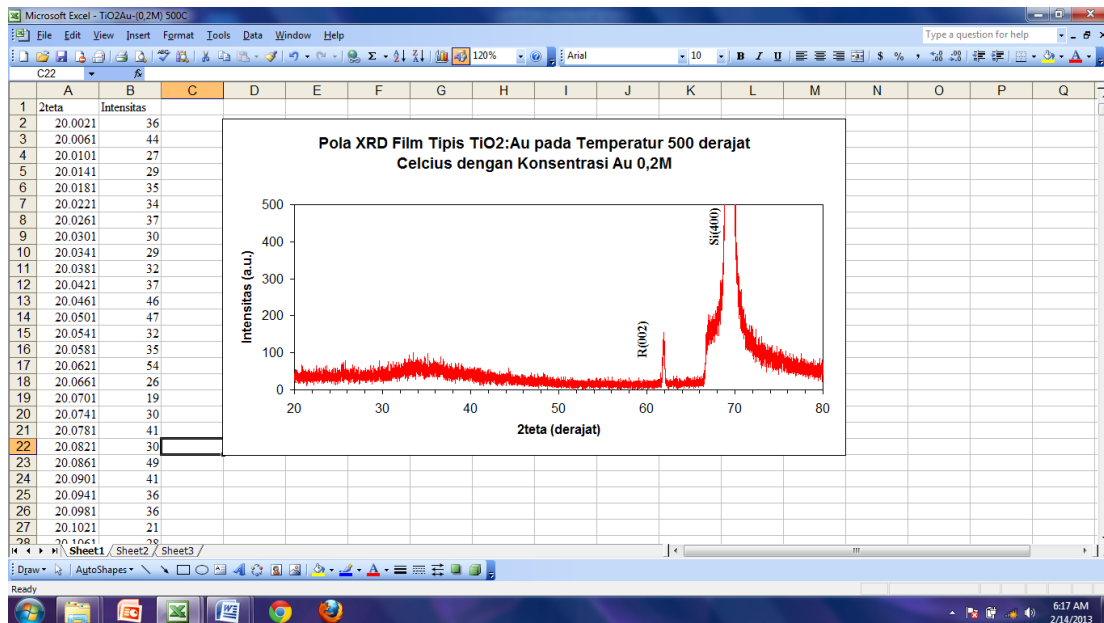
	C (%)	O (%)	Ti (%)	Au (%)
TiO ₂ :Au (0,1 M)	20,58	64,39	15,03	0,01
TiO ₂ :Au (0,2 M)	9,26	73,14	17,58	0,02
TiO ₂ :Au (0,4 M)	2,89	82,46	14,60	0,04
TiO ₂ :Au (0,5 M)	22,86	69,32	7,77	0,05

LAMPIRAN B. DATA HR-XRD

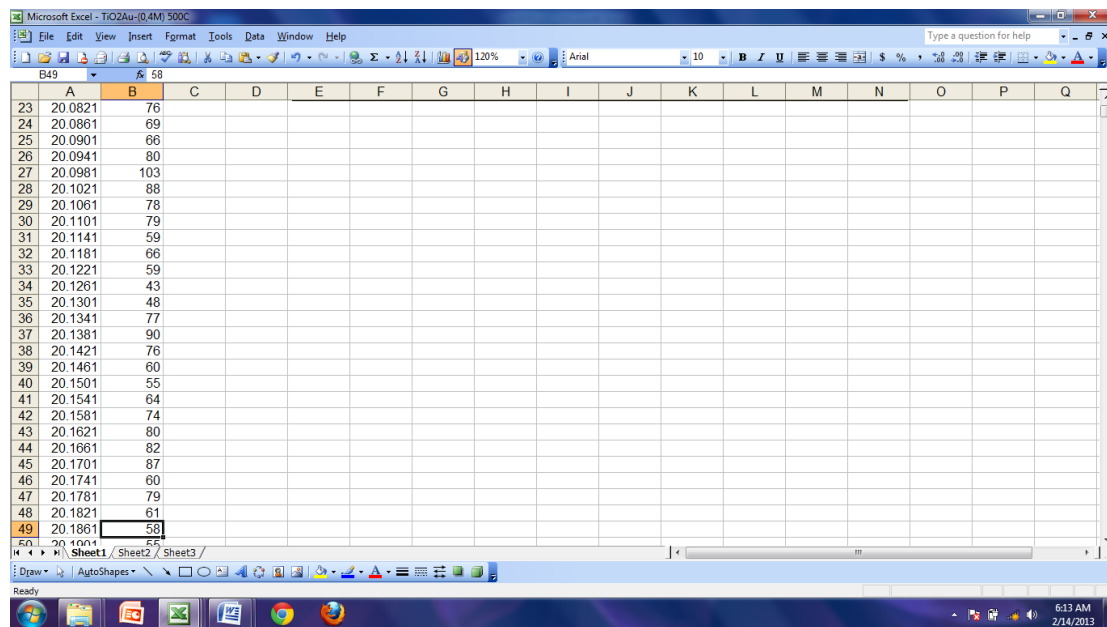
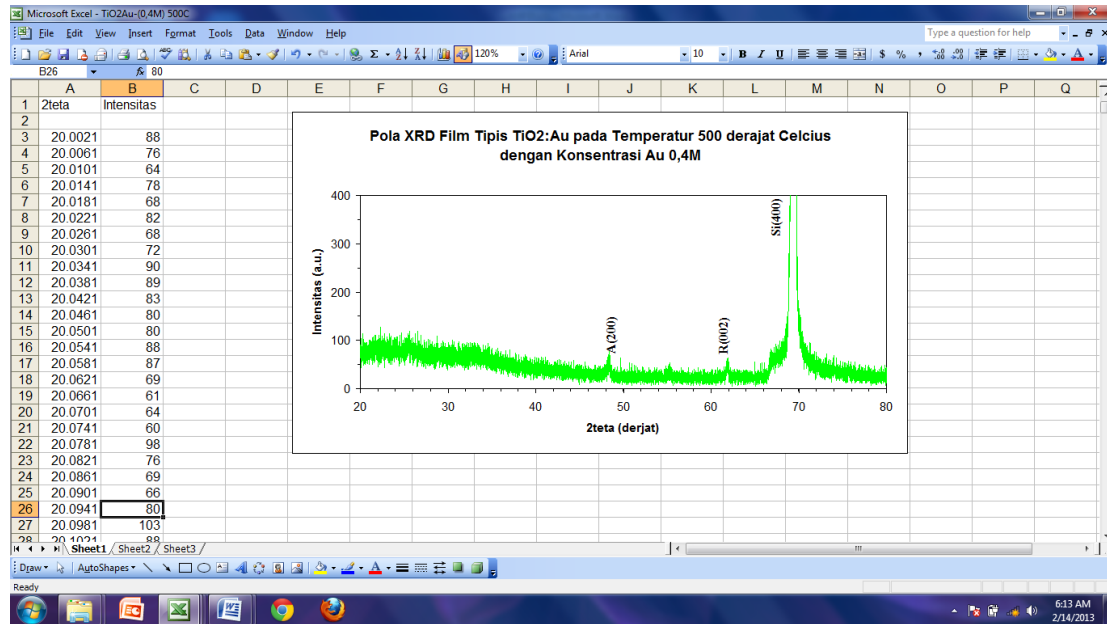
TiO₂:Au (0,1 M)



TiO₂:Au (0,2 M)



TiO₂:Au (0,4 M)



TiO₂:Au (0,1 M)

Microsoft Excel - TiO2Au (0.1M) 500C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	lamda (nm)	Refektansi (%)													
2	2400	3.908													
3	2398	3.908													
4	2396	3.915													
5	2394	3.909													
6	2392	3.931													
7	2390	3.946													
8	2388	3.937													
9	2386	3.952													
10	2384	3.969													
11	2382	3.957													
12	2380	3.97													
13	2378	3.983													
14	2376	3.969													
15	2374	3.975													
16	2372	3.987													
17	2370	3.97													
18	2368	3.97													
19	2366	3.983													
20	2364	3.964													
21	2362	3.967													
22	2360	3.979													
23	2358	3.966													
24	2356	3.967													
25	2354	3.981													

Microsoft Excel - TiO2Au (0.1M) 500C

Microsoft Excel - TiO2Au (0.1M) 500C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
40	2324	4.034													
41	2322	4.028													
42	2320	4.018													
43	2318	4.031													
44	2316	4.028													
45	2314	4.021													
46	2312	4.037													
47	2310	4.041													
48	2308	4.034													
49	2306	4.051													
50	2304	4.053													
51	2302	4.041													
52	2300	4.057													
53	2298	4.065													
54	2296	4.053													
55	2294	4.076													
56	2292	4.077													
57	2290	4.065													
58	2288	4.095													
59	2286	4.088													
60	2284	4.077													
61	2282	4.108													
62	2280	4.094													
63	2278	4.091													
64	2276	4.117													

Microsoft Excel - TiO2Au (0.1M) 500C

TiO₂:Au (0,2 M)

Microsoft Excel - TiO2Au (0.2M) 500C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	lamda (nm)	R(%)														
2	2400	22.1														
3	2398	22.07														
4	2396	22.07														
5	2394	22.08														
6	2392	22														
7	2390	22.05														
8	2388	22.04														
9	2386	21.99														
10	2384	22.1														
11	2382	22.03														
12	2380	22.02														
13	2378	22.09														
14	2376	21.98														
15	2374	22.03														
16	2372	22.05														
17	2370	21.97														
18	2368	22.06														
19	2366	22.07														
20	2364	22.05														
21	2362	22.2														
22	2360	22.17														
23	2358	22.2														
24	2356	22.33														
25	2354	22.25														

6:53 AM 2/14/2013

Microsoft Excel - TiO2Au (0.2M) 500C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
37	2330	22.67														
38	2328	22.78														
39	2326	22.71														
40	2324	22.81														
41	2322	22.81														
42	2320	22.74														
43	2318	22.87														
44	2316	22.85														
45	2314	22.83														
46	2312	22.93														
47	2310	22.83														
48	2308	22.84														
49	2306	22.89														
50	2304	22.78														
51	2302	22.85														
52	2300	22.85														
53	2298	22.73														
54	2296	22.81														
55	2294	22.77														
56	2292	22.69														
57	2290	22.74														
58	2288	22.65														
59	2286	22.6														
60	2284	22.55														
61	2282	22.42														

6:54 AM 2/14/2013

TiO₂:Au (0,4 M)

Microsoft Excel - TiO2Au (0.4M) 500C

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

Zoom 130%

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	lamda(nm)	R (%)														
2	2400	10.62														
3	2398	10.62														
4	2396	10.59														
5	2394	10.59														
6	2392	10.58														
7	2390	10.53														
8	2388	10.56														
9	2386	10.55														
10	2384	10.48														
11	2382	10.52														
12	2380	10.51														
13	2378	10.46														
14	2376	10.51														
15	2374	10.48														
16	2372	10.43														
17	2370	10.48														
18	2368	10.46														
19	2366	10.42														
20	2364	10.47														
21	2362	10.44														
22	2360	10.4														
23	2358	10.45														
24	2356	10.42														
25	2354	10.39														

Sheet1 / Sheet2 / Sheet3

6:57 AM 2/14/2013

Microsoft Excel - TiO2Au (0.4M) 500C

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

Zoom 130%

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
27	2350	10.38														
28	2348	10.34														
29	2346	10.38														
30	2344	10.31														
31	2342	10.28														
32	2340	10.32														
33	2338	10.24														
34	2336	10.22														
35	2334	10.25														
36	2332	10.18														
37	2330	10.15														
38	2328	10.17														
39	2326	10.09														
40	2324	10.07														
41	2322	10.1														
42	2320	10.04														
43	2318	10.03														
44	2316	10.06														
45	2314	9.978														
46	2312	9.979														
47	2310	10.01														
48	2308	9.943														
49	2306	9.964														
50	2304	9.978														
51	2302	9.901														

Sheet1 / Sheet2 / Sheet3

Ready

6:57 AM 2/14/2013

TiO₂:Au (0,5 M)

Microsoft Excel - TiO2Au (0.5M) 500c

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	lamda(nm)	Reflektansi(%)													
2	2400	3.894													
3	2398	3.897													
4	2396	3.903													
5	2394	3.925													
6	2392	3.925													
7	2390	3.931													
8	2388	3.949													
9	2386	3.941													
10	2384	3.955													
11	2382	3.979													
12	2380	3.975													
13	2378	3.987													
14	2376	4.005													
15	2374	3.999													
16	2372	4.008													
17	2370	4.027													
18	2368	4.022													
19	2366	4.028													
20	2364	4.047													
21	2362	4.042													
22	2360	4.048													
23	2358	4.066													
24	2356	4.066													
25	2354	4.074													

7:00 AM 2/14/2013

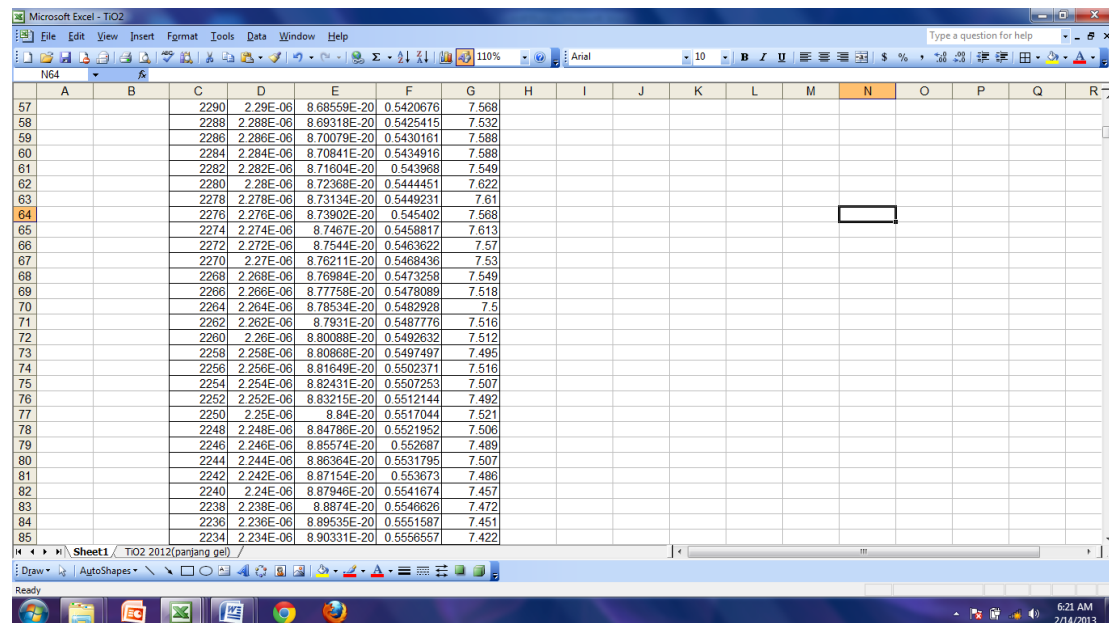
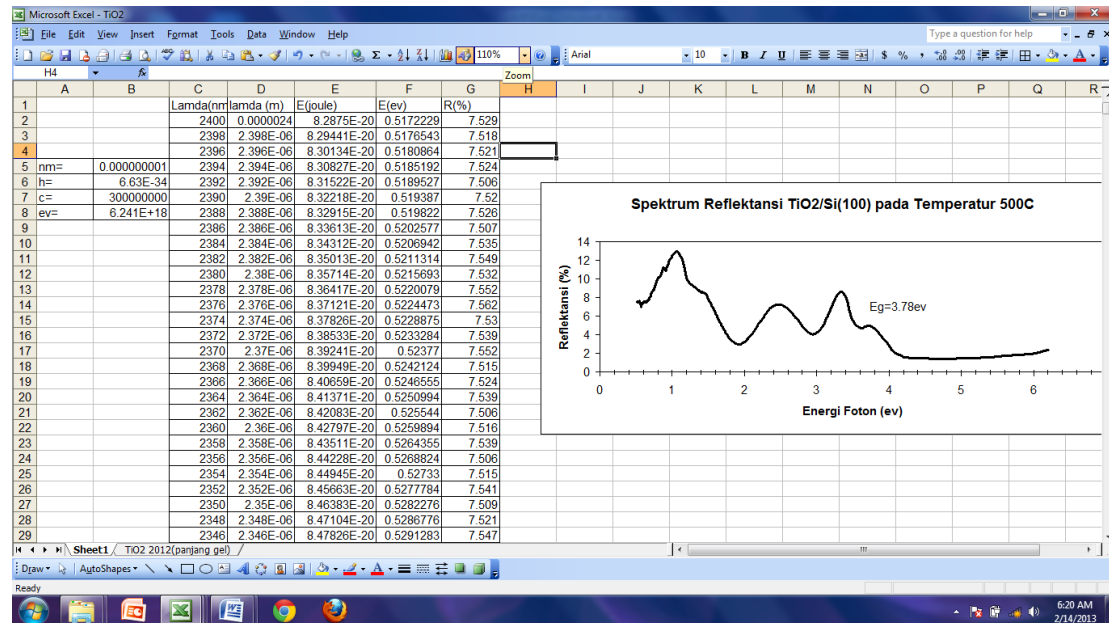
Microsoft Excel - TiO2Au (0.5M) 500c

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
65	2274	4.256													
66	2272	4.253													
67	2270	4.225													
68	2268	4.205													
69	2266	4.213													
70	2264	4.198													
71	2262	4.205													
72	2260	4.23													
73	2258	4.214													
74	2256	4.227													
75	2254	4.245													
76	2252	4.228													
77	2250	4.237													
78	2248	4.25													
79	2246	4.242													
80	2244	4.247													
81	2242	4.257													
82	2240	4.245													
83	2238	4.239													
84	2236	4.243													
85	2234	4.228													
86	2232	4.224													
87	2230	4.227													
88	2228	4.211													
89	2226	4.204													

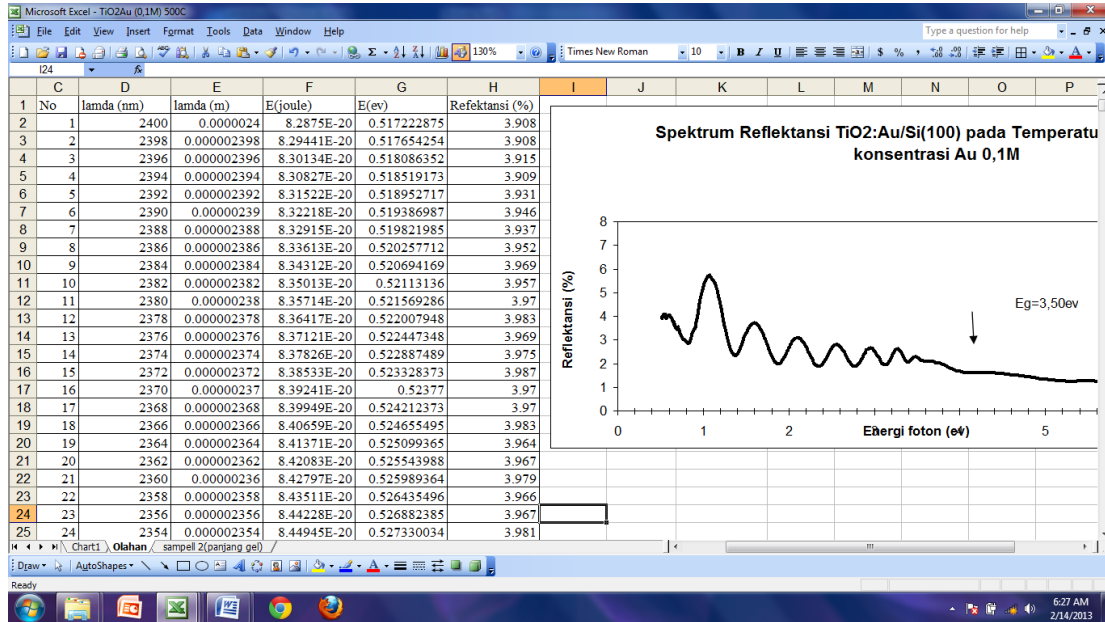
7:00 AM 2/14/2013

LAMPIRAN D. ANALISA SPEKTRUM REFLEKTANSI

TiO₂

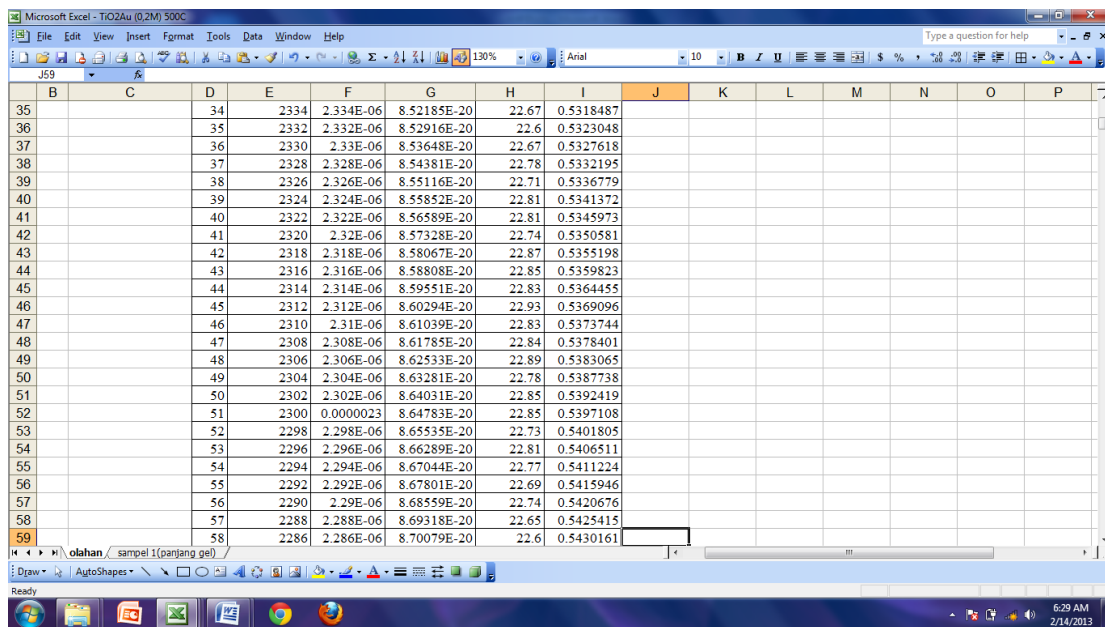
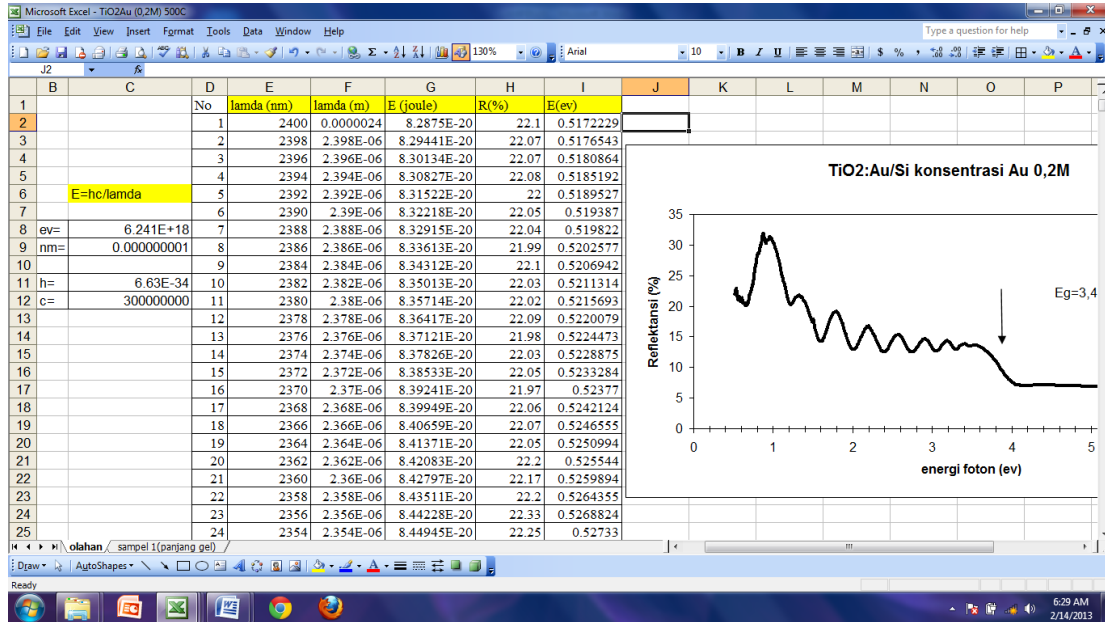


TiO₂:Au (0,1 M)

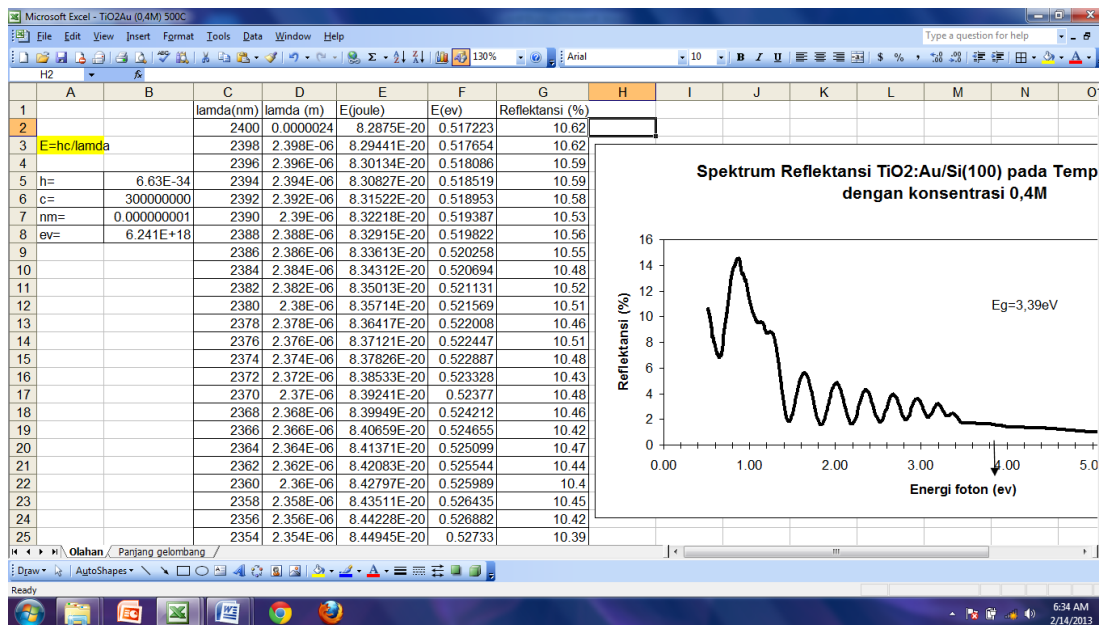


No	lamda (nm)	lamda (m)	E(joule)	E(ev)	Reflektansi (%)
169	2066	0.000002066	9.6273E-20	0.600839739	4.031
170	2064	0.000002064	9.63663E-20	0.601421948	4.041
171	2062	0.000002062	9.64597E-20	0.602005286	4.041
172	2060	0.00000206	9.65534E-20	0.602589757	4.036
173	2058	0.000002058	9.66472E-20	0.603175364	4.047
174	2056	0.000002056	9.67412E-20	0.603762111	4.048
175	2054	0.000002054	9.68354E-20	0.60435	4.037
176	2052	0.000002052	9.69298E-20	0.604939035	4.045
177	2050	0.00000205	9.70244E-20	0.60552922	4.045
178	2048	0.000002048	9.71191E-20	0.606120557	4.033
179	2046	0.000002046	9.72141E-20	0.60671305	4.041
180	2044	0.000002044	9.73092E-20	0.607306703	4.044
181	2042	0.000002042	9.74045E-20	0.607901518	4.028
182	2040	0.00000204	9.75E-20	0.6084975	4.039
183	2038	0.000002038	9.75957E-20	0.609094652	4.044
184	2036	0.000002036	9.76916E-20	0.609692976	4.03
185	2034	0.000002034	9.77876E-20	0.610292478	4.039
186	2032	0.000002032	9.78839E-20	0.610893159	4.045
187	2030	0.00000203	9.79803E-20	0.611495025	4.031
188	2028	0.000002028	9.80769E-20	0.612098077	4.037
189	2026	0.000002026	9.81737E-20	0.61270232	4.041
190	2024	0.000002024	9.82708E-20	0.613307757	4.025
191	2022	0.000002022	9.8368E-20	0.613914392	4.027
192	2020	0.00000202	9.84653E-20	0.614522228	4.031
193	2018	0.000002018	9.85629E-20	0.615131269	4.016

TiO₂:Au (0,2 M)

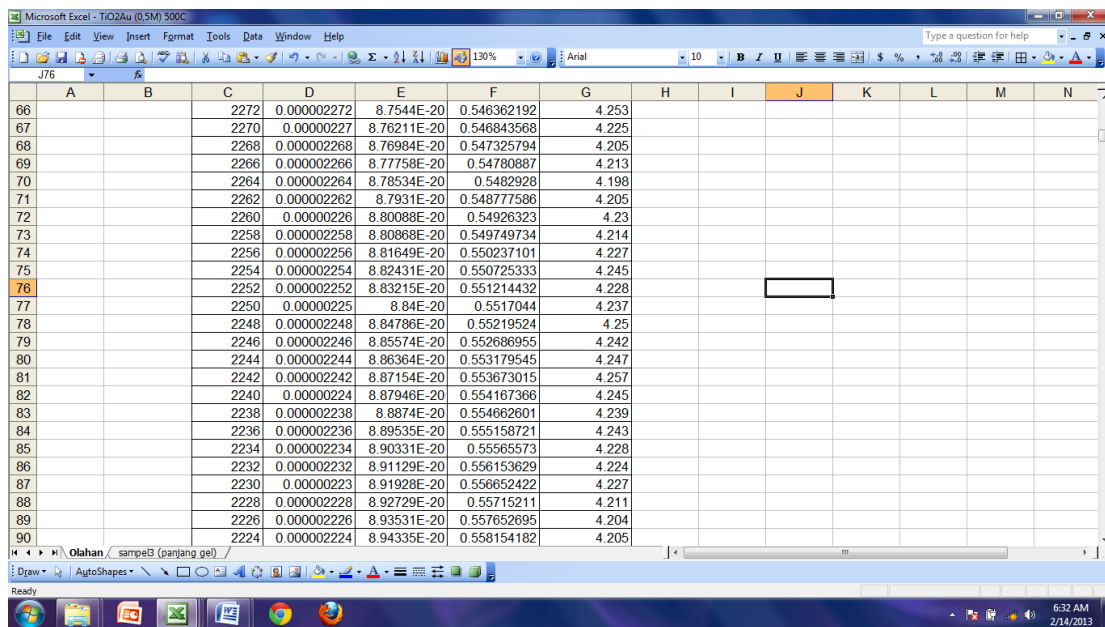
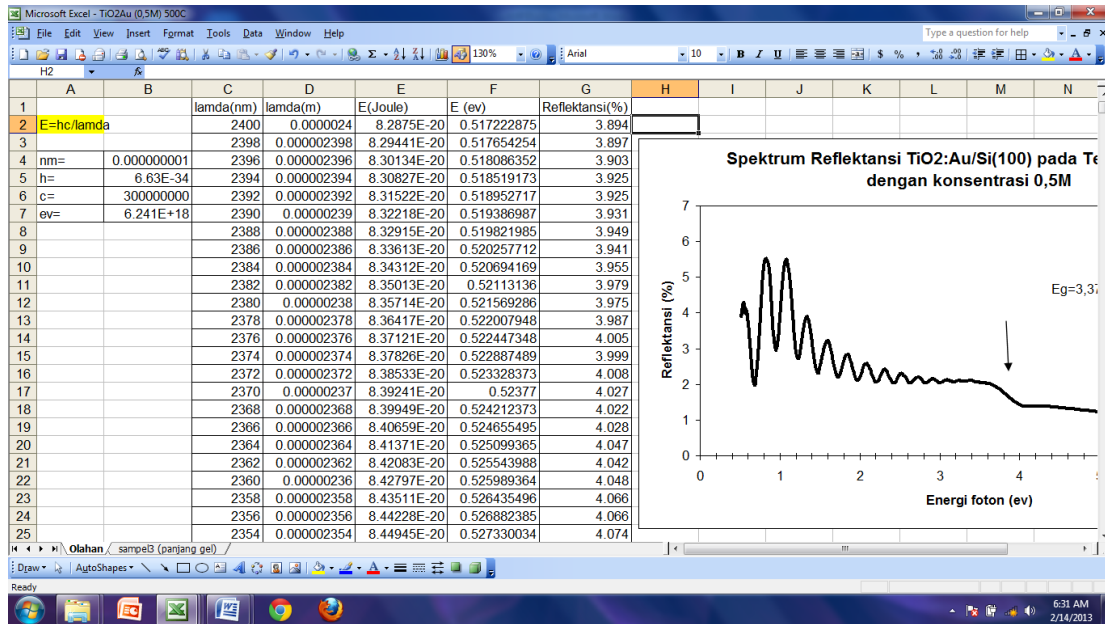


TiO₂:Au (0,4 M)



Row	lambda(nm)	lambda (m)	E(joule)	E(ev)	Reflektansi (%)
253	1898	1.898E-06	1.04795E-19	0.654023	6.882
254	1896	1.896E-06	1.04905E-19	0.654713	6.935
255	1894	1.894E-06	1.05016E-19	0.655404	6.94
256	1892	1.892E-06	1.05127E-19	0.656097	6.956
257	1890	1.89E-06	1.05238E-19	0.656791	6.996
258	1888	1.888E-06	1.0535E-19	0.657487	6.992
259	1886	1.886E-06	1.05461E-19	0.658184	6.998
260	1884	1.884E-06	1.05573E-19	0.658883	7.027
261	1882	1.882E-06	1.05685E-19	0.659583	7.019
262	1880	1.88E-06	1.05798E-19	0.660285	7.002
263	1878	1.878E-06	1.05911E-19	0.660988	7.01
264	1876	1.876E-06	1.06023E-19	0.661692	6.973
265	1874	1.874E-06	1.06137E-19	0.662399	6.938
266	1872	1.872E-06	1.0625E-19	0.663106	6.967
267	1870	1.87E-06	1.06364E-19	0.663815	6.94
268	1868	1.868E-06	1.06478E-19	0.664526	6.95
269	1866	1.866E-06	1.06592E-19	0.665238	7.002
270	1864	1.864E-06	1.06706E-19	0.665952	6.981
271	1862	1.862E-06	1.06821E-19	0.666668	7.016
272	1860	1.86E-06	1.06935E-19	0.667384	7.054
273	1858	1.858E-06	1.07051E-19	0.668103	7.024
274	1856	1.856E-06	1.07168E-19	0.668823	7.045
275	1854	1.854E-06	1.07282E-19	0.669544	7.066
276	1852	1.852E-06	1.07397E-19	0.670267	7.036
277	1850	1.85E-06	1.07514E-19	0.670992	7.056

TiO₂:Au (0,5 M)



LAMPIRAN E. KEGIATAN PENELITIAN

1) Bahan dan alat penelitian



Catatan:

A: *Aceton*

B: *Tetrahydrofuran*

C: *Titanium (IV) Isopropoxide*

D: *Hidrogen Florida (HF)*

E: *DI Water*

F: *Methanol*

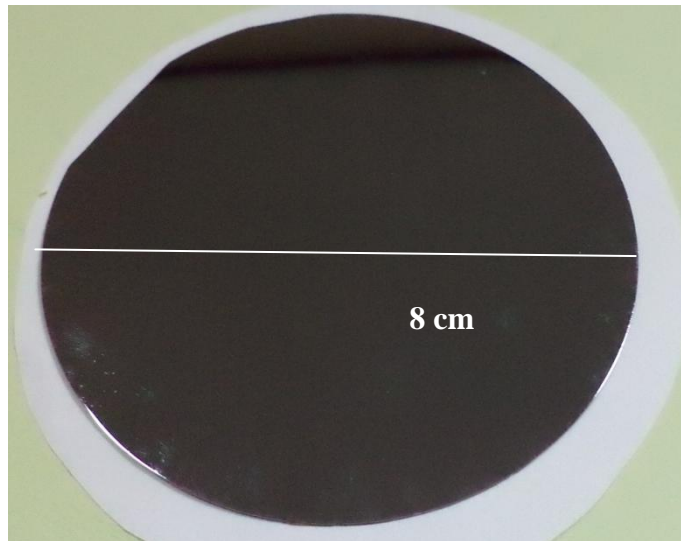
G: *Beaker Glass*

H: *Pinset*

I: *Gelas Reaksi*

J: *Pipet tetes*

1.1) Substrat Si (100)



1.2) Pemotong substrat



2) Preparasi substrat Si(100)



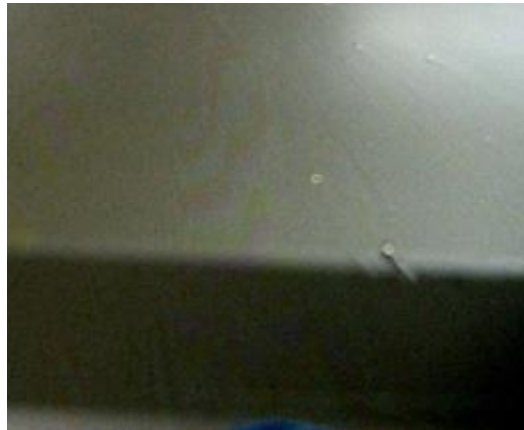
3) Sampel yang dihasilkan

Berikut merupakan sampel yang tidak digunakan lebih lanjut dalam karakterisasi:





Berikut merupakan sampel yang digunakan dalam penelitian:



4) Film tipis $\text{TiO}_2:\text{Au}$ yang akan dikarakterisasi

