



TUGAS AKHIR - TF141581

**PENGARUH WAKTU DEPOSISI DALAM SINTESIS
 TiO_2 ANATASE DENGAN METODE *CHEMICAL BATH
DEPOSITION* TERHADAP KARAKTERISTIK SENSOR
GAS *VOLATILE ORGANIC COMPOUND* (METANOL)**

ANNISA AMADHEA FIRMAN
NRP. 2414 105 024

Dosen Pembimbing
Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.
Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT - TF141581

**THE EFFECT OF DEPOSITION TIME OF TiO_2
ANATASE SYNTHESIS USING CHEMICAL BATH
DEPOSITION METHOD ON THE GAS VOLATILE
ORGANIC COMPOUND (METHANOL) SENSOR
CHARACTERISTIC**

ANNISA AMADHEA FIRMAN
NRP. 2414 105 024

Supervisor
Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.
Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

**PENGARUH WAKTU DEPOSISI DALAM SINTESIS
TiO₂ ANATASE DENGAN METODE *CHEMICAL
BATH DEPOSITION* TERHADAP KARAKTERISTIK
SENSOR GAS *VOLATILE ORGANIC COMPOUND*
(METANOL)**

TUGAS AKHIR

Oleh :

Annisa Amadhea Firman

NRP : 2414 105 024

Surabaya, Agustus 2016

Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I,



Dr.-Ing. Doty Dewi R., S.T., M.T.

NIPN. 19740903 199802 2 001

Pembimbing II,



Lizda Johar M., S.T., M.T.

NIPN. 19740815 199703 2 001

Ketua Jurusan

Teknik Fisika FTI-ITS



Agus Muhammad Hajata, ST., Msi., Ph.D

NIPN. 19780902 200312 1 002

**PENGARUH WAKTU DEPOSISI DALAM SINTESIS
TiO₂ ANATASE DENGAN METODE *CHEMICAL BATH
DEPOSITION* TERHADAP KARAKTERISTIK
SENSOR GAS *VOLATILE ORGANIC COMPOUND*
(METANOL)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Bahan
Program Studi Lintas Jalur S-1
Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ANNISA AMADHEA FIRMAN
NRP. 2414 105 024

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr.-Ing. Doty Dewi R., S.T., M.T.  (Pembimbing I)
2. Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.  (Pembimbing II)
3. Ir. Zulkifli, M.Sc  (Penguji I)
4. Dyah Sawitri, S.T., M.T.  (Penguji II)
5. Arief Abdurrahman, ST, MT  (Penguji III)

**SURABAYA
AGUSTUS 2016**

**PENGARUH WAKTU DEPOSISI DALAM SINTESIS TiO₂
ANATASE DENGAN METODE *CHEMICAL BATH
DEPOSITION* TERHADAP KARAKTERISTIK SENSOR GAS
*VOLATILE ORGANIC COMPOUND (METANOL)***

Nama Mahasiswa : Annisa Amadhea Firman
NRP : 2414 105 024
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.
Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.

Abstrak

Telah dilakukan pembuatan lapisan tipis sensor gas menggunakan metode *chemical bath deposition* (CBD) dengan prekursor TiCl₃ serta urea dan ammonia untuk peningkatan pH. Waktu perendaman divariasikan selama 2, 4 dan 6 jam menggunakan substrat alumina dan FTO. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa TiO₂ pada FTO dan substrat alumina tertempel sangat tipis bahkan tidak tertempel. Variasi waktu perendaman memberikan pergeseran sudut puncak yang kecil sehingga hasilnya mirip dengan substrat. Waktu deposisi menunjukkan semakin lama perendaman maka kontur permukaan semakin halus, tinggi kontur dan ukuran kekasarannya berkurang. Pada serbuk TiO₂, waktu deposisi menunjukkan bahwa semakin lama perendaman semakin kecil luas permukaannya, tetapi volume pori, diameter pori dan ukuran partikelnya semakin besar. Hasil dari pengujian sensor gas dengan menggunakan substrat alumina yaitu *overload* dan hasil menggunakan substrat FTO resistansi sangat kecil dan tidak terjadinya respon resistivitas.

Kata kunci: alumina, anatase, *chemical bath deposition*, FTO, sensor gas, TiO₂.

**THE EFFECT OF DEPOSITION TIME OF TiO₂ ANATASE
SYNTHESIS USING CHEMICAL BATH DEPOSITION
METHOD ON THE GAS VOLATILE ORGANIC COMPOUND
(METHANOL) SENSOR CHARACTERISTIC**

Nama Mahasiswa : Annisa Amadhea Firman
NRP : 2414 105 024
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.
Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.

Abstract

Synthesis of a thin layers of gas sensor has done using a chemical bath deposition (CBD) method with its precursors TiCl₃ with urea and ammonia to increase the pH. Soaking time varied for 2, 4 and 6 hours using alumina and FTO substrate. From the test results obtained that TiO₂ on FTO and alumina substrates tacked on very thin even not tacked on. Submersion time variations provide a small peak angle shifts so that the result is similar to the substrate. The time of the deposition shows the longer the time of immerse, the smoother the surface contour becomes, also the contour height and coarseness is reduced. On TiO₂ powder, the deposition time shows that the longer the time of immerse, the less the surface area becomes, but the volume of pores, the diameter of pore and the size of the particle are getting bigger. The result from gas sensor testing using alumina substrate is overload and the results using FTO substrate resistance is very small and resistivity response doesn't happen.

Keywords: *alumina, anatase, chemical bath deposition, FTO, gas sensor, TiO₂.*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
BAB II TEORI PENUNJANG	
2.1 <i>Titanium Dioxide</i> (TiO ₂)	5
2.2 <i>Chemical Bath Deposition</i> (CBD)	7
2.3 Sensor Gas Semikonduktor Oksida Logam	8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Persiapan Alat dan Bahan	16
3.2 Proses Pembuatan TiO ₂ Anatase	16
3.3 Karakterisasi TiO ₂ Anatase	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil dan Analisa Pengujian XRD Kaca FTO	25
4.2 Hasil dan Analisa Pengujian XRD Substrat Alumina	30
4.3 Hasil dan Analisa Pengujian AFM	32
4.4 Hasil dan Analisa Pengujian BET	35
4.5 Hasil dan Analisa Pengujian Sensor Gas VOC (metanol)	37
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN A (JCPDS 00-021-1272)	
LAMPIRAN B (JCPDS 00-021-01276)	

LAMPIRAN C (JCPDS 00-029-1360)
LAMPIRAN D (*IUPAC Classification of Adsorption Isotherms*)
LAMPIRAN E (Data Uji BET)
LAMPIRAN F (Data Uji Sensor Gas)
BIOGRAFI PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur kristal rutil, anatase, dan brookite	5
Gambar 2.2	Konsentrasi level dari komponen gas	9
Gambar 2.3	Skema diagram sensor gas berbasis <i>metal-oxide</i>	11
Gambar 2.4	Skema langkah dasar pada (a) deteksi molekul gas menggunakan konduksi <i>metal oxide</i> sensor gas (b) <i>figaro-type</i> gas sensor biasanya menggunakan keramik dielektrik yang membantu tabung berisi pemanas spiral (c) sensor gas lapisan tipis datar (d) sensor gas satu elektroda	12
Gambar 2.5	Perubahan penghalang potensial disebabkan adsorpsi-desorpsi oksigen pada batas butir dari sampel	13
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	15
Gambar 3.2	Substrat yang digunakan (a) untuk sensor gas dan (b) untuk pengujian awal	16
Gambar 3.3	Skema perendaman	17
Gambar 3.4	Skema XRD	18
Gambar 3.5	Alat XRD Philip X'pert MPD	19
Gambar 3.6	Skema BET	20
Gambar 3.7	Skema AFM	22
Gambar 3.8	Alat AFM Brüker N8 NEOS	22
Gambar 3.9	Skema pengujian sensor gas	23
Gambar 4.1	Hasil XRD pada kaca FTO	25
Gambar 4.2	Hasil TiO ₂ menggunakan NaHCO ₃ (pH3; T=500°C)	26
Gambar 4.3	Hasil TiO ₂ menggunakan NaHCO ₃ (pH3,5; T=700°C)	26
Gambar 4.4	Hasil TiO ₂ menggunakan NaHCO ₃ (pH2,5; T=500°C)	27
Gambar 4.5	Hasil TiO ₂ dengan urea dan penambahan ammonia	28
Gambar 4.6	Fraksi fase terhadap pH	30
Gambar 4.7	Hasil XRD substrat Alumina	30
Gambar 4.8	Sampel A19-2 dan A19-6	31

Gambar 4.9	Topografi tampak depan (a) F3-1 dan (b) F9-2	32
Gambar 4.10	Topografi tampak samping F3-1	32
Gambar 4.11	Topografi tampak samping F9-2	33
Gambar 4.12	Topografi tampak depan (a) F3-1 dan (b) F3-4	33
Gambar 4.13	Topografi tampak samping sampel F3-1 (atas) dan F3-4 (bawah)	34
Gambar 4.14	Kurva Adsorpsi-Desorpsi sampel serbuk F9-6	35
Gambar 4.15	Kurva Adsorpsi-Desorpsi sampel serbuk F9-2	36
Gambar 4.16	Sampel F9-6 pada suhu ruang	38
Gambar 4.17	Sampel F9-6 pada suhu 100°C	39
Gambar 4.18	Sampel F9-2 pada suhu ruang	39
Gambar 4.19	Respon sementara dan waktu pulih dari lapisan tipis SnO ₂ pada suhu 200°C	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Data Struktur Kristal TiO ₂	7
Tabel 2.2	Klasifikasi Gas Sensor Diusulkan pada 1991 Oleh <i>Analytical Chemistry Division of IUPAC</i>	10
Tabel 4.1	Penamaan Sampel untuk Karakterisasi	29
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan Ukuran Kristal dan Fraksi Fase pada Kaca FTO	29
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Ukuran Kristal dan Fraksi Fase pada Substrat Alumina	32
Tabel 4.4	Perbedaan Variasi pH dan Perendaman	34
Tabel 4.5	Hasil Pengujian BET	37
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Sensor Gas dengan Substrat Alumina	38

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Deteksi gas beracun dan mudah terbakar merupakan subjek penting dari lingkungan rumah tangga dan industri. Dalam kelompok besar sensor kimia dapat menunjukkan resistivitas sensor gas yang perubahan resistivitas elektriknya sebagai hasil dari berbagai komposisi gas yang berinteraksi dengan sensor (Zakrzewska, 2004). Sebagian besar sensor gas didasarkan pada tipe devais dari *metal oxides semiconductor* (MOS) yang mana sifat listriknya dapat berubah ketika terkena berbagai konsentrasi gas yang perlu dipantau (Ibrahim, dkk. 2007). Bahan yang sering digunakan untuk sensor gas biasanya SnO₂, ZnO, V₂O₅ (Libor, 2005). Tetapi dalam penelitian ini menggunakan bahan *titanium dioxide* (TiO₂).

Titanium Dioxide (TiO₂) adalah salah satu bahan yang paling menarik dalam penelitian yang dilakukan selama dekade terakhir karena pentingnya ilmu pengetahuan dan teknologi (Lokhande, dkk. 2008). *Titanium Dioxide* (TiO₂) menarik perhatian dengan kemajuan yang baik dari sifat kimia, listrik dan optik yang memiliki energy gap yang besar ($E_g = 3,2$ eV), *chemical stability* yang sangat baik, indeks bias yang tinggi, tidak beracun, kekerasan mekaniknya baik, murah untuk diproduksi (Mayabadi, dkk. 2014) dan stabilitas secara kimia dalam larutan air (Ennaoui, dkk. 2006). Material ini menjanjikan untuk kelembapan, kimia dan sensor gas dengan menunjukkan penyerapan yang baik dari *nitric oxides*, ammonia, CO, H₂S dan banyak lagi senyawa organik termasuk alkohol, hidrokarbon, dan lain-lain. Penerapan TiO₂ yaitu sebagai fotokatalis, *dye sensitized cells*, gas sensor, dan lain-lain (Boyadzhlev, dkk. 2010).

Lapisan TiO₂ dibuat dengan banyak macam teknik deposisi kimia dan fisika, seperti proses sol-gel, *chemical vapor deposition*, *chemical bath deposition*, *atomic layer deposition*, *evaporation*, macam-macam metode *reactive sputtering*, proses *ion beam assisted*, *pulse laser deposition* (Elfanaoui, dkk. 2011).

Pada penelitian ini menggunakan metode *chemical bath deposition* (CBD) yang mana murah, mampu membuat lapisan *metal oxide* pada suhu relatif rendah, dan mudah beradaptasi pada skala industri.

Dalam penelitian ini, pembuatan TiO_2 menggunakan *titanium trichloride* (TiCl_3), urea dan ammonia dengan substrat FTO dan alumina. Gas yang digunakan merupakan salah satu gas *volatile organic compound* (VOC) yakni metanol. Pada penelitian ini, tidak hanya membahas sensor gas dengan TiO_2 anatase tetapi juga membahas pengaruh deposisi waktu terhadap karakteristiknya.

1.2 Permasalahan

Adapun permasalahan yang didapat pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- a. Bagaimana menumbuhkan material TiO_2 pada substrat kaca FTO dengan menggunakan metode *chemical bath deposition* (CBD)?
- b. Bagaimana pengaruh waktu deposisi dengan menggunakan metode *chemical bath deposition* (CBD) terhadap karakteristik sensor gas?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya permasalahan, maka terdapat batasan masalah dalam Tugas Akhir ini yaitu sebagai berikut:

- a. Objek penelitian adalah TiO_2 .
- b. Pembuatan TiO_2 menggunakan metode *chemical bath deposition* (CBD).
- c. Penelitian ini hanya pembuatan lapisan tipis TiO_2 dan karakteristiknya.
- d. Substratnya menggunakan FTO dan alumina.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang didapat pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- a. Mengetahui cara menumbuhkan material TiO_2 pada substrat kaca FTO dengan menggunakan metode *chemical bath deposition* (CBD).
- b. Mengetahui pengaruh waktu deposisi dengan menggunakan metode *chemical bath deposition* (CBD) terhadap karakteristik sensor gas.

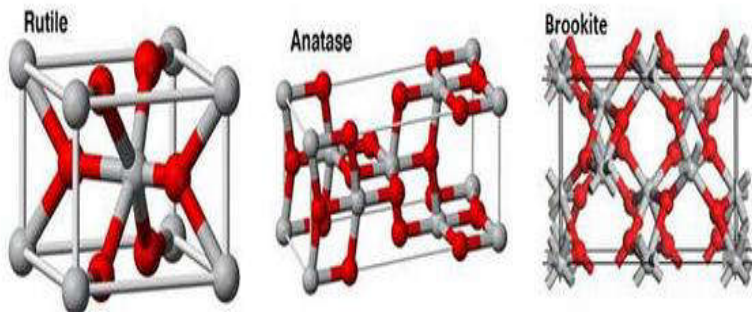
Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB II TEORI PENUNJANG

2.1 *Titanium Dioxide* (TiO_2)

Titanium dioxide (TiO_2) merupakan semikonduktor ideal untuk fotokatalis karena kestabilannya tinggi, murah dan aman bagi manusia dan lingkungan (Gupta, 2010). TiO_2 memiliki tiga fase utama yaitu anatase (tetragonal), rutile (tetragonal) dan brookite (orthorhombic). Secara termodinamika rutile merupakan fase yang stabil, sedangkan fase anatase dan brookite merupakan fase yang tidak stabil (metastable).

Dua struktur kristal TiO_2 anatase dan rutile adalah yang paling sering digunakan dalam fotokatalisis, dengan anatase yang menunjukkan aktivitas fotokatalisis yang tinggi. Struktur TiO_2 adalah tetragonal yang digambarkan sebagai rantai oktahedron TiO_6 . Setiap ion Ti^{4+} dikelilingi oleh enam ion O^{2-} . Untuk fase rutile, setiap oktahedron dikelilingi oleh sepuluh oktahedron tetangga sedangkan anatase hanya dikelilingi delapan oktahedron tetangga. Pada pemanasan TiO_2 , fase anatase dapat ditemukan akan berubah menjadi rutile pada temperatur 600-700°C. (Pillai, dkk., 2007).



Gambar 2.1 Struktur kristal rutile, anatase, dan brookite (Woodley, 2009)

Kelebihan semikonduktor titanium dioksida adalah tidak beracun, tersedia secara luas dan biaya proses pembuatannya cukup rendah (Grätzel, 2003). Sehingga titanium dioksida digunakan dalam berbagai aplikasi. Antara lain sebagai fotokatalis contohnya adalah *self cleaning*, superkapasitor, solar sel *dye-sensitized*, baterai ion litium, fotoelektrolisis, biosensor (Mayabadi, 2014) sebagai campuran pasta gigi, sebagai lotion kulit, sebagai kapasitor dan pewarna makanan (Bryanvand, dkk., 2013), dan gas sensor (Selman, 2014).

Lapisan TiO_2 dibuat dengan banyak macam teknik deposisi kimia dan fisika, seperti proses sol-gel, *chemical vapor deposition*, *chemical bath deposition*, *atomic layer deposition*, *evaporation*, macam-macam metode *reactive sputtering*, proses *ion beam assisted*, *pulse laser deposition*. Pada penelitian ini menggunakan metode *chemical bath deposition* (CBD) yang mana murah, mampu membuat lapisan *metal oxide* pada suhu relatif rendah, dan mudah beradaptasi pada skala industri.

Rutile TiO_2 memiliki struktur tetragonal dan mengandung 6 atom per unit sel. Menurut Zhang dkk, fase rutile stabil pada suhu dan tekanan hingga mencapai 60 kbar. Struktur anatase-brookite berubah menjadi fase rutile setelah mencapai ukuran partikel yang sesuai. Pertumbuhan fase rutile lebih cepat dari anatase. Umumnya, fase rutile bersifat fotoreaktif sangat buruk (Carp, 2004).

Anatase TiO_2 memiliki struktur tetragonal. Fase anatase lebih stabil dari rutile pada 0 K, tapi perbedaan energi antara anatase dan rutile sangat kecil (~2 hingga 10 kJ/mol). Struktur anatase sangat baik dibanding polimorf lainnya untuk penerapan solar sel karena pergerakan elektronnya, *low dielectric constant* dan kekentalannya rendah. Meningkatnya fotoreaktif karena meningkatnya level Fermi, rendahnya kapasitas untuk menyerap oksigen dan meningkatnya derajat dari *hydroxylation* pada fase anatase.

Brookite TiO_2 termasuk sistem kristal ortohombik. Unit sel memiliki komposisi 8 unit TiO_2 . Brookite ini memiliki volume sel yang besar dan juga yang paling padat dari fase lainnya, sehingga jarang digunakan untuk analisa penelitian. Tabel 2.1 merupakan rangkuman parameter struktur kristal dari ketiga fase tersebut.

Tabel 2.1 Data Struktur Kristal TiO₂ (Thompson, 2006)

Properties	Rutile	Anatase	Brookite
<i>Crystal structure</i>	Tetragonal	Tetragonal	Orthohombic
<i>Lattice constant</i> (Å)	$a = 4,5936$	$a = 3,784$	$a = 9,184$
	$c = 2,9$	$c = 9,515$	$b = 5,447$
			$c = 5,154$
<i>Space group</i>	P4 ₂ /mnm	14 ₁ /amd	Pbca
<i>Molecule (cell)</i>	2	2	4
<i>Volume/molecule</i> (Å ³)	31,2160	34,061	32,172
<i>Density (g cm⁻³)</i>	4,13	3,79	3,99
<i>Ti-O bond length</i> (Å)	1,949 (4)	1,937 (4)	1,87 - 2,04
	1,930 (2)	1,965 (2)	
<i>O-Ti-O bond angle</i>	81,2°	77,7°	77,0°-105°
	90,0°	92,6°	

2.2 Chemical Bath Deposition (CBD)

Chemical Bath Deposition (CBD) merupakan suatu metode secara kimia untuk mengendapkan suatu lapisan tipis dan berupa larutan. Metode ini baik digunakan untuk proses area yang luas. Metode ini relatif murah, stabil, prosesnya mudah, dan dapat disintesis pada suhu yang rendah.

Metode *Chemical Bath Deposition* (CBD) didasarkan pada proses reduksi kimia dimana elektron yang diperlukan dalam reaksi akan disediakan oleh senyawa yang berfungsi sebagai pereduksi dalam larutan. Lapisan hasil deposisi menempel pada permukaan substrat yang dicelupkan dalam larutan. Hasil deposisi akan terus mengkatalisasi reaksi reduksi, sehingga proses deposisi menjadi autokatalisis. Keunikan serta keistimewaan metode CBD menjadikan metode ini mampu menghasilkan lapisan hasil deposisi yang relatif tebal. Deposisi akan berhenti ketika terjadi kesetimbangan antara lapisan pada substrat dan larutan.

Chemical bath deposition adalah teknik yang digunakan untuk deposisi lapisan tipis semikonduktor dengan merendam substrat pada larutan yang mengandung ion metal dan sumber hidroksida, sulfida atau ion selenida (Nair, dkk. 1998). Teknik deposisi kimia, yang mana memberikan cakupan permukaan yang penuh pada lapisan tebal sangat kecil sehingga dipilih untuk membuat lapisan tipis dengan keberhasilan yang tinggi (Basol, dkk. 1991).

2.3 Sensor Gas Semikonduktor Oksida Logam

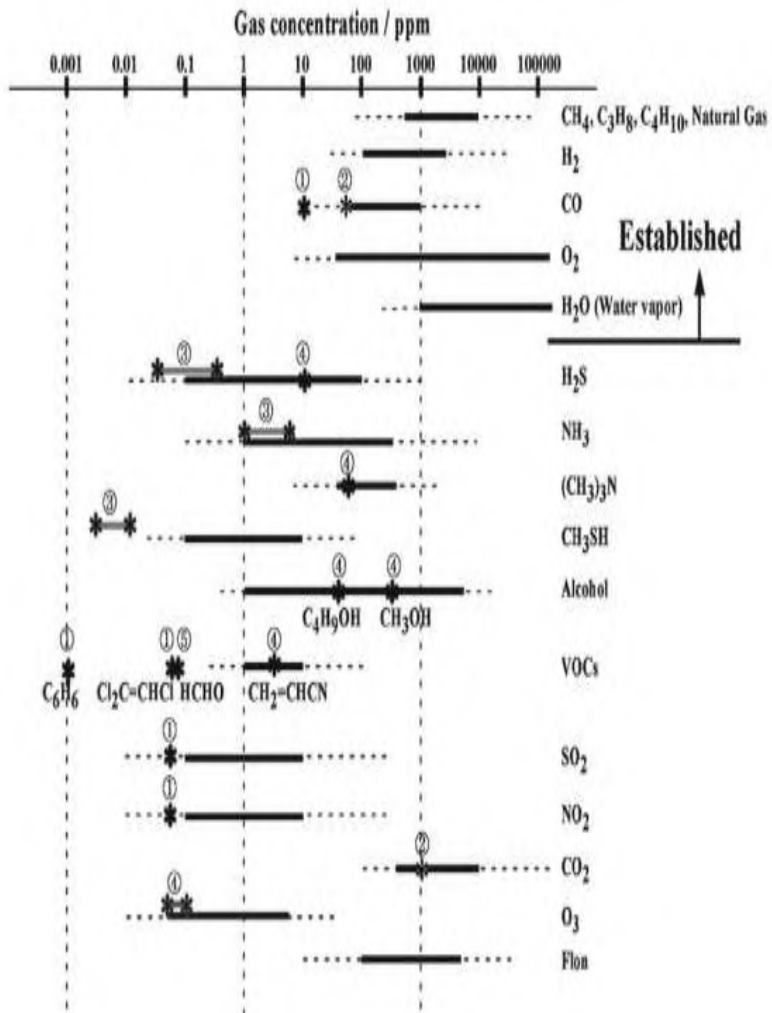
Banyak oksida logam yang cocok untuk mendeteksi pembakaran, reduksi atau oksidasi gas oleh pengukuran konduktif. Oksida berikut menunjukkan respon gas dengan konduktivitas: Cr_2O_3 , Mn_2O_3 , Co_3O_4 , NiO , CuO , SrO , In_2O_3 , WO_3 , TiO_2 , V_2O_3 , Fe_2O_3 , GeO_2 , Nb_2O_5 , MoO_3 , Ta_2O_5 , La_2O_3 , CeO_2 , Nd_2O_3 (Kanazawa, dkk. 2001). Pemilihan oksida logam untuk sensor gas dapat ditentukan dari struktur elektroniknya. Rentang oksida pada struktur elektronik sangat luas untuk oksida metal yang dibagi menjadi dua kategori sebagai berikut:

- (1) Oksida logam transisi (Fe_2O_3 , NiO , Cr_2O_3 , dll)
- (2) Oksida logam tidak transisi, termasuk (a) oksida logam sebelum transisi (Al_2O_3 , dll) dan (b) oksida logam setelah transisi (ZnO , SnO_2 , dll).

Oksida metal sebelum transisi (MgO , dll) diharapkan cukup lembam, karena memiliki pita energi yang besar. Baik elektron maupun *hole* mudah dibentuk. Jarang digunakan sebagai bahan untuk sensor gas karena sulit mengukur konduktivitas elektriknya. Oksida logam transisi memiliki sifat yang beda karena perbedaan energi antara konfigurasi kation d^n dan d^{n+1} atau konfigurasi d^{n-1} kecil (Henrich, dkk. 1994).

Sensor gas dibedakan menjadi enam kategori: (1) *optical sensors*, (2) *electrochemical sensors*, (3) *electrical sensors*, (4) *mass-sensitive sensors*, (5) *calorimetric sensors*, dan (6) *magnetic sensors*. (Korotcenkov, 2013)

Pada proses industri yang melibatkan penggunaan dan manufaktur dari besarnya bahaya bahan kimia, beracun, dan gas pembakaran. Konsentrasi gas ada beberapa level yang ditunjukkan pada **Gambar 2.2**, sebagai berikut:



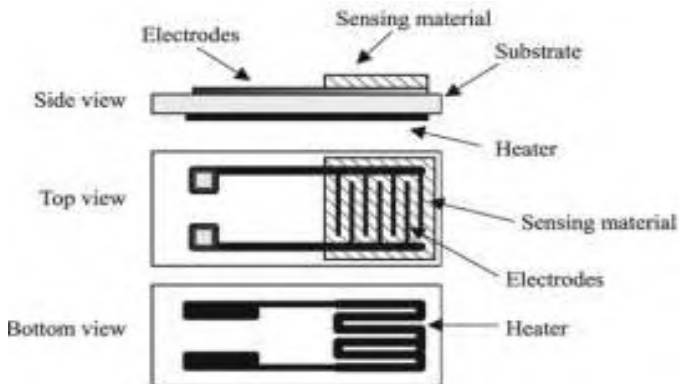
Gambar 2.2 Konsentrasi level dari komponen gas (Korotcenkov, 2013)

Tabel 2.2 Klasifikasi Gas Sensor Diusulkan pada 1991 Oleh
Analytical Chemistry Division of IUPAC

Klasifikasi Sensor Gas	Prinsip Operasi
<i>Electrochemical</i>	Perubahan pada arus, voltase, kapasitansi/impedansi: <ul style="list-style-type: none"> • Voltammetry (termasuk amperometry) • Potensiometer • Peka secara kimia terhadap efek medan transistor • Potensiometer dengan elektrolit padat untuk sensor gas
<i>Electrical</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Konduktivitas <i>metal oxide</i> • Konduktivitas organik • Konduktivitas elektrolit • Konduktivitas <i>heterojunction</i> (diode Schottky, FET, MOS) • Fungsi kerja • Permittivitas listrik (kapasitansi)
<i>Mass Sensitive</i>	Perubahan pada berat, amplitudo, fasa atau frekuensi, ukuran, bentuk dan posisi: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Quartz crystal microbalance</i> • <i>Surface acoustic wave propagation</i> • <i>Cantilever</i>
<i>Magnetic</i>	Perubahan dari sifat gas paramagnetik
<i>Optical devices</i>	Perubahan pada intensitas cahaya, warna, atau spectrum emisi: <ul style="list-style-type: none"> • Penyerapan • Pemantulan • Luminansi • Indeks bias • Efek <i>optothermal</i> • Hamburan cahaya (hamburan raman, resonansi plasmon)
<i>Thermometric (calorimetric)</i>	Efek panas dari reaksi kimia tertentu. Perubahan pada suhu, laju panas, panas berisi: <ul style="list-style-type: none"> • Termoelektrik • Piroelektrik • Catalytic bead (pellistor) • Konduktivitas termal

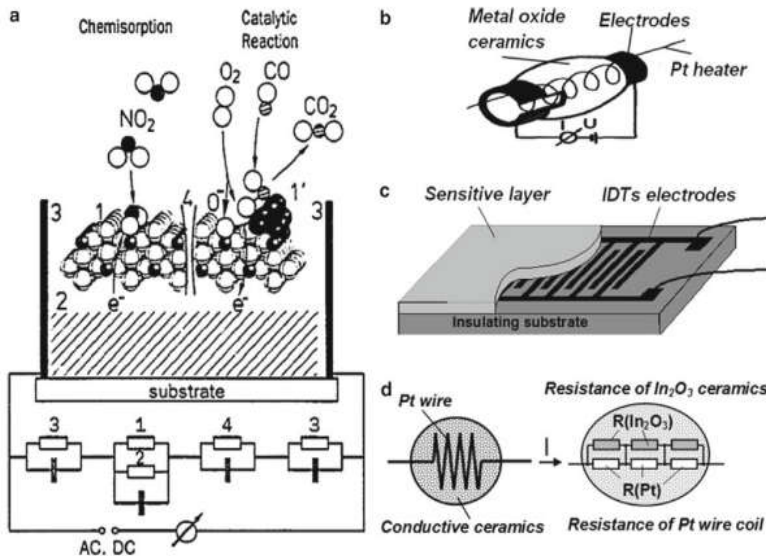
Sensor elektrik, beroperasi disebabkan interaksi permukaan dengan gas target, mencakup banyak dari sensor gas: polimer, *metal*, *metal oxide*, atau sensor konduksi semikonduktor; sensor kapasitansi; dan tipe fungsi kerja dan *Schottky barrier*-, MOS-, dan sensor *FET-based* (Korotcenkov 2011).

Prinsip kerja dari sensor gas yang berbasis *metal-oxide* dengan tipe konduktometrik sensor yaitu merubah resistansi dibawah pengaruh dari reaksi (adsorpsi, reaksi kimia, difusi, katalisis) yang menempati permukaan dari lapisan sensor. Reaksi kimia berinteraksi dengan lapisan sensitif dan memodulasi konduktivitas listriknya. Dapat diukur sebagai perubahan arus, yang mana berkorelasi dengan konsentrasi dari reaksi kimia. Sejumlah proses dan faktor yang mempengaruhi sifat sensitif gas dari sensor gas *metal-oxide* yaitu porositas, ukuran butir, luas permukaan yang aktif, area batas butir, ketebalan, dan konduktivitas dari *metal-oxide* juga mempengaruhi karakteristik operasi dari sensor gas (Korotcenkov, 2008). Jumlah penelitian menunjukkan bahwa mengecilnya ukuran kristal menyebabkan meningkatnya sensitivitas gas (Yamazoe et al, 1992; Korotcenkov, 2008; Korotcenkov et al, 2009a). Sensitivitas yang paling bagus dicapai ketika partikel berdiameter 2 nm.



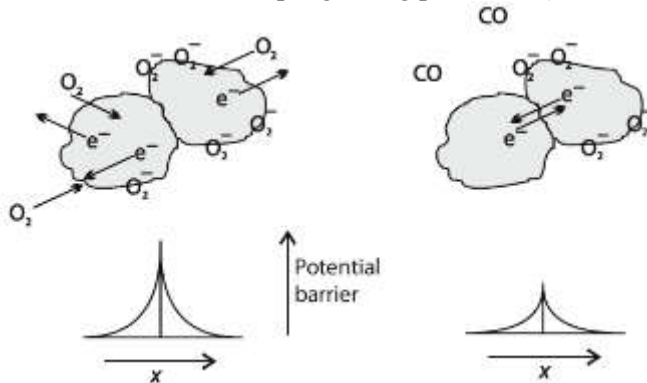
Gambar 2.3 Skema diagram sensor gas berbasis *metal-oxide* (Korotcenkov, 2013)

Porositas dan area permukaan aktif dari bahan sensor gas meningkat, respon sensor meningkat juga. Menurut Marko et al (2002), porositas dan area permukaan tertentu adalah faktor dasar yang mempengaruhi interaksi padatan/gas dan kinerja material pada gas deteksi. Metode sederhana untuk mendapatkan maksimum sensitivitas secara bebas pada material sensor gas yaitu meningkatkan porositas pada lapisan (Sberveglieri 1992; Park and Mackenzie 1996; Basu et al. 2001; Ahmad et al. 2003; Hyodo et al. 2003; Lee and Kang 2005; Jin et al. 2005; Tesfamichael et al. 2007). Menurut Park dan Mackenzie (1996); De Souza Brito et al. (1995); Korotcenkov et al. (2004a), sensor gas dengan porositas yang tinggi memiliki respon yang cepat.



Gambar 2.4 Skema langkah dasar pada (a) deteksi molekul gas menggunakan konduksi *metal oxide* sensor gas (b) *figaro-type* gas sensor biasanya menggunakan keramik dielektrik yang membantu tabung berisi pemanas spiral (c) sensor gas lapisan tipis datar (d) sensor gas satu elektroda (Korotcenkov, 2013)

Cara kerja sensor gas yaitu terbentuk pada permukaan luar kristal dan tegangan permukaan yang terbentuk akan menghambat laju aliran elektron. Apabila bahan pendeteksi dipanaskan pada suhu tinggi tertentu di udara, oksigen akan teradsorpsi pada permukaan kristal dengan muatan negatif. Elektron-elektron donor pada permukaan kristal di transfer ke oksigen teradsorpsi, sehingga menghasilkan suatu lapisan ruang bermuatan positif. Akibatnya potensial permukaan terbentuk, yang akan menghambat aliran elektron. Di dalam sensor, arus listrik mengalir melalui bagian-bagian penghubung (batas butir) dari bahan pendeteksi. Pada batas-batas antar butir, oksigen teradsorpsi membentuk penghalang potensial yang menghambat muatan bebas bergerak. Tahanan listrik sensor disebabkan oleh penghalang potensial. (Akbar, 2010)

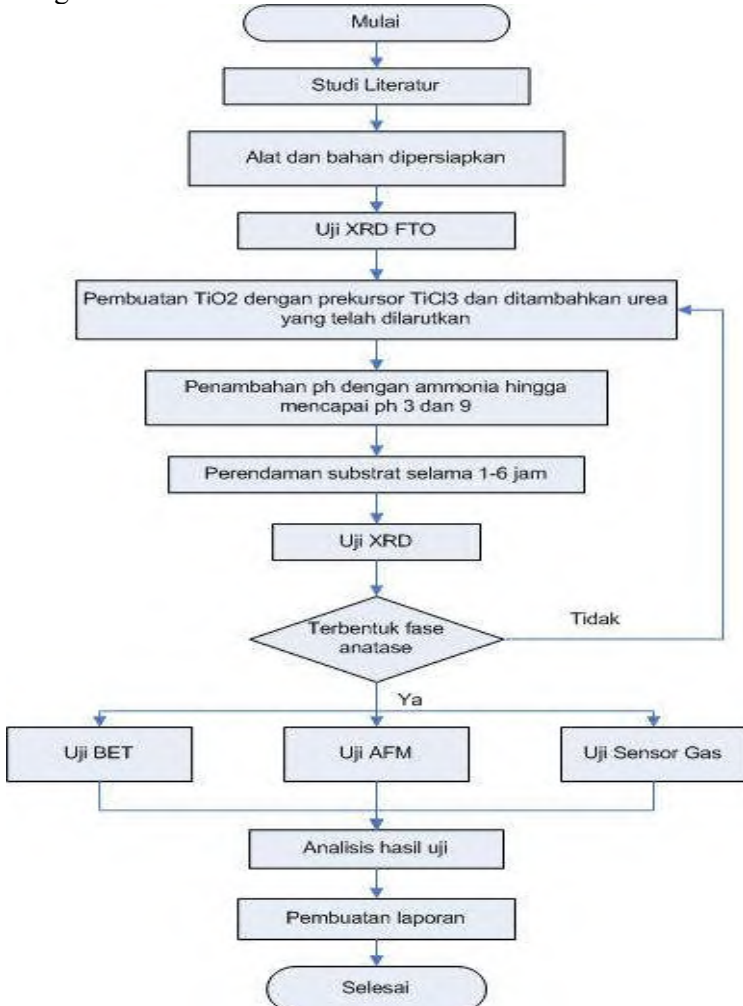


Gambar 2.5 Perubahan penghalang potensial disebabkan adsorpsi-desorpsi oksigen pada batas butir dari sampel (Iqbal, 2013)

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berikut ini diagram alir dari penelitian yang dilakukan, sebagai berikut:

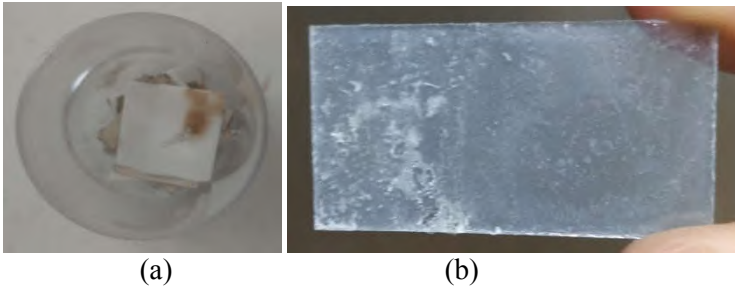


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.1 Persiapan Alat dan Bahan

Bahan yang diperlukan untuk sintesis TiO_2 anatase adalah *titanium trichloride* (TiCl_3 ; 4 ml), urea (NH_2CONH_2 ; 1M), *DI water*, *ammonia* (NH_4OH ; 10%), dan *acetone*.

Alat yang digunakan pada tugas akhir ini meliputi *hot plate Yellow MAG HS7*, *magnetic stirrer*, gelas ukur 10 ml, *beaker glass* 250 ml dan 500 ml, pipet, spatula, *crucible* 30 ml dan 50 ml, kertas saring, pH meter, dan *furnace*.



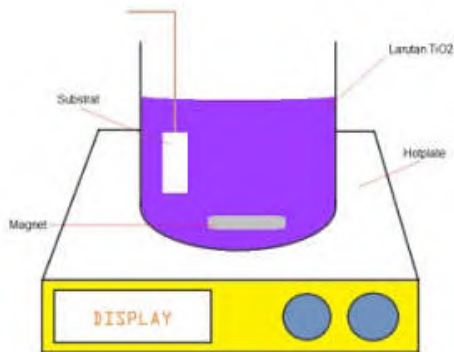
Gambar 3.2 Substrat yang digunakan (a) untuk sensor gas dan (b) untuk pengujian awal

3.2 Proses Pembuatan TiO_2 Anatase

Sintesis TiO_2 anatase menggunakan metode *chemical bath deposition* dengan tahapan sebagai berikut:

- Diencerkan larutan TiCl_3 sebanyak 4 ml dengan aquabides/*DI water* sebanyak 50 ml.
- Dicampurkan dengan urea sebanyak 0,6 gr yang telah diencerkan dengan aquabides/*DI water* sebanyak 100 ml. Tidak banyak perubahan warna tetap sama yaitu warna ungu.
- Untuk penambahan pH ditambahkan larutan ammonia hingga mencapai pH 9 dan warna larutan akan berubah menjadi ungu kehitaman.
- Pengadukan larutan dengan *magnetic stirrer* selama 1 jam pada suhu 27 C hingga larutan berubah menjadi putih dari berwarna ungu kehitaman.

- e. Substrat FTO dicuci dengan *acetone* dan substrat alumina untuk sensor gas dicuci dengan *aquabides/DI water* menggunakan *ultrasonic bath*.
- f. Setelah substrat dicuci, substrat direndam dalam larutan selama 1-6 jam pada suhu 55 C. Posisi substrat digantung secara vertikal.



Gambar 3.3 Skema perendaman

- g. Masukkan substrat pada *crucible* dan dilakukan perlakuan panas dengan *furnace* selama 2 jam pada suhu 550 C.

3.3 Karakterisasi TiO₂ Anatase

3.3.1 Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*)

Difraksi sinar-X atau *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan suatu metode analisa yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Difraksi sinar-X digunakan untuk penentuan kristal tunggal, mengukur bentuk, ukuran, dan tegangan dari kristal, penentuan struktur kristal dari bahan yang tidak diketahui. XRD memberikan data-data difraksi dan kuantisasi intensitas difraksi pada sudut-sudut dari suatu bahan. Data yang diperoleh dari XRD berupa intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut-sudut 2θ . Tiap pola

Berkas sinar-X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi dengan memenuhi persyaratan hukum *Bragg*.

$$n\lambda = d \sin \theta \quad (3.1)$$

dengan:

n = bilangan bulat (1,2,3,...)

λ = panjang gelombang sinar-X yang digunakan

d = jarak antar dua bidang sisi

θ = sudut antara sinar datang dengan bidang normal

Untuk mengetahui ukuran partikel, dapat menggunakan persamaan *Scherrer* (Cullity, 1956). Sebagai berikut:

$$D = \frac{k\lambda}{\cos \theta \Delta 2\theta} \quad (3.2)$$

dengan:

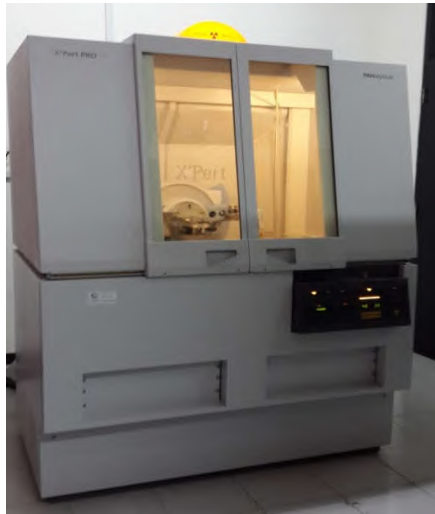
D = ukuran kristal suatu bahan (nm)

K = konstanta ($k=0,89$)

λ = panjang gelombang sinar-X (Cu $K\alpha$) ($\lambda = 0,154$ nm)

$\Delta 2\theta$ = *Full Width Half Maximum* (dalam radian)

θ = sudut difraksi



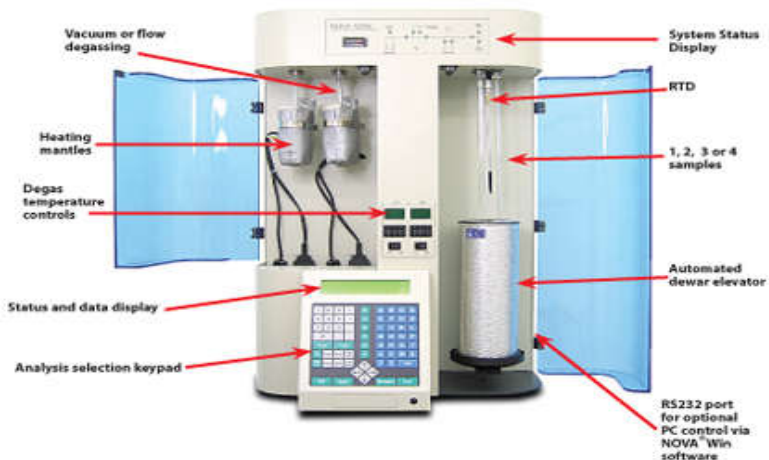
Gambar 3.5 Alat XRD Philip X'pert MPD

Hasil XRD membentuk pola dan terdapat puncak yang muncul mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang muncul dari hasil data dicocokkan dengan *Joint Committee on Powder Standarts* (JCPDS) dengan kode 00-021-1272 untuk TiO_2 anatase, 00-021-1276 TiO_2 rutile, dan 00-021-1360 TiO_2 brookite.

3.3.2 Pengujian BET (*Brunauer Emmett Teller*)

BET (*Brunauer Emmett Teller*) merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengetahui luas permukaan, volume pori, dan diameter pori dari sampel yang diuji.

Pengujian BET dilakukan di Laboratorium Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. Pengujian BET menggunakan NOVA 1200e *Surface area and pore analyser*. Pengujian BET dilakukan dengan menggunakan mekanisme adsorpsi gas nitrogen pada permukaan suatu bahan padat yang akan dikarakterisasi pada suhu didih dari gas nitrogen yang digunakan. Dengan mengukur jumlah gas yang dapat diserap oleh suatu permukaan padatan pada suhu dan tekanan tertentu.



Gambar 3.6 Skema BET (www.quantachrome.com)

Prinsip kerja dari pengujian ini adalah dengan terlebih dahulu melakukan persiapan sampel sebelum dianalisa, yaitu dengan melakukan *degassing*, untuk menghilangkan gas-gas yang terperap. Tabung sel dikondisikan dalam keadaan vakum sebelum sampel dimasukkan kedalam mantel pemanas. Dilakukan *degassing* melalui PC. Setelah *degassing* selesai, ditimbang berat sampel sebenarnya yang telah dibersihkan. Langkah selanjutnya yaitu dialirkan gas nitrogen sebagai adsorbat pada sampel uji. Kemudian diatur kondisi analisa. Dari banyaknya volume gas nitrogen yang dapat diserap oleh suatu permukaan sampel pada suhu dan tekanan tertentu inilah yang akan dianalisa dan dapat diketahui luas permukaan, volume, dan distribusi ukuran pori (Rianto, dkk., 2007).

Selain untuk mengetahui luas permukaan, volume pori dan diameter pori, pengujian BET juga untuk mengetahui ukuran partikel, dengan menggunakan persamaan (Tanaka, dkk., 2000):

$$S = \frac{n}{\rho D_{AV}} \quad (3.3)$$

dengan:

S = Luas permukaan partikel (m^2/g),

n = Partikel faktor ($n=6$),

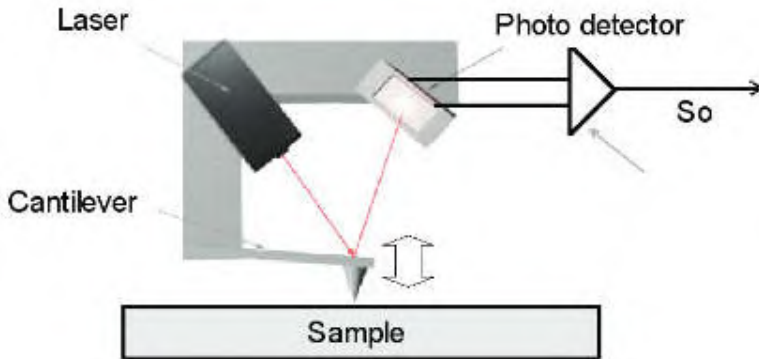
ρ = Massa jenis TiO_2 ($4,23 g/cm^3$)

D_{AV} = Ukuran partikel rata-rata

3.3.3 Pengujian AFM (*Atomic Force Microscopy*)

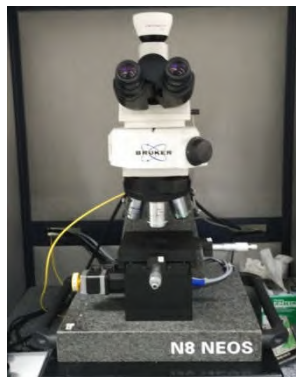
AFM adalah alat yang digunakan untuk melihat topografi permukaan dari sebuah bahan. AFM terdiri dari detektor, *tip*, *cantilever* dan sinar laser (Gambar 3.15). Prinsip kerjanya adalah *tip* diletakkan di ujung *cantilever*, kemudian *cantilever* beserta *tip*nya digerakkan di sepanjang permukaan bahan yang ingin diamati. Dengan adanya permukaan yang tidak rata, maka selama mengerakkan *tip* sudut kemiringan *cantilever* akan berubah-ubah. Perubahan sudut tersebut memberikan informasi kedalam permukaan bahan yang diuji.

Sudut yang dibentuk *cantilever* diketahui dengan cara mengarahkan sinar laser pada *cantilever*. Perubahan sudut kemiringan *cantilever* menyebabkan perubahan sinar pantul, kemudian sinar pantul tersebut diterima oleh detektor. Dari sinar pantul inilah diketahui topografi permukaan bahan yang diuji.



Gambar 3.7 Skema AFM (West, Paul E.)

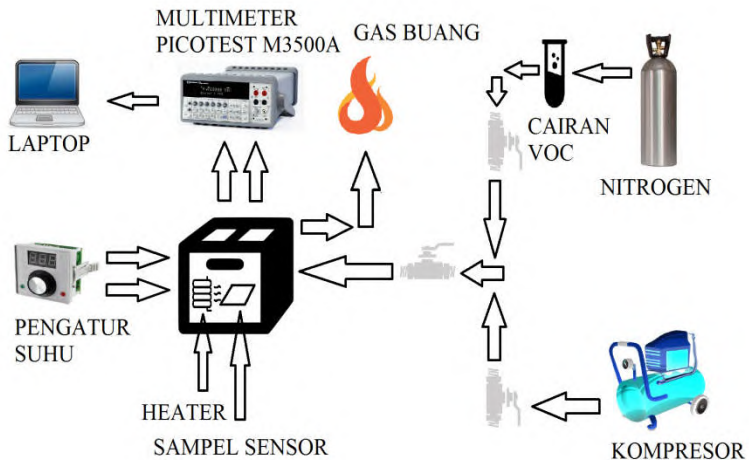
Pada penelitian ini alat yang digunakan pada pengujian AFM ini adalah Brüker N8 NEOS yang terdapat di Laboratorium AFM LPPM ITS.



Gambar 3.8 Alat AFM Brüker N8 NEOS

3.3.4 Pengujian Sensor Gas

Pengujian sensor gas terdiri dari *Multimeter Picotest M3500A* sebagai alat untuk mengukur resistansi dari sampel yang diukur, laptop sebagai menunjukkan dan menyimpan hasil dari *Multimeter Picotest M3500A*, *heater* sebagai penyimpan sampel, pengatur suhu yang disambungkan dengan *heater*, kompresor sebagai pengisi udara pada *heater*, dan gas nitrogen yang telah tersambung dengan gas VOC yang tersambung juga dengan *heater*. Pengujian sensor gas ini dilakukan di Laboratorium *Advanced Functional Material* yang terdapat di Teknik Fisika, ITB.



Gambar 3.9 Skema pengujian sensor gas

Langkah-langkah pada pengujian gas sensor ini sebagai berikut:

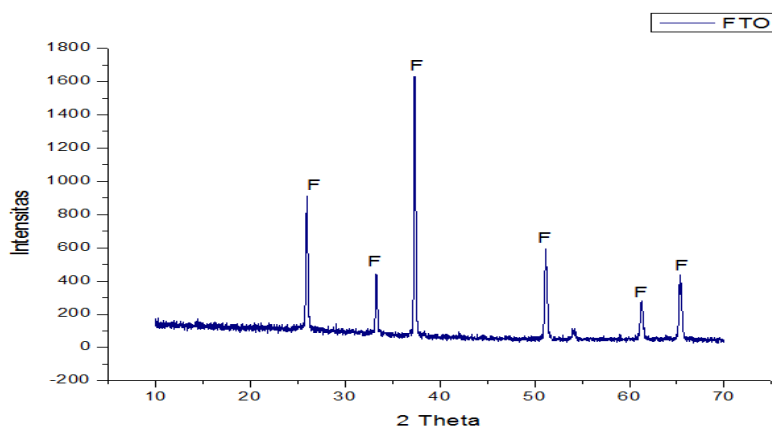
- Diletakkan sampel yang diuji pada tempat uji (*heater*) dan tutup rapat.
- Dialirkan udara dari kompresor ketempat uji (*heater*) dan nilai resistansi akan terlihat pada alat *Multimeter Picotest M3500A* dan juga komputer yang digunakan.

- c. Setelah nilai resistansi stabil, *bubbler* dinyalakan dan kompresor dimatikan lalu alirkan gas target yaitu gas VOC (metanol) yang terdapat di *bubbler* gas yang menguap dengan media gas pembawa yaitu gas nitrogen.
- d. Setelah stabil dan didapatkan respon maka gas target dimatikan dan udara dari kompresor dialirkan kembali.
- e. Untuk mengetahui hasil respon dengan variasi suhu maka dapat mengulangi tahap b-d.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Analisa Pengujian XRD Kaca FTO

Pada penelitian ini, untuk pengujian awal digunakan kaca FTO (*Fluorin Tin Oxide*) yang mana hasil XRD kaca FTO pada Gambar 4.1 sebagai berikut:

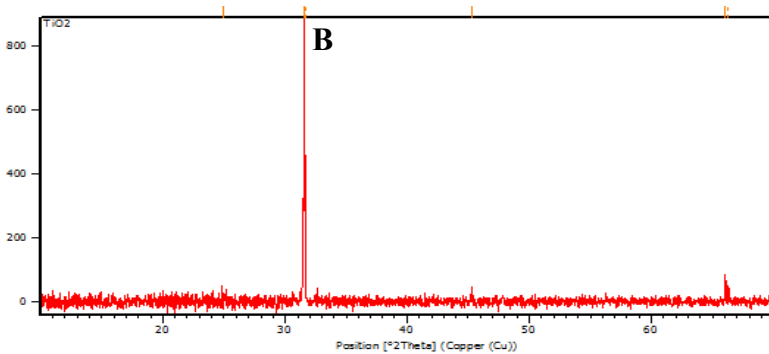


Gambar 4.1 Hasil XRD pada kaca FTO

Dari hasil penelitian Ali, dkk. (2015), kurva Gambar 4.1 didapat keseluruhan *peak* yaitu milik FTO. Diperoleh intensitas paling tinggi yaitu pada sudut 37,34°.

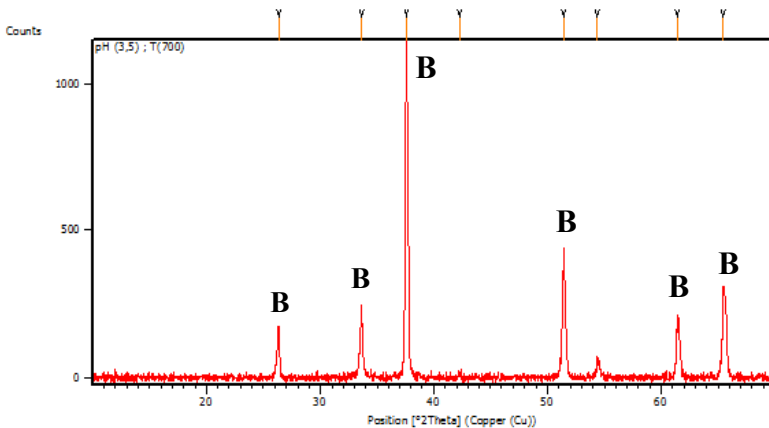
4.1.1 Hasil XRD TiO₂ dengan NaHCO₃

Pada penelitian awal, bahan yang digunakan untuk pembuatan TiO₂ yaitu TiCl₃ dan NaHCO₃. Penggunaan NaHCO₃ ini untuk penambahan pH. Dari percobaan ini didapat hasil pembuatan TiO₂ dengan NaHCO₃ pada Gambar 4.2, sebagai berikut:

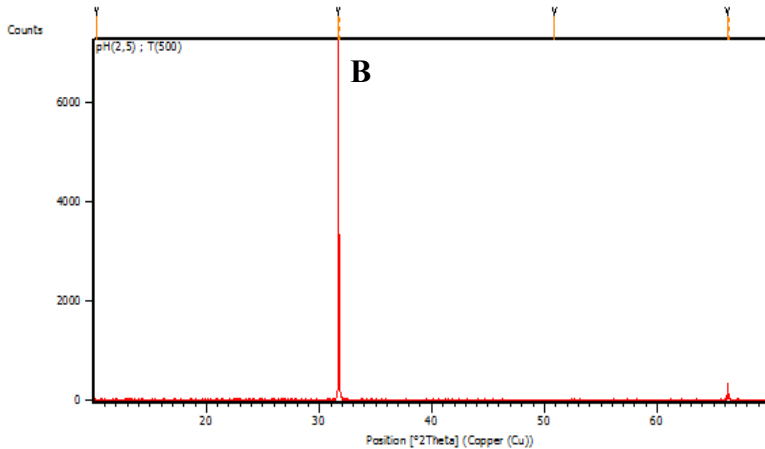


Gambar 4.2 Hasil TiO_2 menggunakan NaHCO_3 (pH 3; $T=500^\circ\text{C}$)

Hasil percobaan pertama pembuatan TiO_2 dengan menggunakan TiCl_3 dan NaHCO_3 pada pH 3 dengan suhu 500°C dari Gambar 4.2 didapatkan intensitas tertinggi yaitu pada sudut $31,55^\circ$. Sehingga, didapat fase brookite. Karena fase brookite bersifat tidak stabil dan tidak digunakan untuk sensor gas, maka dilakukan percobaan dengan bahan yang sama tetapi pH dan suhu berubah, didapatkan hasil pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 sebagai berikut:



Gambar 4.3 Hasil TiO_2 menggunakan NaHCO_3 (pH 3,5; $T=700^\circ\text{C}$)



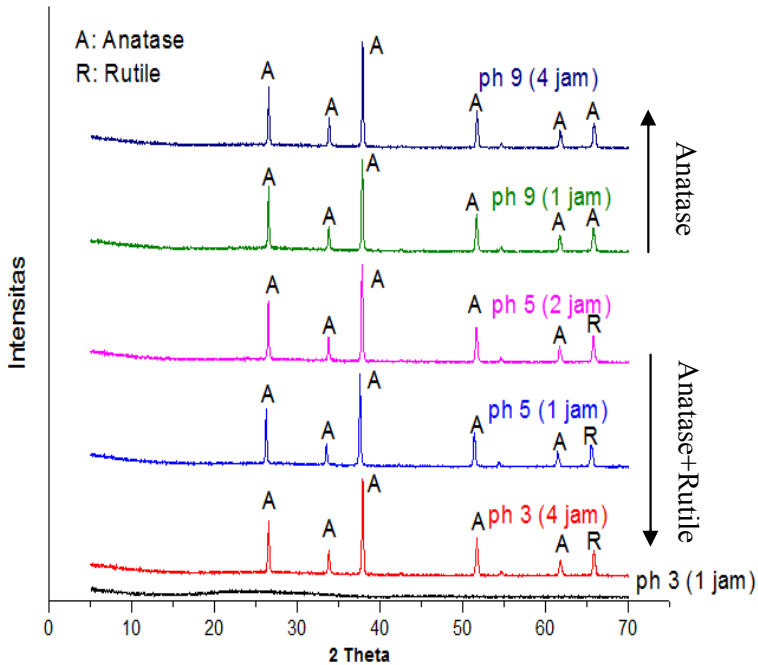
Gambar 4.4 Hasil TiO_2 menggunakan NaHCO_3 (pH 2,5; $T=500^\circ\text{C}$)

Tampak dari Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 didapatkan hasil pembuatan TiO_2 menggunakan NaHCO_3 yaitu intensitas tertinggi pada sudut $37,67^\circ$ dan $31,78^\circ$ apabila dicocokkan dengan JCPDS maka didapatkan fase brookite. Penggunaan NaHCO_3 sedikit lama untuk menaikkan pH dikarenakan bahan NaHCO_3 bersifat basa lemah.

4.1.2 Hasil XRD TiO_2 dengan urea

Setelah dilakukan percobaan menggunakan NaHCO_3 dan didapatkan fase brookite, maka bahan diganti menggunakan urea untuk mendapatkan fase anatase yang mana memiliki aktivitas fotokatalis yang tinggi sehingga bagus digunakan untuk gas sensor (Bharathi, dkk. 2014). Dari penelitian Selman, dkk. (2014) diketahui bahwa penggunaan urea hanya pada pH asam karena urea bersifat basa lemah sehingga untuk penambahan pH sangat sulit. Maka, untuk penambahan pH digunakan larutan ammonia 10% yang bersifat basa kuat. Didapatkan hasil pembuatan TiO_2 dengan bahan TiCl_3 , urea dan untuk penambahan pH menggunakan ammonia pada pH 3, pH 5 dan pH 9 dengan variasi

waktu 1 jam, 2 jam dan 4 jam diperoleh hasil pada Gambar 4.5, sebagai berikut:



Gambar 4.5 Hasil TiO_2 dengan urea dan penambahan ammonia

Semua hasil XRD dicocokkan dengan JCPDS (*Joint Committee on Diffraction Standards*) sehingga diketahui fase yang terbentuk. JCPDS yang digunakan yaitu JCPDS 00-021-1272 (anatase), JCPDS 00-021-1276 (rutile), dan JCPDS 00-029-1360 (brookite). Dari Gambar 4.5, hasil XRD pada pH 3 dan pH 5 didapatkan bahwa fase yang terbentuk yaitu fase anatase-rutile. Pada pH 9 didapatkan seluruh *peak* terbentuk fase anatase.

Untuk memudahkan penamaan pada penelitian ini maka dapat dilihat kode dari sampel yang akan dikarakterisasi pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Penamaan Sampel untuk Karakterisasi

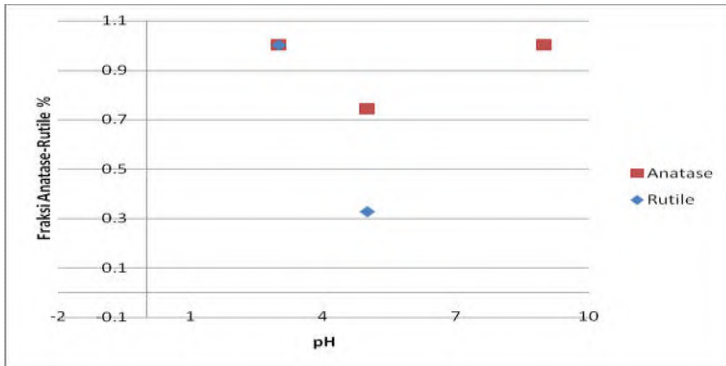
Substrat	pH	Waktu	Kode
FTO	3	1	F3-1
		2	F3-2
		4	F3-4
	9	2	F9-2
		6	F9-6
Alumina	9	2	A19-2
		4	A19-4
		6	A19-6

Berdasarkan Gambar 4.5 dapat dilihat juga perbedaannya dari ukuran kristal dan fraksi yang didapat, seperti pada Tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Ukuran Kristal dan Fraksi Fase pada Kaca FTO

pH	Waktu Perendaman (jam)	Fase	Ukuran Kristal (nm)	Fraksi Fase
3	1	Anatase-Rutile	94,303	1
	4	Anatase	65,56	0,646
		Rutile		0,354
5	1	Anatase	65,495	0,742
		Rutile		0,258
	2	Anatase	58,232	0,673
		Rutile		0,326
9	1	Anatase	53,741	1
	4	Anatase	61,428	1

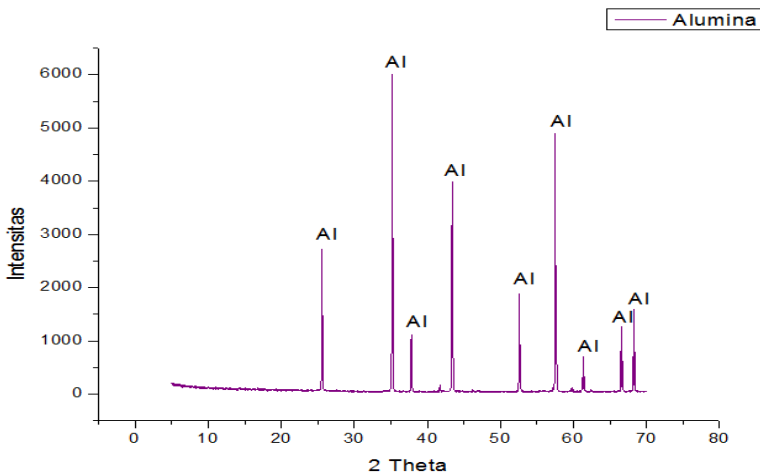
Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui pengaruh pH terhadap fraksi yang dihasilkan pada Gambar 4.6. Pada fase rutile fraksi fase lebih kecil nilainya dibandingkan fase anatase.



Gambar 4.6 Fraksi fase terhadap pH

4.2 Hasil dan Analisa Pengujian XRD Substrat Alumina

Adapun untuk pengujian sensor gas menggunakan substrat yang berbeda yaitu substrat dari alumina dengan hasil XRD substrat pada Gambar 4.7, sebagai berikut:

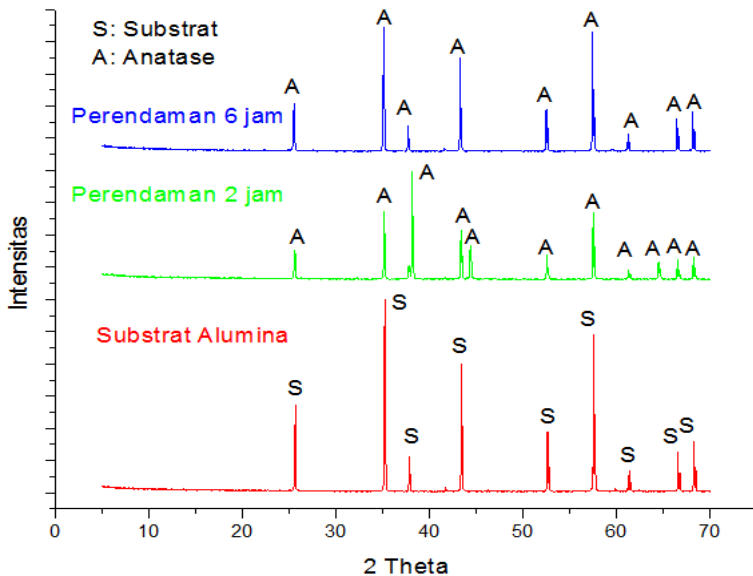


Gambar 4.7 Hasil XRD substrat Alumina

Dari hasil penelitian Mohammed, dkk. (2013), kurva Gambar 4.7 didapatkan keseluruhan *peak* yaitu *peak* alumina. Diperoleh intensitas paling tinggi yaitu pada sudut $35,18^\circ$.

4.2.1 Hasil XRD TiO_2 pada substrat alumina

Al_2O_3 atau disebut alumina biasa digunakan untuk penerapan sensor gas. Karena substrat alumina yang bersifat isolator sehingga resistansinya besar dan elektronnya juga lebih banyak. Hasil XRD TiO_2 pada sampel A19-2 dan A19-6, ditunjukkan pada Gambar 4.8 sebagai berikut:



Gambar 4.8 Sampel A19-2 dan A19-6

Tampak dari Gambar 4.8 yaitu hasil dari pembuatan TiO_2 dengan sampel A19-2 dan A19-6 terlihat sama dengan hasil substrat alumina. *Peak* tertinggi pada posisi (2θ) dari substrat yaitu $35,18^\circ$, sedangkan *peak* tertinggi pada sampel A19-2 didapatkan pada posisi (2θ) yaitu $38,12^\circ$. Hasil sampel A19-6 didapatkan *peak* tertinggi pada posisi (2θ) yaitu $35,05^\circ$. Hasil dari Gambar 4.8 diperoleh ukuran kristal sebagai berikut.

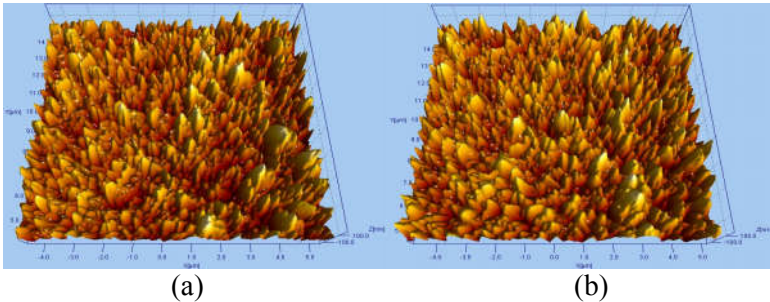
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Ukuran Kristal dan Fraksi Fase pada Substrat Alumina

pH	Waktu Perendaman (jam)	Fase	Ukuran Kristal (nm)	Fraksi Fase
9	2	Anatase	107,5885	1
	6	Anatase	106,6406	1

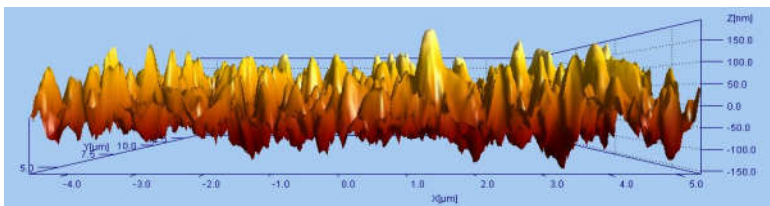
Pada Tabel 4.3 diperoleh ukuran kristal yang hampir sama dari penggunaan substrat alumina dengan perbedaan waktu perendaman tetapi pada fraksi fase yang sama.

4.3 Hasil dan Analisa Pengujian AFM

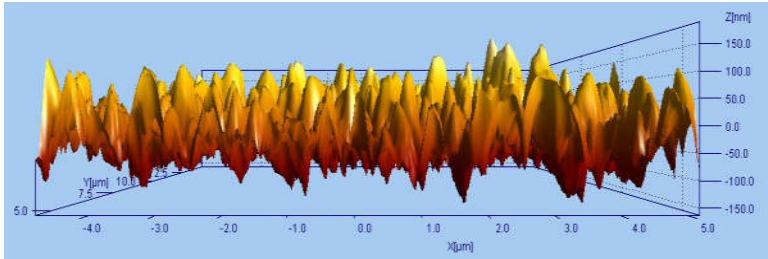
Hasil dari pengujian AFM dengan sampel F3-1 dan sampel F9-2 didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 4.9 Topografi tampak depan (a) F3-1 dan (b) F9-2



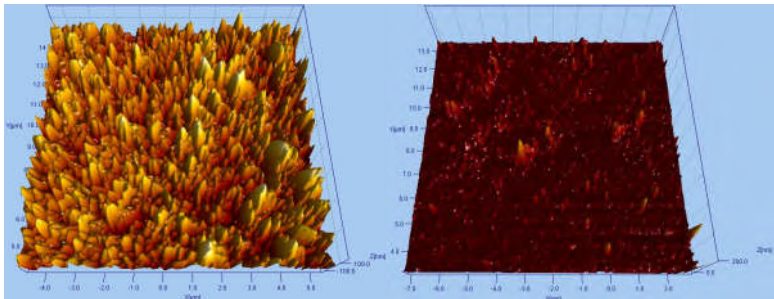
Gambar 4.10 Topografi tampak samping F3-1



Gambar 4.11 Topografi tampak samping F9-2

Hasil dari sampel F3-1 dan F9-2 sama yaitu distribusinya belum merata sehingga permukaan masih kasar dan ukuran kekasarannya sama yaitu sebesar 352 nm. Sampel F3-1 memiliki tinggi kontur sekitar 170 nm dan tinggi kontur dari sampel F9-2 yaitu sekitar 140nm.

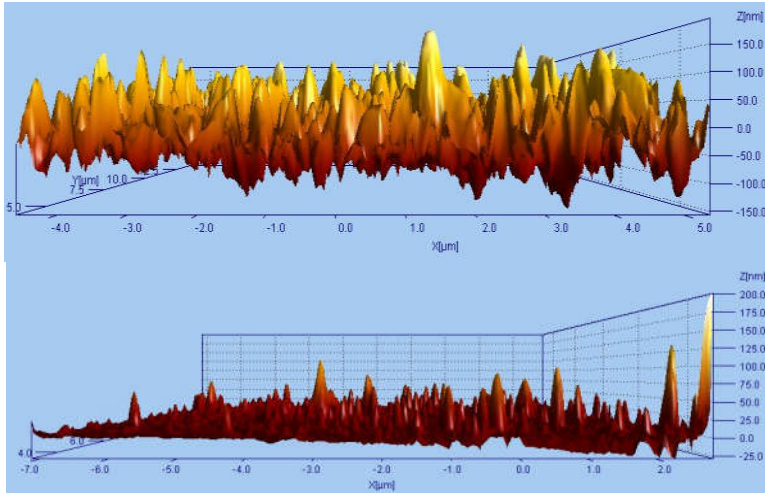
Adapula hasil AFM pada sampel F3-1 dan F3-4 didapat hasil pada Gambar 4.12 sebagai berikut:



(a)

(b)

Gambar 4.12 Topografi tampak depan (a) pH 3 perendaman 1jam dan (b) pH 3 perendaman 4 jam



Gambar 4.13 Topografi tampak samping sampel F3-1 (atas) dan F3-4 (bawah)

Hasil dari sampel F3-1 yaitu distribusi tidak tersebar merata atau permukaannya kasar, sedangkan pada sampel F3-4 terlihat bahwa distribusinya tersebar merata atau permukaan lebih halus. Ukuran kekasarannya pun semakin lama perendaman maka ukurannya semakin kecil. Pada F3-1 ukuran butir sebesar 352 nm dan pada F3-4 sebesar 229 nm. Perbedaan hasil AFM untuk variasi pH dan perendaman dapat dilihat pada Tabel 4.4, sebagai berikut:

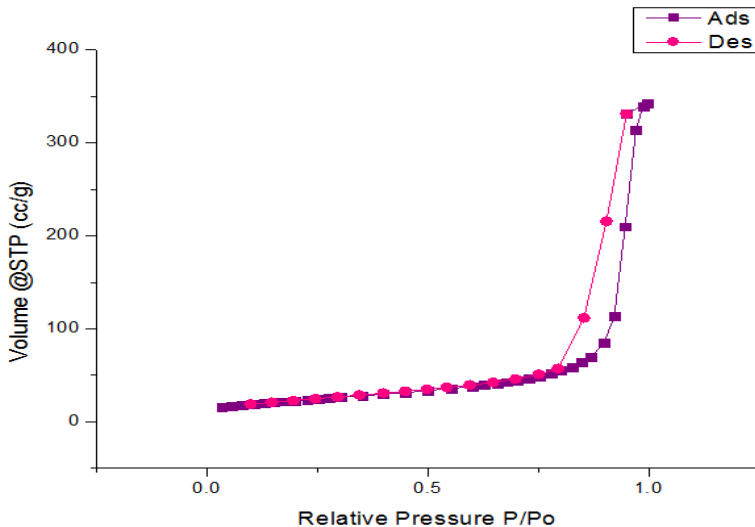
Tabel 4.4 Perbedaan Variasi pH dan Perendaman

pH	Waktu Perendaman (jam)	Tinggi Kontur
3	1	170
	4	66
9	2	140

Berdasarkan Tabel 4.3 menunjukkan bahwa semakin tinggi pH maka semakin berkurang tinggi konturnya tetapi permukaan sama yaitu kasar. Pada tabel juga menunjukkan bahwa semakin lama perendaman maka semakin berkurang tinggi konturnya dan permukaannya semakin rata atau halus.

4.4 Hasil dan Analisa Pengujian BET

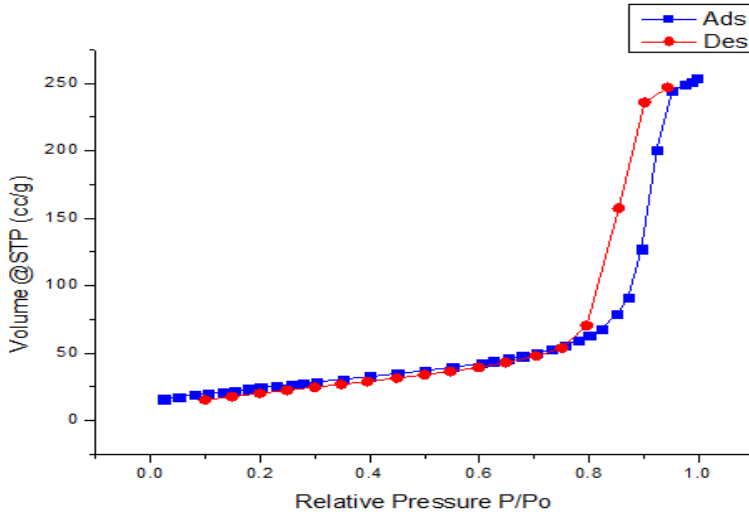
Hasil dari pengujian BET (*Brunauer Emmett Teller*) akan didapatkan luas permukaan, volume pori dan diameter pori dari sampel yang diuji yaitu TiO_2 . Didapatkan hasil pada kondisi sampel serbuk F9-6 sebagai berikut:



Gambar 4.14 Kurva Adsorpsi-Desorpsi sampel serbuk F9-6

Hasil pengujian BET pada sampel serbuk F9-6 yang ditunjukkan pada Gambar 4.14 yaitu didapatkan kurva adsorpsi dan desorpsi tipe V yang mana interaksi antara *adsorbent* (sampel) dan *adsorbate* (zat yang di absorp) lemah, tetapi didapatkan dengan *adsorbent* (sampel) yang *porous*. Kurva tersebut juga dapat diketahui struktur pori dari tipe histeresisnya yaitu tipe H1 yang biasanya sering dihubungkan dengan bahan

yang *porous*, yang terdapat aglomerasi atau padatan yang berbentuk bulatan yang seragam dan memiliki distribusi ukuran pori yang kecil. Tipe kurva dapat dilihat dari *IUPAC Classification of Adsorption Isotherms*.



Gambar 4.15 Kurva Adsorpsi-Desorpsi sampel serbuk F9-2

Tampak dari Gambar 4.15 diatas menunjukkan hasil pengujian BET pada sampel serbuk F9-2 sama dengan hasil sampel serbuk F9-6 yaitu didapatkan kurva adsorpsi dan desorpsi tipe V dan kurva histeresis tipe H1.

Hasil BET pada sampel serbuk F9-6 dan F9-2 dapat dilihat pada Tabel 4.4, sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil Pengujian BET

pH	Waktu Perendaman (jam)	Luas Permukaan (m^2/g)	Volume Pori (cc/g)	Diameter Pori (nm)	Ukuran Partikel BET (nm)
9	2	90,12	0,3931	8,723	0,0157
	6	82,08	0,5297	12,91	0,0173

Berdasarkan Tabel 4.5, semakin lama perendaman semakin kecil luas permukaannya tetapi volume pori, diameter pori dan ukuran partikelnya semakin besar. Berdasarkan Wahyuono, 2013., luas permukaan rata-rata anatase yaitu $113,02 \text{ m}^2/\text{g}$ sehingga apabila dibandingkan dengan hasil sampel serbuk F9-6 dan F9-2 didapatkan hasil yang lebih kecil dari hasil luas permukaan rata-rata. Berdasarkan Korotcenkov, 2011., diameter untuk penerapan pada gas sensor yaitu 2 nm apabila dibandingkan dengan hasil sampel serbuk F9-6 dan F9-2 didapatkan diameter lebih besar. Volume pori lebih besar dibandingkan dengan volume pori fase anatase yaitu 0,28 (Wahyuono, 2013). Dari hasil luas permukaan akan didapatkan ukuran partikel dengan menggunakan perhitungan dengan rumus 3.3 didapatkan hasil ukuran partikel yaitu 0,0157 untuk perendaman 2 jam dan 0.0173 untuk perendaman 6 jam, dapat dikatakan bahwa ukuran partikel cukup kecil sehingga apabila ukuran partikel kecil maka luas permukaannya besar.

4.5 Hasil dan Analisa Pengujian Sensor Gas VOC (Metanol)

4.5.1 Hasil pengujian sensor gas dengan prekursor TiCl_4

Berdasarkan Obida, dkk. 2005. Pengujian TiO_2 dengan prekursor TiCl_4 didapatkan bahwa semakin tinggi suhu maka resistivitas akan turun dan terjadinya gangguan kecil juga pada saat operasi suhu menyebabkan resistansi naik. Resistansi lapisan menunjukkan respon yang drastis dan cepat kepada CO , H_2 dan O_2 . Sensitivitas lapisan dan respon waktu untuk masing-masing gas dihitung dan dicatat sebagai fungsi dari suhu operasi.

4.5.2 Hasil pengujian sensor gas dengan substrat alumina

Pada penelitian ini pengujian TiO_2 dengan prekursor TiCl_3 yang ditambahkan urea dengan ammonia untuk penambahan pH. Telah dilakukan uji dengan *Multimeter Picotest M3500A* pada sampel dengan substrat yang digunakan yaitu alumina, sebagai berikut:

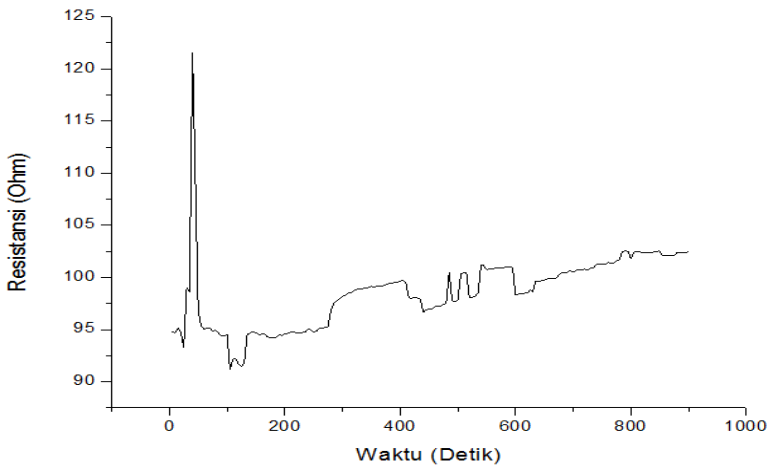
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Sensor Gas dengan Substrat Alumina

Deposisi	Suhu Ruang	100°C	200°C
2 Jam	<i>Overload</i>	<i>Overload</i>	<i>Overload</i>
4 Jam	<i>Overload</i>	<i>Overload</i>	<i>Overload</i>
6 Jam	<i>Overload</i>	<i>Overload</i>	<i>Overload</i>

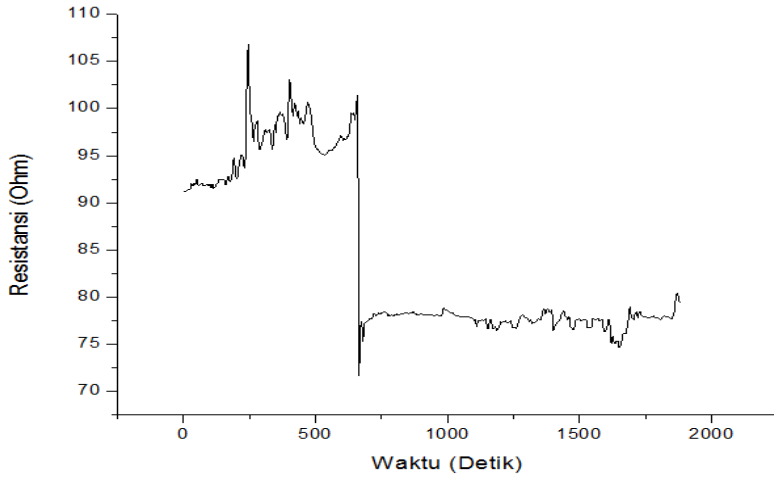
Pada Tabel 4.6 menunjukkan hasil pengujian sensor gas VOC (metanol) menggunakan substrat alumina yaitu *overload* atau resistansinya besar. Terjadinya *overload* dikarenakan bahan TiO₂ tidak menempel pada substrat setelah dilakukan deposisi dan yang terbaca pada alat yaitu resistansi dari substrat. Sehingga, ketika dilakukan variasi suhu sebesar 100°C dan 200°C hasilnya tetap sama.

4.5.3 Hasil pengujian sensor gas dengan substrat FTO

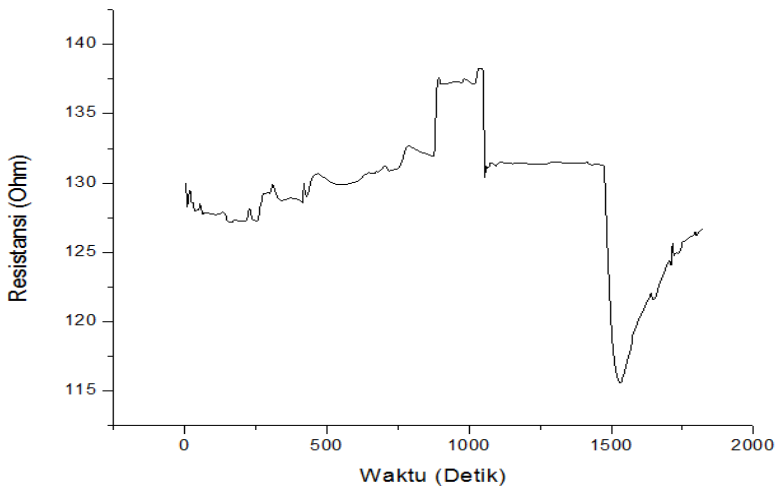
Dilakukannya pengujian sensor gas VOC (metanol) pada substrat FTO dan hasil ditunjukkan pada Gambar 4.16, sebagai berikut:

**Gambar 4.16** Sampel F9-6 pada suhu ruang

Gambar 4.16 menunjukkan hasil dari sampel F9-6. Berikut ini hasil pada sampel F9-6 dengan suhu 100°C , sebagai berikut:



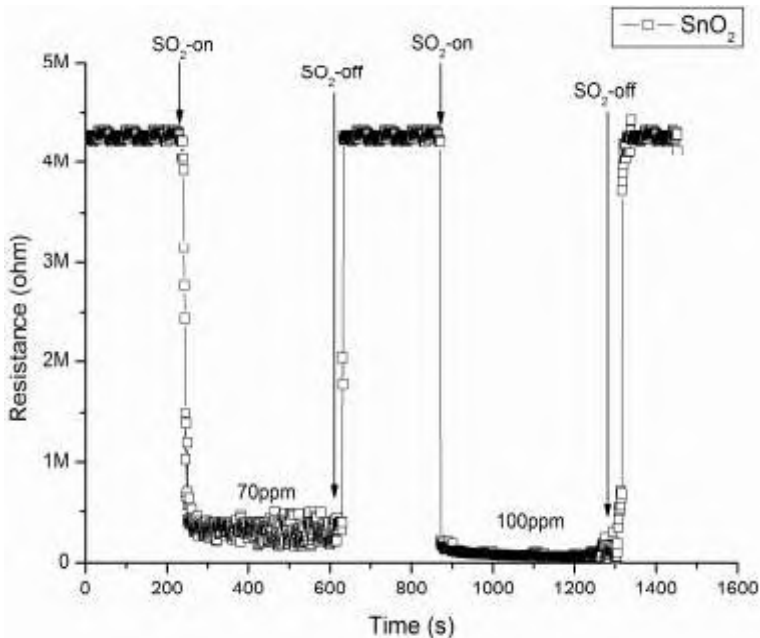
Gambar 4.17 Sampel F9-6 pada suhu 100°C



Gambar 4.18 Sampel F9-2 pada suhu ruang

Hasil pada sampel substrat FTO dapat dilihat pada Gambar 4.16, 4.17, dan 4.18 yang mana terdapat respon resistivitas walau kecil tetapi dikarenakan hasil *noise* yang lebih besar dibandingkan respon yang keluar saat gas target dialirkan sehingga dinyatakan bahwa sampel tidak memiliki respon.

Untuk mengetahui respon yang baik pada sensor gas dapat diketahui dari penelitian Brian Yulianto, dkk (2013), penelitian tersebut menggunakan bahan SnO₂ dengan metode *chemical bath deposition* (CBD) untuk sintesis lapisan tipis. Hasil yang menunjukkan respon dinamik, dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Respon sementara dan waktu pulih dari lapisan tipis SnO₂ pada suhu 200°C (Yulianto, dkk. 2013)

Tampak dari Gambar 4.19 diatas bahwa resistivitas dari struktur nano lapisan tipis SnO₂ turun secara signifikan hingga

paling bawah setelah dialirkan gas SO₂. Resistivitas naik kembali setelah aliran gas SO₂ berhenti. Indikasi dari pemulihan resistivitas mengetahui bahwa sensor memiliki desorpsi yang baik setelah gas SO₂ berhenti. (Yuliarto, dkk. 2013)

Penyebab dari tidak berhasilnya penelitian ini yakni substrat yang kotor sehingga material sulit menempel dan kurangnya *treatment* khusus pada substrat sehingga terjadinya TiO₂ tidak menempel pada substrat dan tidak adanya respon pada substrat alumina maupun substrat FTO

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A (JCPDS 00-021-1272)
TiO₂ Fase Anatase

Name and formula

Reference code: 00-021-1272
Mineral name: Anatase, syn
Compound name: Titanium Oxide
Empirical formula: O₂Ti
Chemical formula: TiO₂

Crystallographic parameters

Crystal system: Tetragonal
Space group: I41/amd
Space group number: 141
a (Å): 3.7852
b (Å): 3.7852
c (Å): 9.5139
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000
Calculated density (g/cm³): 3.89
Volume of cell (10⁶ pm³): 136.31
Z: 4.00
RIR: 3.30

Subfiles and quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic, Common Phase, Educational pattern,
Excipient, Forensic, Inorganic, Mineral NBS pattern, Pharmaceutical,
Pigment/Dye

Quality: Star (S)

Comments

Color: Colorless
Creation Date: 1/1/1970
Modification Date: 1/11/2011
Additional Patterns: See PDF 01-071-1166. Validated by calculated pattern
Color: Colorless
General Comments: Pattern reviewed by Holzer, J., McCarthy, G., North Dakota State Univ, Fargo, North Dakota, USA, ICDD Grant-in-Aid (1990). Agrees well with experimental and calculated patterns
Polymorphism/Phase Transition: Anatase and another polymorph, brookite (orthorhombic), are converted to rutile (tetragonal) by heating above 700 C
Sample Source or Locality: Sample obtained from National Lead Co., South Amboy, New Jersey, USA

Temperature of Data Collection: Pattern taken at 298 K

Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

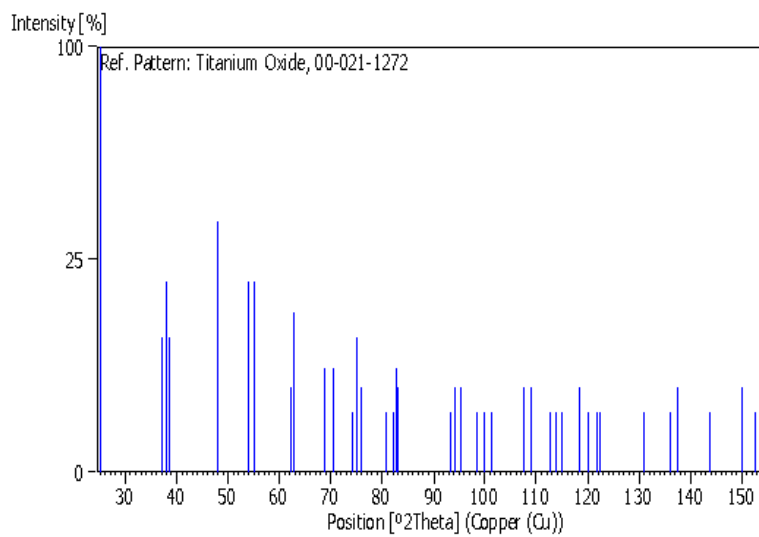
References

Primary reference: *Natl. Bur. Stand. (U. S.) Monogr.* 25, 7, 82, (1969)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	1	3.52000	25.281	100.0
2	1	0	3	2.43100	36.947	10.0
3	0	0	4	2.37800	37.801	20.0
4	1	1	2	2.33200	38.576	10.0
5	2	0	0	1.89200	48.050	35.0
6	1	0	5	1.69990	53.891	20.0
7	2	1	1	1.66650	55.062	20.0
8	2	1	3	1.49300	62.121	4.0
9	2	0	4	1.48080	62.690	14.0
10	1	1	6	1.36410	68.762	6.0
11	2	2	0	1.33780	70.311	6.0
12	1	0	7	1.27950	74.031	2.0
13	2	1	5	1.26490	75.032	10.0
14	3	0	1	1.25090	76.020	4.0
15	0	0	8	1.18940	80.727	2.0
16	3	0	3	1.17250	82.139	2.0
17	2	2	4	1.16640	82.662	6.0
18	3	1	2	1.16080	83.149	4.0
19	2	1	7	1.06000	93.221	2.0
20	3	0	5	1.05170	94.182	4.0
21	3	2	1	1.04360	95.143	4.0
22	1	0	9	1.01820	98.319	2.0
23	2	0	8	1.00700	99.804	2.0
24	3	2	3	0.99670	101.221	2.0
25	3	1	6	0.95550	107.448	4.0
26	4	0	0	0.94640	108.963	4.0
27	3	0	7	0.92460	112.841	2.0
28	3	2	5	0.91920	113.861	2.0
29	4	1	1	0.91380	114.909	2.0
30	2	1	9	0.89660	118.439	4.0
31	2	2	8	0.88900	120.104	2.0
32	4	1	3	0.88190	121.725	2.0
33	4	0	4	0.87930	122.336	2.0
34	4	2	0	0.84640	131.036	2.0
35	3	2	7	0.83080	135.998	2.0
36	4	1	5	0.82680	137.391	4.0
37	3	0	9	0.81020	143.888	2.0
38	4	2	4	0.79740	150.039	4.0
39	0	0	12	0.79280	152.634	2.0

Stick Pattern



LAMPIRAN B (JCPDS 00-021-1276) TiO₂ Fase Rutile

Name and formula

Reference code: 00-021-1276
Mineral name: Rutile, syn
Compound name: Titanium Oxide
Common name: titania
Empirical formula: O₂Ti
Chemical formula: TiO₂

Crystallographic parameters

Crystal system: Tetragonal
Space group: P4₂/mnm
Space group number: 136
a (Å): 4.5933
b (Å): 4.5933
c (Å): 2.9592
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000
Calculated density (g/cm³): 4.25
Measured density (g/cm³): 4.23
Volume of cell (10⁶ pm³): 62.43
Z: 2.00
RIR: 3.40

Subfiles and quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic, Common Phase, Educational pattern, Excipient,
Forensic, Inorganic, Mineral, NBS pattern, Pharmaceutical, Pigment/Dye
Quality: Star (S)

Comments

Color: White
Creation Date: 1/1/1970
Modification Date: 1/11/2011
Additional Patterns: Validated by calculated pattern
Analysis: No impurity over 0.001%
Color: White
General Comments: Pattern reviewed by Syvinski, W., McCarthy, G., North Dakota State Univ, Fargo, North Dakota, USA, ICDD Grant-in-Aid (1990). Agrees well with experimental and calculated patterns. Additional weak reflections (indicated by brackets) were observed. Naturally occurring material may be reddish brown
Optical Data Specimen location: Optical data on specimen from Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., 1555
Polymorphism/Phase Transition: Two other polymorphs, anatase (tetragonal) and brookite (orthorhombic), converted to rutile on heating above 700 C
Reflectance: Opaque mineral optical data on specimen from Sweden: R_{3R}%=20.3, Disp.=Std. Sample Source or Locality: Sample obtained from National Lead Co., South Amboy, New Jersey, USA. Temperature of Data Collection: Pattern taken at 298 K. Vickers Hardness Number: VHN100=1132-1187. Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

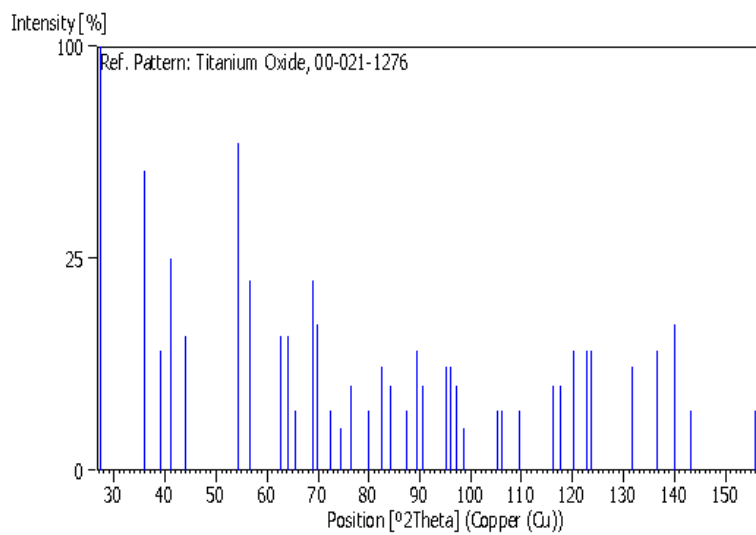
References

Primary reference: *Natl. Bur. Stand. (U. S.) Monogr.* 25, 7, 83, (1969)
Optical data: *Dana's System of Mineralogy, 7th Ed.*, 1, 575

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	3.24700	27.447	100.0
2	1	0	1	2.48700	36.086	50.0
3	2	0	0	2.29700	39.188	8.0
4	1	1	1	2.18800	41.226	25.0
5	2	1	0	2.05400	44.052	10.0
6	2	1	1	1.68740	54.323	60.0
7	2	2	0	1.62370	56.642	20.0
8	0	0	2	1.47970	62.742	10.0
9	3	1	0	1.45280	64.040	10.0
10	2	2	1	1.42430	65.480	2.0
11	3	0	1	1.35980	69.010	20.0
12	1	1	2	1.34650	69.790	12.0
13	3	1	1	1.30410	72.410	2.0
14	3	2	0	1.27390	74.411	1.0
15	2	0	2	1.24410	76.510	4.0
16	2	1	2	1.20060	79.822	2.0
17	3	2	1	1.17020	82.335	6.0
18	4	0	0	1.14830	84.260	4.0
19	4	1	0	1.11430	87.464	2.0
20	2	2	2	1.09360	89.557	8.0
21	3	3	0	1.08270	90.708	4.0
22	4	1	1	1.04250	95.275	6.0
23	3	1	2	1.03640	96.017	6.0
24	4	2	0	1.02710	97.177	4.0
25	3	3	1	1.01670	98.514	1.0
26	4	2	1	0.97030	105.099	2.0
27	1	0	3	0.96440	106.019	2.0
28	1	1	3	0.94380	109.406	2.0
29	4	0	2	0.90720	116.227	4.0
30	5	1	0	0.90090	117.527	4.0
31	2	1	3	0.88920	120.059	8.0
32	4	3	1	0.87740	122.788	8.0
33	3	3	2	0.87380	123.660	8.0
34	4	2	2	0.84370	131.847	6.0
35	3	0	3	0.82920	136.549	8.0
36	5	2	1	0.81960	140.052	12.0
37	4	4	0	0.81200	143.116	2.0
38	5	3	0	0.78770	155.870	2.0

Stick Pattern



LAMPIRAN C (JCPDS 00-029-1360)

TiO₂FaseBrookite

Name and formula

Reference code: 00-029-1360
Mineral name: Brookite
Compound name: Titanium Oxide
Empirical formula: O₂Ti
Chemical formula: TiO₂

Crystallographic parameters

Crystal system: Orthorhombic
Space group: Pcab
Space group number: 61
a (Å): 5.4558
b (Å): 9.1819
c (Å): 5.1429
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000
Calculated density (g/cm³): 4.12
Measured density (g/cm³): 4.14
Volume of cell (10⁶ pm³): 257.63
Z: 8.00
RIR: -

Subfiles and quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic, Common Phase, Educational pattern, Excipient, Forensic, Inorganic, Mineral, NBS pattern, Pharmaceutical
Quality: Star (S)

Comments

Color: Black
Creation Date: 1/1/1970
Modification Date: 1/11/2011
Additional Patterns: To replace 00-016-0617 and validated by calculated pattern. See PDF 01-076-1934
Analysis: Spectrographic analysis: 0.1-1.0% Si; 0.01-0.1% each of Al, Fe, and V; 0.001-0.01% Mg. Niobianbrookite from Mozambique (Chemical analysis (wt.%): "Ti O2" 80.7, "Nb2 O5" 14.1, FeO 5.53); Carvalho et al., Rev. Cien. Geol. Ser. A, 7 61 (1974) reports an identical pattern. Color: Black. General Comments: Intensities verified by calculated pattern. Sample Source or Locality: Specimen from Magnet Cove, Arkansas, USA (USNM 97661). Temperature of Data Collection: Pattern taken at 298 K. Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

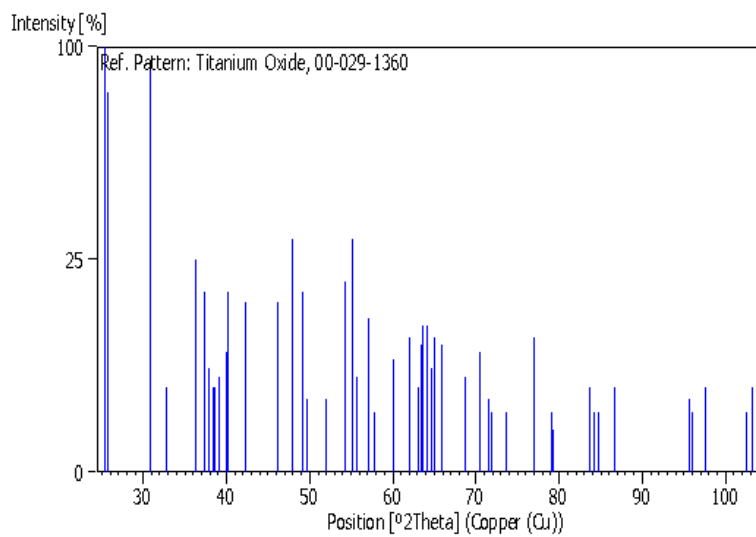
References

Primary reference: *Natl. Bur. Stand. (U. S.) Monogr.* 25, 3, 57, (1964)
Optical data: *Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., I*, 588, (1944)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	2	0	3.51200	25.340	100.0
2	1	1	1	3.46500	25.689	80.0
3	1	2	1	2.90000	30.808	90.0
4	2	0	0	2.72900	32.791	4.0
5	0	1	2	2.47600	36.252	25.0
6	2	0	1	2.40900	37.297	18.0
7	1	3	1	2.37000	37.934	6.0
8	2	2	0	2.34400	38.371	4.0
9	2	1	1	2.33200	38.576	4.0
10	0	4	0	2.29600	39.205	5.0
11	1	1	2	2.25400	39.967	8.0
12	0	2	2	2.24400	40.153	18.0
13	2	2	1	2.13300	42.340	16.0
14	0	3	2	1.96850	46.072	16.0
15	2	3	1	1.89340	48.012	30.0
16	1	3	2	1.85140	49.173	18.0
17	2	1	2	1.83320	49.694	3.0
18	2	4	0	1.75680	52.012	3.0
19	3	2	0	1.69080	54.205	20.0
20	2	4	1	1.66170	55.234	30.0
21	1	5	1	1.64860	55.711	5.0
22	1	1	3	1.60980	57.176	13.0
23	2	3	2	1.59680	57.685	2.0
24	1	2	3	1.54080	59.991	7.0
25	0	5	2	1.49420	62.065	10.0
26	1	6	0	1.47290	63.065	4.0
27	3	1	2	1.46560	63.416	9.0
28	2	5	1	1.46090	63.643	12.0
29	2	0	3	1.45150	64.104	12.0
30	1	3	3	1.44150	64.603	6.0
31	2	1	3	1.43360	65.003	10.0
32	1	6	1	1.41670	65.876	9.0
33	4	0	0	1.36400	68.768	5.0
34	3	3	2	1.33580	70.432	8.0
35	4	0	1	1.31860	71.490	3.0
36	2	3	3	1.31160	71.931	2.0
37	0	0	4	1.28520	73.648	2.0
38	0	2	4	1.23810	76.949	10.0
39	4	3	1	1.21070	79.025	2.0
40	1	2	4	1.20740	79.283	1.0
41	3	3	3	1.15520	83.643	4.0
42	0	8	0	1.14800	84.288	2.0
43	4	4	1	1.14320	84.724	2.0
44	0	4	4	1.12170	86.743	4.0
45	5	2	1	1.03990	95.590	3.0
46	4	2	3	1.03990	95.590	3.0
47	2	8	1	1.03660	95.993	2.0
48	3	2	4	1.02370	97.609	4.0
49	1	2	5	0.98730	102.559	2.0
50	3	7	2	0.98290	103.201	4.0
51	2	5	4	0.98290	103.201	4.0

Stick Pattern



LAMPIRAN D (IUPAC) Classification of Adsorption Isotherms

- **Classification of Adsorption Isotherms**

The majority of physisorption isotherms may be grouped into the six types shown in Figure 1. In most cases at sufficiently low surface coverage the isotherm reduces to a linear form (i.e. $n^a \propto p$), which is often referred to as the Henry's Law region (see Note h).

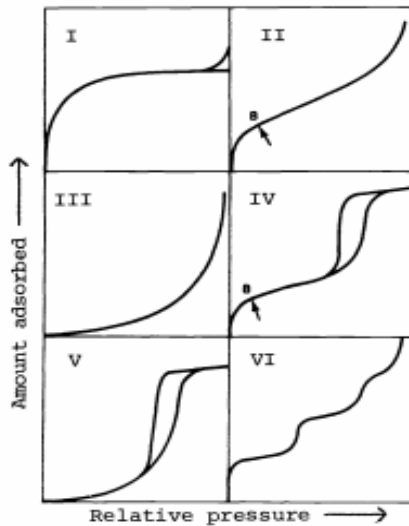


Figure 1. Types of physisorption isotherms.

The reversible *Type I* isotherm (see Note i) is concave to the p/p° axis and n^a approaches a limiting value as $p/p^\circ \rightarrow 1$. Type I isotherms are given by microporous solids having relatively small external surfaces (e.g. activated carbons, molecular sieve zeolites and certain porous oxides), the limiting uptake being governed by the accessible micropore volume rather than by the internal surface area.

The reversible *Type II* isotherm is the normal form of isotherm obtained with a non-porous or macroporous adsorbent. The Type II isotherm represents unrestricted monolayer-multilayer adsorption. Point B, the beginning of the almost linear middle section of the isotherm, is often taken to indicate the stage at which monolayer coverage is complete and multilayer adsorption about to begin.

The reversible *Type III* isotherm is convex to the p/p_0 axis over its entire range and therefore does not exhibit a Point B. Isotherms of this type are not common; the best known examples are found with water vapour adsorption on pure non-porous carbons. However, there are a number of systems (e.g. nitrogen on polyethylene) which give isotherms with gradual curvature and an indistinct Point B. In such cases, the adsorbent-adsorbate interaction is weak as compared with the adsorbate-adsorbate interactions.

Characteristic features of the *Type IV* isotherm are its hysteresis loop, which is associated with capillary condensation taking place in mesopores, and the limiting uptake over a range of high p/p_0 . The initial part of the *Type IV* isotherm is attributed to monolayer-multilayer adsorption since it follows the same path as the corresponding part of a *Type II* isotherm obtained with the given adsorbent on the same surface area of the adsorbent in a non-porous form. *Type IV* isotherms are given by many mesoporous industrial adsorbents.

The *Type V* isotherm is uncommon; it is related to the *Type III* isotherm in that the adsorbent-adsorbate interaction is weak, but is obtained with certain porous adsorbents.

The *Type VI* isotherm represents stepwise multilayer adsorption on a uniform non-porous surface. The step-height now represents the monolayer capacity for each adsorbed layer and, in the simplest case, remains nearly constant for two or three adsorbed layers. Amongst the best examples of *Type VI* isotherms are those obtained with argon or krypton on graphitized carbon blacks at liquid nitrogen temperature.

- **Adsorption Hysteresis**

Hysteresis appearing in the multilayer range of physisorption isotherms is usually associated with capillary condensation in mesopore structures. Such hysteresis loops may exhibit a wide variety of shapes. Two extreme types are shown as H1 (formerly *Type A*) and H4 in Figure 2. In the former the two branches are almost vertical and nearly parallel over an appreciable range of gas uptake, whereas in the latter they remain nearly horizontal and parallel over a wide range of p/p_0 . In certain respects *Types H2* and *H3* (formerly termed *Types E* and *B*, respectively) may be regarded as intermediate between these two extremes. A feature common to many hysteresis loops is that the steep region of the desorption branch leading to the lower closure point occurs (for a given adsorbent at a given temperature) at a relative pressure which is almost independent of

the nature of the porous adsorbent (e.g. for nitrogen at its boiling point at $p/p^\circ \sim 0.42$ and for benzene at 25°C at $p/p^\circ \sim 0.28$).

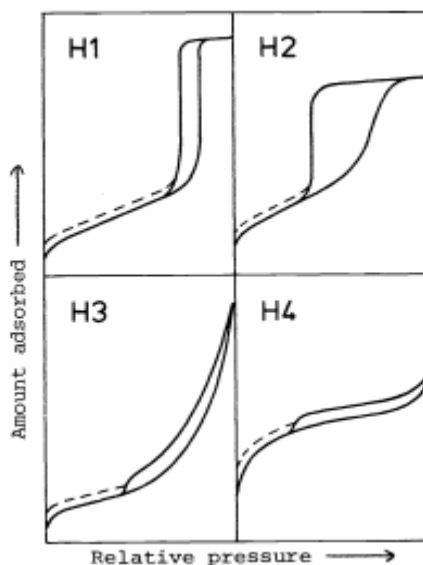


Figure 2. Types of hysteresis loops.

The shapes of hysteresis loops have often been identified with specific pore structures. Thus, *Type H1* is often associated with porous materials known, from other evidence, to consist of agglomerates or compacts of approximately uniform spheres in fairly regular array, and hence to have narrow distributions of pore size.

Some corpuscular systems (e.g. silica gels) tend to give *Type H2* loops, but in these cases the distribution of pore size and shape is not well-defined. Indeed, the *H2* loop is especially difficult to interpret: in the past it was attributed to a difference in mechanism between condensation and evaporation processes occurring in pores with narrow necks and wide bodies (often referred to as 'ink bottle' pores), but it is now recognised that this provides an over-simplified picture.

The *Type H3* loop, which does not exhibit any limiting adsorption at high p/p° , is observed with aggregates of plate-like particles giving rise to slit-shaped pores.

Similarly, the *Type H4* loop appears to be associated with narrow slit-like pores, but in this case the *Type I* isotherm character is indicative of microporosity.

With many systems, especially those containing micropores, low pressure hysteresis (indicated by the dashed lines in Figure 2), may be observed extending to the lowest attainable pressures. Removal of the residual adsorbed material is then possible only if the adsorbent is outgassed at higher temperatures. This phenomenon is thought to be associated with the swelling of a non-rigid porous structure or with the irreversible uptake of molecules in pores (or through pore entrances) of about the same width as that of the adsorbate molecule.

LAMPIRAN E (Data Uji BET)

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and Reduction for
NOVA instruments ©1994-2010, Quantachrome Instruments
version 11.0

Analysis Report

Operator: YUS Date:2016/06/20
Operator: YUS Date:6/22/2016
Sample ID: 1
Filename: C:\QCdata\Physisorb\M0209--1.qps
Sample Desc: 9A
Comment: Degassing 300 1h
Sample weight: 0.0377 g
Sample Volume: 0.00967 cc
Sample Density: 3.9 g/cc
Outgas Time: 4.0 hrs
OutgasTemp: 120.0 C
Analysis gas: Nitrogen
Bath Temp: 77.3 K
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)
Equil time: 60/60 sec (ads/des)
Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
Analysis Time: 233.7 min
End of run: 2016/06/20 17:35:30
Instrument: Nova Station A
Cell ID: 91
F/W version: 0.00

➤ **Tabel E-1. Waktu Perendaman 6 Jam**

P/Po	Po (mmHg)	Volume@STP (cc)
0.033377	767.16	0.6034
0.054554	767.16	0.646
0.080173	767.16	0.6867
0.105979	767.16	0.7253
0.129818	767.16	0.7598
0.150436	767.16	0.7867
0.175768	767.16	0.821
0.198746	767.16	0.8517
0.226978	767.16	0.8878
0.252977	767.16	0.925
0.275934	767.16	0.9574
0.302192	767.16	0.9919
0.352175	767.16	1.0575
0.398942	767.16	1.1198
0.449844	767.16	1.1865
0.500164	767.16	1.2656
0.552981	767.16	1.3502
0.601758	767.16	1.4372
0.626631	767.16	1.4872
0.656484	767.16	1.5525
0.678077	767.16	1.6101
0.703072	767.16	1.6771
0.729624	767.16	1.7612
0.752746	767.16	1.8386
0.779162	767.16	1.9612
0.802248	767.16	2.0692
0.825987	767.16	2.2112

P/Po	Po (mmHg)	Volume@STP (cc)
0.848456	767.16	2.4021
0.870552	767.16	2.6368
0.899895	767.16	3.2211
0.922529	767.16	4.2828
0.946591	767.16	7.9109
0.971371	767.16	11.841
0.986979	767.16	12.7713
0.995978	767.16	12.9099
0.950194	767.16	12.4766
0.904675	767.16	8.1357
0.853623	767.16	4.2143
0.79505	767.16	2.1552
0.751297	767.16	1.9267
0.69868	767.16	1.735
0.647794	767.16	1.6014
0.595536	767.16	1.4935
0.543228	767.16	1.3937
0.498391	767.16	1.3157
0.44904	767.16	1.2386
0.399502	767.16	1.1648
0.345164	767.16	1.0837
0.296236	767.16	1.0105
0.245234	767.16	0.9354
0.196019	767.16	0.8626
0.146747	767.16	0.7875
0.098996	767.16	0.7131

➤ **Tabel E-2. Waktu Perendaman 2 Jam**

P/Po	Po	Volume @ STP
0.02396	769.16	0.5038
0.05108	769.16	0.5607
0.07932	769.16	0.6036
0.10529	769.16	0.6411
0.13141	769.16	0.6778
0.1526	769.16	0.708
0.17651	769.16	0.7411
0.20057	769.16	0.7744
0.23045	769.16	0.8144
0.25676	769.16	0.8495
0.27706	769.16	0.8767
0.30226	769.16	0.9101
0.35209	769.16	0.9743
0.40045	769.16	1.0361
0.44987	769.16	1.1043
0.5012	769.16	1.1781
0.55065	769.16	1.2562
0.60282	769.16	1.3476
0.6252	769.16	1.3945
0.65212	769.16	1.4545
0.67793	769.16	1.5158
0.703	769.16	1.582
0.73121	769.16	1.6766
0.75569	769.16	1.7686
0.77996	769.16	1.879
0.80011	769.16	1.9987

P/Po	Po	Volume @ STP
0.8226	769.16	2.1665
0.85051	769.16	2.5068
0.87151	769.16	2.9082
0.89543	769.16	4.0452
0.92352	769.16	6.3804
0.95136	769.16	7.7711
0.97449	769.16	7.9236
0.98666	769.16	7.9709
0.99725	769.16	8.0813
0.9439	769.16	7.8543
0.90144	769.16	7.4986
0.85428	769.16	5.0023
0.79589	769.16	2.2376
0.75051	769.16	1.7102
0.70315	769.16	1.5218
0.64786	769.16	1.3653
0.59856	769.16	1.2514
0.54665	769.16	1.1568
0.49979	769.16	1.079
0.44935	769.16	0.9997
0.39566	769.16	0.9198
0.34731	769.16	0.8493
0.29903	769.16	0.7829
0.24868	769.16	0.7111
0.19897	769.16	0.6382
0.14834	769.16	0.5619
0.0991	769.16	0.4856

LAMPIRAN F (Data Uji Sensor Gas)

➤ Tabel F-1. Waktu Perendaman 2 Jam (Alumina)

Waktu (s)	Suhu Ruang	100°C	200°C
5	OVL	OVL	OVL
10	OVL	OVL	OVL
15	OVL	OVL	OVL
20	OVL	OVL	OVL
25	OVL	OVL	OVL
30	OVL	OVL	OVL
35	OVL	OVL	OVL
40	OVL	OVL	OVL
45	OVL	OVL	OVL
50	OVL	OVL	OVL
55	OVL	OVL	OVL
60	OVL	OVL	OVL
65	OVL	OVL	OVL
70	OVL	OVL	OVL
75	OVL	OVL	OVL
80	OVL	OVL	OVL
85	OVL	OVL	OVL
90	OVL	OVL	OVL
95	OVL	OVL	OVL
100	OVL	OVL	OVL
105	OVL	OVL	OVL
110	OVL	OVL	OVL
115	OVL	OVL	OVL
120	OVL	OVL	OVL
125	OVL	OVL	OVL
130	OVL	OVL	OVL
135	OVL	OVL	OVL
140	OVL	OVL	OVL
145	OVL	OVL	OVL
150	OVL	OVL	OVL
155	OVL	OVL	OVL
160	OVL	OVL	OVL
165	OVL	OVL	OVL
170	OVL	OVL	OVL
175	OVL	OVL	OVL
180	OVL	OVL	OVL

Waktu (s)	Suhu Ruang	100°C	200°C
185	OVL	OVL	OVL
190	OVL	OVL	OVL
195	OVL	OVL	OVL
200	OVL	OVL	OVL
205	OVL	OVL	OVL
210	OVL	OVL	OVL
215	OVL	OVL	OVL
220	OVL	OVL	OVL
225	OVL	OVL	OVL
230	OVL	OVL	OVL
235	OVL	OVL	OVL
240	OVL	OVL	OVL
245	OVL	OVL	OVL
250	OVL	OVL	OVL
255	OVL	OVL	OVL
260	OVL	OVL	OVL
265	OVL	OVL	OVL
270	OVL	OVL	OVL
275	OVL	OVL	OVL
280	OVL	OVL	OVL
285	OVL	OVL	OVL
290	OVL	OVL	OVL
295	OVL	OVL	OVL
300	OVL	OVL	OVL
305	OVL	OVL	OVL
310	OVL	OVL	OVL
315	OVL	OVL	OVL
320	OVL	OVL	OVL
325	OVL	OVL	OVL
330	OVL	OVL	OVL
335	OVL	OVL	OVL
340	OVL	OVL	OVL
345	OVL	OVL	OVL
350	OVL	OVL	OVL

➤ **Tabel F-2. Waktu Perendaman 4 Jam (Alumina)**

Waktu (s)	Suhu Ruang	100°C	200°C
5	OVLD	OVLD	OVLD
10	OVLD	OVLD	OVLD
15	OVLD	OVLD	OVLD
20	OVLD	OVLD	OVLD
25	OVLD	OVLD	OVLD
30	OVLD	OVLD	OVLD
35	OVLD	OVLD	OVLD
40	OVLD	OVLD	OVLD
45	OVLD	OVLD	OVLD
50	OVLD	OVLD	OVLD
55	OVLD	OVLD	OVLD
60	OVLD	OVLD	OVLD
65	OVLD	OVLD	OVLD
70	OVLD	OVLD	OVLD
75	OVLD	OVLD	OVLD
80	OVLD	OVLD	OVLD
85	OVLD	OVLD	OVLD
90	OVLD	OVLD	OVLD
95	OVLD	OVLD	OVLD
100	OVLD	OVLD	OVLD
105	OVLD	OVLD	OVLD
110	OVLD	OVLD	OVLD
115	OVLD	OVLD	OVLD
120	OVLD	OVLD	OVLD
125	OVLD	OVLD	OVLD
130	OVLD	OVLD	OVLD
135	OVLD	OVLD	OVLD
140	OVLD	OVLD	OVLD
145	OVLD	OVLD	OVLD
150	OVLD	OVLD	OVLD
155	OVLD	OVLD	OVLD
160	OVLD	OVLD	OVLD
165	OVLD	OVLD	OVLD
170	OVLD	OVLD	OVLD
175	OVLD	OVLD	OVLD
180	OVLD	OVLD	OVLD

Waktu (s)	Suhu Ruang	100°C	200°C
185	OVLD	OVLD	OVLD
190	OVLD	OVLD	OVLD
195	OVLD	OVLD	OVLD
200	OVLD	OVLD	OVLD
205	OVLD	OVLD	OVLD
210	OVLD	OVLD	OVLD
215	OVLD	OVLD	OVLD
220	OVLD	OVLD	OVLD
225	OVLD	OVLD	OVLD
230	OVLD	OVLD	OVLD
235	OVLD	OVLD	OVLD
240	OVLD	OVLD	OVLD
245	OVLD	OVLD	OVLD
250	OVLD	OVLD	OVLD
255	OVLD	OVLD	OVLD
260	OVLD	OVLD	OVLD
265	OVLD	OVLD	OVLD
270	OVLD	OVLD	OVLD
275	OVLD	OVLD	OVLD
280	OVLD	OVLD	OVLD
285	OVLD	OVLD	OVLD
290	OVLD	OVLD	OVLD
295	OVLD	OVLD	OVLD
300	OVLD	OVLD	OVLD
305	OVLD	OVLD	OVLD
310	OVLD	OVLD	OVLD
315	OVLD	OVLD	OVLD
320	OVLD	OVLD	OVLD
325	OVLD	OVLD	OVLD
330	OVLD	OVLD	OVLD
335	OVLD	OVLD	OVLD
340	OVLD	OVLD	OVLD
345	OVLD	OVLD	OVLD
350	OVLD	OVLD	OVLD

➤ **Tabel F-3. Waktu Perendaman 6 Jam (Alumina)**

Waktu (s)	Suhu Ruang	100°C	200°C
5	OVLD	OVLD	OVLD
10	OVLD	OVLD	OVLD
15	OVLD	OVLD	OVLD
20	OVLD	OVLD	OVLD
25	OVLD	OVLD	OVLD
30	OVLD	OVLD	OVLD
35	OVLD	OVLD	OVLD
40	OVLD	OVLD	OVLD
45	OVLD	OVLD	OVLD
50	OVLD	OVLD	OVLD
55	OVLD	OVLD	OVLD
60	OVLD	OVLD	OVLD
65	OVLD	OVLD	OVLD
70	OVLD	OVLD	OVLD
75	OVLD	OVLD	OVLD
80	OVLD	OVLD	OVLD
85	OVLD	OVLD	OVLD
90	OVLD	OVLD	OVLD
95	OVLD	OVLD	OVLD
100	OVLD	OVLD	OVLD
105	OVLD	OVLD	OVLD
110	OVLD	OVLD	OVLD
115	OVLD	OVLD	OVLD
120	OVLD	OVLD	OVLD
125	OVLD	OVLD	OVLD
130	OVLD	OVLD	OVLD
135	OVLD	OVLD	OVLD
140	OVLD	OVLD	OVLD
145	OVLD	OVLD	OVLD
150	OVLD	OVLD	OVLD
155	OVLD	OVLD	OVLD
160	OVLD	OVLD	OVLD
165	OVLD	OVLD	OVLD
170	OVLD	OVLD	OVLD
175	OVLD	OVLD	OVLD
180	OVLD	OVLD	OVLD

Waktu (s)	Suhu Ruang	100°C	200°C
185	OVLD	OVLD	OVLD
190	OVLD	OVLD	OVLD
195	OVLD	OVLD	OVLD
200	OVLD	OVLD	OVLD
205	OVLD	OVLD	OVLD
210	OVLD	OVLD	OVLD
215	OVLD	OVLD	OVLD
220	OVLD	OVLD	OVLD
225	OVLD	OVLD	OVLD
230	OVLD	OVLD	OVLD
235	OVLD	OVLD	OVLD
240	OVLD	OVLD	OVLD
245	OVLD	OVLD	OVLD
250	OVLD	OVLD	OVLD
255	OVLD	OVLD	OVLD
260	OVLD	OVLD	OVLD
265	OVLD	OVLD	OVLD
270	OVLD	OVLD	OVLD
275	OVLD	OVLD	OVLD
280	OVLD	OVLD	OVLD
285	OVLD	OVLD	OVLD
290	OVLD	OVLD	OVLD
295	OVLD	OVLD	OVLD
300	OVLD	OVLD	OVLD
305	OVLD	OVLD	OVLD
310	OVLD	OVLD	OVLD
315	OVLD	OVLD	OVLD
320	OVLD	OVLD	OVLD
325	OVLD	OVLD	OVLD
330	OVLD	OVLD	OVLD
335	OVLD	OVLD	OVLD
340	OVLD	OVLD	OVLD
345	OVLD	OVLD	OVLD
350	OVLD	OVLD	OVLD

➤ **Tabel F-4. Waktu Perendaman 2 Jam (FTO)**

Waktu (s)	Suhu Ruang
	Resistansi (Ohm)
5	132.35332
10	132.30321
15	132.25467
20	132.20557
25	132.16571
30	132.14221
35	132.12178
40	132.09389
45	132.03763
50	131.9731
55	131.9268
60	131.9285
65	132.47223
70	136.4993
75	137.43882
80	137.61074
85	137.13914
90	137.16506
95	137.16894
100	137.14694
105	137.18072
110	137.18096
115	137.22963
120	137.21384
125	137.21648
130	137.3369
135	137.33125
140	137.31077
145	137.30486
150	137.29067
155	137.24186
160	137.22264
170	137.50786

Waktu (s)	Suhu Ruang
	Resistansi (Ohm)
180	137.44765
185	137.34523
190	137.25123
195	137.1941
200	137.16566
205	137.1172
210	137.45357
215	138.09264
220	138.27883
225	138.25274
230	138.29862
235	138.10549
240	130.38346
245	131.23305
250	131.08901
255	131.18672
260	131.48857
265	131.43843
270	131.35422
275	131.31113
280	131.23685
285	131.3459
290	131.42436
295	131.49687
300	131.55538
305	131.41362
310	131.37828
315	131.28235
320	131.3193
325	131.35351
330	131.36562
335	131.36158
340	131.35317

Waktu (s)	Suhu Ruang
	Resistansi (Ohm)
350	131.31856
355	131.31093
360	131.20944
365	128.75818
370	125.951
375	123.79087
380	121.64026
385	119.6425
390	118.28931
395	117.29721
400	116.58748
405	116.06407
410	115.7463
415	115.60583
420	115.63427
425	115.97244
430	116.27256
435	116.67234
440	117.1061
445	117.47626
450	117.75466
455	118.13188
460	119.01998
465	119.26897
470	119.56368
475	119.82277
480	120.09753
485	120.29549
490	120.50034
495	120.73418

➤ **Tabel F-5. Waktu Perendaman 6 Jam (FTO)**

Waktu (s)	Suhu Ruang	100°C
	R (Ω)	R (Ω)
5	94.778	92.779
10	94.688	93.981
15	95.130	94.648
20	94.740	95.125
25	93.328	94.874
30	99.042	93.659
35	98.578	94.877
40	121.518	103.674
45	109.645	106.812
50	96.777	101.356
55	95.387	98.901
60	95.061	98.453
65	95.141	96.488
70	95.153	98.176
75	94.867	98.316
80	94.935	98.778
85	94.692	95.693
90	94.376	95.663
95	94.397	96.202
100	98.264	96.498
105	98.466	97.396
110	98.566	97.778
115	98.735	97.377
120	98.851	97.689
125	98.937	97.780
130	98.935	97.296
135	99.012	95.619
140	99.035	96.316
145	99.142	98.315
150	99.050	97.398
155	99.142	99.182
160	99.158	99.148
165	99.219	99.614
170	99.291	99.285
175	99.387	99.455
180	99.451	99.004
185	99.529	98.335
190	99.561	96.694
195	99.600	96.903
200	99.736	103.069
205	99.403	102.610
210	98.067	100.069
215	97.974	99.207
220	98.109	100.607
225	98.052	100.278

Waktu (s)	Suhu Ruang	100°C
	R (Ω)	R (Ω)
245	96.953	98.988
250	96.996	98.488
255	97.210	98.332
260	97.271	98.858
265	97.280	99.844
270	97.394	100.695
275	97.572	100.391
280	100.488	99.890
285	97.752	98.929
290	97.677	97.572
295	97.890	99.537
300	100.355	99.438
305	100.460	99.526
310	100.478	98.812
315	98.076	100.607
320	98.067	101.439
325	98.224	71.618
330	98.462	76.958
335	101.176	77.394
340	101.146	75.336
345	100.738	77.160
350	100.857	77.307
355	100.782	77.425
360	100.889	77.511
365	100.931	77.698
370	100.931	77.776
375	100.952	77.766
380	101.005	78.268
385	101.064	78.178
390	100.919	78.033
395	98.276	78.149
400	98.411	78.382
405	98.405	78.153
410	98.490	78.346
415	98.505	78.347
420	98.765	78.501
425	98.651	78.362
430	99.679	78.327
435	99.619	77.974
440	99.699	78.130
445	99.729	78.026
450	99.886	78.143
455	99.935	78.006
460	99.929	78.153
465	99.903	78.051
470	100.218	78.234

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa data yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Pembuatan serbuk TiO_2 berhasil tetapi penumbuhan TiO_2 pada substrat FTO dan alumina belum berhasil.
- b. Semakin lama waktu deposisi TiO_2 pada substrat FTO, maka kontur permukaan semakin halus, tinggi dan ukuran kekasarannya semakin kecil.
- c. Semakin lama waktu deposisi pada pembuatan serbuk TiO_2 , maka semakin kecil luas permukaan yang dihasilkan tetapi volume pori, diameter pori dan ukuran partikelnya semakin besar.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian yaitu sebagai berikut:

- a. Substrat harus bersih dan pelapisan perak untuk elektroda setelah pelapisan bahan yang akan digunakan.
- b. Agar penumbuhan TiO_2 berhasil, diperlukan *seeding* terlebih dahulu, yakni perendaman selama 20 hingga 24 jam sebelum substrat dikatakan siap untuk dilapisi.
- c. Pemanasan substrat sebaiknya dilakukan mulai dari suhu ruang.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, Tias Harfiansyah. 2010. "Pendeteksi Kebocoran Tabung Gas Dengan Menggunakan Sensor Gas Figarro TGS 2610 Berbasis Mikrokontroler AT89S52." Depok: Universitas Gunadarma.
- Ali, Syed Mansoor, et al. 2015. "Assembly of CdS Quantum Dots onto Hierarchical TiO₂ Structure for Quantum Dots Sensitized Solar Cell Applications." *Materials* ISSN 1996-1944.
- Basol, B.M., V.K. Kapur, A. Halani, C. Leidholm, in: K.A. Summers (Ed.), *Annual Report, Photovoltaic Subcontract Program FY 1991*, Golden, NREL, p. 50.
- Carp, O., Huisman C L, Reller A. Photoinduced reactivity of titanium dioxide. *Prog in Solid State Chem*, 2004, 32: 33–117
- Elfanaoui, A., A. Ihlal, A. Taleb, L. Boukaddat, E. Elhamri, M. Meddah, K. Bouabid and X. Portier. "The Synthesis of TiO₂ Thin Film by Chemical Bath Deposition (CBD) Method". *M.J. Condensed Matter*, Volume 13, Number 3 (2011).
- Henrich, V.E.; Cox, P.A. *The Surface Science of Metal Oxides*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1994.
- Iqbal, M., Brian Yulianto, and Nugraha. 2013. "Modifications of Multi-walled Carbon Nanotubes on Zinc Oxide Nanostructures for Carbon Monoxide (CO) Gas Sensitive Layer." *Advanced Materials Research* Vol. 789 (2013) pp 12-15.
- Jaya, Bharathi, and N. Pappayee. "Titanium Dioxide (TiO₂) Thin Film Based Gas Sensors". *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences* ISSN: 0974-2115.
- Kanazawa, E.; Sakai, G.; Shimanoe, K.; Kanmura, Y.; Teraoka, Y.; Miura, N.; Yamazoe, N. "Metal Oxide Semiconductor N₂O Sensor for Medical Use". *Sens. Actuators B* **2001**, 77, 72-77.

- Korotcenkov, Ghenadii. 2013. "Handbook of Gas Sensor Materials Volume 1: Conventional Approaches". Springer: New York, USA.
- Liu, Xiaou, Stian Cheng, Honng Liu, Sha Hu, Daqiang Zhang, and Huasheng Ning. "A Survey on Gas Technology". *Sensors* 2012, 12, 9635-9665; doi: 10.3399/s120709635.
- Lokhande, C.D., et al. "Room temperature chemical deposition of amorphous TiO₂ thin films from Ti(III) chloride solution." *Journal of materials science* 39.8 (2004): 2915-2918.
- Manurung, P., Y. Putri, W. Simanjuntak, and I.M. Low. "Synthesis and Characterisation of Chemical Bath Deposition TiO₂ Thin-Films". *Ceramics International* 39 (2013) 255-259.
- Mayabadi, A.H., V.S. Waman, M.M Kamble, S.S. Ghosh, B.B. Ghabale, S.R. Rondiya, A.V. Rokade, S.S. Khadtare, V.G. Sathe, H.M. Pathan, S.W. Gosavi, S.R. Jadkar. "Evolution of Structural and Optical Properties of Rutile TiO₂ Thin Films Synthesized at Room Temperature by Chemical Bath Deposition Method." *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 75 (2014) 182-187.
- Mohammed, M. M. Moustafa, et al. 2013. "Effect of Alumina Particles Addition on Physico-Mechanical Properties of AL-Matrix Composites." *Open Journal of Metal*, 2013, 3, 372-79.
- Molea, Andreia, et al. "Influence of pH on the formulation of TiO₂ nano-crystalline powders with high photocatalytic activity." *Powder technology* 253 (2014): 22-28.
- Obida, M.Z., H.H. Afify, M.O. Abou-Helal, and H.A.H. Zaid. 2012. "Nanocrystalline Anatase Titania Thin Films Synthesized by Spray Pyrolysis for Gas Detection." *Egypt. J. Solids*, Vol. (28), No.(1), (2005).
- Selman, M. Abbas, Z. Hassan, and M. Husman. "Structural and Photoluminescence Studies of Rutile TiO₂ Nanorods Prepared by Chemical Bath Deposition Method on Si Substrate at Different pH Values". *Measurement* S0263-2241(14)00288-7.

- Tanaka K, Capule M F V, Hisanaga T. "Effect of crystallinity of TiO₂ on its photocatalytic action". Chem Phys Lett, 1991, 187: 73–76
- Thompson T L, Yates Jr J T. "Surface science studies of the photoactivation of TiO₂-New photochemical processes". Chem Rev, 2006, 106: 4428–4453
- U.S. Department of Labor. "Carbon Monoxide Poisoning". Occupational Safety and Health Administration (2002).
- West, Paul E. "Introduction to Atomic Force Microscopy Theory, Practice, Applications." Durham: University of New Hampshire.
- Yulianto, Brian., Nugraha, Epindonta Bernardus, Aditia Rifai, Muhammad Iqbal. 2013. "Synthesis of SnO₂ Nano Structure Thin Film and its Prospective as Gas Sensors". Advanced Materials Research Vol 789 (2013) pp 189-192.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BIODATA PENULIS



Annisa Amadhea Firman, biasa dipanggil Dhea merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Dilahirkan di Tanjung Pinang, Kepulauan Riau pada 5 November 1993. Menempuh pendidikan mulai dari SDN. A Yani X Purwakarta kemudian melanjutkan pendidikan SMPN 1 Purwakarta, SMA Darul Hikam Bandung dan D3 Metrologi dan Instrumentasi, FTI-ITS tahun 2011 dan selesai tahun 2014. Penulis sekarang sedang menempuh Lintas Jalur di Teknik Fisika, FTI-ITS . Apabila ada pertanyaan, kritik dan saran tentang Tugas Akhir ini, penulis dapat dihubungi melalui email amadheafirman@gmail.com.