



**APLIKASI FILM TIPIS  $\text{TiO}_2\text{:Au}$  YANG DITUMBUHKAN PADA  
TEMPERATUR  $500^\circ\text{C}$  SEBAGAI SENSOR GAS CO**

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**Nur Faizin  
081810201022**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2013**



**APLIKASI FILM TIPIS  $\text{TiO}_2\text{:Au}$  YANG DITUMBUHKAN PADA  
TEMPERATUR  $500^\circ\text{C}$  SEBAGAI SENSOR GAS CO**

**SKRIPSI**

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

**oleh:**

**Nur Faizin  
NIM 081810201022**

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

**2013**

## **PERSEMBAHAN**

Alhamdulillah, Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ibuku Suwarti dan Bapakku Syafa'at tercinta;
2. Kakakku Imam Asrofi (Pipik) dan Miftahul Asrori (Rorik) yang selalu mendukungku;
3. Mbak Rohmah dan Arina Zulfa Ulya yang Aku sayangi.
4. Seluruh keluarga besarku yang selalu mendukungku
5. Adhekkku “Oryza Ardhiarisca” yang selalu menemani, memotivasi dan mendukungku.

## MOTO

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman  
di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu  
pengetahuan beberapa derajat  
**(Al-Mujadalah 11)<sup>\*)</sup>**

Barang siapa yang menginginkan kehidupan dunia, maka ia harus memiliki ilmu.  
Dan barang siapa yang menginginkan kehidupan akhirat itupun harus dengan ilmu.  
Dan barang siapa yang menginginkan keduanya,  
maka itupun harus dengan ilmu  
**(HR. Tabrani)**

---

<sup>\*)</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 2002. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*.  
Surabaya: PT Mekar Surabaya.

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Faizin

NIM : 081810201022

Jurusan : Fisika / S-1

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: Aplikasi Film Tipis  $\text{TiO}_2:\text{Au}$  yang Ditumbuhkan pada Temperatur  $500^{\circ}\text{C}$  sebagai Sensor Gas CO 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,

Nur Faizin  
NIM 081810201022

**SKRIPSI**

**APLIKASI FILM TIPIS  $\text{TiO}_2\text{:Au}$  YANG DITUMBUHKAN PADA  
TEMPERATUR  $500^0\text{C}$  SEBAGAI SENSOR GAS CO**

Oleh

NUR FAIZIN

081810201022

Pembimbing:

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

Dosen Pembimbing II : Puguh Hiskiawan, S. Si., M.Si

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul Aplikasi Film Tipis TiO<sub>2</sub>:Au yang Ditumbuhkan pada Temperatur 500<sup>0</sup>C sebagai Sensor Gas CO 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,

Sekretaris,

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

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

Anggota I,

Anggota II,

Drs. Yuda C. Hariadi, M. Sc. Ph. D.  
NIP. 19620311 198702 1 001

Supriyadi S. Si., M. Si.  
NIP. 19820424 200604 1 003

Mengesahkan  
Dekan,

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

## RINGKASAN

**Aplikasi Film Tipis TiO<sub>2</sub>:Au yang Ditumbuhkan pada Temperatur 500<sup>0</sup>C sebagai Sensor Gas CO**; Nur Faizin, 081810201022; 2013: 45 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Emisi dari kendaraan bermotor dan pabrik telah menyumbang adanya polusi udara yang berasal dari gas karbon monoksida (CO). Gas CO sangat berbahaya bagi kehidupan manusia sehingga perlu dilakukan monitoring dengan menggunakan sensor gas. Sensor gas pada umumnya terdiri dari empat bagian yaitu lapisan aktif (*sensitive layer*), elektroda, substrat, dan *heater*. Dalam penelitian ini lapisan aktif pada sensor gas yang digunakan berbasis film tipis TiO<sub>2</sub>:Au yang ditumbuhkan pada temperatur 500<sup>0</sup>C.

Pada penelitian ini terdapat tiga tahapan. Tahap pertama pembuatan pola *heater* pada bagian bawah substrat dan tahap kedua pembuatan pola elektroda di atas film tipis. Pola *heater* dan elektroda dibuat dengan menggunakan metode *fotolitografi*. Pengujian terhadap *heater* dan elektroda dilakukan untuk mengetahui apakah *heater* dan elektroda yang telah dibuat dapat bekerja dengan baik sebagai komponen sensor. Pengujian *heater* terdiri dari tiga aspek antara lain: respon temperatur *heater* terhadap arus masukan, waktu yang diperlukan *heater* untuk mencapai temperatur kerja, dan resistansi *heater* terhadap arus masukan. Sedangkan pengujian yang dilakukan pada elektroda yaitu besarnya resistansi elektroda pada temperatur kerja. Tahap akhir dari penelitian ini adalah unjuk kerja sensor. Unjuk kerja sensor terdiri dari tanggapan resistansi sensor terhadap temperatur dan konsentrasi gas CO.

Hasil pada pengujian respon temperatur *heater* terhadap arus masukan berupa grafik eksponensial dengan nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,979. Arus yang diperlukan *heater* untuk mencapai temperatur kerja adalah 1,3 ampere. Sedangkan waktu yang diperlukan *heater* untuk mencapai temperatur kerja adalah 80 detik. Pengujian *heater* yang

terakhir adalah pengujian resistansi *heater* terhadap arus masukan. Hasil yang diperoleh pada pengujian ini yaitu resistansi *heater* cenderung stabil pada arus kerjanya. Dari hasil pengujian di atas maka *heater* sudah layak diaplikasikan dalam sensor gas.

Hasil yang diperoleh pada pengujian elektroda yaitu besar resistansi elektroda pada temperatur kerjanya. Resistansi elektroda pada temperatur kerja yaitu 0,7 ohm dan secara perhitungan nilai resistansi elektroda adalah 0,4 ohm. Dengan beda nilai resistansi yang kecil maka elektroda dianggap stabil pada temperatur kerjanya. Dari hasil pengujian di atas maka elektroda sudah layak diaplikasikan dalam sensor gas.

Pada pengujian resistansi sensor terhadap temperatur digunakan arus sebesar 1,3 ampere. Pengambilan data resistansi sensor dilakukan pada temperatur 27<sup>0</sup>C sampai 300<sup>0</sup>C. Hasil dari pengujian ini berbentuk grafik eksponensial dengan nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,903. Nilai resistansi sensor yang diperoleh turun secara drastis pada temperatur 27<sup>0</sup>C sampai 100<sup>0</sup>C. Sedangkan untuk temperatur 100<sup>0</sup>C sampai 300<sup>0</sup>C, nilai resistansi sensor mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan. Pada temperatur kerja 300<sup>0</sup>C sensor memiliki resistansi sebesar 27 kilo ohm.

Pada pengujian resistansi sensor terhadap gas CO, arus masukan yang diberikan sebesar 1,3 ampere. Hasil yang diperoleh pada pengujian ini berbentuk grafik eksponensial dengan nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,819. Pada konsentrasi 0 ppm sampai 250 ppm nilai resistansi sensor turun secara signifikan dari 27,5 kilo ohm menjadi 4,1 kilo ohm. Pada konsentrasi 250 ppm sampai 500 ppm nilai resistansi sensor turun sebesar 2,6 kilo ohm yaitu dari 4,1 kilo ohm menjadi 1,5 kilo ohm. Dari hasil pengujian resistansi sensor terhadap konsentrasi gas CO, sensor gas yang telah dibuat sensitif untuk konsentrasi gas CO dari 0 ppm sampai 500 ppm.

## PRAKATA

*Alhamdulillahirobilalamin*, segala puji syukur kehadiran ALLAH SWT atas berkat, rahmat, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Aplikasi Film Tipis TiO<sub>2</sub>:Au yang Ditumbuhkan pada Temperatur 500<sup>0</sup>C sebagai Sensor Gas CO**” 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. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Edy Supriyanto, S. Si., M. Si., selaku Dosen Pembimbing I dan Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
2. Puguh Hiskiawan, S. Si., M. Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan;
3. Drs. Yuda C. Hariadi, M. Sc. Ph. D., selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Dosen Penguji I yang telah memberikan saran untuk kesempurnaan skripsi ini;
4. Supriyadi, S. Si., M. Si. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan untuk kesempurnaan skripsi ini;
5. kedua orang tuaku. Bapak Syafa'at dan Ibu Suwarti yang selalu memberikan doa dan dukungan, terimakasih atas segalanya;
6. kakakku Imam Asrofi dan Miftahul Asrori yang selalu memberikan dukungan;
7. adikku, Oryza Ardhiarisca yang tersayang;
8. Universitas Jember atas bantuannya melalui Hibah Bersaing 2011 (dana DIPA Universitas Jember Nomor: 271/H25.3..1/PL.6/2011);
9. seluruh dosen beserta staf karyawan di lingkungan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;

10. kawan-kawan seperjuangan: Alfa Rianto, A. Syaiful Lutfi, Erphan, Habib, Mustakim, Khoirul M, Ianuar Teguh Priambodo, Jalal Rosyidi S, Reza Sairawan, Oryza Adk, Dewi Endutz, Yuliatin, Wira Dian J, Iva, Retno, Indria, Heri, Syamsudin, Diah, dan semua teman-temanku angkatan 2008 yang tidak dapat aku sebutkan satu persatu, terima kasih untuk segala kebersamaan, pembelajaran hidup dan kekeluargaan yang telah kalian berikan;
11. 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
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang Masalah</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Film Tipis TiO<sub>2</sub>:Au</b> .....	5
<b>2.2 Fabrikasi Sensor Gas</b> .....	7
2.2.1 Sensor Gas .....	7
2.2.2 Substrat Si(100) .....	8
2.2.3 <i>Heater</i> Sensor .....	10
2.2.4 Elektroda Sensor .....	12
2.2.5 Metode Fotolitografi .....	14
2.2.6 <i>Sensitive Layer</i> (Lapisan sensor) .....	15
2.2.7 Sensitivitas Sensor .....	16
<b>2.3 Prinsip Kerja Sensor</b> .....	17

<b>BAB 3. METODELOGI PENELITIAN .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Alat dan Bahan .....</b>	<b>20</b>
3.2.1 Alat .....	20
3.2.2 Bahan .....	20
<b>3.3 Prosedur penelitian .....</b>	<b>21</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Pengujian <i>Heater</i> .....</b>	<b>27</b>
4.1.1 Respon Temperatur <i>Heater</i> terhadap Arus Masukan .....	27
4.1.2 Waktu <i>Heater</i> untuk Mencapai Temperatur Kerja .....	28
4.1.3 Resistansi <i>Heater</i> terhadap Arus Masukan .....	29
<b>4.2 Pengujian Elektroda .....</b>	<b>30</b>
<b>4.3 Pengujian Sensor .....</b>	<b>30</b>
4.3.1 Resistansi Sensor terhadap Temperatur .....	30
4.3.2 Resistansi Sensor terhadap Gas CO .....	32
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>35</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>35</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>35</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>37</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b>	
<b>A. Gambar Sensor Gas CO .....</b>	<b>41</b>
<b>B. Data Pengujian Temperatur terhadap Arus <i>Heater</i> .....</b>	<b>42</b>
<b>C. Data Pengujian Temperatur terhadap Waktu <i>Heater</i> .....</b>	<b>43</b>
<b>D. Data Pengujian Resistansi terhadap Temperatur Sensor .....</b>	<b>44</b>
<b>E. Data Pengujian Resistansi Sensor terhadap Konsentrasi Gas CO .....</b>	<b>45</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 TiO <sub>2</sub> dan SnO <sub>2</sub> pada bidang <i>rutile</i> .....	6
2.2 Sensor gas taguchi .....	7
2.3 Skema sederhana dari sensor gas semikonduktor (SGS) .....	8
2.4 Bentuk geometri dari Si(100) .....	9
2.5 Potongan melintang sensor dan bagian-bagiannya .....	10
2.6 <i>Heater</i> sensor gas .....	10
2.7 Bentuk elektroda sisir .....	13
2.8 Penentuan nilai resistansi elektroda .....	13
2.9 Teknik fotolitografi .....	14
2.10 Proses <i>Photolithography</i> (a) <i>Photoresist</i> positif dan (b) <i>Photoresist</i> negatif .....	15
2.11 Mekanisme kerja sensor .....	18
2.12 a) Tanggapan molekul-molekul SnO <sub>2</sub> terhadap dan b) Gas pereduksi .	19
3.1 Diagram alir penelitian .....	21
3.2 a) Pengujian resistansi <i>heater</i> dan b) pengujian temperatur <i>heater</i> .....	23
3.3 Diagram pengujian tanggapan sensor perubahan temperatur .....	24
3.4 Diagram pengujian tanggapan sensor terhadap rangsangan gas CO .....	25
3.5 Set alat pengujian sensor gas CO .....	26
4.1 Grafik hubungan antara arus dengan temperatur <i>heater</i> .....	27
4.2 Grafik hubungan antara waktu dengan temperatur <i>heater</i> untuk arus I=1,3 ampere .....	28
4.3 Grafik hubungan antara arus dengan resistansi <i>heater</i> .....	29
4.4 Grafik respon perubahan resistansi sensor terhadap perubahan temperatur .....	31

4.5 Grafik respon resistansi sensor terhadap temperatur untuk skala 100 <sup>0</sup> C sampai 300 <sup>0</sup> C .....	31
4.6 Grafik respon perubahan resistansi sensor terhadap konsentrasi gas CO .....	32
4.7 Grafik perubahan resistansi sensor terhadap konsentrasi gas CO untuk skala 250 ppm sampai 1250 ppm .....	33
4.8 Grafik sensitivitas sensor terhadap gas CO .....	33



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kemajuan industri mesin menyumbang peningkatan polusi udara. Polusi udara didominasi oleh emisi gas dari kendaraan bermotor maupun pabrik yang berbahan bakar minyak. Gas buang kendaraan bermotor yang berbahaya bagi kehidupan manusia adalah gas CO (Mawarani *et al.*, 2006). Gas CO sangat berbahaya bagi kehidupan manusia karena dapat menurunkan kandungan oksigen dalam darah. Hal ini mendorong pemerintah dan masyarakat untuk membuat suatu alat yang dapat digunakan sebagai monitor gas CO. Salah satu divais yang dapat digunakan untuk memonitor gas CO adalah sensor gas (Hermida dan Retnaningsih, 2009).

Sensor merupakan suatu alat yang dapat mengubah suatu besaran menjadi besaran yang lain yang dapat diukur. Salah satu jenis sensor yang sering dibicarakan adalah sensor gas. Sensor gas dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi suatu gas tertentu. Sensor gas terdiri dari *heater*, lapisan aktif dan elektroda (Hiskia dan Hermida, 2006). Dalam sensor gas, *heater* berfungsi sebagai pendistribusi temperatur. Distribusi dari temperatur sangat mempengaruhi selektivitas dan sensitivitas dari sensor (Hermida dan Retnaningsih, 2009). Lapisan aktif dalam sensor gas diselimuti oleh O<sub>2</sub>. Gas O<sub>2</sub> tersebut teradsorbsi ke permukaan lapisan aktif sambil mengikat satu elektron dari lapisan aktif. Setelah muncul gas CO dari udara maka atom oksigen yang teradsorbsi tersebut berikatan dengan gas CO ini sehingga membentuk senyawa CO<sub>2</sub>. Prinsip kerja dari sensor gas adalah mengabsorbsi gas CO lalu diubah menjadi nilai resistansi (Hiskia dan Hermida, 2006).

Selama ini lapisan tipis sensor gas dibuat dari bahan SnO<sub>2</sub>. Namun beberapa penelitian yang dilakukan oleh Mawarani *et al.* (2006) dan Pribady (2005) menunjukkan bahwa lapisan SnO<sub>2</sub> kurang sensitif dan selektif. Oleh karena itu, pembuatan sensor gas berbahan dasar metal oksida dijadikan alternatif pilihan untuk

dijadikan sebagai sensor gas. Widodo (2010) menyatakan bahwa dengan penggabungan beberapa metal oksida sebagai bahan dasar sensor terbukti efektif. Dalam penelitian tersebut digunakan dopan untuk meningkatkan sensitivitas bahan. Khalil dan Darminto (2009) telah mengamati bahwa SnO<sub>2</sub> yang didoping dengan Au akan meningkatkan sensitivitas dari sensor gas.

Salah satu bahan metal oksida yang sangat dipertimbangkan atau potensial dikembangkan sebagai bahan dasar sensor gas adalah TiO<sub>2</sub>. Material TiO<sub>2</sub> memiliki kelebihan antara lain bahannya murah dan mudah didapatkan (Hasan *et al.*, 2010), selain itu bahan ini bersifat tidak korosif dan resistansi mekaniknya baik (Supriyanto dan Wiranto, 2009). TiO<sub>2</sub> telah berhasil ditumbuhkan dengan metode penumbuhan seperti: *Molecular Beam Epitaxy* (MBE) (Constantin *et al.*, 2009), *Metal organic Vapor deposition* (MOCVD) (Supriyanto *et al.*, 2007).

Pemberian dopan pada TiO<sub>2</sub> mampu meningkatkan indeks bias dan menurunkan celah pita energinya (Elhadj, 2008). Tan *et al.* (2003) menyatakan bahwa material TiO<sub>2</sub> dapat diaplikasikan sebagai sensor gas. Tetapi untuk menambah selektivitas dan sensitivitasnya masih perlu dilakukan proses doping. Semikonduktor metal oksida dapat ditingkatkan konduktivitasnya dengan dilakukan doping dengan bahan logam transisi.

Salah satu logam transisi yang dapat digunakan sebagai doping adalah emas (Au). Au merupakan logam yang mempunyai konduktivitas yang tinggi dan dapat berperan sebagai konduktor yang baik pada energi termal (Khalil dan Darminto, 2009). Zahroh (2012) berhasil menumbuhkan TiO<sub>2</sub>:Au dengan menggunakan metode *spin coating*. Pada penelitian tersebut diperoleh informasi bahwa karakteristik film tipis TiO<sub>2</sub>:Au terbaik pada temperatur 500<sup>0</sup>C. Hal itu ditunjukkan dengan struktur kristal TiO<sub>2</sub>:Au yang berorientasi kristal tunggal dan memiliki ukuran kristal yang relatif kecil yaitu berorde nanometer, sehingga porositas yang dimiliki film tersebut tinggi. Besarnya porositas suatu film akan mempengaruhi daya serap film tersebut terhadap gas CO. Semakin tinggi nilai porositas dari suatu film maka semakin tinggi daya serapnya, begitu juga sebaliknya. Pemakaian metode penumbuhan film tipis

dengan *spin coating* dalam penelitian tersebut disebabkan antara lain: murah, mudah dalam pengoperasiannya, mampu menghasilkan lapisan tipis yang serbasama dan prosesnya dapat diulang-ulang.

Dari uraian di atas maka pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan sensor gas CO yang berbasis  $\text{TiO}_2:\text{Au}$  yang ditumbuhkan pada temperatur  $500^\circ\text{C}$ . Sensor gas tersebut bekerja menggunakan prinsip *chemoresistor* yaitu konduktifitas sensor akan berubah dengan adanya unsur kimia dari gas yang bekerja pada permukaan lapisan sensor. Pengujian sensor yang akan dilakukan yaitu respon sensor terhadap temperatur dan konsentrasi gas CO.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Bagaimana karakteristik sifat listrik dari film tipis  $\text{TiO}_2:\text{Au}$  yang ditumbuhkan pada temperatur  $500^\circ\text{C}$  sebagai lapisan aktif sensor gas CO melalui unjuk kerja sensor ?

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Film tipis yang digunakan adalah  $\text{TiO}_2:\text{Au}$  yang ditumbuhkan pada temperatur  $500^\circ\text{C}$ .
2. Pengujian *heater* meliputi: besarnya temperatur kerja dan resistansi *heater*.
3. Pengujian elektroda yaitu besarnya resistansi elektroda pada temperatur kerja.
4. Pengujian sensor yaitu perubahan resistansi sensor terhadap konsentrasi gas CO.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui tanggapan sensor dengan basis material sensitif  $\text{TiO}_2:\text{Au}$  yang berupa perubahan nilai resistansi sensor terhadap gas CO.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini antara lain:

- Akan dihasilkan sensor gas CO dengan material sensitif  $\text{TiO}_2:\text{Au}$ .
- Menambah wawasan ilmu pengetahuan khususnya fisika bahan tentang aplikasi bahan metal oksida  $\text{TiO}_2:\text{Au}$  sebagai bahan dasar sensor gas.
- Mengetahui komponen-komponen yang diperlukan dalam pembuatan sensor gas.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

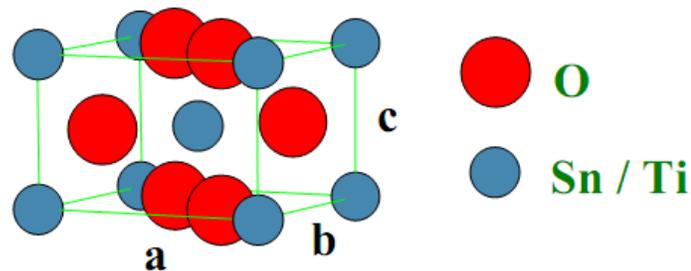
### 2.1 Film Tipis TiO<sub>2</sub>:Au

Film tipis adalah suatu material atau bahan yang bersifat semikonduktor berbentuk lapisan tipis yang berorde mikrometer bahkan nanometer. Bahan yang telah dikenal dalam industri pembuatan film tipis adalah silikon (Si) dan germanium (Ge) (Mulyanti, 2006). Film tipis dapat dibuat dengan berbagai teknik penumbuhan. Teknik penumbuhan yang sering digunakan untuk menumbuhkan film tipis adalah *Sputtering* (Mawarani *et al.*, 2006), *CVD (Chemical Vapor Deposition)* (Moto, 2002), *MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition)* (Supriyanto dan Wiranto, 2009) dan *Spin-coating* (Rusdiana *et al.*, 2007).

Selama ini sensor gas CO yang digunakan berbasis lapisan tipis SnO<sub>2</sub>. Pada lapisan tipis SnO<sub>2</sub> masih ditemukan permasalahan mengenai ketidakstabilan nilai resistansinya. Menurut Mawarani *et al.* (2006) menyatakan bahwa resistivitas dari lapisan tipis SnO<sub>2</sub> selalu berubah terhadap waktu sehingga sulit untuk ditentukan konstanta resistivitasnya dalam jangka waktu panjang. Selain itu tingkat selektivitas terhadap gas masih kurang sehingga sulit menentukan jenis gas yang terdeteksi. Oleh karena itu dibuatlah sensor gas yang berbasis TiO<sub>2</sub> yang didoping dengan material Au. TiO<sub>2</sub> adalah bahan semikonduktor logam oksida yang secara umum dapat mengadsorpsi dan melepas oksigen dari permukaan bahan tersebut. Material TiO<sub>2</sub> merupakan bahan kimia yang memiliki titik termal yang tinggi dan mempunyai konstanta dielektrik yang tinggi pula. Dari sifat-sifat yang dipaparkan di atas maka TiO<sub>2</sub> dapat dibuat sebagai bahan dasar pembuatan sensor, elektrooptikal dan fotokatalis (Faozi, 2011).

TiO<sub>2</sub> merupakan bahan yang ideal untuk dijadikan sebagai bahan sensor, akan tetapi masih kurang dalam hal penyerapannya. Untuk meningkatkan aktivitas serapan

dari  $\text{TiO}_2$  maka dilakukan pendopingan dengan logam transisi. Dopan dari logam transisi diantaranya Pt, Pd dan Au (Krane, 2008). Dari beberapa dopan di atas, Au memiliki kelebihan dibanding dengan logam Pt dan Pd. Kelebihan dari Au yaitu tidak reaktif, konduktivitasnya tinggi dan dapat digunakan sebagai konduktor yang baik pada energi termal (Khalil *et al.*, 2009). Doping yang dilakukan pada lapisan tipis dapat menurunkan energi aktivasi reaksinya. Energi aktivasi merupakan energi minimum yang dibutuhkan agar reaksi kimia tertentu dapat terjadi.



Gambar 2.1  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{SnO}_2$  pada bidang *rutile* (Sumber: Arbiol dan Cobos, 2001)

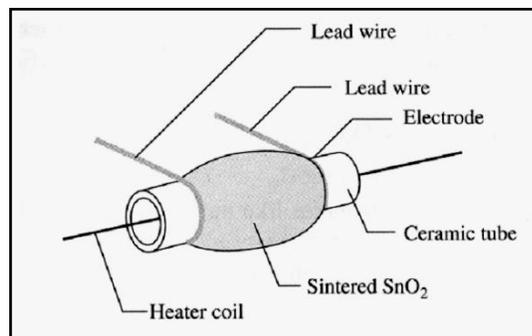
$\text{TiO}_2$  yang didoping dengan Au ( $\text{TiO}_2:\text{Au}$ ) telah berhasil ditumbuhkan oleh Alves *et al.* (2012) dengan menggunakan metode implantasi ion. Menurut Wagiy dan Wulan (2007) metode implantasi ion merupakan salah satu cara yang digunakan untuk memodifikasi permukaan material. Metode tersebut dapat mengubah sifat fisis dan mekanis maupun sifat ketahanan korosi material. Walaupun teknik ini sudah pernah dilakukan tetapi masih memiliki kelemahan yaitu menghasilkan kerusakan yang tersisa pada lapisan yang diimplantasi diantaranya: interseksi (sisipan), kekosongan dan dislokasi. Film tipis  $\text{TiO}_2:\text{Au}$  dalam sensor gas digunakan sebagai *sensitive layer* (lapisan sensor). Lapisan sensor merupakan bagian yang berinteraksi langsung dengan gas yang akan dideteksi. Gas yang terdeteksi akan menghasilkan reaksi elektrokimia yang terjadi pada permukaan lapisan sensor tersebut (Hiskia dan Hermida, 2006).

Pada penelitian Zahroh (2012) diperoleh hasil film tipis  $\text{TiO}_2\text{:Au}$  yang ditumbuhkan pada temperatur  $500^\circ\text{C}$  memiliki kualitas yang baik yaitu membentuk kristal tunggal pada bidang *rutile*(002) dan memiliki FWHM (*Full Width at Half Maximum*) sebesar 0,19. Hal ini menunjukkan bahwa atom-atom penyusun film tipis terorientasi pada satu bidang dan memiliki ukuran butiran yang serbasama. Berdasarkan ukuran kristalnya, film tipis yang ditumbuhkan pada temperatur  $500^\circ\text{C}$  membentuk kristal tunggal dengan ukuran diameternya sekitar 33,93 nm. Sedangkan hasil dari pencitraan SEM ditunjukkan bahwa butiran penyusun film tipis serbasama dan memiliki tingkat porositas yang tinggi.

## 2.2 Fabrikasi Sensor Gas

### 2.2.1 Sensor Gas

Sensor merupakan peralatan yang digunakan untuk mengubah besaran fisik menjadi besaran listrik. Pada saat ini telah berkembang berbagai macam sensor diantaranya sensor gas, sensor cahaya (LDR), sensor panas (termokopel), dan lain-lain. Menurut Widodo (2010) sensor gas merupakan alat yang dapat mengetahui keberadaan gas-gas tertentu.

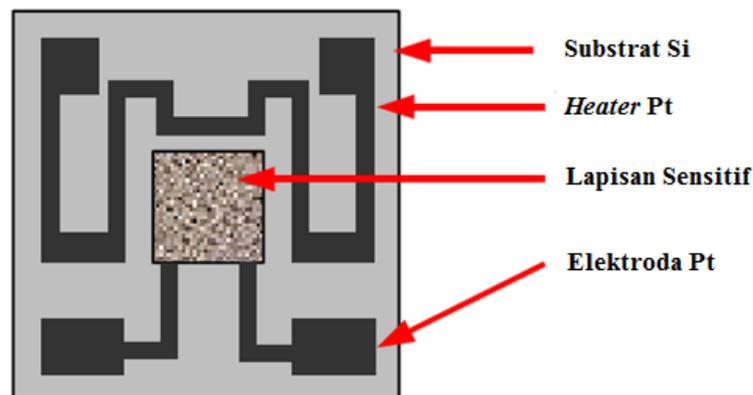


Gambar 2.2 Sensor gas taguchi (Sumber: Liger, 2005)

Sensor gas pertama kali dibuat oleh Taguchi pada tahun 1960. Pada mulanya sensor yang dibuat oleh Taguchi tersebut digunakan untuk mengetahui kebocoran tabung gas LPG di dalam rumah. Sensor tersebut masih berbentuk tabung dengan

komposisi *heater*, elektroda dan lapisan sensor di dalamnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Setelah beberapa dekade sejalan dengan berkembangnya teknologi sensor, saat ini sensor yang berkembang berbentuk planar (Hahn, 2002).

Dalam Arbiol dan Cobos (2001) menyebutkan bahwa fabrikasi sensor gas pada saat ini dikonsentrasikan pada dua material semikonduktor yakni  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{SnO}_2$ . Sensor gas semikonduktor (SGS) mengubah konduktivitas bahan untuk mengidentifikasi suatu gas. Temperatur kerja dari sensor bergantung pada kondisi gas dan bentuk dari bahan sensor yang digunakan. Untuk temperatur kerja  $200^\circ\text{C}$  sampai dengan  $800^\circ\text{C}$  diperlukan penerapan sistem pemanas dalam perangkat sensor. SGS yang sederhana terdiri dari substrat, pemanas (*heater*), elektroda dan lapisan sensor sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema sederhana dari sensor gas semikonduktor (SGS)  
(Sumber: Arbiol dan Cobos, 2001)

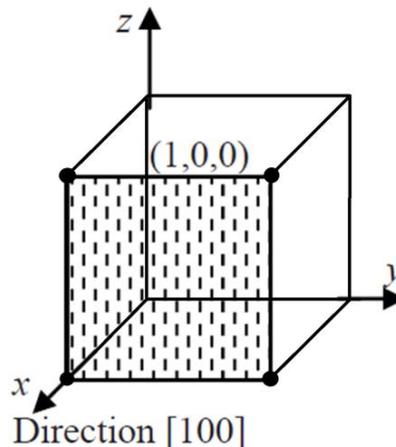
Upaya yang dilakukan pada saat ini adalah meningkatkan kinerja sensor meliputi kestabilan yang tinggi, akurasi dalam pengukuran, biaya operasional yang rendah, konsentrasi gas yang terdeteksi, dan reproduksibel (Kozłowska *et al.*, 2005).

### 2.2.2 Substrat Si(100)

Substrat merupakan tempat diletakkannya komponen-komponen sensor. Substrat sensor harus memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, tahan terhadap

temperatur tinggi, dan memiliki resistivitas yang besar. Sebagai tempat diletakkannya komponen-komponen sensor substrat harus memiliki beberapa kriteria diantaranya: substrat harus kuat yaitu tidak mudah patah atau bentuknya berubah, substrat harus tahan terhadap temperatur yang tinggi yaitu tidak mengalami perubahan bentuk pada saat dipanaskan, tidak mudah bereaksi dengan bahan-bahan kimia yang lain, memiliki harga resistivitas yang tinggi, memiliki konstanta dielektrik yang tinggi, memiliki konduktivitas termal yang tinggi.

Dari kriteria di atas maka bahan yang dianggap sesuai untuk diaplikasikan sebagai substrat sensor adalah logam silikon (Si).

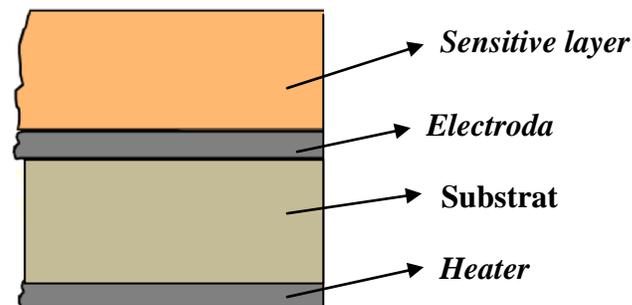


Gambar 2.4 Bentuk geometri dari Si(100) (Sumber: Moliton, 2009)

Kelebihan dari silikon (Si) antara lain melimpah di alam, mempunyai sifat mekanik yang tinggi, tahan terhadap kelembaban, stabil terhadap sinar ultraviolet, tahan terhadap sinar matahari, dapat beroperasi pada rentang temperatur yang lebar yaitu dari  $-40^{\circ}\text{C}$  sampai  $149^{\circ}\text{C}$ , mampu mengisolasi panas dengan baik, dan memiliki konstanta dielektrik yang tinggi (Dow Corning, 2009). Bentuk geometri dari Si(100) ditunjukkan pada Gambar 2.4.

Silikon yang digunakan sebagai substrat diletakkan di bawah lapisan sensor, hal itu berfungsi untuk menopang sekaligus sebagai tempat melekatnya lapisan sensor.

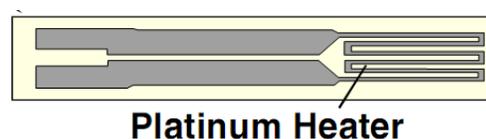
Potongan melintang struktur lapisan sensor gas ditunjukkan pada Gambar 2.5. Walaupun silikon memiliki kelebihan yang begitu banyak tetapi hal itu tidak menutup kemungkinan bahwa silikon memiliki kelemahan. Kelemahan yang dimiliki oleh silikon yaitu memiliki reflektansi yang tinggi sekitar 35 sampai 50 % sehingga silikon kurang baik digunakan sebagai substrat untuk sensor cahaya (Goetzberger dan Hoffman, 2005).



Gambar 2.5 Potongan melintang sensor dan bagian-bagiannya (Sumber: Barsan dan Weimar, 2003).

### 2.2.3 Heater Sensor

*Heater* merupakan bagian dari sensor yang dapat dibuat dari pasta konduktif (Au, Pt, dan Ag) dan bahan dielektrik jenis polimer. *Heater* diletakkan di sisi belakang substrat yang bertujuan agar sensor dapat beroperasi pada temperatur yang dapat dikontrol (Barsan dan Weimar, 2003). Pembuatan *heater* pada sensor dapat menggunakan metode metalisasi. Metode metalisasi merupakan cara pembentukan komponen sensor dengan menggunakan penguapan vakum yang tinggi (Samadikun, 1990). Bentuk *heater* yang sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Heater* sensor gas (Sumber: Barsan dan Weimar, 2003).

Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan *heater* adalah luas area dan karakteristik bahan *heater* (TCR). Besarnya *Temperature Coefficient Resistance* (TCR) dapat dituliskan sebagai berikut (Hermida dan Retnaningsih, 2009):

$$TCR = \left( \frac{(R_H - R_c) \times 10^6}{R_c \times (T_H - T_c)} \right) \quad (2.1)$$

dengan:

- TCR = *Temperature Coefficient Resistance* (ppm/<sup>0</sup>C)
- R<sub>H</sub> = Resistansi pada temperatur kerja (ohm)
- R<sub>c</sub> = Resistansi pada temperatur acuan (ohm)
- T<sub>H</sub> = Temperatur kerja (<sup>0</sup>C)
- T<sub>c</sub> = Temperatur acuan (<sup>0</sup>C)

Untuk daya yang dibutuhkan yaitu

$$P = V.I, \quad (2.2)$$

dengan:

- P = daya rata-rata (watt)
- V = Tegangan sumber (volt)
- I = Arus *heater* (ampere)

R<sub>H</sub> pada persamaan 2.1 dapat ditentukan dengan menggunakan hukum Ohm yaitu,

$$R_H = \frac{V}{I}, \quad (2.3)$$

Nilai R<sub>C</sub> diperoleh setelah menentukan nilai TCR, T<sub>C</sub>, dan T<sub>H</sub>, serta menyubstitusikan hasil persamaan 2.3 ke dalam persamaan 2.1. Dimensi dari *heater* dapat ditentukan dengan memakai persamaan 2.4,

$$R_C = \frac{R_S \cdot l}{w}, \quad (2.4)$$

dengan:

- R<sub>S</sub> = Resistansi lapisan (ohm)

$l$  = panjang *heater* (mm)

$w$  = lebar konduktor *heater* (mm)

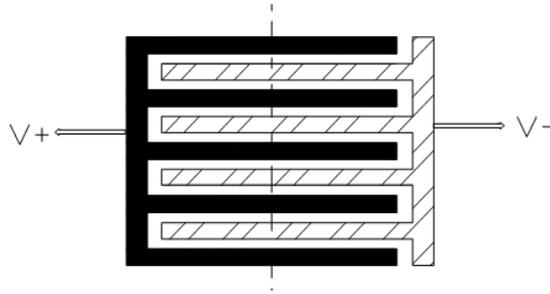
*Power density* atau rapat daya dinyatakan dalam watt per luas. Daya untuk *heater* bergantung pada perekat internal, kontrol pendingin temperatur dan metode pemasangannya. Jika daya yang diberikan pada *heater* melebihi rapat daya maksimal maka *heater* akan terlalu panas yang berdampak pada kerusakan. Rapat daya maksimal bergantung pada jenis isolasi, metode pemasangan dan temperatur kerja. Agar *heater* dapat bekerja untuk daya yang tinggi beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya:

- Ukuran *heater* diperbesar
- Pemilihan bahan yang akan dibuat *heater*
- Metode pemasangan *heater* yang efisien
- Kontrol proporsional yang digunakan untuk mereduksi daya pada saat temperaturnya naik.

Selain daya, hal yang perlu diperhatikan yaitu penghitungan arus pada timah penghubung antara *heater* dengan kabel untuk memastikan bahwa arus tetap dalam keadaan maksimum (Minco, 2007).

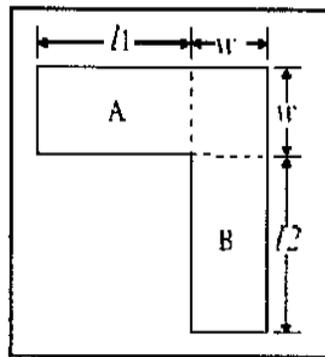
#### 2.2.4 Elektroda Sensor

Elektroda merupakan konduktor yang digunakan untuk mengalirkan arus listrik pada media non logam dari sebuah sirkuit. Dalam sensor gas elektroda berfungsi sebagai pendeteksi sinyal kelistrikan dari lapisan sensor. Bahan yang digunakan untuk membuat elektroda pada sensor gas biasanya menggunakan logam transisi diantaranya Platina (Pt) dan Emas (Au). Platina dan Emas merupakan logam transisi yang mempunyai konduktivitas yang tinggi dan tidak mudah berkarat. Pada umumnya elektroda pada sensor gas berbentuk *interdigital* (sisir) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Bentuk elektroda sisir (Sumber: Ginson dan Philip, 2008).

Struktur elektroda berbentuk sisir bertujuan untuk meminimalisasi ruang tetapi dapat mengoptimalkan daerah *sensing* (pendeteksi) serta memudahkan dalam penghitungan nilai resistansinya (Hiskia dan Hermida, 2006).



Gambar 2.8 Penentuan nilai resistansi elektroda (Sumber: Hiskia dan Hermida, 2006).

Berdasarkan Gambar 2.8 dapat dituliskan persamaan besarnya resistansi dari elektroda sebagai berikut:

$$R_{AB} = \left( \frac{l_1}{w} + \frac{l_2}{w} + 0,56 \right) R_S, \quad (2.5)$$

dengan:

$R_{AB}$  = nilai resistansi total (ohm)

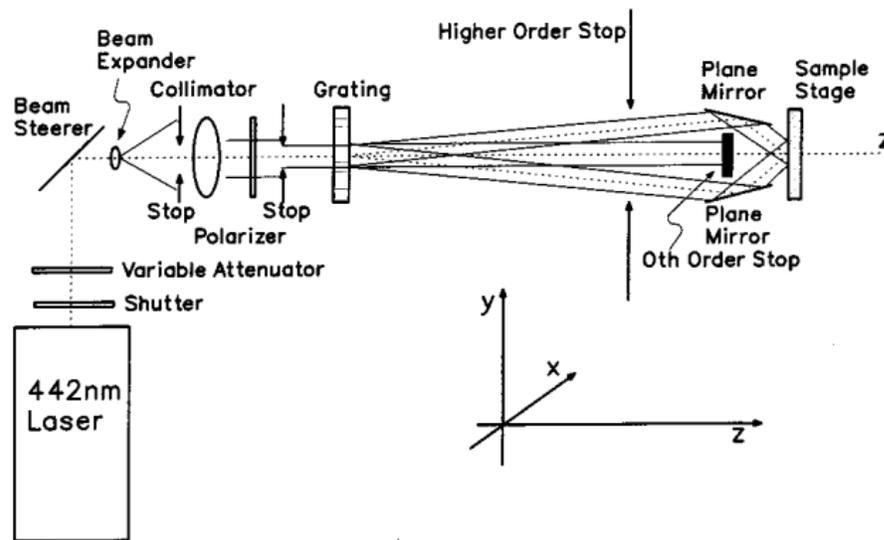
$R_S$  = resistansi lapisan (ohm)

$l$  = panjang konduktor (mm)

$w$  = lebar konduktor (mm)

### 2.2.5 Metode Fotolitografi

Pada Proses pencetakan *heater* dan elektroda dikenal dua metode yaitu sablon dan fotolitografi. Teknik sablon merupakan teknik pencetakan yang sudah lazim digunakan untuk membuat sebuah model pada permukaan lapisan. Sedangkan metode fotolitografi merupakan metode pembuatan *heater* dan elektroda dengan memanfaatkan optik untuk membuat pola pada substrat atau lapisan.

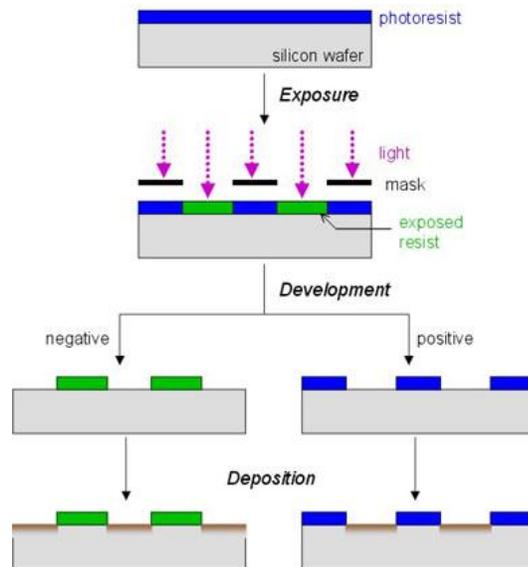


Gambar 2.9 Teknik fotolitografi (Sumber: Flagello dan Milster, 1997).

Dalam metode fotolitografi dibutuhkan *photoresist* yaitu bahan yang peka terhadap cahaya UV dan digunakan sebagai pembentuk pola pada permukaan lapisan. Ada dua jenis *photoresist* yaitu *photoresist* positif dan negatif yang ditunjukkan pada Gambar 2.10. *Photoresist* positif merupakan jenis *photoresist* yang dikenai sinar ultraviolet dan larut pada pelarut, sehingga bagian yang tertinggal pada film tipis adalah bagian yang tidak terkena sinar UV. Sedangkan *photoresist* negatif adalah jenis *photoresist* yang tidak terkena sinar UV dan larut pada pelarut (Garza *et al.*, 2007).

*Photoresist* terdiri dari tiga komponen yaitu resin, *photoactive compound* (PAC), dan pelarut. Setiap komponen-komponen itu memiliki kegunaan sendiri-

sendiri. Saat terjadi kelembaban udara,  $H_2O$  pada permukaan lapisan akan diikat oleh resin. Pada proses penyinaran sinar UV komponen yang aktif adalah PAC, sedangkan pelarut berguna untuk mengontrol viskositas dari *photoresist* (Pasquale dan Kim, 2005).



Gambar 2.10 Proses fotolitografi (Sumber: <http://pluggedin.kodak.com/pluggedin/post/?id=655003>).

### 2.2.6 Sensitive Layer (Lapisan sensor)

*Sensitive layer* atau lapisan bahan sensor merupakan bagian yang berinteraksi langsung dengan gas, dimana reaksi elektrokimia terjadi di permukaannya. Lapisan tersebut terbuat dari bahan  $SnO_2$ ,  $TiO_2: Au$  atau bahan metal oksida tipe-n yang sensitif terhadap molekul-molekul gas pereduksi. Dalam penelitian ini bahan yang digunakan sebagai lapisan sensor adalah  $TiO_2: Au$ .

Hal pertama yang harus dipikirkan adalah menentukan jangkauan pengukuran maksimum dari sensor tersebut, yaitu dalam satuan ppm. Jangkauan maksimum yang diharapkan dalam disain sensor ini adalah 1250 ppm untuk gas CO. Proses yang

terjadi di atas lapisan sensitif adalah reaksi oksidasi-reduksi. Untuk mengkonversi dari ppm menjadi mol/liter dapat ditunjukkan pada persamaan 2.6 berikut :

$$\frac{\text{mol}}{\text{liter}} = \text{ppm} \times \frac{1 \text{ mol}}{24,15} , \quad (2.6)$$

Berdasarkan persamaan 2.6 dan mengetahui bahwa 1 ppm sama dengan 0.001 gram/liter, maka akan diketahui dalam satu liter udara mengandung berapa gram gas CO. Selanjutnya adalah menentukan besarnya mol CO dalam 1 liter udara maka persamaan yang digunakan adalah

$$\text{mol CO} = \frac{\text{massa CO}}{M \text{ CO}} , \quad (2.7)$$

dimana: M CO = molaritas CO (gram/mol).

### 2.2.7 Sensitivitas Sensor

Sensitivitas adalah karakteristik dari sensor gas yang diakibatkan dari perubahan sifat fisika dan kimianya karena pengaruh gas yang direduksi. Tingkat sensitivitas sensor gas dapat ditentukan dengan besar perubahan nilai resistansi sensor terhadap konsentrasi gas yang diserap. Sensitivitas sensor gas dapat dituliskan dengan persamaan berikut (Hermida dan Retnaningsih, 2009):

$$S = \frac{R_0}{R_g} , \quad (2.8)$$

dengan:

S = Sensitivitas

R<sub>0</sub> = Resistansi sensor pada udara normal (ohm)

R<sub>g</sub> = Resistansi sensor pada saat ada gas (ohm)

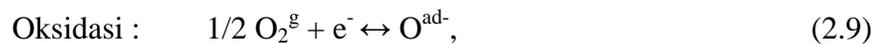
Bentuk sensitivitas sensor dapat juga ditentukan oleh perubahan tegangan keluaran yang diakibatkan oleh perubahan gap. Pada umumnya nilai sensitivitas sensor dapat dituliskan sebagai 1 volt/0,1 mm. Hal ini berarti untuk setiap 0,1 mm perubahan gap maka tegangan output akan berubah sebesar 1 volt. Jika tegangan

output diplot terhadap ukuran gap dalam mm maka gradien garis tersebut merupakan nilai sensitivitas sensor. Pengarakterisasian sensor terhadap tegangan keluaran dengan menggunakan I-V meter.

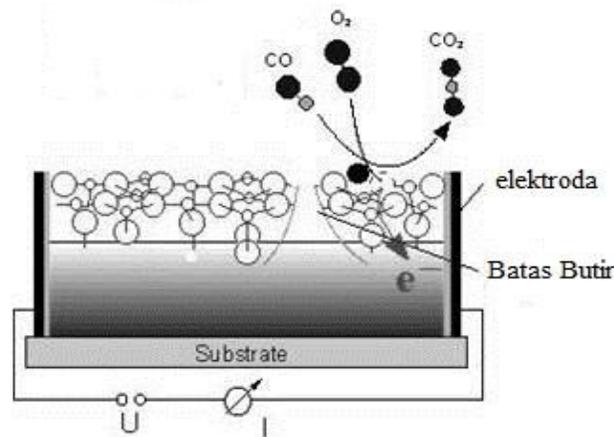
### 2.3 Prinsip kerja sensor

Pada dasarnya sensor gas yang bekerja memakai prinsip *chemoresistor*, maka konduktivitas sensor akan berubah disebabkan adanya unsur-unsur kimia dari gas yang bekerja pada lapisan sensor yang selanjutnya disebut material sensor (dalam hal ini SnO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>:Au atau logam oksida). Pada bab ini sebagai contoh akan diuraikan perihal sensor berbasis SnO<sub>2</sub>. Perubahan atau perpindahan elektron-elektron valensi pada atom-atom material sensor akibat adanya reaksi dengan gas-gas reaktan tersebut akan menyebabkan perubahan konduktivitas. Reaksi yang terjadi antara material sensor dan gas-gas reaktan itu merupakan reaksi oksidasi-reduksi (Redoks).

Secara umum reaksi oksidasi-reduksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut (Hahn, 2002):



Reaksi antara molekul permukaan sensor dengan gas reaktan terjadi secara optimal pada temperatur yang relatif tinggi, yaitu berkisar antara 300°C sampai 450°C (Licznarski, 2004). Namun dengan pemberian *dopant* akan menurunkan temperatur operasional dari sensor. Sebagai contoh pada sensor gas SnO<sub>2</sub> sensitivitas maksimum pada 450°C dapat diturunkan menjadi 250°C dengan menambahkan Pd sebagai *dopant*, sekaligus menaikkan sensitivitas hingga 20 kali. Mekanisme kerja dari sensor ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2.11.

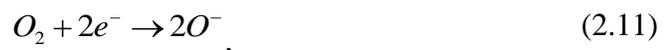


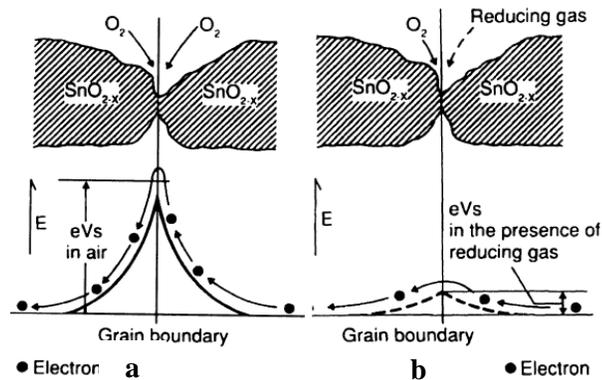
Gambar 2.11 Mekanisme kerja sensor (Sumber: Hiskia dan Hermida, 2006)

Proses konduksi atau perpindahan elektrik berlangsung pada molekul-molekul SnO<sub>2</sub>. SnO<sub>2</sub> merupakan bahan semikonduktor tipe-n yang mempunyai celah pita energi yang relatif lebar yaitu sebesar 3,6 eV (Hahn, 2002). Penyerapan terhadap oksigen (secara oksidasi) oleh lapisan permukaan akan menarik elektron dari pita konduksi, sehingga kemampuan menghantar listrik jadi berkurang atau dengan kata lain nilai resistansi dari bahan tersebut meningkat.

Kemudian dengan hadirnya gas CO, senyawa CO bereaksi dengan oksigen yang telah diserap pada permukaan molekul SnO<sub>2</sub> tadi, yang kemudian akan timbul CO<sub>2</sub> sebagai hasil reaksinya (proses reaksi reduksi) dan sekaligus akan melepaskan elektron-elektron yang telah terikat dengan oksigen kembali ke pita konduksi. Proses tersebut menyebabkan harga resistansinya berkurang, sehingga konduktivitasnya meningkat, uraian tentang reaksi di atas ditunjukkan pada Gambar 2.12.

Reaksi oksidasi-reduksi yang terjadi di permukaan bahan SnO<sub>2</sub> ditunjukkan pada Gambar 2.12. Pada reaksi ini atom oksigen teradsorpsi pada SnO<sub>2</sub> dan mengikat elektron yang ada di permukaan SnO<sub>2</sub> tersebut:





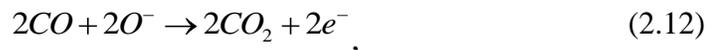
Gambar 2.12 a) Tanggapan molekul-molekul  $\text{SnO}_2$  terhadap  $\text{O}_2$  dan b) Gas pereduksi (Sumber: Mardowo dan Tim IE, 2003).

Selama tidak ada gas pereduksi maka elektron-elektron akan sulit untuk terlepas dan menghasilkan *potential barrier* acuan yang disebut dengan *Schottky barrier* Gambar 2.12.

Pada kondisi ada gas pereduksi (CO) maka molekul-molekul gas pereduksi akan bereaksi dengan atom-atom oksigen. Reaksi ini merupakan reaksi Reduksi, dapat dilihat pada persamaan 2.11.



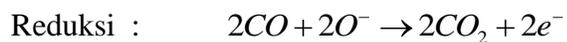
Dengan adanya gas CO sebagai gas pereduksi maka persamaan 2.11 menjadi:



Pada reaksi reduksi tersebut elektron yang awalnya diikat, akan dilepas kembali ke permukaan lapisan  $\text{SnO}_2$  lagi sehingga berakibat pada turunnya tingkat *Schottky barrier* Gambar 2.12b. Secara sederhana dapat dituliskan pada persamaan berikut :



$e^-$  menunjukkan jumlah elektron yang diikat dari pita konduksi.



$e^-$  menunjukkan jumlah elektron yang dilepas kembali ke pita konduksi.

## BAB 3. METODELOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Bahan Jurusan Fisika dan di Laboratorium *Hybrid* dan Mikroelektronika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Bandung. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2012 sampai Desember 2012.

### 3.2 Alat dan Bahan

#### 3.2.1 Alat

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain,

- a. *UV exposure* sebagai penghasil sinar UV dalam proses fotolitografi.
- b. Sumber arus searah (*Kenwood Regulated Power Supply* tipe PD18-30AD).
- c. Multimeter digital (*Sanwa Digital Multimeter* PC100) digunakan untuk mengukur resistansi sensor.
- d. Termometer digital (*Lutren TM-914C*) sebagai pengukur temperatur.
- e. *Stop Watch* digital digunakan untuk mengukur waktu.
- f. *Flow Meter* sebagai pengatur aliran gas ke tabung vakum.
- g. *Glass Gas Mixer* sebagai pencampur gas.
- h. Wadah dengan volume  $\pm 1L$ .
- i. *Project Board* untuk meletakkan rangkaian pengukur resistansi.

#### 3.2.2 Bahan

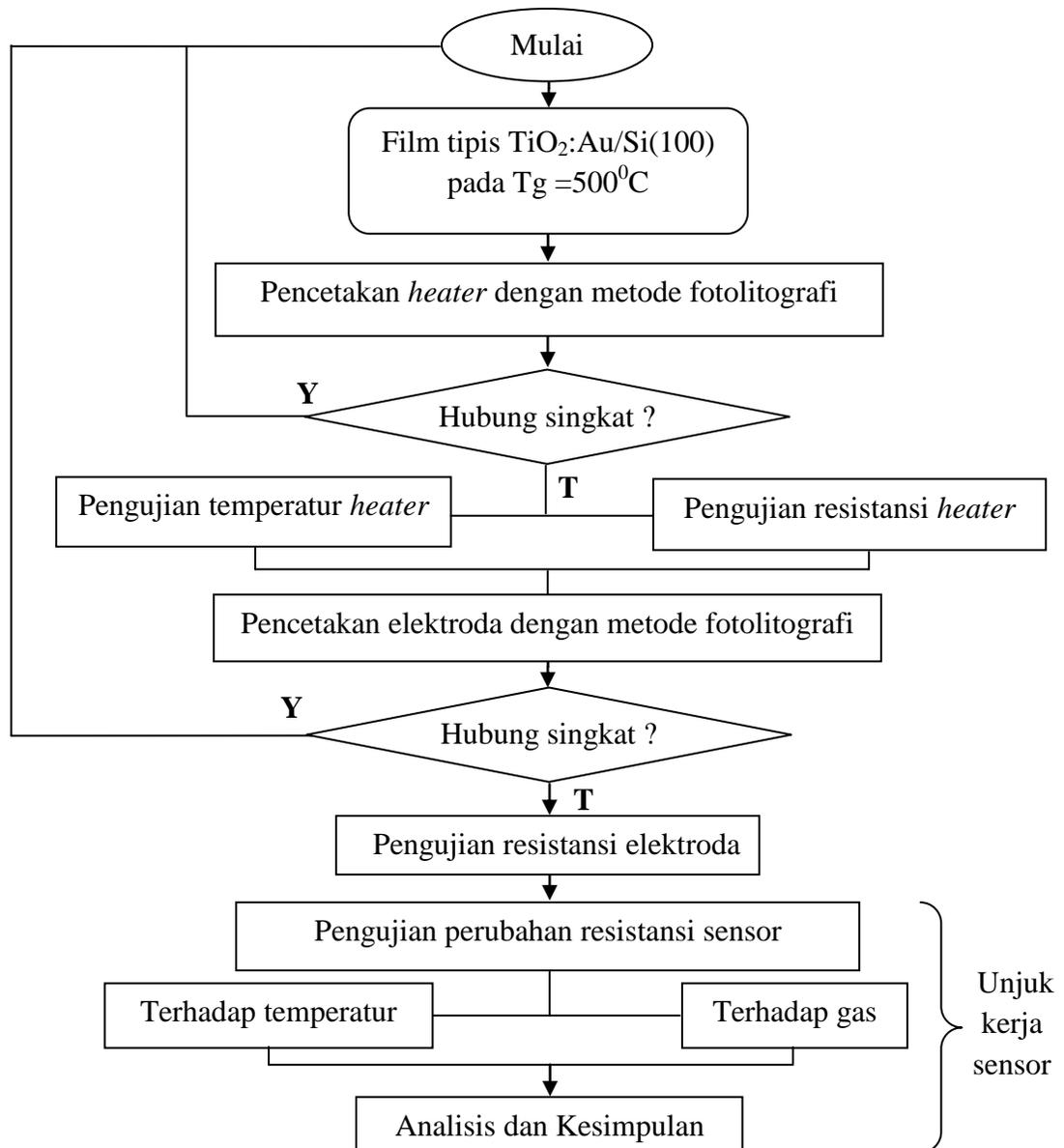
Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Sampel dengan film tipis  $TiO_2: Au$  yang ditumbuhkan dengan temperatur  $500^{\circ}C$  sebagai lapisan sensor.
- b. *Wire Au* (padat) sebagai bahan elektroda.

- c. *Resist* digunakan untuk pembuatan pola elektroda.
- d. Logam Ag sebagai bahan *heater*.
- e. Gas CO 3.5% (sebagai sumber gas) dan gas nitrogen (sebagai gas pembawa).

### 3.3 Prosedur Penelitian

Adapun langkah kerja dari penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir di bawah ini (Gambar 3.1)

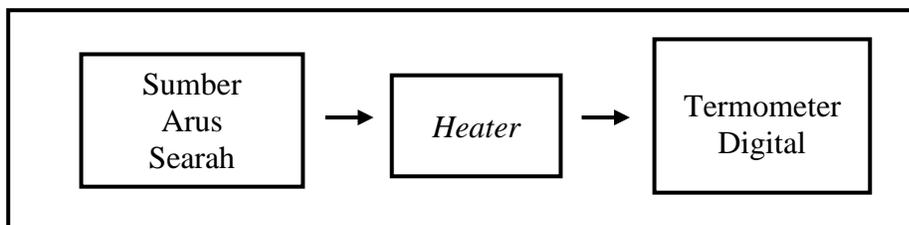


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

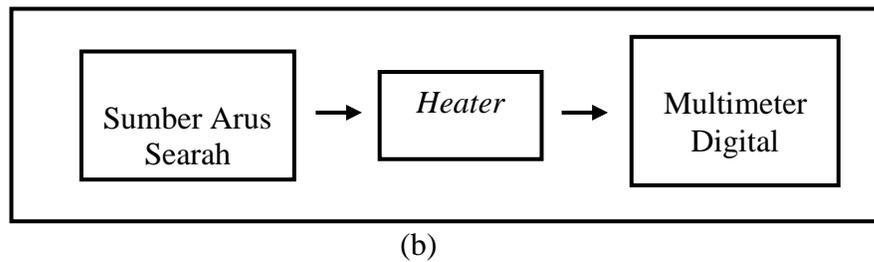
Pada penelitian ini terbagi dalam tiga tahap yaitu tahap pertama pembuatan pola *heater* pada bagian bawah substrat, tahap kedua pembuatan pola elektroda di atas film tipis dan tahap ketiga adalah unjuk kerja sensor. Pembuatan pola *heater* dan elektroda dengan menggunakan metode fotolitografi. Prosedur penelitian yang akan dilakukan diperlihatkan pada Gambar 3.1.

Tahap pertama yaitu pembuatan pola *heater*. Metode yang digunakan untuk membuat pola *heater* yaitu metode fotolitografi. Metode fotolitografi ini memanfaatkan *photoresist* yang dilapiskan di bawah substrat yang selanjutnya dilakukan penyinaran dengan sinar ultraviolet (UV). Setelah *photoresist* tersebut disinari oleh sinar UV langkah selanjutnya adalah proses pembentukan dengan menggunakan larutan NaOH (soda api). *Photoresist* yang telah dilarutkan pada NaOH akan terbentuk pola yang selanjutnya dilakukan metalisasi logam Ag (perak) yang akan dibuat *heater*. Setelah logam Ag ditumbuhkan pada pola yang sudah terbentuk, langkah selanjutnya adalah proses pengikisan dengan menggunakan larutan FeCl dimana dalam proses ini *photoresist* yang tersisa akan dihilangkan sehingga yang tersisa hanya logam Ag. Spesifikasi *heater* yang digunakan pada penelitian ini yaitu temperatur kerja *heater* sebesar  $300^{\circ}\text{C}$ , panjang efektif *heater* 8 mm, dan lebar *heater* 8 mm. Proses pembuatan *heater* harus dilakukan dengan seksama hal ini perlu dilakukan untuk menghindari adanya hubung singkat pada *heater*. Hubung singkat yang dimaksud dalam penelitian ini yaitu adanya pola *heater* yang terhubung.

Setelah proses pembuatan *heater*, langkah selanjutnya yaitu tahap pengujian *heater*. Pengujian pada *heater* meliputi pengujian resistansi *heater* dan pengujian temperatur *heater*. Skema pengujian *heater* ditunjukkan pada Gambar 3.2.a dan 3.2.b.



(a)



Gambar 3.2 a) Pengujian resistansi *heater* dan b) pengujian temperatur *heater*

Data yang akan didapatkan pada pengujian temperatur *heater* yaitu hubungan antara arus dengan temperatur *heater* dan hubungan antara waktu dengan temperatur *heater*. Arus yang dimaksud pada pengujian ini yaitu arus kerja *heater*. Arus kerja *heater* adalah arus yang diperlukan *heater* untuk mencapai temperaturnya. Setelah arus kerja *heater* diperoleh, selanjutnya yaitu waktu yang diperlukan *heater* untuk mencapai temperaturnya dengan arus masukan yang tetap.

Tahap yang kedua yaitu pembuatan pola untuk elektroda sensor. Elektroda merupakan kontak yang digunakan untuk mengukur karakteristik listrik pada sensor gas yang berupa resistansi, karena elektroda merupakan bagian yang terhubung langsung dengan alat ukur listrik maka bahan yang digunakan untuk membuat elektroda harus memiliki konduktivitas yang tinggi. Elektroda sensor yang akan dibuat berasal dari logam transisi yaitu logam Au (emas). Logam emas dipilih karena memiliki konduktivitas termal yang tinggi dibanding dengan logam transisi yang lain sehingga baik digunakan sebagai kontak dalam sensor. Elektroda pada sensor gas ini diletakkan di atas lapisan sensor. Elektroda sensor dibuat dengan pola sisir.

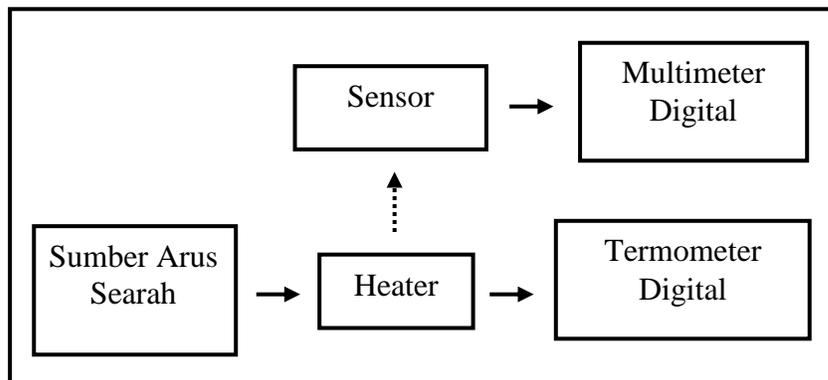
Pola sisir dari elektroda dibuat dengan menggunakan metode fotolitografi. Dimana proses pencetakan elektroda sama dengan pencetakan *heater*. Spesifikasi elektroda yang digunakan pada penelitian ini antara lain: panjang elektroda 23 mm, lebar elektroda 6 mm, resistansi lapisan 5 mili ohm, lebar dan jarak jari-jari elektroda 0,4 mm.

Sebagaimana proses pembuatan *heater*, pembuatan elektroda juga harus dilakukan dengan seksama agar tidak terjadi hubung singkat pada elektroda. Setelah

proses pembuatan elektroda, langkah selanjutnya yaitu tahap pengujian elektroda. Pengujian elektroda dilakukan untuk mengetahui besarnya resistansi elektroda. Data yang diperoleh pada pengujian ini yaitu besarnya resistansi yang dihasilkan elektroda pada temperatur kerja.

Pada penelitian ini optimasi kerja *heater* dan elektroda tidak kami lakukan karena akan dikerjakan peneliti lainnya. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan unjuk kerja sensor dengan parameter *heater* dan elektroda dibuat tetap.

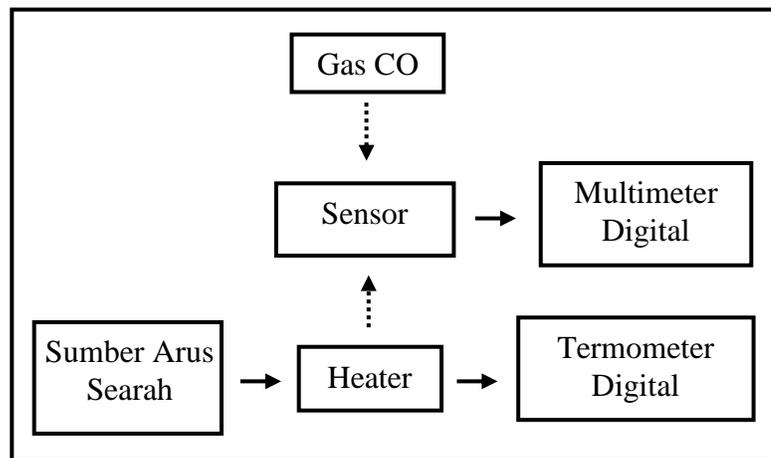
Setelah *heater* dan elektroda dibuat, langkah selanjutnya yaitu proses karakterisasi sensor melalui unjuk kerja sensor. Unjuk kerja sensor meliputi tanggapan resistansi sensor terhadap temperatur dan tanggapan resistansi sensor terhadap perubahan konsentrasi gas CO. Untuk pengukuran perubahan resistansi sensor terhadap temperatur dapat ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram pengujian tanggapan sensor perubahan temperatur

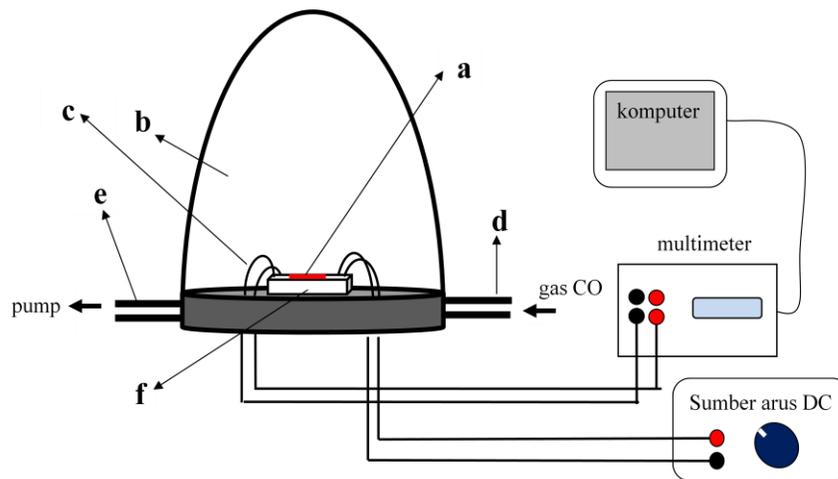
Pada Gambar 3.3 diperlihatkan sumber arus searah dialirkan pada *heater* sehingga menghasilkan panas disipasi. Temperatur pada *heater* diukur dengan menggunakan termometer digital (*Lutren TM-914C*). Sedangkan perubahan resistansi sensor terhadap perubahan temperatur diukur dengan multimeter digital (*Sanwa Digital Multimeter PC100*).

Selanjutnya dilakukan pengukuran tanggapan resistansi sensor terhadap perubahan konsentrasi gas CO. Skema pengukuran resistansi sensor terhadap gas CO dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Diagram pengujian tanggapan sensor terhadap rangsangan

Dari Gambar 3.4 dapat dijelaskan bahwa sensor dialiri dengan gas CO yang divariasikan yaitu: 0 ppm, 250 ppm, 500 ppm, 750 ppm, 1000 ppm, dan 1250 ppm. Pemberian gas CO yang divariasikan dapat mempengaruhi besarnya resistansi sensor. Untuk mengukur resistansi sensor dapat digunakan multimeter digital (*Sanwa Digital Multimeter PC100*). Setelah itu sumber arus dialirkan pada *heater* sensor, sumber arus yang digunakan adalah Sumber arus searah (*Kenwood Regulated Power Supply tipe PD18-30AD*). Karena adanya arus yang dialirkan pada *heater* sehingga akan terjadi panas disipasi. Panas disipasi yang dihasilkan oleh *heater* ini digunakan untuk menguapkan gas CO yang mengendap di atas lapisan aktif. Panas disipasi ini diukur dengan menggunakan termometer digital (*Lutren TM-914C*) untuk mengetahui besarnya temperatur *heater* tersebut. Dari Gambar 3.3 dan 3.4 dapat ditunjukkan set alat yang digunakan untuk mengarakterisasi sensor gas CO pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Set alat pengujian sensor gas CO

Keterangan:

- a) Sampel (sensor gas CO)
- b) Tabung vakum
- c) Kawat
- d) Saluran gas masuk
- e) Saluran gas keluar
- f) Penyangga

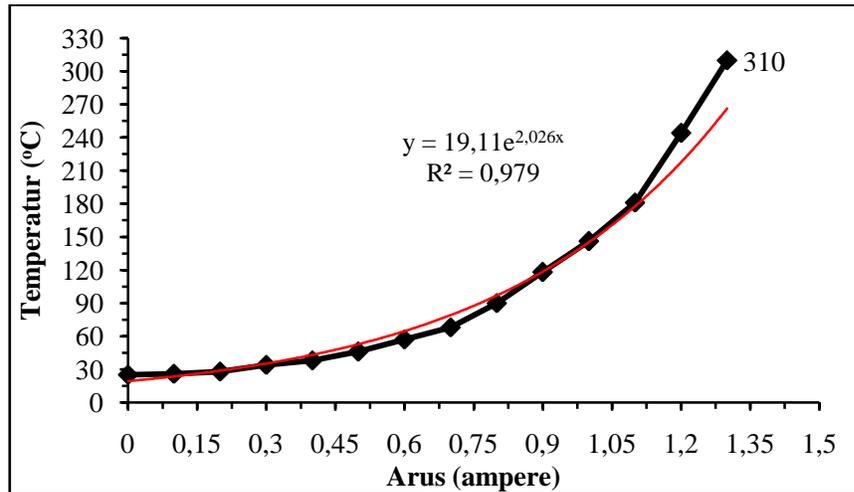
Gambar 3.5 menunjukkan pengujian sensor dimana sensor diletakkan di dalam tabung vakum. Saluran gas masuk digunakan untuk mengalirkan gas CO, sedangkan saluran gas keluar digunakan untuk mengeluarkan gas CO tersebut. Elektroda pada sensor dihubungkan dengan multimeter untuk mengukur resistansi yang dihasilkan oleh sensor. Hasil pengukuran terhadap sensor ini selanjutnya diplotkan dengan komputer sehingga diperoleh grafik hubungan konsentrasi gas CO terhadap resistansi sensor. Dari hasil pengukuran antara konsentrasi gas CO dengan resistansi sensor dapat ditentukan besar sensitivitas sensor. Sensitivitas sensor dapat ditentukan dengan membandingkan nilai resistansi sensor pada temperatur acuan dengan resistansi sensor pada temperatur operasi.

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengujian *Heater*

#### 4.1.1 Respon Temperatur *Heater* terhadap Arus Masukan

Pengujian *heater* yang pertama yaitu mengetahui arus yang diperlukan untuk mencapai temperatur kerja *heater*. Pengujian ini dilakukan dengan mengalirkan arus pada *heater*. Arus yang diberikan pada *heater* menghasilkan panas disipasi sehingga temperatur *heater* meningkat. Pemberian arus divariasikan dari 0 ampere sampai 1,3 ampere dengan rentang 0,1 ampere. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut.



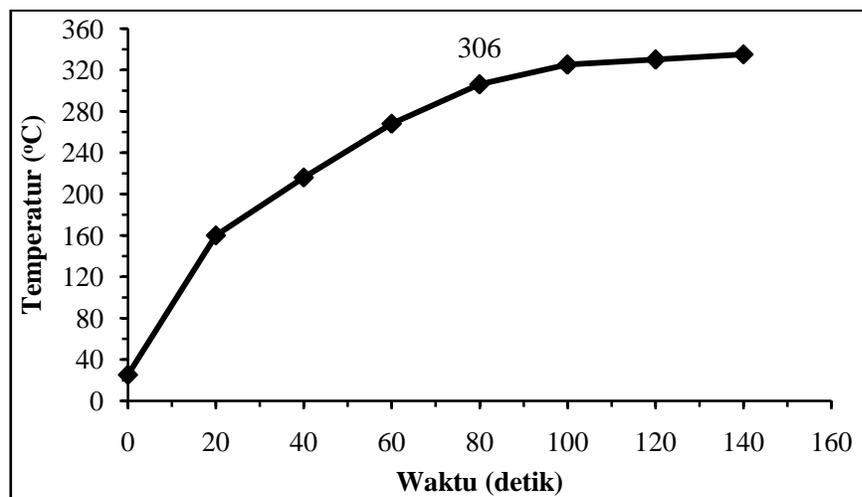
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara arus dengan temperatur *heater*

Grafik yang diperoleh antara perubahan arus dengan temperatur *heater* berupa eksponensial dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,979. Sebelum diberi arus, *heater* memiliki temperatur sebesar  $25^{\circ}\text{C}$ . Setelah *heater* diberi arus, temperatur *heater* semakin meningkat. Pada arus sebesar 1,3 ampere diperoleh temperatur sebesar  $310^{\circ}\text{C}$ . Temperatur ini mendekati temperatur kerja *heater* yaitu sebesar  $300^{\circ}\text{C}$  sehingga

untuk pengujian selanjutnya digunakan arus tetap sebesar 1,3 ampere dimana arus ini disebut dengan arus kerja *heater*.

#### 4.1.2 Waktu *Heater* untuk Mencapai Temperatur Kerja

Pengujian *heater* berikutnya adalah waktu yang diperlukan *heater* untuk mencapai temperatur kerja. Pada pengujian ini waktu yang digunakan sebagai acuan ukur adalah 0 detik sampai 140 detik dengan interval 20 detik. Setiap pertambahan waktu 20 detik temperatur *heater* cenderung naik. Hasil yang diperoleh pada pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 4.2.

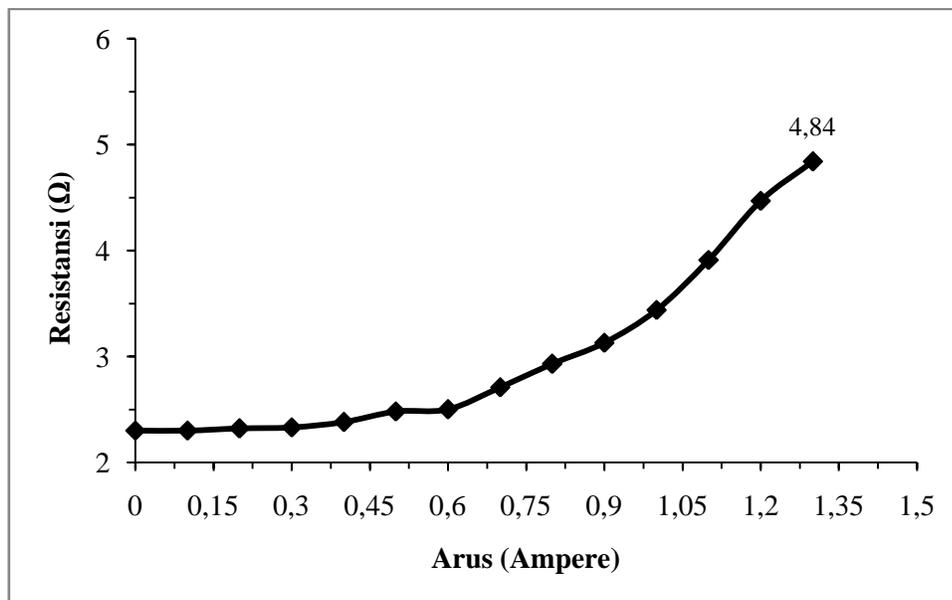


Gambar 4.2 Grafik hubungan antara waktu dengan temperatur *heater* untuk arus  $I=1,3$  ampere

Dari Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa semakin lama *heater* diberi arus maka temperatur *heater* menjadi meningkat. Arus masukan yang digunakan diseting tetap yaitu sebesar 1,3 ampere. Lama waktu yang diperlukan *heater* untuk mencapai temperatur  $306^{\circ}\text{C}$  adalah 80 detik. Temperatur  $306^{\circ}\text{C}$  dianggap sebagai temperatur optimal karena nilainya yang mendekati temperatur kerja *heater*. Dari pengujian yang kedua ini diperoleh hasil bahwa *heater* dapat mencapai temperatur optimal dalam waktu kurang dari satu setengah menit.

#### 4.1.3 Resistansi *Heater* terhadap Arus Masukan

Pengujian selanjutnya yaitu hubungan antara arus masukan dengan resistansi *heater*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara arus yang diberikan pada *heater* dengan resistansi yang dihasilkannya. Dalam pengujian ini arus yang diberikan pada *heater* divariasikan dari 0 ampere sampai 1,3 ampere dengan interval 0,1 ampere. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara arus dengan resistansi *heater*

Gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara perubahan arus yang diberikan dengan besarnya resistansi *heater*. Pada saat *heater* belum diberi arus, resistansi yang dimiliki oleh *heater* sebesar 2,3 ohm dan meningkat sejalan dengan meningkatnya arus yang diberikan. Resistansi yang dicapai oleh *heater* pada arus kerja 1,3 ampere adalah 4,84 ohm. Respon resistansi *heater* terhadap arus masukan tidak meningkat secara signifikan yaitu hanya berkisar pada orde yang sama. Karena peningkatan yang tidak signifikan ini maka resistansi *heater* dianggap stabil pada arus kerja *heater*.

## 4.2 Pengujian Elektroda

Setelah dilakukan pengujian terhadap *heater*, pengujian selanjutnya adalah pengujian terhadap elektroda yang telah dibuat dan akan digunakan sebagai sensor gas CO. Pada pengujian ini diperoleh hasil berupa resistansi elektroda. Pengukuran resistansi elektroda dilakukan pada temperatur kerja. Nilai resistansi elektroda yang diperoleh pada temperatur kerja yaitu sebesar 0,7 ohm. Secara perhitungan dan mengacu pada persamaan 2.5 resistansi yang dimiliki elektroda sebesar 0,44 ohm. Penyimpangan nilai resistansi antara hasil pengukuran dengan hasil perhitungan tidak signifikan yaitu sekitar 0,26 ohm. Hasil ini menunjukkan bahwa elektroda yang telah dibuat dianggap baik dan dapat diaplikasikan pada sensor gas CO.

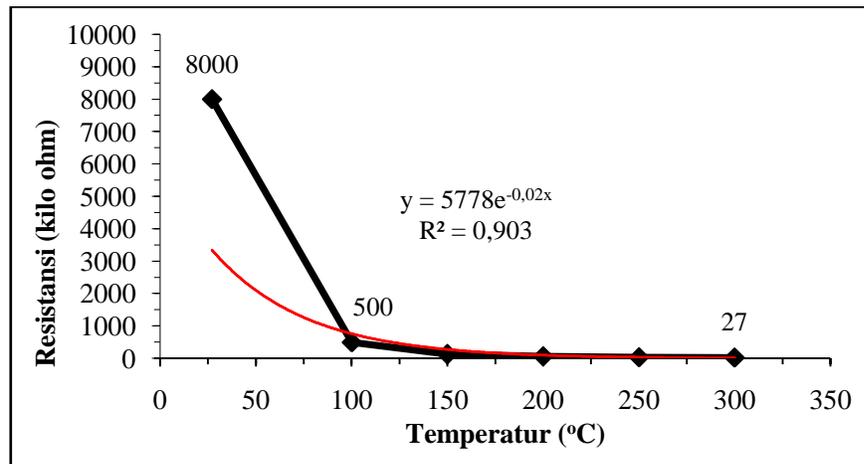
## 4.3 Pengujian Sensor

Setelah dilakukan pengujian terhadap *heater* dan elektroda dan dianggap sesuai dengan yang diinginkan, langkah selanjutnya yaitu dilakukan karakterisasi sensor melalui unjuk kerja sensor. Unjuk kerja sensor yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi perubahan resistansi sensor terhadap perubahan temperatur dan konsentrasi gas CO.

### 4.3.1 Resistansi Sensor terhadap Temperatur

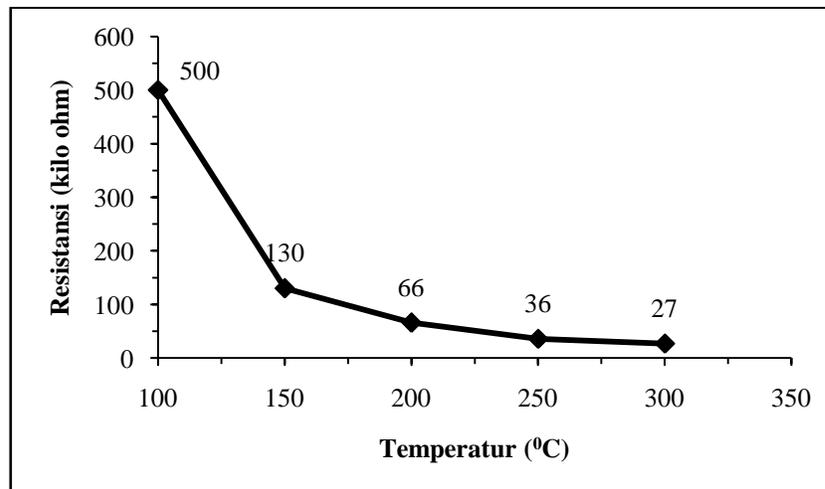
Dalam pengujian ini, arus masukan yang digunakan dibuat tetap yaitu sebesar 1,3 ampere. Pengujian dilakukan pada temperatur 27<sup>0</sup>C, 100<sup>0</sup>C, 150<sup>0</sup>C, 200<sup>0</sup>C, 250<sup>0</sup>C, dan 300<sup>0</sup>C. Dari pengukuran ini didapatkan data yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Gambar 4.4 merupakan grafik respon perubahan resistansi sensor terhadap temperatur. Dari Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa respon perubahan resistansi sensor terhadap temperatur berupa grafik eksponensial dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,903. Hasil ini sesuai dengan penelitian Khalil *et al.*, (2009) yang menyatakan bahwa apabila temperatur sensor dinaikkan maka resistansi sensor cenderung turun.



Gambar 4.4 Grafik respon perubahan resistansi sensor terhadap perubahan temperatur

Pada temperatur 27<sup>0</sup>C sampai 100<sup>0</sup>C nilai resistansi sensor turun secara drastis dari 8000 kilo ohm menjadi 500 kilo ohm, sedangkan untuk temperatur 100<sup>0</sup>C sampai 300<sup>0</sup>C nilai resistansi sensor mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.5.



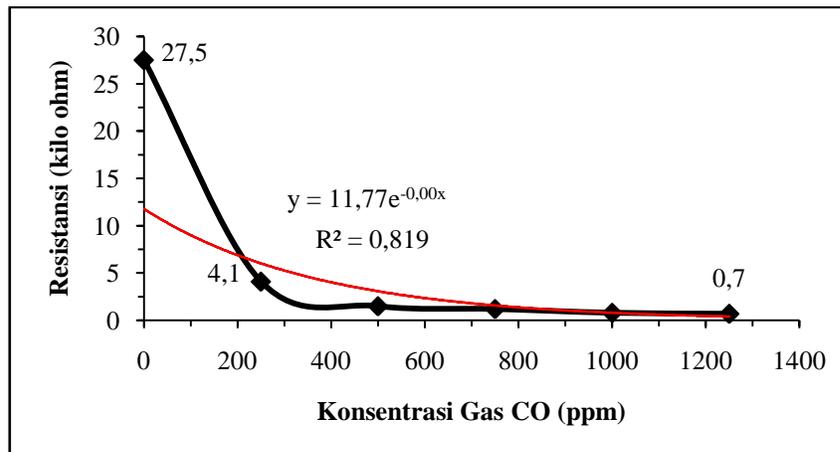
Gambar 4.5 Grafik respon resistansi sensor terhadap temperatur untuk skala 100<sup>0</sup>C sampai 300<sup>0</sup>C

dari Gambar 4.5 diketahui bahwa resistansi sensor dari 100<sup>0</sup>C sampai 150<sup>0</sup>C masih mengalami penurunan relatif besar yaitu dari 500 kilo ohm menjadi 130 kilo ohm. Sedangkan untuk temperatur 150<sup>0</sup>C sampai 300<sup>0</sup>C resistansi sensor mengalami

penurunan yaitu dari 130 kilo ohm menjadi 27 kilo ohm. Sehingga diketahui bahwa sensor memiliki resistansi sebesar 27 kilo ohm pada temperatur kerja 300<sup>0</sup>C.

#### 4.3.2 Resistansi Sensor Terhadap Konsentrasi Gas CO

Unjuk kerja sensor selanjutnya adalah pengujian resistansi sensor terhadap konsentrasi gas CO. Dalam pengukuran ini, arus masukan yang digunakan dibuat tetap yaitu sebesar 1,3 ampere. Dari pengukuran ini diperoleh grafik hubungan antara perubahan resistansi sensor terhadap konsentrasi gas CO dalam satuan ppm. Grafik perubahan resistansi sensor terhadap konsentrasi gas CO ditunjukkan oleh Gambar 4.6.

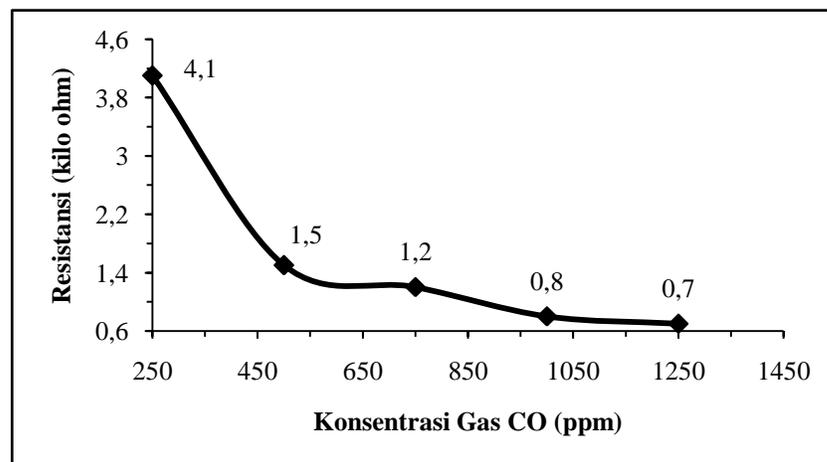


Gambar 4.6 Grafik respon perubahan resistansi sensor terhadap konsentrasi gas CO

Gambar 4.6 menunjukkan grafik perubahan resistansi sensor terhadap konsentrasi gas CO. Pemberian konsentrasi gas CO divariasikan dari 0 ppm sampai 1250 ppm dengan interval 250 ppm. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa hubungan antara perubahan resistansi sensor terhadap konsentrasi gas CO berupa grafik eksponensial dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,819.

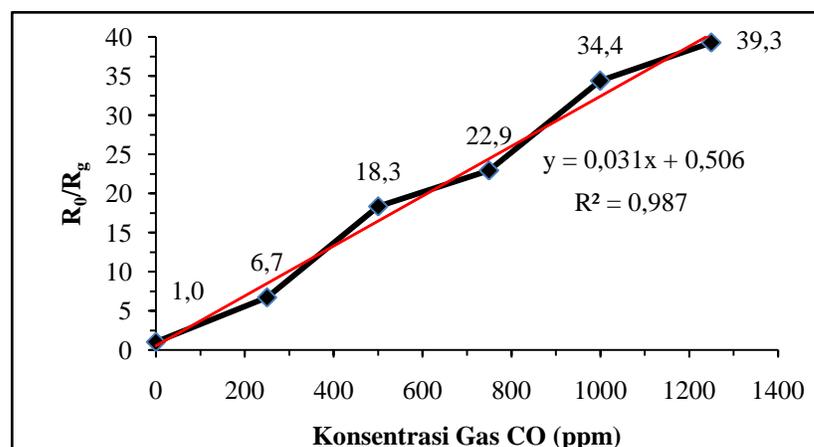
Pada konsentrasi 0 ppm sampai 250 ppm nilai resistansi sensor turun secara signifikan dari 27,5 kilo ohm menjadi 4,1 kilo ohm, sedangkan untuk konsentrasi 250 ppm sampai 1250 ppm nilai resistansi sensor masih terjadi penurunan. Grafik untuk konsentrasi 250 ppm sampai 1250 ppm dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 4.7.

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa pada konsentrasi 250 ppm sampai 500 ppm nilai resistansi sensor turun sebesar 2,6 kilo ohm yaitu dari 4,1 kilo ohm menjadi 1,5 kilo ohm, nilai penurunan ini masih relatif besar. Sedangkan pada konsentrasi 500 ppm sampai 1250 ppm nilai resistansi sensor mengalami penurunan yang tidak terlalu besar, nilai rata-rata penurunan resistansi sensor sebesar 0,27 kilo ohm.



Gambar 4.7 Grafik perubahan resistansi sensor terhadap konsentrasi gas CO untuk skala 250 ppm sampai 1250 ppm

Dari hasil pengujian ini maka sensor gas yang telah dibuat sensitif untuk konsentrasi gas CO dari 0 ppm sampai 500 ppm. Sedangkan untuk konsentrasi gas CO lebih dari 500 ppm sensor gas ini tidak terlalu sensitif. Untuk mengetahui grafik sensitivitas sensor terhadap gas CO dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik sensitivitas sensor terhadap gas CO

Dari Gambar 4.8 dapat diketahui bahwa bentuk sensitivitas sensor terhadap gas CO cenderung linear dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,987. Jika ditinjau dari grafik sensitivitas di atas, sensor gas yang telah dibuat dapat merespon gas CO dari konsentrasi 0 ppm sampai 1250 ppm.

## **BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa hubungan antara perubahan temperatur dengan resistansi sensor dihasilkan grafik berbentuk eksponensial dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,903. Pada temperatur kerja  $300^{\circ}\text{C}$  diperoleh nilai resistansi sensor sebesar 27 kilo ohm.

Sedangkan grafik hubungan antara perubahan resistansi sensor terhadap konsentrasi gas CO berbentuk eksponensial dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,819. Sensor gas yang telah dibuat sensitif untuk konsentrasi gas CO dari 0 ppm sampai 500 ppm.

### **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penelitian ini masih memerlukan saran untuk pengembangan penelitian yang selanjutnya. Untuk penelitian selanjutnya, *heater* dan elektroda perlu dilakukan pengujian terhadap parameter lainnya. Selain itu pada pengujian resistansi sensor terhadap konsentrasi gas CO, konsentrasi gas yang diberikan seharusnya divariasikan lebih banyak.

## DAFTAR PUSTAKA

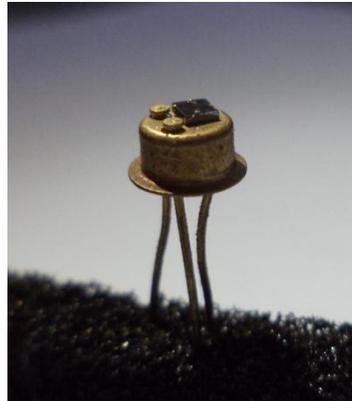
- Alves, Franco, Barradas, Nunes, Lopes, Cavaleiro, Torrell, Cunha, dan Vaz. 2012. Structural and Optical Studies of Au Doped Titanium Oxide Films. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. Elsevier.
- Arbiol, J. & Cobos. 2001. "Metal Additive Distribution in TiO<sub>2</sub> and SnO<sub>2</sub> Semiconductor Gas Sensor Nanostructured Materials." Tidak Diterbitkan. Disertasi: Universitas Barcelona.
- Barsan, N & Weimar, U. 2003. Understanding The Fundamental Principle of Metal Oxide Based Gas Sensors; The Example of CO Sensing with SnO<sub>2</sub> Sensors in The Presence of Humidity. *Journal of Physics: Condensed Matter*. PII: S0953-8984(03)33587-8.
- Constantin, C., Sun, K., dan Feenstra, R. M. 2009. Nucleation and Stoichiometry Dependence of Rutile-TiO<sub>2</sub>(001)/GaN(0001) Thin Films Grown by Plasma-Assisted Molecular Beam Epitaxial. Vol. 1108. A09-32.
- Dow Corning. 2009. *795 Silicone Building Sealant*. Dow Corning.
- Elhajj, J. 2008. "Electrosynthesis of TiO<sub>2</sub>-Au Composites for Water Splitting Applications and Their Photoelectrochemical Characterization." Tidak Diterbitkan. Skripsi: Northeastern University.
- Faozi, A. 2011. "Penumbuhan Film Tipis Tio<sub>2</sub>:Fe dengan Metode Spin Coating dan Karakterisasinya." Tidak Diterbitkan. Skripsi: Universitas Jendral Soedirman.
- Flagello, G. D. & Milster, D. T. 1997. High-Numerical-Aperture Effects in Photoresist. *Applied Optics*. Vol. 36 (34).
- Garza, C. M., Conley W., dan Byers J. 2007. Photoresist Materials and Processing. Taylor & Francis Group, LLC.
- Ginson, T. J., & Philip, J. 2008. An Inter-digital Capacitive Electrode Modified as a Pressure Sensor. *Sensor & Transducer Journal*. Vol. 99.
- Goetzberger, A. & Hoffman, V. U. 2005. *Photovoltaic Solar Energy Generation*. German: Springer.

- Hahn, S. 2002. "SnO<sub>2</sub> Thick Film Sensors at Ultimate Limits: Performance at Low O<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O Concentrations; Size Reduction by CMOS Technology." Tidak Diterbitkan. Disertasi: Universitas Tubingen.
- Hasan, Jahiding, Hasrin, Sudiana, dan Idris. 2010. Karakterisasi Lapisan Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>) Sebagai Bahan Dielektrik Sensor Kelembabab Jenis Kapasitif. *Jurnal Aplikasi Fisika*. Vol. 6 (2).
- Hermida, I D. P., & Retnaningsih, L. 2009. Rancang Bangun Sistem Pemanas Sensor Gas CO Berbasis Bahan SnO<sub>2</sub> dengan Menggunakan Teknologi Film Tebal. *Jurnal Elektronika*. ISSN: 1411-8289. Vol. 9 (1).
- Hiskia & Hermida, I D., P. 2006. Pengembangan Sensor Gas Carbon Monoxide CO Berbasis SnO<sub>2</sub>. *Prosiding Seminar Nasional Tenaga Listrik dan Mekatronik 2006*. ISBN: 979-26-2441-4.
- Khalil, A., Purwaningsih, S., Y., dan Darminto, P. S. Y. 2009. Pengaruh Doping Emas dan Perlakuan Anil pada Sensitivitas Lapisan Tipis SnO<sub>2</sub> untuk Sensor Gas CO. *Seminar Nasional Pascasarjana IX*.
- Kozłowska, Lukowiak, Szczurek, Dudek, dan Maruszewski. 2005. Sol-Gel Coating for Electrical Gas Sensors. *Journal Optica Aplicata*. Vol. 35 (4).
- Krane, K. 2008. *Fisika Modern*. Jakarta: UI-Press.
- Liger, M. 2005. *Taguchi Gas Sensor*. [Filetype: pdf, akses online 27 Oktober 2012]
- Licznerski, B. 2004. Thick-film gas microsensors based on tin dioxide. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*. Vol. 52 (1).
- Mardowo, A & Tim IE. 2003. DT-51. *Application Note*.
- Mawarani, Santoso, Budiono, dan Pribady. 2006. Karakteristik Lapisan Tipis SnO<sub>2</sub>-Sputtering DC Sebagai Elemen Sensor Gas CO. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. ISSN: 1411-1098. Vol. 8 (1).
- Minco. 2007. *Flexible Heaters Design Guide*. Minco.
- Moliton, A. 2009. *Solid-State Physics for Electronics*. United State: Wiley.

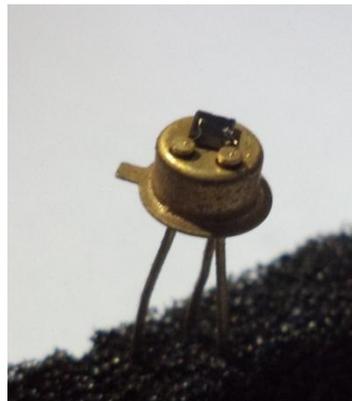
- Moto, K. 2002. Pembuatan Paduan  $(\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x)\text{N}$  dengan Teknik Plasma CVD dari Bubuk  $\text{AlCl}_3$ , Gas  $\text{N}_2$  dan  $\text{H}_2$ , Serta Larutan  $\text{TiCl}_4$ . *Makara Teknologi*. Vol. 6 (1).
- Mulyanti, Budi. 2006. "Penumbuhan Film Tipis Semikonduktor Ferromagnetik GaN:Mn Menggunakan Metode Plasma Assisted Metalorganic Chemical Vapor Deposition (PA-MOCVD) dan Karakterisasinya." Tidak Diterbitkan. Disertasi: Institut Teknologi Bandung.
- Pasquale, A. & Kim J. K. 2005. *The Photolithography Process*.
- Pribady, A. 2005. "Fabrikasi Lapisan Tipis  $\text{SnO}_2$  dengan Metode Sputtering DC Sebagai Elemen Sensor Gas CO." Tidak Diterbitkan. Skripsi: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Rusdiana, Tayubi, Feranie, Karim, Suhandi, dan Arifin. 2007. Penumbuhan Film Tipis GaN di Atas Substrat Sapphire dengan Teknik Sol-Gel Spin Coating.
- Samadikun, S. 1990. Integrated Circuit Sensor. *Laporan Hasil Penelitian*.
- Supriyanto, Wiranto, Hermida, Budiman, Arifin, Sukirno, dan Barmawi, M. 2007. Pengaruh Kandungan Co Terhadap Sifat Optik Film Tipis  $\text{TiO}_2\text{:Co}$  yang Ditumbuhkan dengan Metode MOCVD. *Seminar Nasional Bahan Magnetik 2007*.
- Supriyanto, E., & Wiranto, G. 2009. Struktur Kristal, Morfologi dan Sifat Optik Film Tipis  $\text{TiO}_2\text{:Eu}$  yang Ditumbuhkan di Atas Substrat Si(100) dengan Metode MOCVD. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*. ISSN: 1411-8289. Vol. 9 (2).
- Tan, Cao, Zhu, Chai dan Pan. 2003. Ethanol Sensors Based on Nano-Sized  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  with  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  Solid Solutions. *Sensors and Actuators B*. Elsevier.
- Wagiyo, H. & Wulan, P. 2007. Pengaruh Implantasi Ion Aluminium Terhadap Ketahanan Korosi Suhu Tinggi Baja Corten. *Jurnal Sains Materi*. ISSN: 1411-1098.

- Widodo, S. 2010. Teknologi Sol Gel pada Pembuatan Nano Kristalin Metal Oksida untuk Aplikasi Sensor Gas. *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*. ISSN: 1411-4216.
- Zahroh, F. 2012. “Struktur Kristal dan Morfologi Film Tipis TiO<sub>2</sub>:Au di Atas Substrat Si(100) dengan Metode Spin-Coating.” Tidak Diterbitkan. Skripsi: Universitas Jember.
- <http://pluggedin.kodak.com/pluggedin/post/?id=655003> [diakses: 24 September 2012].

**LAMPIRAN A. GAMBAR SENSOR GAS CO**



**(a)**



**(b)**



**(c)**

**Keterangan: (a), (b) Sensor Tampak Samping**

**(c) Tampak Atas**

**LAMPIRAN B. DATA PENGUJIAN TEMPERATUR TERHADAP ARUS  
HEATER**

No	Arus (ampere)	Temperatur ( <sup>0</sup> C)
1	0	25
2	0,1	26
3	0,2	28
4	0,3	34
5	0,4	38
6	0,5	46
7	0,6	57
8	0,7	68
9	0,8	90
10	0,9	118
11	1	146
12	1,1	181
13	1,2	244
14	1,3	310

**LAMPIRAN C. DATA PENGUJIAN TEMPERATUR TERHADAP WAKTU  
*HEATER***

No	Waktu (detik)	Temperatur ( <sup>0</sup> C)
1	0	25
2	20	160
3	40	216
4	60	268
5	80	306
6	100	325
7	120	330
8	140	335

**LAMPIRAN D. DATA PENGUJIAN RESISTANSI TERHADAP TEMPERATUR SENSOR**

No	Temperatur ( <sup>0</sup> C)	Resistansi (kilo ohm)
1	27	8000
2	100	500
3	150	130
4	200	66
5	250	36
6	300	27

**LAMPIRAN E. DATA PENGUJIAN RESISTANSI SENSOR TERHADAP  
KONSENTRASI GAS CO**

<b>No</b>	<b>Konsentrasi Gas CO (ppm)</b>	<b>Resistansi (kilo ohm)</b>
1	0	27,5
2	250	4,1
3	500	1,5
4	750	1,2
5	1000	0,8
6	1250	0,7