

BAB III

METODE PENELITIAN

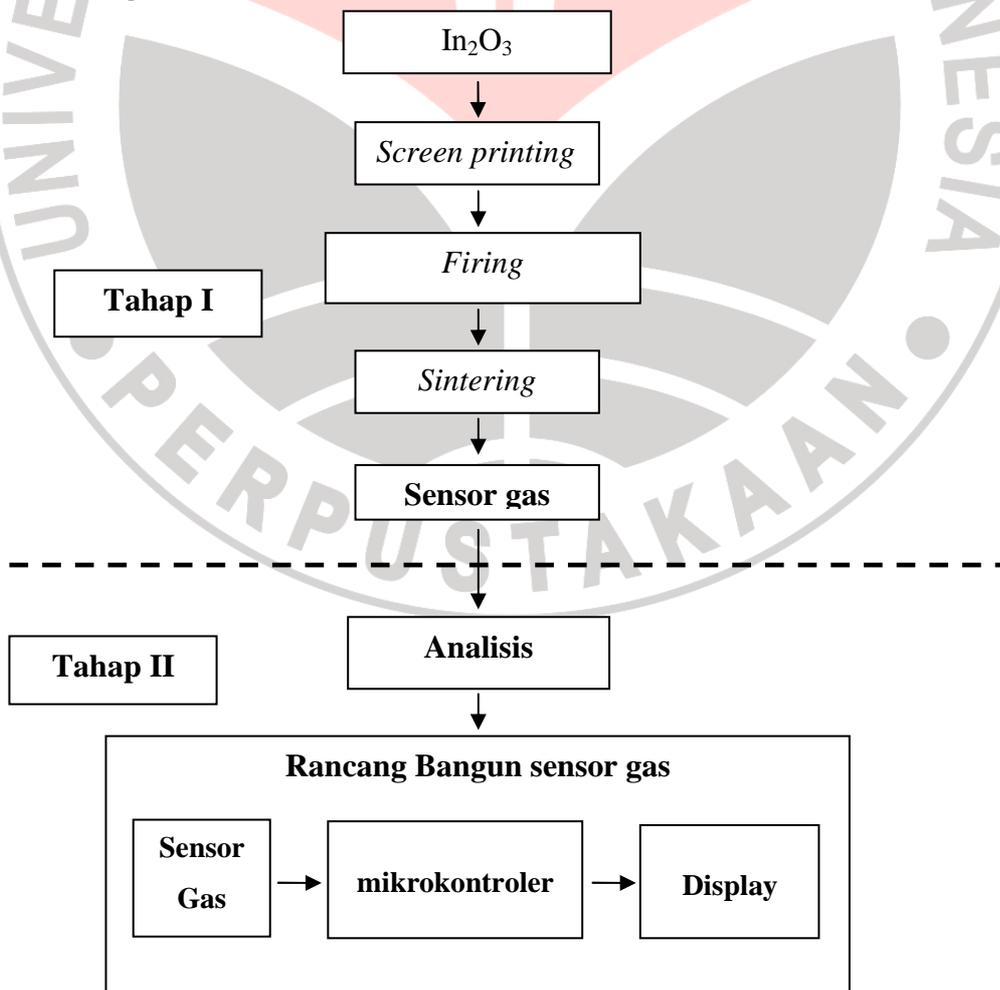
3.1 Metode dan Desain

3.1.1 Metode Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Karena dalam pelaksanaannya semua dilakukan dengan percobaan dan pembuatan alat.

3.1.2 Desain Penelitian

Dalam penelitian ini penulis mendesain penelitian ini kedalam beberapa tahapan penelitian dan penyusunan diantaranya studi literatur, perancangan sensor, pembuatan sensor, percobaan hasil rancang bangun, analisis data yang di dapat serta pengambilan kesimpulan. Secara sistematis desain penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir prosedur penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

Tempat pelaksanaan : PPET – LIPI Komplek LIPI Gedung 20. Jalan Sangkuriang Bandung 40135.

3.3 Alat dan Bahan

Bahan-bahan pembuatan sensor :

1. Serbuk In_2O_3
2. Substrat Alumina (Al_2O_3) 96%
3. Cairan Propandiol
4. *Stainless Steel* kerapatan mesh 325
5. Gas karbon monoksida (CO)
6. Pasta Au *Dupont 8352*
7. Pasta dielektrik *Dupont 8190*
8. Emulsi Ulano 133
9. Emulsi Ulano 5
10. Emulsi Ulano 23

Peralatan Pembuatan devais sensor :

1. Screen Printer *Accu Coat 3230 Ossining NY10562*
2. *Screen Maker 3000T* Richmond
3. Alat timbangan Sartorius Model BL 6100
4. Furnace No.Seri VULCAN 3-550 untuk proses *sintering*
5. Gelas ukur
6. Pipet tetes
7. Tabung reaksi
8. Pinset
9. Beaker gelas
10. Pemotong substrat

3.4 Prosedur Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini penulis mengurainya dalam beberapa tahap penelitian sebagai berikut.

3.4.1 Persiapan

Persiapan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi.

3.4.1.1. Studi literatur

Mempelajari literatur di buku sains, media cetak dan internet mengenai materi yang berhubungan dengan pembuatan sensor gas CO menggunakan teknologi *screen printing*, serta cara pembuatan rancang bangun sistem sensor yang dapat menangkap kadar gas CO.

3.4.1.2. Perancangan Sensor

Perancangan yang dilakukan meliputi perancangan dimensi *sensitive layer* yaitu lapisan In_2O_3 , *heater*, dan elektroda. Perancangan dilakukan dengan mengacu pada spesifikasi sensor yang akan dibuat dan berdasar pada aturan – aturan pada teori dasar.

- Spesifikasi Sensor

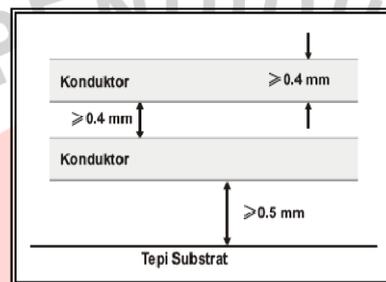
Adapun spesifikasi umum yang diharapkan peneliti dari sensor ini adalah sebagai berikut :

- Dimensi : $\leq 10 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$
- Suhu operasi : $25 \text{ }^\circ\text{C} - 300 \text{ }^\circ\text{C}$
- Daya Kerja *heater* : 3W
- Jangkauan Pengukuran : $0 \sim 1000 \text{ ppm}$

- Perancangan dan Pembuatan Lay Out sensor

- Ketentuan Umum Perancangan

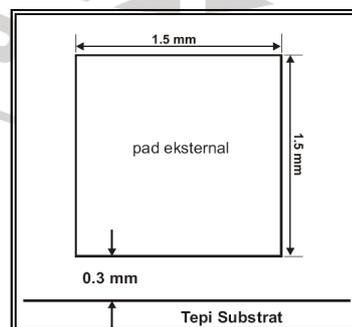
Pada dasarnya selain lapisan sensornya sendiri, sensor gas teknologi film tebal tersusun dari sebuah pemanas atau *heater* dan sepasang elektroda. Baik *heater* ataupun elektroda, keduanya merupakan jenis konduktor. Oleh sebab itu dalam perancangan sensor gas teknologi film tebal ini perlu diperhatikan aturan – aturan dalam merancang suatu konduktor film tebal termasuk juga *external pad*. Untuk jalur konduktor, baik *heater* maupun elektroda aturan umum perancangannya adalah seperti dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Aturan Perancangan Jalur Konduktor Film Tebal

Sumber: Haskard,1988:140

Pada sensor gas yang akan dibuat nantinya, ujung – ujung *heater* dan pasangan elektroda, masing - masing mempunyai *pad* eksternal sebagai tempat menempelnya kaki – kaki penghubung. Dimensi ideal dari *pad* eksternal adalah 1,5 mm x 1,5 mm sampai dengan 2 mm x 2 mm, dengan jarak dari tepi substrat sebesar 0,3 mm. Secara sistematis, aturan perancangan *pad* eksternal dapat dilihat dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Aturan Perancangan Pad Eksternal Film Tebal

Sumber: Haskard,1988:140

Selanjutnya, pada aplikasi *heater*, supaya temperatur yang dihasilkan bisa dipusatkan pada bagian yang diinginkan, dan pada elektroda supaya kepresisian dimensi lapisan sensor terjaga, maka diperlukan semacam isolator dari bahan dielektrik yang dilapiskan di atas kedua komponen tadi, pelapisan ini disebut juga enkapsulasi.

- Perancangan Lapisan Sensor (Sensitive Layer)

Pada umumnya, perubahan resistivitas material sensor ketika bereaksi dengan gas dipengaruhi oleh reaksi atom – atom oksigen di udara dengan atom – atom oksigen di permukaan lapisan sensor. Reaksi ini merubah *potential barrier* antar ikatan atom.

Dimensi dari lapisan ini (yang mewakili banyaknya molekul In_2O_3) akan menentukan jangkauan pengukuran sensor. Langkah pertama yang dilakukan dalam merancang lapisan sensor adalah menentukan jangkauan pengukuran maksimal dari sensor dalam satuan *ppm*, dalam perancangan ini jangkauan maksimal yang diharapkan adalah 1000 *ppm* (dalam hal ini 1000 *ppm* CO).

Karena pada proses ini yang terjadi adalah reaksi gas, maka satuan *ppm* dirubah menjadi mol/L. Dengan menganggap gas adalah gas pada kondisi ideal, persamaan yang digunakan adalah persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\text{mol}}{\text{L}} = \text{ppm} \times \frac{1 \text{ mol}}{24,15 \text{ L}}$$

Sehingga didapat :

$$\begin{aligned} 1000 \text{ ppm CO} &= \frac{1000}{1000000} \times \frac{1 \text{ mol}}{24,15 \text{ L}} \dots\dots\dots(3.1) \\ &= 4,14 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \end{aligned}$$

Maka, dengan menentukan massa CO di udara, dalam 1 Liter udara terdapat :

$$4,14 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \times M_{\text{CO}} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dengan M_{CO} adalah Molaritas $CO = 28 \text{ g/mol}$, maka didapat massa CO :

$$4,14 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \times 28 \text{ g/mol} = 115,92 \cdot 10^{-5} \text{ g/L} \dots\dots\dots(3.3)$$

Jadi dalam 1 Liter udara terdapat $115,92 \cdot 10^{-5} \text{ g CO}$.

Langkah selanjutnya adalah menentukan mol CO dalam 1 L udara, yaitu :

$$\text{mol}CO = \frac{\text{massa}CO}{MCO} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$\text{mol}CO = \frac{115,92 \cdot 10^{-5} \text{ g}}{28 \text{ g/mol}} = 0,00004 \text{ mol}$$

Dengan mengacu pada persamaan reaksi kesetimbangan antara gas CO dan In_2O_3 , yang merupakan reaksi antara atom – atom O_2 di permukaan dengan molekul – molekul CO dari udara, yaitu :



Maka dapat diketahui perbandingan molaritas antara gas - gas pereduksi dan In_2O_3 , yaitu molaritas In_2O_3 adalah 2 kali molaritas CO , sehingga :

$$\frac{1}{2} \text{ mol}In_2O_3 = \text{mol}CO \dots\dots\dots(3.6)$$

$$\text{mol}In_2O_3 = 0,00008 \text{ mol}$$

Setelah mol In_2O_3 diketahui, selanjutnya menentukan massa dari In_2O_3 dari persamaan berikut :

$$n = \frac{m}{M}$$

dengan :

$$n : \text{mol } In_2O_3 = 0,00008 \text{ mol}$$

$$m : \text{massa } In_2O_3 \text{ (gram)}$$

$$M: \text{Molaritas In}_2\text{O}_3 = 277,64 \text{ gram/mol}$$

maka :

$$m \text{In}_2\text{O}_3 = n \text{In}_2\text{O}_3 \times M \text{In}_2\text{O}_3 \dots \dots \dots (3.7)$$

$$m \text{In}_2\text{O}_3 = 0,00008 \text{ mol} \times \frac{277,64 \text{ gram}}{\text{mol}}$$

$$m \text{In}_2\text{O}_3 = 0,022 \text{ gram}$$

Langkah selanjutnya adalah menentukan volume dari In_2O_3 , dengan menggunakan persamaan :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

dengan : ρ : density / massa jenis In_2O_3 (7,179 gram/cm^3)

m : massa In_2O_3 (0,022 gram)

V : Dimensi / volume (satuan volume)

maka :

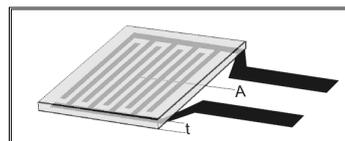
$$V = \frac{m}{\rho} \dots \dots \dots (3.8)$$

$$V = \frac{0,022 \text{ g}}{7,179 \text{ g/cm}^3}$$

$$= 0,00306 \text{ cm}^3$$

Dengan menentukan tebal lapisan, maka luas dari lapisan sensor akan diperoleh.

Secara umum bentuk dari lapisan sensor adalah seperti dalam Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Konstruksi Lapisan Sensor

Dari Gambar 3.4 dapat diketahui bahwa :

$$V = A \times t \dots\dots\dots(3.9)$$

dengan :

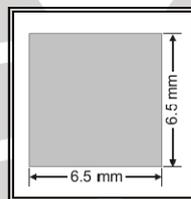
A adalah luas permukaan lapisan sensor (cm^2)

t adalah tebal permukaan lapisan sensor ($50\mu\text{m} = 5 \cdot 10^{-3}\text{cm}$).

Sehingga dapat diketahui luas permukaan lapisan sensor sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A &= V/t \\ &= 0,00306\text{cm}^3 / 0,005\text{cm} \\ &= 0,612\text{cm}^2 \end{aligned}$$

Jadi didapatkan luas permukaan lapisan sensor $0,612 \text{ cm}^2$, bisa diasumsikan sebagai $0,65 \text{ cm} \times 0,65 \text{ cm}$. Sehingga, dimensi dari lapisan sensor diasumsikan menjadi $6.5 \text{ mm} \times 6.5 \text{ mm}$. Sehingga dihasilkan desain *layout* seperti dalam Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Desain Layout Lapisan Sensor

- Perancangan Elektroda

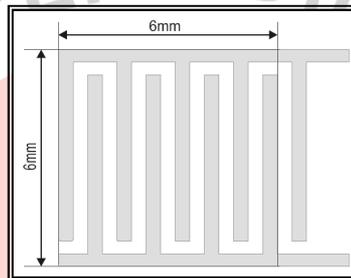
Elektroda yang digunakan pada *thick film gas sensor* pada umumnya adalah sepasang elektroda berbentuk *interdigital fingers* dari bahan *nobel metal* misalnya *Au* atau *Ag*. Struktur tersebut dimaksudkan untuk meminimalisasi ruang namun dapat mengoptimalkan daerah *sensing*, serta memudahkan dalam penentuan nilai resistans.

Adapun stuktur yang direncanakan adalah seperti dalam Gambar 3.6.



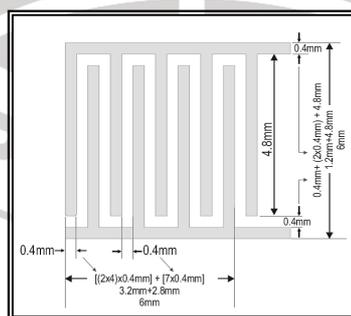
Gambar 3.6 Rencana Struktur Elektroda

Dari luasan lapisan sensor yang diperoleh dari persamaan (4.9) yaitu 6 mm x 6 mm, maka pasangan elektroda yang direncanakan haruslah memiliki luasan efektif yang sama, luasan yang dimaksud ditunjukkan dalam Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Desain Luas Efektif Elektroda

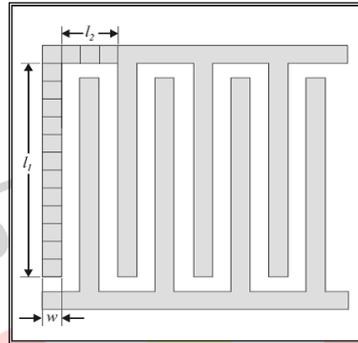
Selanjutnya dengan mengacu pada Gambar 3.2, diasumsikan bahwa masing masing jari memiliki lebar 0.4 mm, panjang 5 mm, dengan jarak antar masing-masing jari 0.4 mm. Dari asumsi - asumsi tersebut, dihasilkan elektroda yang memiliki 4 pasang *interdigitated fingers* dalam area 6 mm x 6 mm. Secara rinci dapat dilihat dalam Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Desain Struktur *Interdigitated fingers*

Penentuan nilai resistans pada elektrode ini sama dengan penentuan nilai resistans resistor teknologi film tebal pada umumnya.

Selanjutnya untuk melakukan perhitungan nilai resistans elektroda dalam penelitian ini, hasil perancangan sebelumnya yaitu Gambar 3.7 dan Gambar 3.8, dapat dibagi menjadi bagian – bagian seperti dalam Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Perhitungan Resistans Elektroda

Nilai resistansi efektif masing – masing elektroda sebagai berikut:

$$R_{el} = 4 \times \left[\left(\frac{l_1}{w} + \frac{l_2}{w} + 0.56 \right) R_s \right] \dots\dots\dots (3.10)$$

dengan:

R_{el} = nilai resistans elektroda efektif (Ω)

l_1 = panjang jalur konduktor horisontal (mm)

l_2 = panjang jalur konduktor vertikal (mm)

w = lebar jalur konduktor (mm)

R_s = nilai lembar resistans ($m\Omega/square$)

Dalam penelitian ini pasta yang digunakan adalah pasta Ag (perak) dari Dupont (Dupont 8352) dengan $R_s = 20m\Omega/square$.

Dari perancangan dalam Gambar 3.9 diketahui bahwa $l_1=7.8mm$, $l_2=1.2mm$, dan $w=0.4mm$, maka dari persamaan (3.10) didapatkan nilai resistans efektif R_{el} elektroda sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 R_{el} &= 4 \times \left[\left(\frac{7.8}{0.4} + \frac{1.2}{0.4} + 0.56 \right) 20 m\Omega / \text{square} \right] \\
 &= 4 \times [(19.5 + 3 + 0.56) 20 m\Omega] \\
 &= 4 \times [23.06 \times 20 m\Omega] \\
 &= 4 \times (461.2 m\Omega) \\
 &= 1844.8 m\Omega
 \end{aligned}$$

Jadi dari perhitungan diatas didapatkan nilai resistans efektif masing – masing elektroda sebesar $1844.8 m\Omega = 1,8448 \Omega$. Dari hasil perhitungan ini, keterangan mengenai desain gambar 3.8 dijelaskan melalui table 3.1 berikut ini.

Tabel 3. 1 Keterangan Dimensi Layout Elektroda

| Keterangan | Ukuran (mm) |
|---------------------------------|-------------|
| Panjang Elektroda | 14.5 |
| Lebar Elektroda | 9 |
| Lebar jari-jari elektroda | 0.4 |
| Jarak antar jari-jari elektroda | 0.4 |
| Panjangxlebar pad elektroda | 4x4 |

- Perancangan Pemanas (Heater)

Temperatur adalah salah satu faktor terpenting yang menentukan keberhasilan dari sensor gas teknologi film tebal ini. Distribusi temperatur yang sesuai akan mempengaruhi tingkat selektifitas dan sensitifitas dari elemen sensor ini. Pemanas ini dirancang terletak tepat di sisi belakang substrat (berkebalikan dengan elektroda).

Untuk menentukan karakteristik dari *heater*, parameter – parameter yang harus diperhatikan diantaranya adalah: suhu yang diinginkan, daya yang dibutuhkan, dan luasan daerah yang ingin dipanasi, serta karakter dari bahan *heater* itu sendiri (*TCR*, disipasi arus maksimum yang mampu melewati, dll). Untuk itu, langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan karakteristik *heater* yang diinginkan, yaitu :

T_h : Temperatur kerja (300°C)

T_c : Temperatur awal (25°C)

P : Daya pada temperatur kerja (3W)

TCR : *Temperature Coefficient Resistance* (3900)

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai resistans *heater* pada temperatur kerja (R_H). Perhitungan nilai R_H diawali dengan menentukan tegangan sumber, sumber tegangan yang digunakan adalah sebesar 3V. Tegangan sumber sebesar 3 V dipilih dengan pertimbangan dengan daya 3 W maka nantinya bisa dihasilkan arus kerja yang cukup yang sesuai dengan karakteristik bahan yang digunakan. Selain itu juga mempertimbangkan segi kepraktisan karena sumber tegangan 3V sudah banyak tersedia di pasaran dengan berbagai macam tipe (seperti misalnya *battery*).

Dengan sumber 3V dan daya yang diinginkan 3W, maka arus kerja heater adalah :

$$\begin{aligned} I &= P/V \\ &= 3\text{W}/3\text{V} \dots\dots\dots(3.11) \\ &= 1\text{A} \end{aligned}$$

Dengan demikian sesuai persamaan nilai resistans *heater* pada suhu operasi (R_H)

$$\begin{aligned} R_H &= V/I \\ \text{adalah: } R_H &= 3\text{V}/1\text{A} \\ &= 3\Omega \dots\dots\dots(3.12) \end{aligned}$$

Jadi nilai resistans *heater* pada suhu operasi (R_H) adalah 3Ω .

Selanjutnya dengan menentukan nilai TCR dari *data sheet* ($TCR=3600 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$), temperatur awal ($T_C = 25^\circ\text{C}$), dan temperatur operasi ($T_H = 300^\circ\text{C}$), serta memasukkan nilai R_H hasil persamaan (2.12) ke persamaan (2.13), maka akan didapat nilai resistans *heater* pada suhu acuan (R_C).

$$TCR = \frac{[(R_H - R_C) \times 10^6]}{[R_C \times (T_H - T_C)]}$$

dengan :

TCR : *Temperature Coefficient Resistance*

R_H : Resistans pada suhu operasi (Ω)

R_C : Resistans pada suhu acuan (Ω)

T_H : Suhu operasi ($^{\circ}C$)

T_C : Suhu acuan ($^{\circ}C$)

Maka nilai resistans *heater* pada suhu acuan (R_C), adalah sebagai berikut:

$$3600 = \frac{[(3\Omega - R_C) \times 10^6]}{[R_C \times (300^{\circ}C - 25^{\circ}C)]} \dots\dots\dots(3.13)$$

$$\frac{3600}{10^6} = \frac{(3 - R_C)}{(275R_C)}$$

$$0.99R_C = 3 - R_C$$

$$1.99R_C = 3$$

$$R_C = 1.50\Omega$$

Setelah nilai R_C didapat, maka dapat ditentukan dimensi dari *heater* dengan mengacu pada persamaan

$$R_C = R_s \frac{l}{w} \dots\dots\dots(3.14)$$

Dengan :

R_s : nilai lembar resistans = $1.6 \text{ m}\Omega/\text{sq}$,

l : panjang konduktor *heater* (mm), dan

w : lebar konduktor *heater* diasumsikan = 0.4 mm ,

maka sesuai persamaan (3.14), panjang konduktor *heater* (l) dapat ditentukan, sebagai berikut :

$$R_c = R_s \frac{l}{w}$$

$$1.5\Omega = 1.6\Omega \frac{l}{0.4mm}$$

$$\frac{1.5\Omega}{5\Omega} = \frac{l}{0.4mm}$$

$$l = 300 \times 0.4mm$$

$$= 120mm$$

$$= 12cm$$

Jadi *heater* yang dibuat memiliki panjang 12 cm, dibentuk menyerupai spiral dalam luas area maksimum 1 cm². Ditentukan 1 cm² dimaksudkan supaya *heater* dapat mencakup seluruh bagian elektroda di sisi baliknya. Sehingga dihasilkan desain *layout* seperti dalam Gambar 3.12.



Gambar 3.10 Desain *LayOut Heater*

Adapun dimensi *heater* dalam Gambar 3.10 dijelaskan pada Tabel 3.2 berikut.

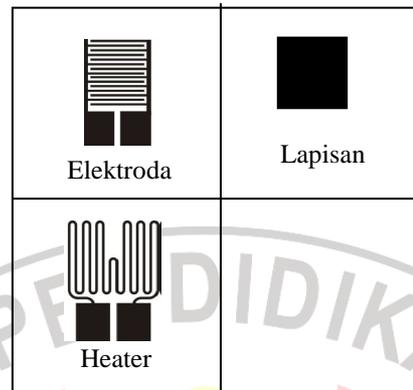
Tabel 3.1 Keterangan Dimensi *Layout Heater*

| Keterangan | Ukuran (mm) |
|----------------------------|-------------|
| Panjang Heater | 14.5 |
| Lebar Heater | 9 |
| Lebar jalur Heater | 0.4 |
| Jarak antar jalur Heater | 0.4 |
| Panjang x lebar pad Heater | 4x4 |

- Layout Sensor

Untuk membuat pola pada screen (*masker*), dari hasil perancangan *layout* komponen – komponen diatas, dibuat menjadi *ortho-film* pada semacam plastik

mika. Dalam Gambar 3.11, ditunjukkan *layout* komponen sensor secara keseluruhan, masing – masing pada plastik mika berukuran 5 cm x 5 cm.



Gambar 3.11 Keseluruhan *ortho-film* Sensor

3.4.1.3. Pabrikasi Sensor

Proses pabrikasi yang dilakukan meliputi proses-proses pembuatan tiap-tiap komponen dengan menggunakan teknologi film tebal, meliputi juga tahapan-tahapan prosesnya.

3.4.1.3.1. Proses Pembuatan Screen

- Alat dan Bahan

Peralatan dan perlengkapan yang digunakan pada proses ini adalah sebagai berikut:

1. *Screen*. *Screen* yang digunakan memiliki kerapatan 325 *mesh*.
2. Kamar Gelap, ruangan ini digunakan sebagai tempat pelapisan masker pada *screen*.
3. CDF 3 (*Capillary Direct Film*), yaitu emulsi film yang digunakan sebagai bidang cetak tembus. Karakteristik CDF 3 yakni tidak boleh terkena sinar/cahaya secara langsung, suhu udara kurang dari 27 °C, kelembaban normal, ketebalannya 30 μm .

4. Ulano 133, adalah suatu bahan emulsi yang digunakan sebagai pelapis (*filler*) bidang *screen* yang tidak tertutup oleh CDF 3 seperti tampak dalam Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Ulano 133

5. Ulano 5, adalah bahan berupa emulsi berfungsi sebagai pembersih *screen* dari bekas pembuatan *screen* sebelumnya seperti tampak dalam Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Ulano 5

6. Ulano 23, adalah bahan berupa emulsi pembersih *screen* dari kotoran lemak atau minyak seperti tampak dalam Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Ulano 23

7. *Screen Maker*, merupakan alat penyinaran menggunakan sinar ultra violet. *Screen maker* yang digunakan adalah “*Screen Maker 3000T Richmond*” seperti tampak dalam Gambar 3.15.



Gambar 3.15 *Screen Maker 3000T Richmond*

- Proses Pembuatan *Screen*

Screen berfungsi sebagai pembentuk pola dan turut menentukan ketebalan pasta yang diendapkan pada substrat. *Screen* terdiri atas bahan tertentu yang berlubang-lubang yang diregangkan pada suatu *frame* yang biasanya terbuat dari aluminium. Proses pembuatan *screen* merupakan langkah dasar dalam teknologi film tebal. Pemindahan pola ke *screen* dilakukan melalui proses fotografi.

Jumlah masker yang dibutuhkan dalam pembuatan *screen* sensor gas adalah tiga buah sesuai dengan jumlah *ortho-film*, yakni masker untuk konduktor, heater dan lapisan sensor.

Secara sistematis, proses pembuatan *screen* dapat dilihat dalam Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Langkah – Langkah Proses Pembuatan *Screen*

Screen yang digunakan adalah dari bahan *stainless steel* berukuran 20 cm x 20 cm dengan kerapatan (*mesh*) 325. Sebagai langkah awal, *screen* dibersihkan dari bekas pembuatan *screen* sebelumnya dengan menggunakan pelarut emulsi *ulano 5*. Setelah *screen* dalam kondisi bersih dan kering, selanjutnya adalah

mempersiapkan *emulsi film* (CDF 3) dalam sebuah ruangan dengan intensitas cahaya rendah. Kertas film CDF 3 dipotong dengan ukuran 10 cm x 10 cm kemudian bagian emulsinya diletakkan ditengah-tengah bidang *screen*. Selanjutnya bagian tengah *screen* tersebut dipolesi dengan ulano 133 secara merata lalu dikeringkan, setelah benar-benar kering lapisan plastik/*mylar* pada CDF 3 dilepaskan dari *screen* dengan hati-hati.

Sebuah *ortho-film* diletakkan ditengah-tengah bidang *screen* tersebut dan tepinya direkatkan isolasi agar tidak bergeser. Kemudian *screen* diletakkan ditengah-tengah bidang penyinaran pada mesin penyinaran. Mesin Penyinaran (*Screen Maker 3000T Richmond*) berfungsi untuk menyinari *screen* agar terbentuk pola *ortho-film* pada CDF-3 yang tidak tertembus cahaya. Mesin tersebut tampak dalam Gambar 4.20. Proses fotografi dilakukan selama kurang lebih 10 menit. Pada proses ini pola *ortho-film* yang menutupi lintasan cahaya bereaksi terhadap bahan emulsi film (CDF-3) sehingga pola dapat terbentuk.

Setelah penyinaran *ortho-film* selesai, *screen* lalu disemprot dengan air bertekanan tinggi secara hati-hati agar pola yang terbentuk tidak rusak. Setelah pola tampak dan terbentuk dengan baik maka *screen* dikeringkan dan dibiarkan selama 15 menit.

Selanjutnya, sisa bidang yang tidak tertutupi dengan CDF-3 diberi *filler* (Ulano-133) kemudian diratakan dengan menggunakan rakel, lalu dikeringkan, agar lebih baik dibiarkan mengering selama 24 jam. Demikianlah proses yang sama dilakukan terhadap semua masker sensor gas.

Dari serangkaian proses diatas, didapatkan *screen* yang sudah terbentuk polanya, salah satunya seperti dalam Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Screen Yang Sudah Berpola

3.4.1.3.2. Pembuatan Heater dan Elektroda

- Bahan dan Peralatan

Setelah pola *heater* dan elektroda telah dicetak pada screen, maka tahap selanjutnya adalah pembuatan *heater* dan elektroda tersebut. Adapun bahan dan peralatan yang digunakan dalam proses ini adalah :

1. Pasta

Pasta yang digunakan merupakan pasta konduktor dari bahan perak (Ag) produksi Dupont (Dupont 8352), dengan nilai lembar resistans (R_s) sebesar 20 Ω/sq . Gambar pasta dapat dilihat dalam Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Pasta Konduktor Dupont 8352

2. Substrat

Substrat merupakan media dari bahan keramik tempat menempelnya pasta. Dalam penelitian ini digunakan substrat Alumina (Al_2O_3) 96% dengan ukuran 5cmx5cm dengan ketebalan 0.7 mm.

3. *Screen Printer*

Screen printer berfungsi untuk mencetak pasta keatas permukaan substrat sesuai dengan pola *screen*. Pada *screen printer* ini terdapat fasilitas pengaturan posisi dan tekanan terhadap substrat sehingga gerakan rakel pada proses pencetakan dapat bekerja dengan baik. *Screen printer* yang digunakan adalah *screen printer* hasil modifikasi team LIPI- Bandung Gambar 3.19.



3.19 *Screen Printer*

4. Oven

Oven digunakan sebagai pengering setelah proses pencetakan yang dapat diatur suhu dan lamanya pengeringan. Oven yang digunakan adalah oven yang biasa digunakan dalam peralatan rumah tangga sehari-hari, seperti tampak dalam Gambar 3.20.



Gambar 3.20 *Oven Pengering*

5. Tungku Pembakaran (*belt furnace*)

Tungku pembakaran melakukan proses pemanggangan dengan suhu dan waktu pemanggangan yang bisa deprogram sesuai dengan karakter pasta. Profil suhu tungku pembakaran terbagi menjadi tiga bagian yaitu daerah pemanasan awal, daerah panas, dan daerah pendinginan. Jenis yang digunakan

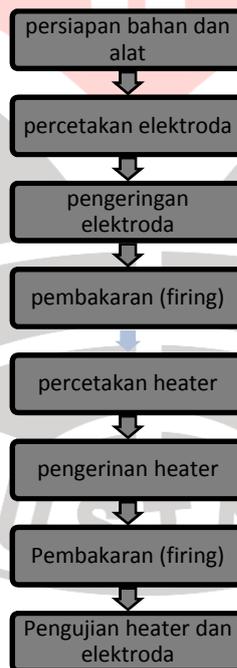
adalah *Conveyor Belt Furnace* RTC LA-310, seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.21.



Gambar 3.21 *Conveyor Belt Furnace* RTC LA-310

- **Proses Pabrikasi Heater dan Elektroda**

Langkah – langkah yang dilakukan dalam proses ini dapat dijelaskan dalam Gambar 3.22. Seperti terlihat dalam Gambar 3.29, langkah pertama dalam proses ini adalah mempersiapkan peralatan dan bahan seperti dijelaskan berikut :



Gambar 3.22 Langkah – Langkah Proses Pabrikasi Heater dan Elektroda

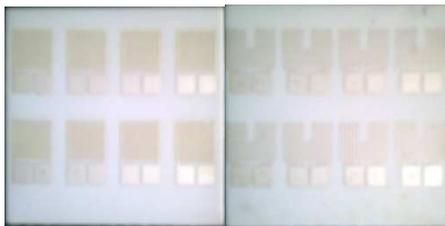
Langkah selanjutnya adalah proses pencetakan, lapisan pertama yang dicetak adalah elektroda. *Screen* dengan pola elektroda diatur sedemikian rupa

pada *screen printer* sehingga pola elektroda yang akan dicetak berada pada posisi yang tepat diatas bidang permukaan substrat. Selanjutnya dilakukan pengaturan jarak *snap-off* dan tekanan rakel pada *screen printer*. Setelah itu dilakukan proses pencetakan dengan pasta konduktor dari bahan perak. Nama produk pasta yang digunakan adalah 8352 (Dupont), seperti tampak dalam Gambar 3.18.

Setelah lapisan elektroda tercetak dengan benar, hasil cetakan didiamkan selama kurang lebih 5 menit, supaya permukaan cetakan menjadi halus dan ikatan pasta menjadi kuat. Selanjutnya dilakukan pengeringan dengan menggunakan oven. Temperatur yang digunakan adalah 150°C selama 10 menit. Pengeringan dilakukan supaya lapisan elektroda tadi menjadi keras. Sampai tahap ini, lapisan elektroda masih bisa dihapus dengan menggunakan *thiner* jika diinginkan pengulangan proses pencetakan.

Setelah proses pengeringan lapisan elektroda, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah proses pencetakan lapisan *heater*. Pasta yang digunakan untuk lapisan heater ini sama dengan pasta untuk lapisan elektroda, yaitu pasta perak (*Dupont* 8352). Proses ini sama dengan proses pencetakan lapisan elektroda. Pencetakan *heater* dilakukan tepat dibelakang lapisan elektroda. Oleh karena itu diperlukan pengaturan letak masker *heater* yang cermat sebelum proses pencetakan supaya posisi lapisan heater tepat dibalik lapisan elektroda. Seperti pada lapisan elektroda, setelah proses pencetakan, lapisan *heater* juga didiamkan selama 5 menit baru kemudian dikeringkan dalam oven dengan temperatur 150°C selama 10 menit.

Setelah proses pengeringan, langkah selanjutnya adalah proses pembakaran. Pembakaran dilakukan dengan menggunakan tungku pembakaran (*conveyor belt furnace* RTC LA-310) yang bisa diatur temperatur dan kecepatannya melalui komputer dan program yang sudah *built in*. Pengaturan temperatur dilakukan pada tiga *zone* pembakaran dengan temperatur puncak 850°C dan lamanya kurang lebih 45 menit. Setelah proses pembakaran, didapatkan hasil seperti dalam Gambar 3.23.



Gambar 3.23 Hasil Pembakaran Lapisan Heater dan Elektroda

3.4.1.3.3. Pembuatan Lapisan Sensitif (In_2O_3)

- Pembentukan Pasta In_2O_3

In_2O_3 akan dideposisikan dengan teknik *thick film* sehingga sebelumnya dibuat In_2O_3 dalam bentuk pasta, yaitu dengan prosedur pembuatan sebagai berikut :

1. 12 g *ethyl cellulose* (EC) (5–15 mPa s, #46070, Fluka) dan 12 g EC (30-70 mPa s, #46070, Fluka) dicampur kedalam ethanol sebanyak 10% volum, Suspensi ini akan berfungsi sebagai binder dalam pembuatan pasta.
2. Tambahkan suspensi tersebut kepada bubuk In_2O_3 dengan massa 12 g serta 25 g terpineol. Kemudian digerus oleh mortar sampai terbentuk pasta yang baik untuk dilapiskan.
3. Derajat viskositas dari pasta untuk mendapatkan pasta yang optimal didapatkan dengan mengatur banyaknya binder dan juga bila diperlukan ditambahkan juga air pada campuran binder dan bubuk In_2O_3 .

- Pelapisan In_2O_3

Setelah pasta indium oksida telah selesai dibuat, proses selanjutnya adalah pelapisan lapisan sensor In_2O_3 . Adapun bahan dan peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Masker

Screen yang digunakan masih sama dengan proses sebelumnya yaitu dari bahan *stainless steel* dengan kerapatan *mesh* 325.

2. Serbuk In_2O_3

In_2O_3 adalah material inti lapisan sensor, dari bahan semikonduktor. In_2O_3 yang digunakan berbentuk serbuk halus berwarna abu-abu, seperti dalam Gambar 3.24.



Gambar 3.24 Bahan Lapisan Material Sensor (In_2O_3)

3. Cairan *Propandiol* sebagai pengencer serbuk In_2O_3
4. *Screen printer*, *screen printer* yang digunakan tetap sama seperti yang digunakan pada proses sebelumnya.

- **Proses Pabrikasi Lapisan In_2O_3**

Langkah pertama dalam proses ini ialah mengatur masker lapisan sensor pada *screen printer* sehingga nantinya lapisan material sensor bisa tercetak tepat diatas lapisan elektroda. Pengaturan juga dilakukan pada tekanan rakel sesuai dengan ketebalan lapisan yang diinginkan.

Langkah selanjutnya adalah proses pencetakan. Lapisan material sensor (In_2O_3) yang berupa serbuk dilarutkan terlebih dahulu dengan cairan *propandiol* hingga berubah menjadi pasta, sehingga bisa dilapiskan pada substrat menggunakan *screen printer*. Tahapan-tahapan pencetakannya pun hamper sama dengan pencetakan pada tahap pembuatan *heater* dan elektroda.

Setelah proses pencetakan selesai, hasil pencetakan dikeringkan pada suhu 150°C dalam oven. Setelah proses pengeringan selesai, tidak perlu di *firing* seperti pada tahapan pembuatan elektroda dan *heater*. Dari sini sensor dengan lapisan indium oksida sebagai lapisan sensitifnya telah selesai dibuat.

- Proses Pemotongan Substrat

Peralatan yang digunakan untuk memotong substrat adalah berupa sebuah alat pemotong substrat manual seperti tampak dalam Gambar 3.25. Alat ini berfungsi untuk memotong substrat sesuai dengan yang diinginkan. Adapun proses pemotongan dilakukan secara manual dengan cara menggesekkan pemotong diatas substrat lalu dipatahkan, seperti halnya teknik pemotongan keramik. Sedangkan untuk pemasangan kaki-kaki sensor, digunakan konektor berpenjepit dari bahan *stainless* yang dipasangkan dengan cara disolder.



Gambar 3.25 Alat Pemotong Substrat

- Hasil Akhir Proses Pabrikasi Sensor

Hasil akhir dari keseluruhan proses pabrikasi, dapat dilihat dalam Gambar 3.26.

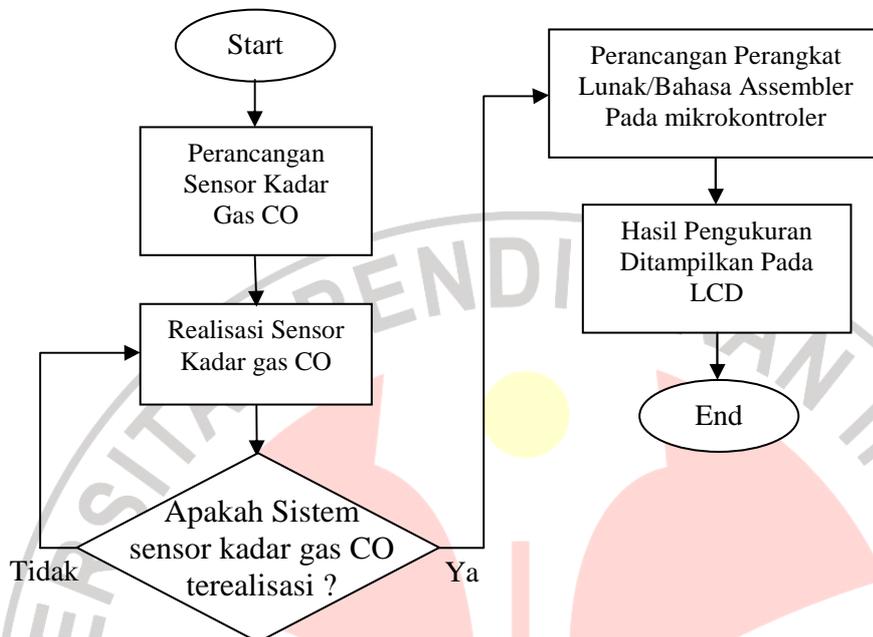


Gambar 3.26 Hasil akhir sensor gas dibandingkan dengan alat tulis

3.4.2 Pelaksanaan

Setelah persiapan dalam pembuatan divais sensor gas berbasis In_2O_3 telah selesai maka pada tahap ini penulis melakukan pembuatan rancang bangun sistem sensor yang dapat menangkap kadar gas CO yang keluarannya/outputnya di proses oleh mikroprosesor sehingga bisa ditampilkan pada LCD.

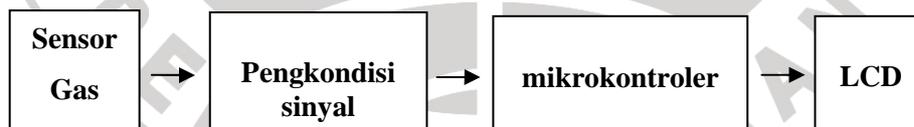
Berikut diagram alir proses perancangannya.



Gambar 3.27 Diagram alir perancangan dan realisasi sensor

3.4.2.1 Perancangan Perangkat Keras

Adapun pembuatan rancang bangun sensor gas ini diperlihatkan pada diagram blok (Gambar 3.28) sebagai berikut.



Gambar 3.28 Diagram Blok Rancang Bangun Sensor

Diagram blok tersebut terdiri dari :

1. Sensor gas.

Berfungsi sebagai alat pendeteksi kadar gas CO, sensor yang digunakan yaitu sensor gas berbasis In_2O_3 . Sensor ini diperoleh dari percobaan pertama dalam pembuatan sensor gas menggunakan teknologi film tebal

2. Pengkondisi Sinyal

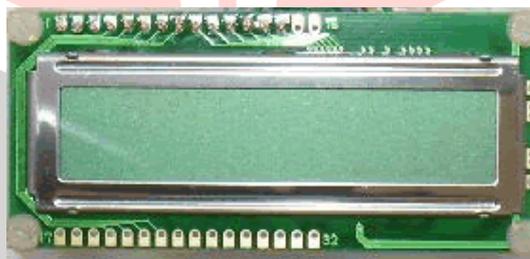
Berfungsi sebagai rangkaian yang mengubah resistansi yang ditanggapi oleh sel sensor menjadi potensial tegangan sehingga bisa diproses oleh mikrokontroler.

3. mikrokontroler

Mikrokontroler digunakan sebagai pusat pengatur sistem, input yang didapatkan dari sensor gas akan diolah dan outputnya dapat ditampilkan pada layar LCD.

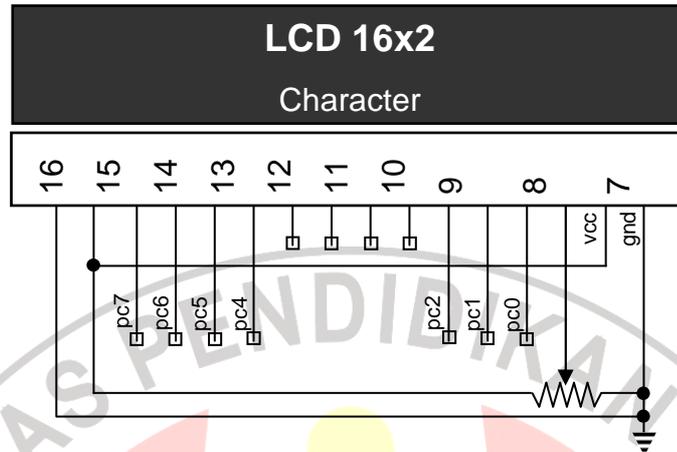
4. LCD

LCD pada sistem ini berfungsi sebagai display (alat penampil) hasil pengolahan data dari mikrokontroler.



Gambar 3.29. LCD (Liquid Cristal Display)

LCD digunakan untuk menampilkan besaran yang terukur. Mikrokontroler sebagai driver LCD memerintahkan untuk menampilkan besaran yang telah diukur ke LCD. Untuk dapat menampilkan hasil dari mikrokontroler pada LCD maka diperlukan rangkaian interface mikrokontroler-LCD. Rangkaian interface tersebut ditunjukkan pada gambar 3.30, dengan pin-pin pada LCD tersebut terhubung pada port C mikrokontroler. Untuk membuat tampilan LCD yang baik maka diperlukan rangkaian pendukung yang dapat mengatur kontras matriks-matriks pada LCD, yaitu dengan menggunakan variabel resistor. Variabel resistor yang digunakan adalah sebesar 50 k Ω .



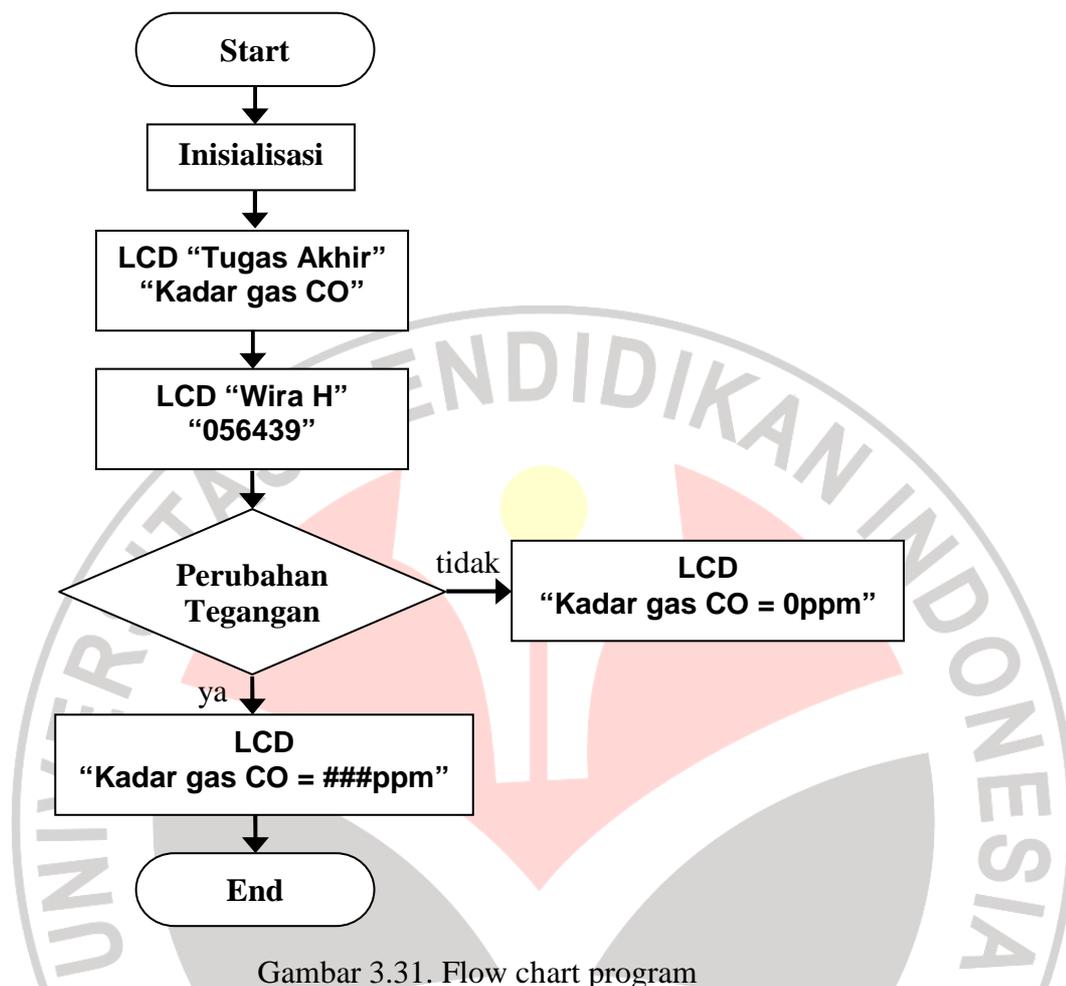
Gambar 3.30 Rangkaian interface mikrokontroler – LCD

3.4.2.2 Perancangan Perangkat Lunak

Setelah perangkat keras untuk sistem ini terealisasi maka penulis mulai membuat rancangan perangkat lunak/bahasa assembler pada mikrokontroler. Perangkat lunak merupakan sekumpulan instruksi-instruksi yang digunakan sebagai sistem operasi untuk mengontrol perangkat keras didalam memberikan input dan output data serta pertukaran informasi. Perangkat lunak digunakan untuk mendukung perangkat keras dalam menjalankan tugasnya.

Instruksi-instruksi yang digunakan oleh mikrokontroler dalam melakukan tugasnya ditulis dengan menggunakan bahasa C, sistem melakukan pengolahan input hasil pengindraan sensor, kemudian dilakukan pengolahan sehingga dihasilkan output yang dapat ditampilkan pada modul LCD.

Gambar 3.31 dibawah ini merupakan flow chart yang ada pada program yang diharapkan, sebagai berikut :



Gambar 3.31. Flow chart program

3.4.3 Pengujian

Dalam pengujian ini dilakukan untuk menguji :

- a. Pengujian devais sensor, berupa hambatannya terhadap perubahan suhu, serta hambatan sensor tersebut terhadap perubahan konsentrasi gas CO. di bawah ini adalah gambar skema pengujian devais sensor tersebut.



Gambar 3.32. Skema pengujian devais sensor In_2O_3

- b. Rancang bangun sensor gas berbasis In_2O_3 untuk mendeteksi kadar gas CO.

3.4.4. Pengolahan Data

Data yang digunakan sebagai parameter sensor ini adalah data perubahan temperatur *heater* terhadap masukan arus searah dan data perubahan nilai resistansi sensor terhadap perubahan konsentrasi gas. Data perubahan resistansi diambil dengan mengukur secara langsung perubahan nilai resistansi sensor dengan menggunakan ohmmeter.

3.4.5. Analisis Data

Pada tahapan ini, data yang telah diolah dari hasil penelitian dianalisa sedemikian rupa sehingga mampu menjawab tujuan dari penelitian ini. Sehingga hasil analisa ini dapat mengetahui apakah penelitian ini sesuai dengan yang diharapkan atau masih ada kekurangan.

3.4.6. Penarikan Kesimpulan

Dari data-data yang didapat, dianalisa dan pada akhirnya diambil kesimpulan, apakah hasil yang dicapai sesuai dengan yang direncanakan atau tidak.

