

BAB III

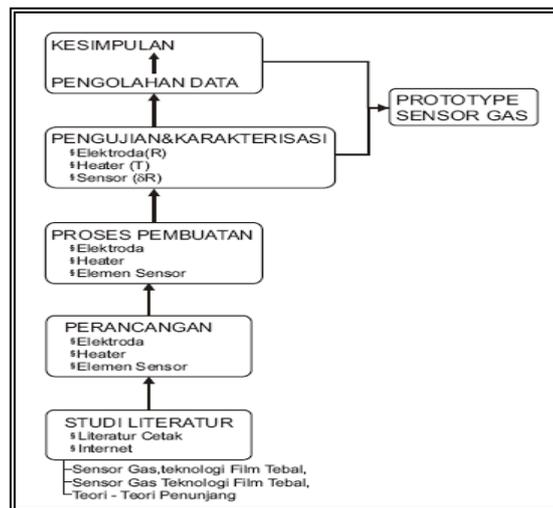
METODOLOGI

3.1 Metode Penelitian

Dalam melakukan penelitian, penulis menggunakan metode Eksperimen murni.

3.2 Desain Penelitian

Untuk melaksanakan penyusunan skripsi ini penulis menggunakan beberapa metode penelitian dan penyusunan laporan, yaitu: studi literatur, serangkaian proses pengujian, pengambilan data, pengolahan data percobaan, sampai pengambilan kesimpulan. Secara sistematis dapat dilihat dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian Skripsi

Waktu pelaksanaan : Februari 2010– Juni 2010

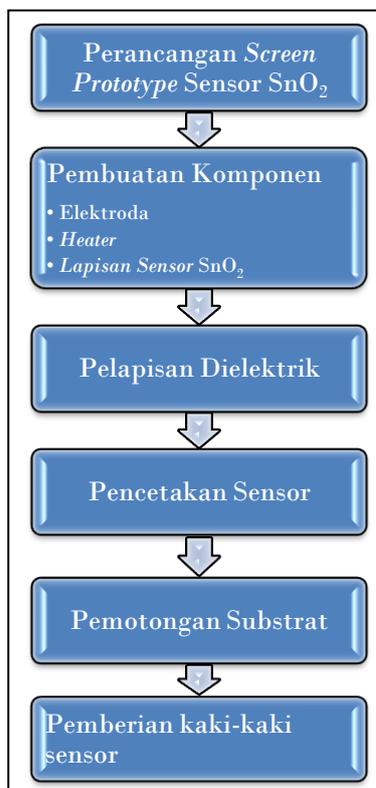
Tempat pelaksanaan : PPET – LIPI

Komplek LIPI Gedung 20

Jalan Sangkuriang Bandung 40135

3.4 Langkah – Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir Langkah-langkah penelitian

3.4.1 Studi literatur

Melakukan diskusi mengenai materi yang berhubungan dengan pembuatan sensor gas CO menggunakan teknologi *screen printing*. Dan juga mempelajari

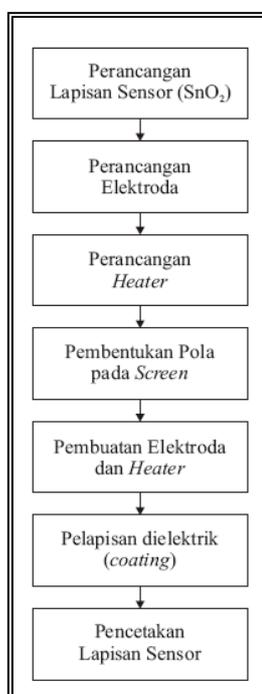
literatur yang berhubungan dengan perancangan sensor gas teknologi film tebal, baik dari literatur cetak maupun media internet.

3.4.2 Perancangan

Perancangan yang dilakukan meliputi perancangan dimensi *sensitive layer* yaitu lapisan SnO_2 , *heater*, dan elektroda. Perancangan dilakukan dengan mengacu pada spesifikasi sensor yang akan dibuat dan berdasar pada aturan – aturan pada teori dasar.

Tahapan Perancangan dan Pabrikasi

Untuk mencapai hasil sesuai dengan yang diharapkan, proses pabrikasi sensor ini dilakukan dalam beberapa tahap. Tahapan – tahapan ini bisa dilihat dalam Gambar 3.3



Gambar 3.3 Tahapan Proses Perancangan dan Pabrikasi Sensor Gas

Spesifikasi Sensor

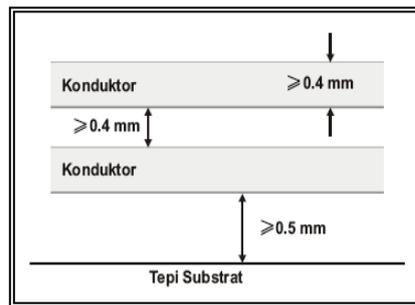
Dalam proses perancangan suatu devais, sebagai langkah awal adalah menentukan spesifikasi dari devais yang akan dibuat. Adapun spesifikasi umum yang diharapkan peneliti dari sensor ini adalah sebagai berikut :

- 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 : $0 \sim 1250 \text{ ppm}$

Ketentuan Umum Perancangan

Pada dasarnya, suatu sensor gas teknologi film tebal terdiri dari beberapa komponen utama. Selain lapisan sensor itu 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*.

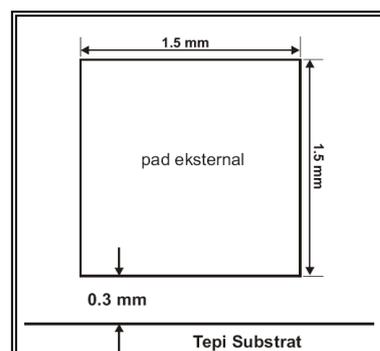
Untuk jalur konduktor, baik *heater* maupun elektroda aturan umum perancangannya adalah seperti dalam Gambar 3.4



Gambar 3.4 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 3.5.



Gambar 3.5 Aturan Perancangan Pad Eksternal Film Tebal

Sumber: Haskard,1988:140

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.

Reaksi diawali ketika lapisan material sensor mengikat oksigen dari udara, oksigen tersebut menjadi bermuatan negatif sehingga terbentuk *potential barrier* yang disebut *Schottky barrier*. Ketika ada gas (misal: gas CO), maka gas ini akan bereaksi dengan oksigen yang telah terikat pada permukaan lapisan sensor ($\text{CO} + \text{O}^{2-} \rightarrow \text{CO}_2 + 2e^-$) yang mengakibatkan perubahan *Schottky barrier*.

Pada umumnya, sinyal respon sensor (bertambah atau berkurangnya nilai resistans) ditentukan menurut jenis material sensor dan gas yang disensor. Untuk gas, digolongkan menjadi gas pengoksidasi dan gas pereduksi, sedangkan untuk material sensor dapat diklasifikasikan menjadi material tipe-p atau tipe-n sesuai dengan respon sinyalnya. Pada material tipe-p, nilai resistans akan bertambah ketika bereaksi dengan gas pereduksi., dan resistansi akan berkurang terhadap gas pengoksidasi, hal ini berlaku sebaliknya terhadap material tipe-n (Cirera,2000:29).

Sensitive layer atau lapisan material sensor merupakan bagian yang berinteraksi langsung dengan gas, yang reaksi elektrokimia terjadi di permukaannya. Lapisan ini terbuat dari bahan SnO_2 , yaitu bahan *metal oxide* tipe-n yang sensitif terhadap molekul – molekul gas pereduksi.

Dimensi dari lapisan ini (yang mewakili banyaknya molekul SnO_2) 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 sebagai berikut :

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

Sehingga didapat :

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

Selanjutnya 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 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 $115,92 \cdot 10^{-5}$ g CO.

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

$$\text{molCO} = \frac{\text{massaCO}}{M_{\text{CO}}} \dots\dots\dots(3.4)$$

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

Dengan mengacu pada persamaan reaksi kesetimbangan antara gas CO dan SnO₂, yang merupakan reaksi antara atom – atom O₂ di permukaan dengan molekul – molekul CO dari udara, yaitu :



Maka dapat diketahui perbandingan molaritas antara gas - gas pereduksi dan SnO₂, yaitu molaritas SnO₂ adalah 2 kali molaritas CO, sehingga :

$$molSnO_2 = 2 \times molCO \dots\dots\dots(3.6)$$

$$\begin{aligned} molSnO_2 &= 2 \times 0,00004 \text{ mol} \\ &= 0,00008 \text{ mol} \end{aligned}$$

Setelah mol SnO₂ diketahui, selanjutnya menentukan massa dari SnO₂ yaitu :

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

dengan :

$$n : \text{mol SnO}_2 = 0,00008 \text{ mol}$$

$$m : \text{massa SnO}_2 \text{ (gram)}$$

$$M : \text{Molaritas SnO}_2 = 150,7 \text{ gram/mol}$$

maka :

$$mSnO_2 = molSnO_2 \times MSnO_2 \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\begin{aligned} mSnO_2 &= 0,00008 \text{ mol} \times 150,7 \text{ g/mol} \\ &= 0.012 \text{ gram} \end{aligned}$$

Langkah selanjutnya adalah menentukan volume dari SnO₂, dengan menggunakan persamaan:

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

dengan :

ρ : density / massa jenis SnO₂ (6,95 gram/cm³)

m : massa SnO₂ (0,012 gram)

V : Dimensi / volume (satuan volume)

maka :

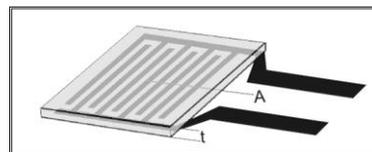
$$V = \frac{m}{\rho} \dots\dots\dots(3.8)$$

$$V = \frac{0,012g}{6,95g/cm^3}$$

$$= 0,001726cm^3$$

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

Secara umum bentuk dari lapisan sensor adalah seperti dalam Gambar 3.6



Gambar 3.6 Konstruksi Lapisan Sensor

Dari Gambar 3.6 dapat diketahui bahwa :

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

dengan :

A adalah luas permukaan lapisan sensor (cm²)

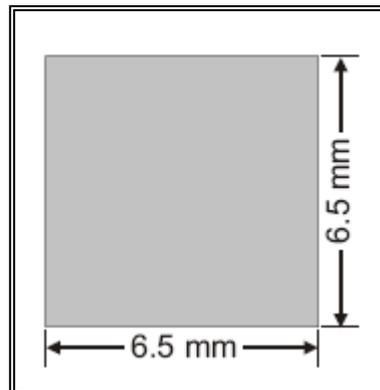
t adalah tebal permukaan lapisan sensor (50Ωm = 5.10⁻³cm).

Sehingga dapat diketahui luas permukaan lapisan sensor sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A &= V/t \\ &= 0.00172\text{cm}^3 / 0.005\text{cm} \\ &= 0.36\text{cm}^2 \end{aligned}$$

Jadi didapatkan luas permukaan lapisan sensor $0,36 \text{ cm}^2$, bisa diasumsikan sebagai $0,6 \text{ cm} \times 0,6 \text{ cm}$. Namun pada pelaksanaannya nanti, dimensi $6 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ tersebut diwakili oleh dimensi lapisan coating yang akan dibahas setelah ini. Sehingga, dimensi dari lapisan sensor diasumsikan menjadi $6.5 \text{ mm} \times 6.5 \text{ mm}$.

Sehingga dihasilkan desain *layout* seperti dalam Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Desain Layout Lapisan Sensor

Perancangan Elektroda

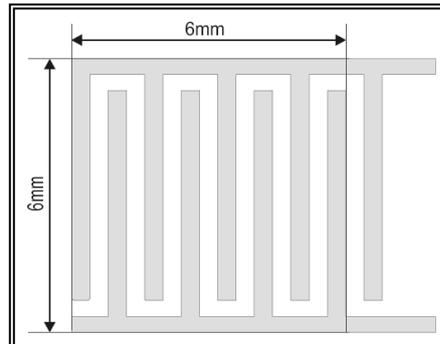
Elektroda yang digunakan pada *thick film gas sensor* pada umumnya adalah sepasang elektroda berbentuk *interdigital fingers* dari bahan *nobel metal* misalnya *Ag*. Struktur tersebut dimaksudkan untuk meminimalisasi ruang namun dapat mengoptimalkan daerah *sensing*, serta memudahkan dalam penentuan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

Adapun stuktur yang direncanakan adalah seperti dalam Gambar 3.8.



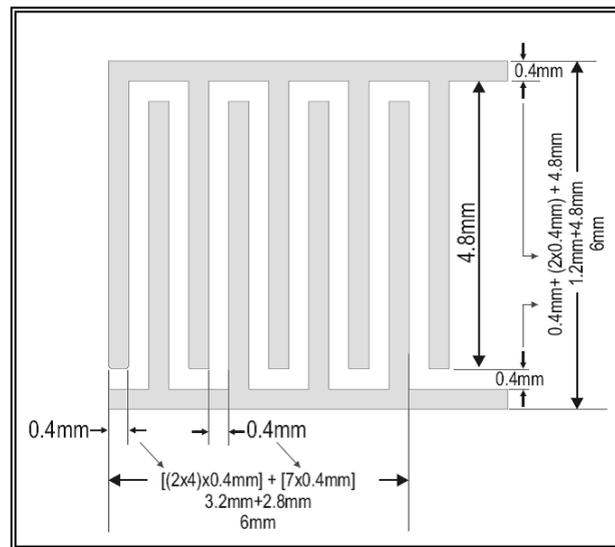
Gambar 3.8 Rencana Struktur Elektroda

Dari luasan lapisan sensor yang diperoleh dari persamaan (3.9) yaitu 6 mm x 6 mm, maka pasangan elektroda yang direncanakan haruslah memiliki luasan efektif yang sama, luasan yang dimaksud ditunjukkan dalam Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Desain Luas Efektif Elektroda

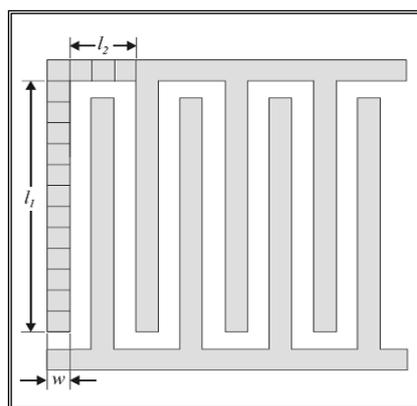
Selanjutnya dengan mengacu pada Gambar 3.9, diasumsikan bahwa masing masing jari memiliki lebar 0.4 mm, panjang 5 mm, dengan jarak antar masing-masing jari 0.4 mm. Dari asumsi - asumsi tersebut, dihasilkan elektroda yang memiliki 4 pasang *interdigitated fingers* dalam area 6 mm x 6 mm. Secara rinci dapat dilihat dalam Gambar 3.10



Gambar 3.10 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 3.9 dan Gambar 3.10, dapat dibagi menjadi bagian – bagian seperti dalam Gambar 3.11.



Gamda 3.11 Perhitungan Resistans Elektroda

Dari persamaan (2.18) dan Gambar 3.11 dapat dihitung nilai resistans 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} adalah nilai resistans elektroda efektif (Ω)

l_1 adalah panjang jalur konduktor horisontal (mm)

l_2 adalah panjang jalur konduktor vertikal (mm)

w adalah lebar jalur konduktor (mm)

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

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

Dari perancangan dalam Gambar 3.11 diketahui bahwa $l_1=4.8mm$, $l_2=1.2mm$, dan $w=0.4mm$, maka dari persamaan (3.10) didapatkan nilai resistans efektif R_{el} elektroda sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R_{el} &= 4 \times \left[\left(\frac{4.8}{0.4} + \frac{1.2}{0.4} + 0.56 \right) 20 m\Omega/square \right] \\ &= 4 \times \left[\left(12 + 3 + 0.56 \right) 20 m\Omega \right] \\ &= 4 \times \left[5.56 \times 20 m\Omega \right] \\ &= 4 \times \left[111.2 m\Omega \right] \\ &= 1244.8 m\Omega = 1.2448 \Omega \end{aligned}$$

Jadi dari perhitungan diatas didapatkan nilai resistans efektif masing – masing elektroda sebesar 1.2448 Ω .



Gambar 3.12 Desain *Layout* Elektroda Sensor

Adapun bentuk elektroda (Interdigital Finger) dirancang seperti gambar 3.12 karena mempertimbangkan agar meminimalisasi ruang dan memaksimalkan daerah sensing. Hal ini dapat dihubungkan dengan waktu transit elektron. $W_t = L/\mu E$. Dimana L adalah jarak antar finger, μ adalah mobilitas pembawa muatan yang berhubungan dengan karakteristik bahan semikonduktor (SnO_2), dan E adalah medan listrik /tegangan yang diberikan (dalam hal ini diharapkan tegangan yang diberikan kecil agar konsumsi dayanya rendah).

Pada elektroda ini terjadi persambungan logam (Ag) dengan bahan semikonduktor (SnO_2) yang menimbulkan kapasitansi. Kapasitansi dipasang seri sehingga mengakibatkan kapasitansinya berkurang, maka desain jarak antar finger dipasang saling berdekatan untuk meminimalisasi ruang.

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 (T_{CR} , 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)

T_{CR} : *Temperature Coefficient Resistance* (3600)

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 :

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

Dengan demikian sesuai persamaan (2.19), nilai resistans *heater* pada suhu operasi (R_H) adalah :

$$\begin{aligned} R_H &= V/I \\ &= 3V/1A \\ &= 3\Omega \end{aligned}$$

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

Selanjutnya dengan menentukan nilai *TCR* dari *data sheet* ($TCR=3600$ ppm/ $^{\circ}C$), temperatur awal ($T_C = 25^{\circ}C$), dan temperatur operasi ($T_H = 300^{\circ}C$), serta memasukkan nilai R_H hasil persamaan (2.20) ke persamaan (2.21), maka akan didapat nilai resistans *heater* pada suhu acuan (R_C).

Seperti dijelaskan pada Bab 2, persamaan (2.20) adalah sebagai berikut:

$$T_{CR} = \frac{R_H - R_C}{R_C \times (T_H - T_C)} \times 10^6$$

dengan :

T_{CR} : *Temperature Coefficient Resistance*

R_H : Resistans pada suhu operasi (Ω)

R_C : Resistans pada suhu acuan (Ω)

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

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

$$3600 = \frac{[3\Omega - R_C] \times 10^6}{R_C \times [100^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}]} \dots\dots\dots(3.12)$$

$$\frac{3600}{10^6} = \frac{3 - R_C}{75R_C}$$

$$0.99R_C = 3 - R_C$$

$$1.99R_C = 3$$

$$R_C = 1.50\Omega$$

Setelah nilai R_C didapat, maka dapat ditentukan dimensi dari *heater*, yaitu

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

dengan :

R_s : nilai lembar resistans = $20 \text{ m}\Omega/\text{sq}$,

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

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

maka sesuai persamaan (2.20), panjang konduktor *heater* (l) dapat ditentukan, sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 R_c &= R_s \frac{l}{w} \\
 1.5\Omega &= 20m\Omega \frac{l}{0.4mm} \\
 \frac{1.5\Omega}{20 \cdot 10^{-3}\Omega} &= \frac{l}{0.4mm} \\
 l &= 75 \times 0.4mm \\
 &= 30mm \\
 &= 3cm
 \end{aligned}$$

Jadi *heater* yang dibuat memiliki panjang 3 cm, dibentuk menyerupai spiral dalam luas area maksimum 1 cm². Ditentukan 1 cm² dimaksudkan supaya *heater* dapat mencakup seluruh bagian elektroda di sisi baliknya.

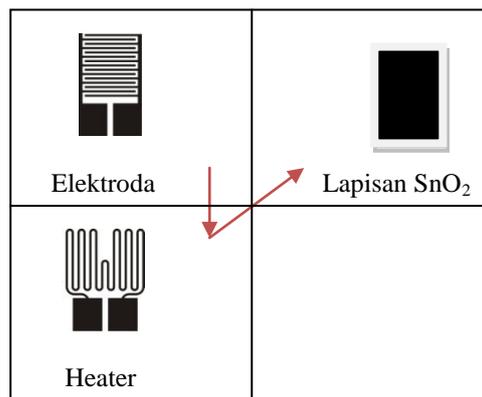
Dari persamaan (2.22) dihasilkan nilai $R_c = 1.5\Omega$, nilai ini hanya nilai resistansi dari elemen *heater* (bagian yang berbentuk spiral), belum ditambah dengan nilai R kaki – kaki.

Perhitungan nilai R *heater* menjadi :

$$R = R_c + R_{kaki} \dots \dots \dots (3.13)$$

$$\begin{aligned}
 R &= 1.5\Omega + 4 \times \Sigma square \overline{R_s} \\
 &= 1.5\Omega + 4 \times 2 \overline{R_s} \\
 &= 1.5\Omega + (4 \times 20m\Omega) \\
 &= 1.5\Omega + 80m\Omega \\
 &= 1.58\Omega
 \end{aligned}$$

Sehingga dihasilkan desain *layout* seperti dalam Gambar 3.13.



Gambar 3.14 Keseluruhan *ortho-film* Sensor

3.4.3 Proses Pembuatan Sensor dan Pabrikasi sensor

A. Pembuatan *Screen*

Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan pada proses penelitian 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 3.15.



Gambar 3.15 Ulano 133

5. Ulano 5, adalah bahan berupa emulsi berfungsi sebagai pembersih *screen* dari bekas pembuatan *screen* sebelumnya seperti tampak dalam Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Ulano 5

6. Ulano 23, adalah bahan berupa emulsi pembersih *screen* dari kotoran lemak atau minyak seperti tampak dalam Gambar 3.17.



Gambar 3.17 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 3.18.



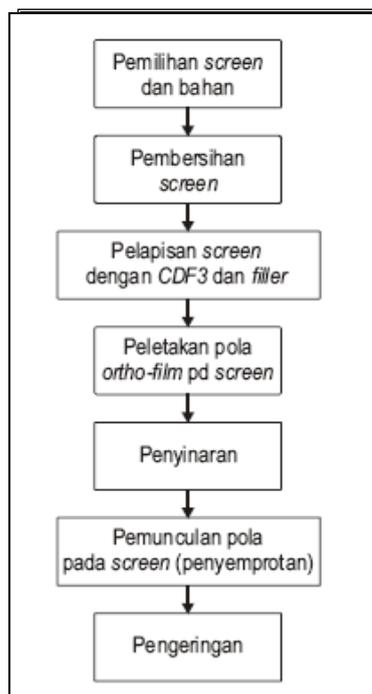
Gambar 3.18 *Screen Maker 3000T* Richmond

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 yaitu masker untuk konduktor, heater, dan lapisan sensor.

Secara sistematis, proses pembuatan *screen* dapat dilihat dalam Gambar 3.19



Gambar 3.19 Langkah – Langkah Proses Pembuatan Screen

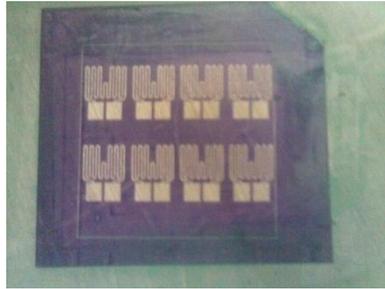
Screen yang digunakan adalah dari bahan *stainless steel* berukuran 20 cm x 20 cm dengan kerapatan (*mesh*) 325. Sebagai langkah awal, *screen* dibersihkan dari bekas pembuatan *screen* sebelumnya dengan menggunakan pelarut emulsi *ulano 5*. Setelah *screen* dalam kondisi bersih dan kering, selanjutnya 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 3.18. 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 raket, 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 3.20.



Gambar 3.20 Screen Yang Sudah Berpola

B. Pembuatan *Heater* dan Elektroda

Bahan dan Peralatan

Bahan dan peralatan yang digunakan dalam proses ini adalah:

1. Pasta

Pasta yang digunakan merupakan pasta konduktor dari bahan perak (*Ag*) dengan nilai lembar resistans (*Rs*) sebesar $20 \text{ m}\Omega/\text{sq}$. Dalam penelitian ini digunakan pasta perak karena harganya murah, daya lekatnya tinggi, mudah disolder, dan memiliki konduktifitas listrik yang baik. Gambar pasta dapat dilihat dalam Gambar 3.21.



Gambar 3.21 Pasta Konduktor Perak

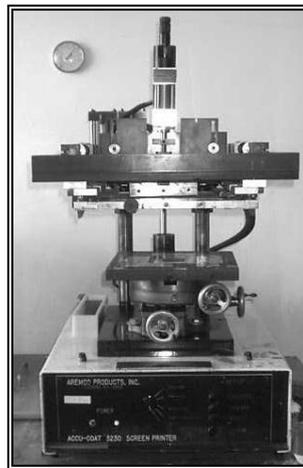
2. Substrat

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

cm x 5 cm dengan ketebalan 0.7 mm karena alumina memiliki kekuatan mekanik yang baik, tahan pada suhu tinggi, bersifat inert, merupakan isolator elektrik yang baik, konstanta dielektrik nya rendah (menghindari efek kapasitas parasitic), dan memiliki daya hantar termal yang tinggi.

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 tipe *Accu Coat 3230 Ossining NY 10562* produksi *Aremco Product Inc*, seperti tampak dalam Gambar 4.24.



Gambar 3.22 *Screen Printer* Accu Coat 3230 Ossining NY 10562

4. Oven

Oven digunakan sebagai pengering setelah proses pencetakan yang dapat diatur suhu dan lamanya pengeringan, seperti dalam Gambar 3.23.



Gambar 3.23 Oven Pengering

5. Tungku Pembakaran (*belt furnace*)

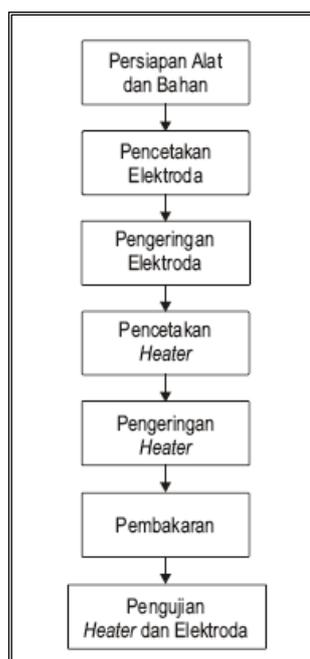
Tungku pembakaran melakukan proses pemanggangan dengan suhu dan waktu pemanggangan yang bisa deprogram sesuai dengan karakter pasta. Profil suhu tungku pembakaran terbagi menjadi tiga bagian yaitu Daerah pemanasan awal (*Preheat Zone*), daerah panas (*Hot Zone*), dan daerah pendinginan (*Cooling Zone*). Jenis tungku yang digunakan adalah *Conveyor Belt Furnace* RTC LA-310, seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.24.



Gambar 3.24 *Conveyor Belt Furnace* RTC LA-310

Proses Pabrikasi *Heater* dan Elektroda

Langkah – langkah yang dilakukan dalam proses ini dapat dijelaskan dalam Gambar 3.25.



Gambar 3.25 Langkah – Langkah Proses Pabrikasi Heater dan Elektroda

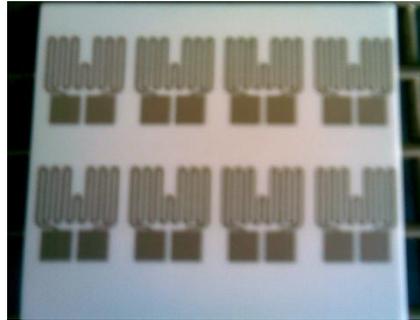
Langkah selanjutnya adalah proses pencetakan, lapisan pertama yang dicetak adalah elektroda. *Screen* dengan pola elektroda diatur sedemikian rupa pada *screen printer* sehingga pola elektroda yang akan dicetak berada pada posisi yang tepat diatas bidang permukaan substrat. Selanjutnya dilakukan pengaturan jarak *snap-off* dan tekanan rakel pada *screen printer*. Setelah itu dilakukan proses pencetakan dengan pasta konduktor dari bahan emas. Nama produk pasta yang digunakan adalah pasta perak, seperti tampak dalam Gambar 3.21.

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. 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*. Gambar tungku pembakaran bisa dilihat dalam Gambar 3.24. 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 3.26.



Gambar 3.26 Hasil Pembakaran Lapisan Heater

C. Pelapisan SnO₂

Bahan dan Peralatan

Proses selanjutnya adalah pelapisan lapisan sensor SnO₂, adapun bahan dan peralatan yang digunakan adalah:

1. Masker

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

2. Serbuk SnCl₂

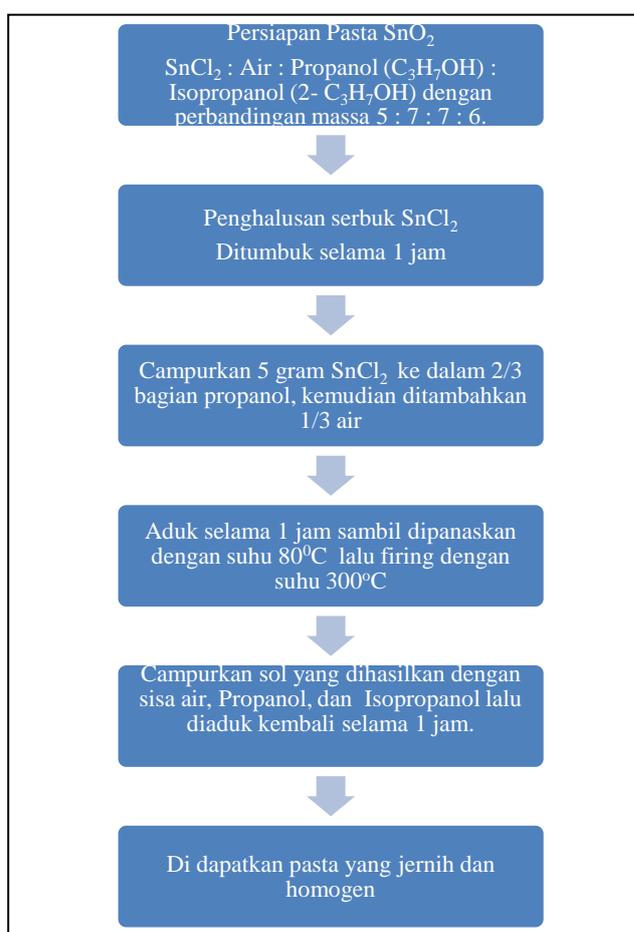


Gambar 3.27 Bahan Lapisan Material Sensor (SnCl₂)

3. Cairan Propanol, Isopropanol dan air sebagai bahan preparasi pasta SnO₂.

4. *Screen printer*, *screen printer* yang digunakan tetap sama seperti yang digunakan pada proses sebelumnya, yaitu *Accu Coat 3230 Ossining NY 10562* produksi *Aremco Product Inc.*
5. Alat Penggerus

Pembentukan Pasta SnO₂



Gambar 3.28 Diagram pembentukan Pasta SnO₂

Preparasi pasta SnO₂ dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan bahan-bahan dengan komposisi campuran SnCl_2 : Air : Propanol ($\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$) : Isopropanol (2- $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$) dengan perbandingan massa 5 : 7 : 7 : 6.
2. Mula – mula SnCl_2 dihaluskan dengan cara ditumbuk selama 1 jam.
3. Masukkan serbuk SnCl_2 ke dalam $\frac{2}{3}$ bagian propanol, kemudian ditambahkan $\frac{1}{3}$ air sambil diaduk selama 1 jam sambil dipanaskan dengan suhu 80°C untuk proses prehidrolisis larutan Sn. Kemudian di firing dengan suhu 300°C .
4. Selanjutnya sol yang dihasilkan dicampur dengan sisa air, Propanol, dan Isopropanol lalu diaduk kembali selama 1 jam sehingga dihasilkan pasta yang jernih dan homogen.

Proses Pabrikasi Lapisan SnO_2

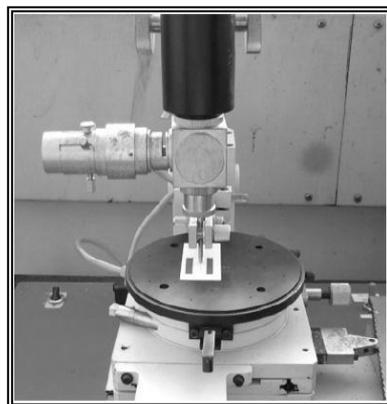
Langkah pertama dalam proses ini ialah mengatur masker lapisan sensor pada screen printer sehingga nantinya lapisan material sensor bisa tercetak tepat diatas lapisan elektroda. Pengaturan juga dilakukan pada tekanan rakel sesuai dengan ketebalan lapisan yang diinginkan.

Langkah selanjutnya adalah proses pencetakan. Lapisan material sensor (SnO_2) yang berupa serbuk dilarutkan terlebih dahulu dengan cairan propandiol hingga berubah menjadi pasta, sehingga bisa dilapiskan pada substrat menggunakan *screen printer*.

Setelah proses pencetakan, hasil pencetakan tidak perlu lagi dibakar seperti pada proses *heater* dan *elektroda*, namun cukup hanya dengan dikeringkan pada suhu 150°C.

Proses Pemotongan Substrat dan Pemasangan Kaki – Kaki Sensor

Peralatan yang digunakan untuk memotong substrat adalah berupa sebuah alat pemotong substrat manual seperti tampak dalam Gambar 3.29. 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 3.29 Alat Pemotong Substrat

Hasil Akhir Proses Pabrikasi Divais Sensor

Hasil akhir dari keseluruhan proses pabrikasi, dapat dilihat dalam Gambar 3.30.



Gambar 3.30 Hasil Akhir Sensor Gas dibandingkan dengan alat tulis

3.4.4 Pengujian Sensor

A. Tujuan Pengujian

1. Mengetahui bagaimana pengaruh perubahan konsentrasi gas CO resistansi sensor SnO_2 .
2. Mengetahui bagaimana pengaruh temperatur operasional terhadap resistansi sensor.

B. Peralatan dan Bahan

- Sumber arus searah (*Kenwood Regulated Power Supply* tipe PD18-30AD).
- Multimeter digital (*Sanwa Digital Multimeter* PC100)
- Thermometer digital (*Lutren TM-914C*).
- Chamber
- Tabung Gas CO

B. Prosedur Pengujian

Pengujian Perubahan Resistansi Sensor Terhadap Temperatur



Gambar 3.31 Pengujian Perubahan Resistansi Sensor terhadap temperatur

- Rangkaian pengujian disusun seperti dalam Gambar 3.31 Sumber arus searah diberikan untuk menghasilkan panas pada heater yang selanjutnya merubah resistans sensor.
- Masukkan *heater* berupa arus searah sebesar 1.3 A.
- Dengan memvariasikan suhu kerja dimulai dari 100-180⁰C didapatkan perubahan pada resistansi sensor.

Pengujian perubahan Resistansi sensor terhadap perubahan konsentrasi gas CO

- Rangkaian pengujian disusun seperti dalam Gambar 3.32 Sumber arus searah diberikan sebesar 1.3 A.
- Nilai temperatur awal (T_c) diukur pada temperatur ruangan saat pengujian, dan pada udara bersih (tanpa gas CO).
- Resistansi awal (R_o) diukur ketika dalam udara bersih (tanpa gas CO).

- Interval gas CO adalah 250 ppm-1250 ppm.
- Dengan memvariasikan konsentrasi gas antara 250 ppm-1250 ppm didapatkan perubahan resistansi sensor.



Gambar 3.32 Pengujian Tanggapan Sensor Terhadap Rangsangan Gas

3.4.5 Alat Karakterisasi

Pada penelitian ini dilakukan analisis untuk mengetahui struktur Kristal dengan X-RD (X-Ray Diffraction). Untuk mengetahui komposisi senyawa yang terbentuk dengan menggunakan EDS (Elektron Diffraction Spectroscopy) dan morfologi Kristal dengan SEM (Scanning Electron Mikroskopik) dengan merk JEOL JSM 6360 LA.