

RANCANG BANGUN SISTEM OKSIDASI LAPISAN TIPIS SEMIKONDUKTOR OKSIDA LOGAM UNTUK SENSOR GAS CO

Bambang Herlambang

Puslit KIM-LIPI Puspiptek Serpong Banten
e-mail: bambangherlambang@yahoo.com

ABSTRACT

In this research, manufacture of oxidation system for oxidation process of metal thin film has been done. This process is required to obtain metal oxide semiconductor which can be used as CO sensor. The system comprises furnace, temperature sensor, temperature controller, O₂ gas tube, and flow meter. The system developed was then tested to know its performances by observing its temperature conditioning and controlling ability the furnace. The data processing results show that the value shown by the K thermocouple and digital temperature transducers can be stated with equation $y = 0.9974x - 1.4339$ where x is the value shown by type K thermocouple and y is the value shown by digital temperature transducers, while standard error is 2.24%. X-Ray analysis on Sn thin film samples that were oxidized for 12 and 24 hours at 400°C show that SnOx contents increase with increasing of oxidizing duration. Samples oxidized for 24 hours has little increasing of SnOx content than sample with oxidation for 12 hours due to oxidation saturation occurred on thin film surface.

Keywords: Oxidation; Thin films; Metal oxide semiconductors; and CO gas sensor.

PENDAHULUAN

Semikonduktor oksida logam merupakan material yang kini banyak diteliti untuk digunakan sebagai sensor gas. Hal ini disebabkan ketersediaan yang melimpah, harga yang relatif murah, dan respons yang cukup baik terhadap gas pereduksi.¹⁻³ Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menumbuhkan lapisan tipis semikonduktor oksida logam seperti teknik CSVT, *flash evaporation*, dan CVD.

Hasil penumbuhan lapisan tipis tersebut masih berupa logam. Untuk memperoleh lapisan oksida logam, perlu dilakukan proses oksidasi terhadap lapisan tipis yang telah dibuat. Proses oksidasi tersebut dilakukan pada temperatur yang berbeda-beda tergantung pada material yang digunakan. Lapisan tipis yang telah dibuat diletakkan dalam tungku pemanas dengan temperatur yang cukup tinggi selama beberapa waktu tertentu. Selama proses pemanasan dialirkan gas O₂ untuk mengoksidasi lapisan logam tersebut hingga diperoleh lapisan tipis oksida logam. Adakalanya proses tersebut dilakukan dalam

jangka waktu beberapa hari untuk memperoleh hasil oksidasi yang lebih baik. Untuk mengetahui adanya oksidasi perlu dilakukan analisis mikroskopis dengan X-Ray.

Sistem oksidasi lapisan tipis semikonduktor oksida logam masih jarang diproduksi di dalam negeri sehingga harus diimpor dari luar negeri. Untuk itu, dirasakan perlu untuk dilakukan fabrikasi di dalam negeri sehingga tidak perlu selalu tergantung kepada negara lain.

Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan sistem oksidasi lapisan tipis semikonduktor oksida logam dengan menggunakan bahan dan peralatan yang mudah diperoleh di pasaran. Sistem oksidasi tersebut dirancang untuk temperatur oksidasi hingga 1.000°C sehingga mampu mengoksidasi hampir semua bahan semikonduktor oksida logam.

Pembuatan Sistem Oksidasi

Dalam pembuatan sensor gas CO dari material semikonduktor oksida logam dengan metode

evaporasi maka diperlukan sistem oksidasi untuk mengubah lapisan tipis logam menjadi lapisan oksida logam. Sistem oksidasi ini terdiri atas beberapa bagian utama, yaitu sistem pemanas, tabung oksidasi, sistem pengaturan aliran gas, dan sistem kontrol temperatur. Pembuatan bagian-bagian utama tersebut akan dijelaskan lebih detail pada bagian berikut.

Pembuatan Sistem Pemanas

Sistem pemanas diperlukan untuk memanaskan sampel yang akan dioksidasi dengan tujuan untuk mempercepat proses oksidasi lapisan logam.^{1,2} Temperatur yang dibutuhkan untuk proses oksidasi material logam minimal 100°C. Lamanya proses pemanasan umumnya membutuhkan waktu minimal selama 12 jam. Oleh karena itu, sistem pemanas yang dibuat harus mampu memenuhi kebutuhan tersebut.

Dalam penelitian ini sistem pemanas terbuat dari alumina yang dikelilingi kawat pemanas pada bata tahan api dan diisolasi dengan *glass wool*, kemudian dibungkus dengan pelat besi. Elemen kawat pemanas terbuat dari nikelin dengan diameter 0,7 mm dan panjang 10 m. Kawat ini digulung dengan diameter 5,5 mm. Hambatan total kawat adalah sebesar 55 ohm. Kawat pemanas ini mampu memanasi tungku hingga temperatur 1.000°C dan arus yang mengalirinya sebesar 4 A pada tegangan 220 V. Skema lilitan kawat dengan terminal sumber arus yang digunakan sebagai pemanas dapat dilihat pada Gambar 1. Adapun skema tungku pemanas diperlihatkan pada Gambar 2.

Pembuatan Sistem Kontrol Temperatur

Sistem kontrol temperatur diperlukan untuk mengeset dan menstabilkan temperatur dalam tungku pemanas. Sistem kontrol ini terdiri atas sensor temperatur termokopel tipe K chromel-alumel, pengontrol PID Auto Tuning, dan *solid state relay*. Sensor temperatur diletakkan pada krusibel untuk mendeteksi temperatur sampel. Sensor ini dihubungkan dengan pengontrol PID Auto Tuning. Pada komponen ini terdapat tombol untuk menngeset temperatur. Tampilan temperatur dalam bentuk digital sehingga memudahkan operator dalam mengeset temperatur. Pengontrol ini dihubungkan dengan kawat pemanas dan

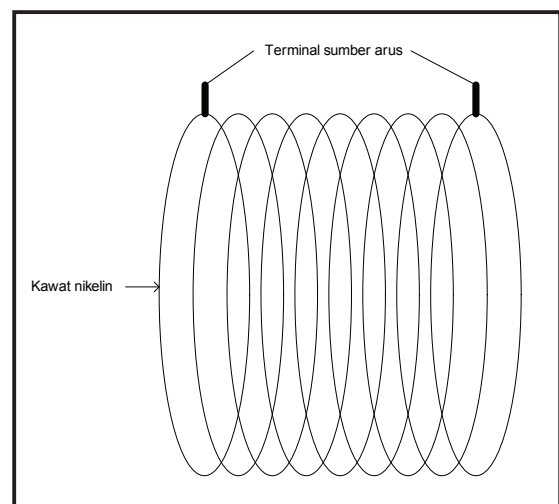
jala-jala listrik 220 V. Untuk pengaman sistem kelistrikan digunakan *solid state relay*.

Cara kerja sistem ini adalah sebagai berikut.

Operator mengeset temperatur tungku pemanas pada pengontrol PID Auto Tuning. Pengontrol akan mendeteksi temperatur dalam tungku pemanas. Bila temperatur tungku di bawah temperatur seting maka pengontrol akan mengalirkan arus ke kawat pemanas. Namun bila temperatur tungku di atas temperatur seting maka pengontrol akan memutus aliran arus listrik ke kawat pemanas. Begitu seterusnya hingga temperatur dalam tungku pemanas stabil pada nilai temperatur seting. Skema rangkaian pengontrol temperatur yang digunakan pada sistem oksidasi dapat dilihat pada Gambar 3.

Pembuatan Tabung Oksidasi

Tabung oksidasi digunakan sebagai tempat untuk meletakkan krusibel, saluran gas masuk, dan saluran gas keluar. Pada tutup tabung oksidasi terdapat saluran gas dan gagang tempat krusibel, sedangkan saluran pembuangan menyatu dengan badan tabung gelas. Tutup dan saluran pembuangan tabung oksidasi terbuat dari gelas, sedangkan bodi tabung terbuat dari alumina. Gagang krusibel juga digunakan untuk meletakkan kawat termokopel dengan ujung kawat diletakkan pada bagian tengah krusibel, sedangkan ujung lainnya ke pengontrol temperatur. Skema tabung oksidasi yang dibuat untuk sistem oksidasi diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 1. Terminal Sumber Arus pada Kawat Nikelin yang Digunakan Sebagai Pemanas

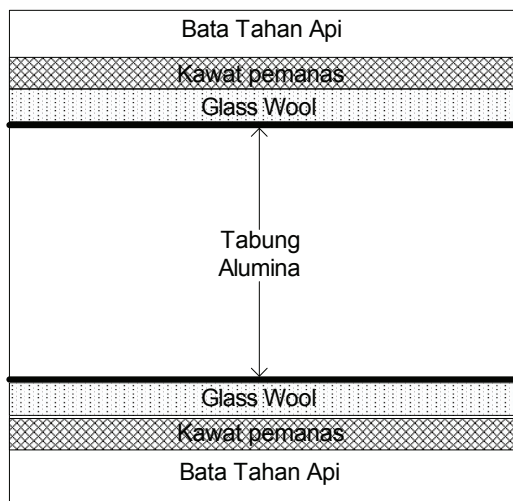
Pembuatan Sistem Pengaturan Aliran Gas

Sistem pengaliran gas berfungsi untuk mengalirkan gas O_2 ke dalam tungku pemanas. Sistem ini terdiri atas tiga komponen, yaitu tabung gas O_2 , regulator, dan *flow meter*. Gas O_2 yang digunakan adalah gas oksigen dengan kemurnian tinggi. Tabung gas ini dilengkapi dengan regulator gas berupa rotameter pada tabung gas O_2 . Kecepatan aliran gas diatur menggunakan *flow meter* berupa tabung pipa U. Untuk memudahkan proses pengamatan maka tabung pipa U diisi dengan fluida metanol 80% yang diberi zat pewarna. Dalam penelitian ini pewarna metanol yang digunakan adalah merah.

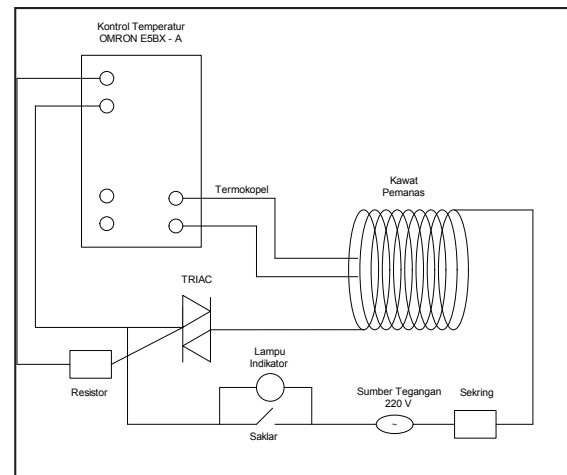
Cara kerja sistem ini adalah sebagai berikut: Untuk mengalirkan gas ke dalam tungku pemanas, tabung gas dibuka dengan memutar rotameter tabung. Kecepatan aliran gas diatur

dengan mengamati perbedaan tinggi permukaan cairan pada kedua kaki tabung pipa U. Semakin besar perbedaan tinggi cairan maka semakin tinggi kecepatan aliran. Gas kemudian mengalir memasuki tungku pemanas untuk mengoksidasi sampel dan keluar melalui saluran pembuangan menuju udara bebas. Dengan mempertimbangkan faktor keselamatan maka saluran pembuangan dilengkapi dengan *bubler* berisi oli untuk mengurangi tingkat konsentrasi gas. Skema sistem aliran gas pada sistem oksidasi dapat dilihat pada Gambar 5.

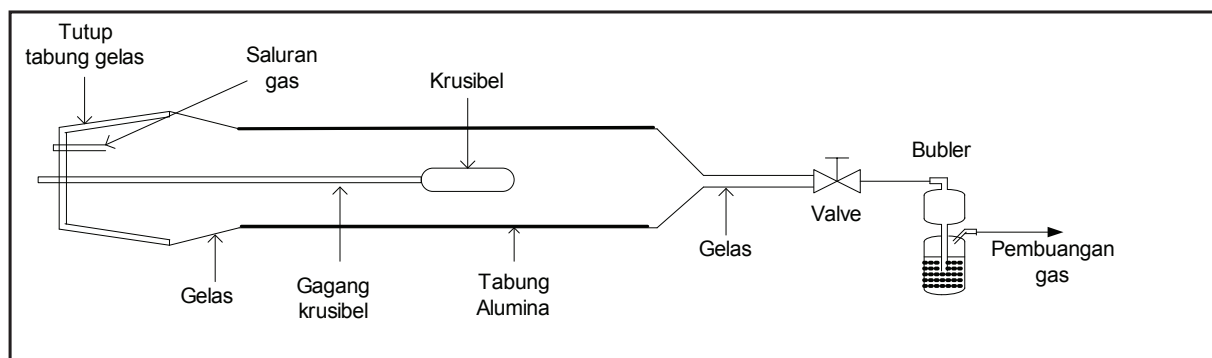
Venturimeter merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran fluida.⁴⁻⁶ Alat ini pada dasarnya terdiri atas saluran dengan luas penampang yang berbeda dan pipa berbentuk U berisi cairan yang berbeda dari fluida yang diukur. Skema venturimeter ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 2. Skema Tungku Pemanas dengan Lilitan Kawat Pemanas



Gambar 3. Skema Sistem Pengontrol Temperatur yang Digunakan pada Sistem Oksidasi



Gambar 4. Tabung Oksidasi dengan Krusibel dan Saluran Pembuangan

Kecepatan aliran fluida dalam pipa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$v = A_2 \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h (\rho' - \rho)}{\rho (A_1^2 - A_2^2)}} \quad (1)$$

dengan:

v : kecepatan fluida pada pipa yang besar (m/s)

h : beda tinggi cairan pada manometer (m)

A_1 : luas penampang pipa yang besar (m²)

A_2 : luas penampang pipa yang kecil (pipa manometer) (m²)

ρ : massa jenis cairan (fluida) yang mengalir pada pipa besar (kg/m³)

ρ' : massa jenis cairan (fluida) pada manometer (kg/m³)

Sistem Oksidasi Lengkap

Bagian-bagian utama tersebut di atas kemudian diintegrasikan menjadi suatu sistem oksidasi yang lengkap untuk mengoksidasi lapisan logam menjadi lapisan oksida logam. Selengkapannya sistem oksidasi hasil integrasi ini dapat dilihat pada Gambar 7.

KARAKTERISASI SISTEM OKSIDASI

Pengujian dilakukan dengan membandingkan temperatur hasil pengukuran termokopel tipe K dengan transduser temperatur digital yang telah dikalibrasi. Temperatur tungku pemanas diset pada 200°C–900°C. Hasil pengukuran kemudian diolah menggunakan metode regresi linier yang terdapat pada program aplikasi MS Excel.⁶⁻⁹ Langkah pertama adalah membuat plot hubungan nilai temperatur terukur dengan nilai

temperatur sebenarnya. Kemudian, dibuat garis regresi linier pada plot grafik tersebut. Dari garis regresi linier yang diperoleh dapat dibuat persamaan matematis hubungan nilai temperatur terukur dengan nilai temperatur sebenarnya.

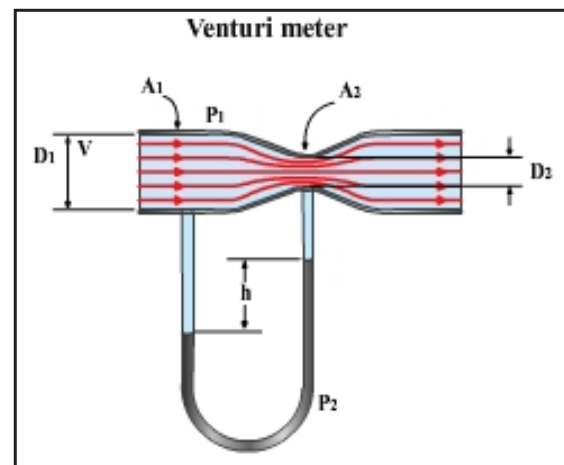
Hubungan regresi linier dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$y = ax + b \quad (2)$$

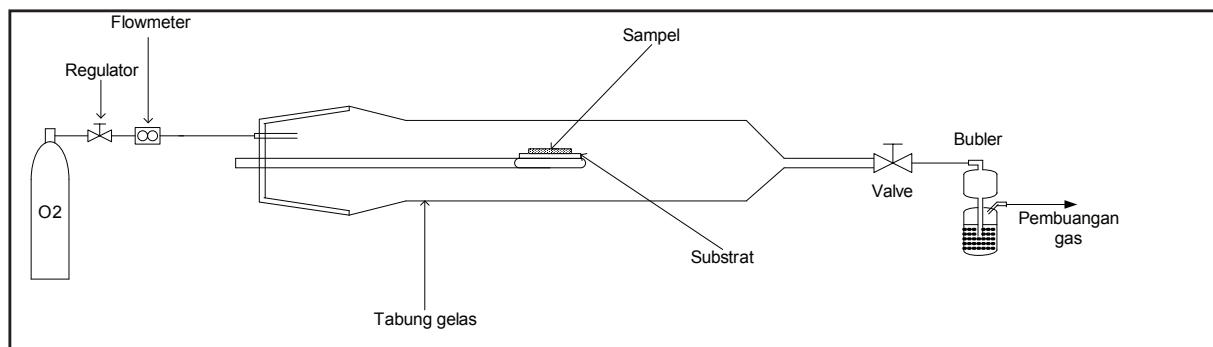
dengan a dan b dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$a = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (3)$$

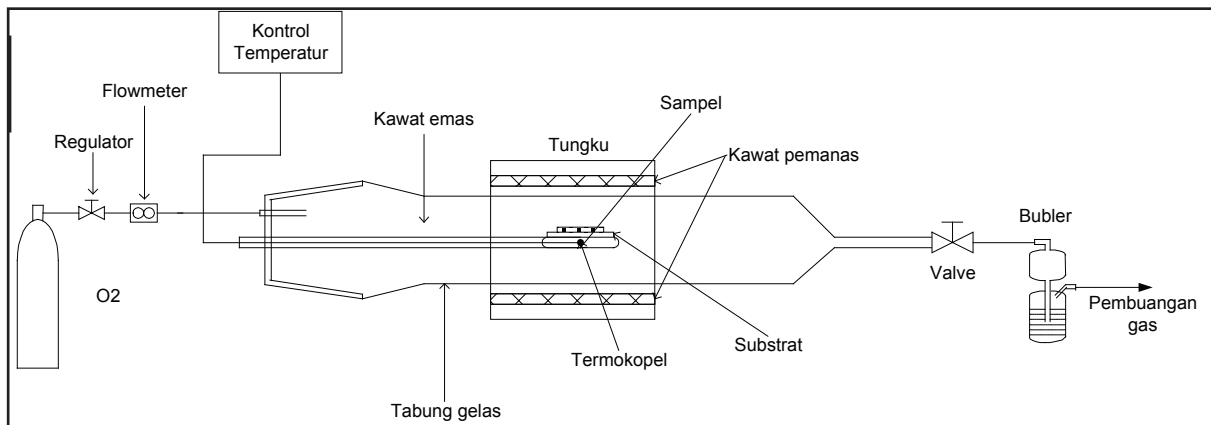
$$b = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (4)$$



Gambar 6. Venturimeter Untuk Mengukur Kecepatan Aliran Fluida



Gambar 5. Skema Instalasi Sistem Pengaturan Aliran Gas pada Tabung Oksidasi



Gambar 7. Skema Lengkap Sistem Oksidasi Lapisan Tipis Semikonduktor Oksida Logam

Dengan menggunakan fasilitas pada program tersebut juga dapat dihitung kesalahan pengukuran standar, S_{y-x} , dengan metode standar kesalahan regresi linier yang dirumuskan sebagai berikut :

$$S_{y-x} = \sqrt{\left[\frac{1}{n(n-2)} \right] \left[n\sum y^2 - (\sum y)^2 - \frac{[n\sum xy - (\sum x)(\sum y)]^2}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \right]}$$

dengan x dan y merupakan data variabel dan n merupakan jumlah data.

Sistem ini juga diuji untuk mengoksidasi lapisan tipis Sn yang dibuat dengan metode evaporasi pada substrat alumina. Proses oksidasi dilakukan pada temperatur 400°C selama 12 dan 24 jam. Hasilnya kemudian dianalisis menggunakan difraksi sinar X. Hal yang dianalisis adalah kandungan Sn dan SnOx pada sampel kemudian dibandingkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem oksidasi yang telah dibuat kemudian diuji untuk mengetahui kinerjanya. Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan sistem tersebut pada rentang temperatur 200–900°C. Hal yang perlu diperhatikan adalah tingkat kesalahan pengukuran temperatur, pengaturan aliran gas, transfer panas pada tungku pemanas, dan kontrol temperatur. Sistem tersebut juga diuji untuk mengoksidasi sampel suatu lapisan tipis Sn yang dibuat dengan metode evaporasi cepat. Selengkapnya hal-hal tersebut akan dibahas pada bagian berikut.

Kesalahan Pengukuran Temperatur

Pengukuran temperatur dalam tungku oksidasi dilakukan dengan menggunakan sensor termokopel tipe K dan transduser temperatur digital. Rentang pengukuran yang digunakan adalah 200°C–900°C. Hasil pengukuran temperatur dengan termokopel tipe K dan transduser temperatur digital ditunjukkan pada Tabel 1.

Data hasil pengukuran temperatur yang diperoleh diplot dalam bentuk grafik untuk mendapatkan pola hubungan regresi linier. Grafik plot hasil pengukuran temperatur dengan

Tabel 1. Data Pengukuran Temperatur dengan Termokopel Tipe K dan Transduser Temperatur Digital

Termokopel Tipe K (°C)	Transduser Temperatur Digital (°C)
200,0	198,3
250,0	248,4
300,0	296,7
350,0	347,8
400,0	397,6
450,0	448,6
500,0	497,4
550,0	548,8
600,0	597,3
650,0	648,2
700,0	687,4
750,0	748,5
800,0	795,8
850,0	848,7
900,0	897,6

termokopel tipe K dan transduser temperatur digital diperlihatkan pada Gambar 8.

Persamaan regresi linier antara hasil pengukuran temperatur dengan termokopel tipe K dan transduser digital dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (1). Persamaan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$y = 0.9974x - 1.4339 \quad (6)$$

dengan x adalah hasil pengukuran termokopel tipe K dan y adalah hasil pengukuran transduser temperatur digital.

Dengan menggunakan persamaan 5 dapat dihitung nilai kesalahan standar regresi linier yaitu sebesar $\pm 2,86\%$. Kesalahan pengukuran disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut¹⁰⁻¹² yaitu isolasi tungku pemanas yang kurang sempurna sehingga ada kalor pemanasan yang keluar dari tungku dan adanya turbulensi udara aliran gas O_2 sehingga terjadi perbedaan kondisi udara yang diukur oleh kedua alat ukur yang digunakan.

Pengaturan Kecepatan Aliran Gas

Proses pengaturan kecepatan aliran gas dilakukan dengan cara mengatur bukaan rotameter pada tabung gas dengan mengamati perbedaan ketinggian cairan pada kedua kaki pipa U. Proses pengamatan lebih mudah dengan menggunakan cairan pewarna pada cairan alkohol. Penggunaan *flow meter* pipa U ini memberikan beberapa keuntungan, yaitu lebih ekonomis, sederhana dalam pengoperasian dan perawatan, serta respon yang cukup baik terhadap kecepatan aliran gas. Beberapa kelemahan penggunaan *flow meter* pipa

U yaitu membutuhkan pengamatan yang cermat dan berkurangnya cairan alkohol dalam pipa U.

Selama proses pengujian pengamatan perbedaan ketinggian cairan dapat dilakukan dengan mudah karena penggunaan cairan yang berwarna merah pada alkohol pengisi pipa U. Semakin gelap warna cairan maka pengamatan ketinggian cairan menjadi lebih mudah. Namun, seiring dengan meningkatnya frekuensi pemakaian maka volume cairan pipa U menjadi berkurang karena penguapan dan menempelnya cairan pada dinding bagian dalam pipa U. Untuk mengatasi hal ini, perlu ditambahkan cairan serupa hingga pada ketinggian yang dibutuhkan.

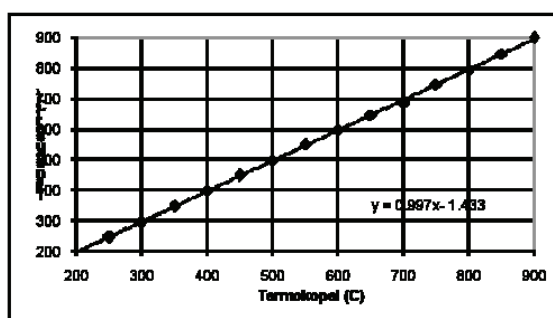
Sistem Kontrol Temperatur

Sistem kontrol temperatur yang digunakan pada penelitian ini bekerja cukup baik. Hal ini dapat dilihat dari kemampuan pendeteksian dan kestabilan temperatur dalam tungku pemanas. Pengesetan dapat dilakukan dengan mudah menggunakan tombol yang disediakan. Nilai temperatur ditampilkan dalam bentuk digital dengan ukuran yang cukup sehingga memudahkan operator dalam mengamati temperatur. Ada dua data temperatur yang ditampilkan yaitu temperatur *setpoint* dan pengukuran dalam tungku pemanas.

Proses stabilisasi temperatur juga dapat dilakukan pengontrol dengan baik sehingga temperatur dalam tungku dapat dijaga konstan. Proses pemutusan dan pengaliran arus listrik tidak menimbulkan masalah pada sistem kelistrikan. Adapun *solid state relay* digunakan sebagai pengaman bila terjadi pemadaman listrik secara mendadak yang dapat mengakibatkan kerusakan pada pengontrol.

Transfer Panas Pada Tungku Pemanas

Transfer panas pada tungku pemanas harus dibuat sedemikian rupa agar proses tersebut dapat terjadi tanpa hambatan demi efisiensi energi listrik. Tungku pemanas harus mampu mengisolasi panas yang dihasilkan oleh kawat pemanas sehingga rugi-rugi panas dapat ditekan seminimal mungkin. Dengan demikian, temperatur *setpoint* yang lebih tinggi dapat lebih mudah tercapai. Penggunaan bata tahan api dan *glass*



Gambar 8. Plot Regresi Linier Hasil Pengukuran Temperatur dengan Termokopel Tipe K dan Transduser Temperatur Digital

wool memiliki peran yang sangat penting dalam usaha mengisolasi panas yang dihasilkan. Kedua material tersebut memiliki dua karakteristik utama, yaitu mampu mengisolasi panas dalam tungku pemanas dan tahan terhadap temperatur tinggi.

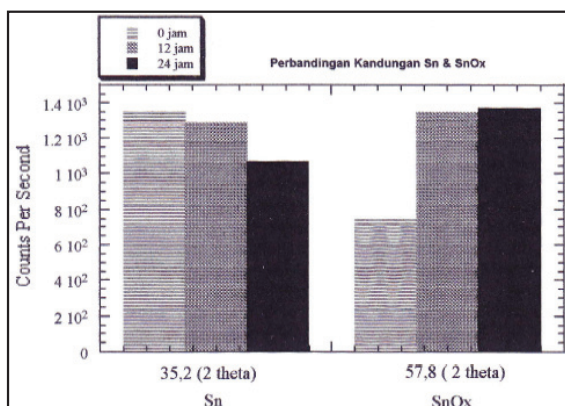
Selama proses pengujian temperatur *set-point* yang lebih tinggi relatif mudah dicapai. Kestabilan temperatur dalam tungku juga dapat dipertahankan.

Hasil Oksidasi Lapisan Tipis Sn

Sistem ini diuji untuk mengoksidasi lapisan tipis Sn yang dibuat melalui proses evaporasi. Proses oksidasi dilakukan pada temperatur 400°C selama 12 jam dan 24 jam. Sampel hasil oksidasi kemudian dianalisis dengan difraksi sinar X untuk mengetahui kandungan Sn dan SnOx dalam sampel. Hasil difraksi sinar X sampel ditunjukkan pada bagian lampiran.

Menurut kartu yang dikeluarkan oleh American Society for Testing Material (ASTM), sudut $2\theta = 35,2^{\circ}$ menunjukkan kandungan Sn dan sudut $2\theta = 57,8^{\circ}$ menunjukkan kandungan SnOx. Puncak-puncak kedua sudut tersebut kemudian dianalisis untuk mengetahui kandungan Sn dan SnOx pada sampel yang dibuat. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Gambar 9.

Dari hasil difraksi sinar X dapat dilihat bahwa kandungan Sn pada sampel mengalami penurunan, sedangkan kandungan SnOx mengalami peningkatan seiring lamanya proses oksidasi. Hal ini menunjukkan bahwa sampel telah mengalami oksidasi pada permukaannya.



Gambar 9. Perbandingan Kandungan Sn dan SnOx Hasil Difraksi Sinar X

Pada sampel yang dioksidasi selama 12 jam terjadi kenaikan kandungan SnOx yang cukup tinggi. Namun, pada sampel yang dioksidasi selama 24 jam kenaikan kandungan SnOx tersebut tidak sebesar pada sampel yang dioksidasi selama 12 jam. Hal ini disebabkan terjadinya kejenuhan oksidasi pada permukaan lapisan sehingga kenaikan kandungan SnOx tidak sebesar pada sampel yang dioksidasi selama 12 jam.²

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini telah dilakukan perancangan sistem oksidasi lapisan tipis semikonduktor oksida logam. Sistem tersebut terdiri atas tungku pemanas, termokopel tipe K, *flow meter*, tabung gas O_2 , regulator gas dan rotameter, pengontrol PID, dan *solid state relay*.

Sistem yang dibuat telah dapat mengkon-disikan temperatur pada tungku pemanas secara stabil sehingga sistem ini dapat digunakan untuk keperluan oksidasi lapisan tipis semikonduktor oksida logam.

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran temperatur *furnace* antara termokopel tipe K dan transduser temperatur digital. Hasil pengujian menunjukkan bahwa hubungan hasil pengukuran termokopel tipe K dan transduser temperatur digital dapat dinyatakan dengan persamaan $y = 0.9974x - 1.4339$ di mana x adalah hasil pengukuran termokopel tipe K dan y adalah hasil pengukuran transduser temperatur digital dengan kesalahan standar pengukuran sebesar $\pm 2,86\%$.

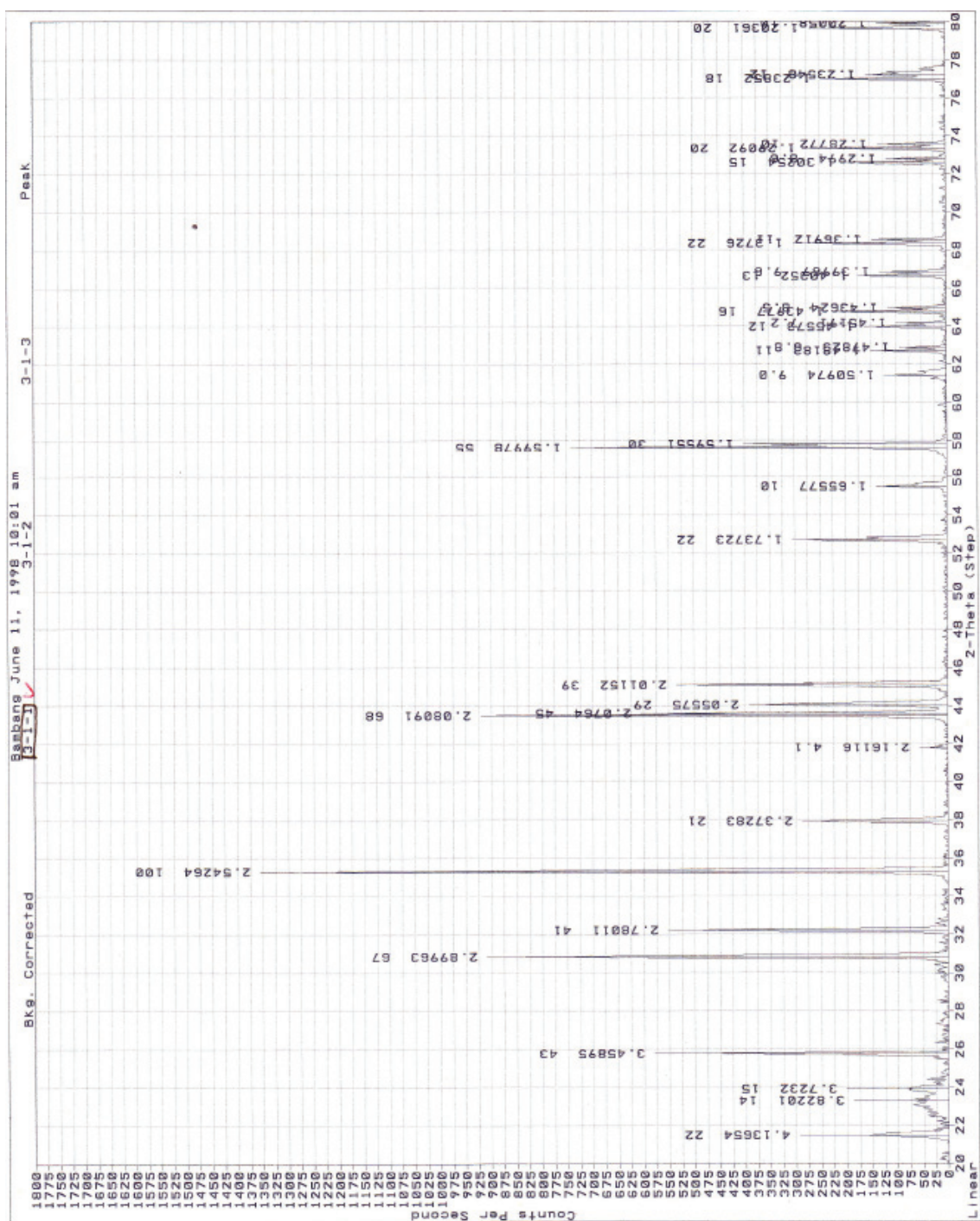
Pengujian juga dilakukan pada sampel lapisan tipis Sn yang dibuat dengan metode evaporasi. Sampel dioksidasi selama 12 dan 24 jam pada temperatur 400°C . Sampel tersebut kemudian dianalisis dengan difraksi sinar X untuk mengetahui kandungan Sn dan SnOx. Hasil difraksi sinar X menunjukkan terjadinya kandungan SnOx pada sampel yang dianalisis. Pada sampel dengan oksidasi 24 jam kenaikan kandungan SnOx tidak sebesar pada sampel 12 jam karena terjadinya kejenuhan oksidasi pada permukaan lapisan.

DAFTAR PUSTAKA

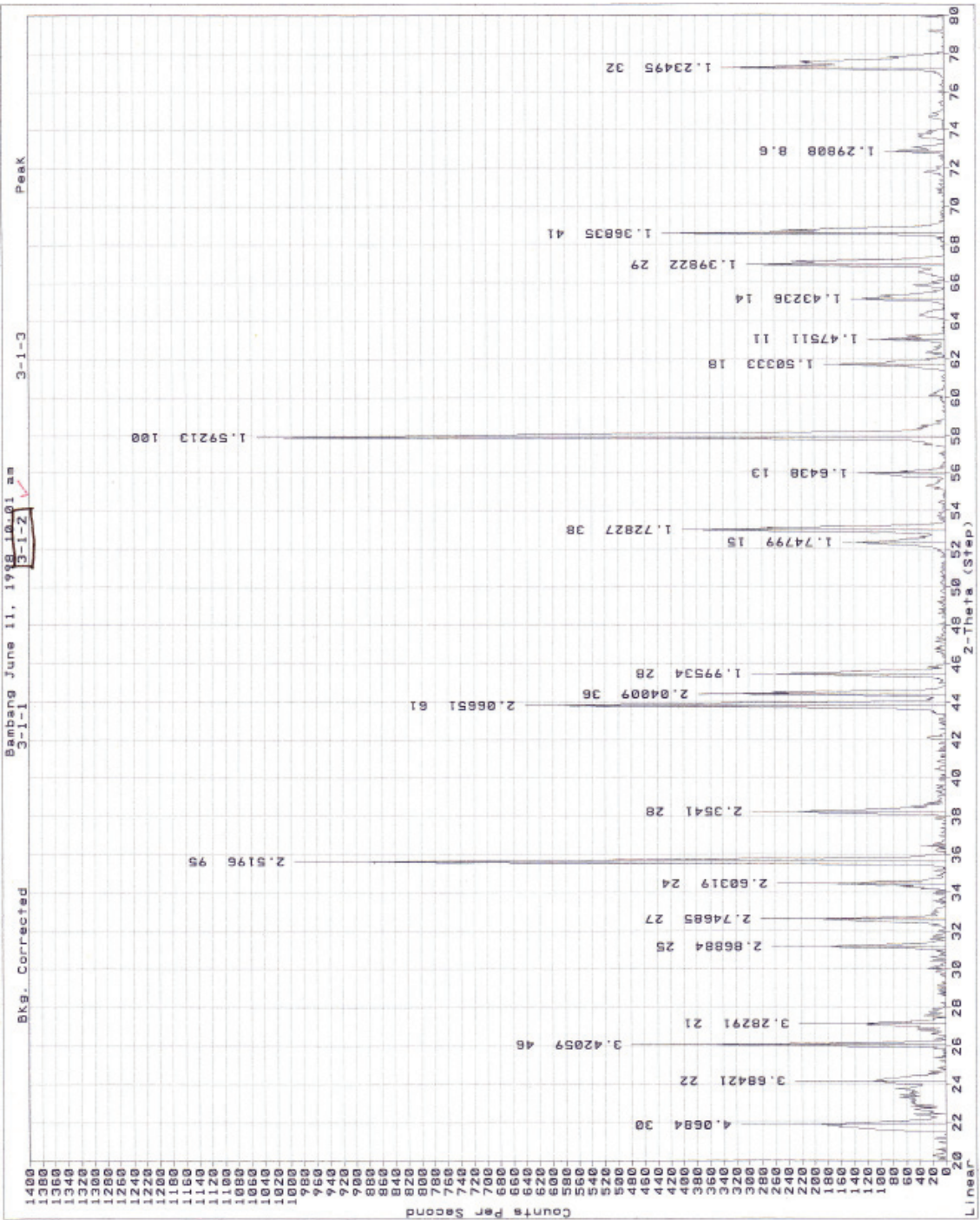
- ¹Morrison, S.R. 1994. *Chemical Sensors: Semiconductor Sensors*. SM Sze (Editor). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- ²Ihokura, K and Watson, J. 1994. *The Stannic Oxide Gas Sensor: Principles and Applications*. Boca Raton: CRC Press, Inc..
- ³Ginting, M dan Nababan, B. 1996. Pembuatan Sistem Penumbuhan Lapisan Tipis CdTe Dengan Metoda Penguapan. *Prosiding Seminar Sehari Fisika* 1996. Jakarta: Puslitbang KIM LIPI – Himpunan Fisika Cabang Jakarta.
- ⁴Sugeng, B, W. 2010. Asas Bernoulli, (<http://bukhari.or.id/home/Stara/smpfisika/BERNOULLI/materi05.html>, diakses 12 Februari 2010).
- ⁵Norton, H. 1989. *Handbook of Transducers*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- ⁶Doebelin, E.O. 1983. *Measurement Systems: Application and Design*. 3rd Ed. New York: McGraw-Hill International Book Company.
- ⁷Cooper, W.D. 1994. *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- ⁸Dorf, R.C. and Kusiak, A. 1994. *Handbook of Design, Manufacturing and Automation*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- ⁹Brebbia, C.A and Keramidas, G.A. 1984. *Computational Methods and Experimental Measurements*. Berlin, Heidelberg - New York: Springer – Verlag.
- ¹⁰Ballaney, P.L. 1980. *Thermal Engineering*. 10th Ed. Delhi- India: Khanna Publisher.
- ¹¹Sheperd, D.G. 1990. *Elements of Fluid Mechanics*. New York: Harcourt, Brace & World, Inc.
- ¹²Holman, J.P. 1991. *Heat Transfer*. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha Ltd.

LAMPIRAN HASIL DIFRAKSI SINAR X

Hasil difraksi sinar X sampel lapisan tipis Sn yang tidak dioksidasi



Hasil difraksi sinar X sampel lapisan tipis Sn yang dioksidasi 12 jam



Hasil difraksi sinar X sampel lapisan tipis Sn yang dioksidasi 24 jam

