

**PERANCANGAN SENSOR pH MENGGUNAKAN KONDUKTOR
PALLADIUM-PERAK PADA SUBSTRAT ALUMINA DENGAN
TEKNOLOGI FILM TEBAL (*THICK FILM*)**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



AMIRIL MU'MININ

NIM. 105060300111019-63

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2017

PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim.

Alhamdulillah segala puji hanya bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala, atas segala petunjuk serta rahmad-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat beserta salam semoga senantiasa terlimpah curahkan kepada Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, para sahabatnya, hingga kepada umatnya hingga akhir zaman, amin.

Skripsi berjudul **“Perancangan Sensor pH Menggunakan Konduktor Palladium-Perak Pada Substrat Alumina Dengan Teknologi Film Tebal (*Thick Film*)”** ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
- Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
- Bapak Ali Mustofa, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Sarjana Jurusan Teknik Elektro.
- Bapak Ir. Sigit Kusmaryanto, M.Eng. selaku pembimbing akademik.
- Bapak Ir. M. Julius St.M.S. dan Bapak Eka Maulana, ST., MT., M.Eng. selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu membimbing dalam penelitian ini.
- Seluruh dosen TEUB yang selama ini telah memberikan ilmu yang sangat berharga kepada penulis.
- Staf Tata Usaha TEUB yang telah banyak membantu penulis selama mengikuti perkuliahan dan penulisan skripsi ini.
- Ayah dan Ibu, serta saudara-saudaraku yang senantiasa memberikan do'a, semangat dan motivasi kepada penulis.
- Dian Indah Triwidayanti yang selalu setia menemani baik suka maupun duka, selalu memberi support dan motivasi kepada penulis, Terima kasih banyak atas cinta kasih, bantuan dan do'anya.

- Mas Sean, Mas Lalu, Mas Averus, Mas Fikri, Mas Zulhaj, Mas Jumadil, Fajar, Nizar, Maman, Bagus, Priyo, Erik, Else, Ridha, Alin, dan Risto terima kasih atas kebersamaan, semangat dan do'anya.
- Teman-teman konsentrasi Elektronika angkatan 2010 TEUB terima kasih atas masukan dan kerjasamanya.
- Masyarakat Magnet'10 angkatan 2010 TEUB terima kasih atas dukungan, bantuan serta do'anya.
- Sahabat-sahabat RisTIE yang selalu memberikan semangat, motivasi, kebersamaan serta canda tawanya.
- Teman-teman HME, senior, serta semua pihak yang tidak mungkin bagi penulis untuk mencantumkan satupersatu, terimakasih banyak atas bantuan dan dukungannya

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Malang, Juni 2017

Penulis

ABSTRAK

Amiril Mu'minin, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2017, *Perancangan Sensor pH Menggunakan Konduktor Palladium-Perak Pada Substrat Alumina Dengan Teknologi Film Tebal (Thick Film)*, Dosen Pembimbing Ir. M. Julius St, M.S. dan Eka Maulana, ST., MT., M.Eng.

Kadar pH suatu larutan dapat diketahui dalam seketika dengan alat yaitu sensor pH. Sensor pH konvensional saat ini masih menggunakan elektoda gelas yang relative mahal dan kurang sensitif terhadap kadar pH. pH sendiri didefinisikan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hydrogen. Skala pH mengukur seberapa asam atau basa suatu larutan. Untuk mengukur kadar pH tersebut maka dirancang sensor dengan memanfaatkan metode film tebal sebagai bagian dari teknologi mikroelektronika yang sekarang masih berpusat pada chip silikon.

Pada penelitian ini elektroda sensor yang dirancang akan dicelupkan ke dalam larutan buffer pH 1 sampai dengan pH 14. Dari hasil pengukuran dapat dianalisa bagaimana linieritas keluaran sensor ini yang berupa tegangan terhadap pH, karakteristik yang diperoleh dari percobaan sensor dengan jarak elektroda yang berbeda-beda. Hasil dari penelitian ini diperoleh sensor pH dengan metode film tebal bekerja secara linier pada kadar pH 1 sampai dengan pH 7. Pada rentang pH tersebut sensor yang paling sensitif ditunjukkan oleh sensor II (5 mm) dengan sensitifitas sebesar -0.36 volt pada suhu ruang dan -0.38 volt pada suhu 50°C setiap perubahan 1 nilai pH.

Kata Kunci—Sensor pH, Palladium, Tegangan, Film Tebal

ABSTRACT

Amiril Mu'minin, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, July 2017, Design of pH Sensor Using Palladium-Silver Conductor On Alumina Substrate With Thick Film Technology, Academic Supervisors: Ir. M. Julius St, M.S. and Eka Maulana, ST., MT., M.Eng.

The pH content of a solution can be detected instantaneously with a pH sensor. Conventional pH sensors are still using relatively expensive glass electrodes and are less sensitive to pH levels. Fabrication of pH sensor is done by screen printing method. The palladium-silver conductor is designed as an electrode of varying distances.

In this study the designed sensor electrode will be immersed in the buffer solution pH 1 up to pH 14. From the measurement results can be analyzed how the linearity of this sensor output is voltage to pH, the characteristics obtained from the sensor experiment with different electrode distance. The results of this study obtained pH sensor with thick film method work linearly at pH level 1 up to pH 7. In the pH range is the most sensitive sensor shown by sensor sensor II (5 mm) with sensitivity of -0.36 volts at room temperature and -0.38 volts at 50 ° C every change 1 pH value.

Keywords - *pH Sensor, Palladium-Silver, Voltage, Thick Film*

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Sistematika Pembahasan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Kajian Sistem Sensor pH	5
2.2. Buffer pH	6
2.3. Sensor	7
2.4. Jembatan Wheatstone	8
2.5. Teknologi Hibrida Film Tebal	10
2.6. Sistem Screen Printing	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1. Spesifikasi Alat	19
3.2. Studi Literatur	20
3.3. Perancangan	20
3.4. Pengujian	20
3.5. Analisis Data	21
3.6. Penyusunan Kesimpulan	22
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	23
4.1. Perancangan Konduktor Film Tebal	23
4.2. Pembuatan Pola Konduktor	24
4.2.1. Kertas	24
4.2.2. Printer	24
4.2.3. Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	24



4.2.4.	Proses pembuatan pola	24
4.3.	Pembuatan Pola Konduktor Pada <i>Screen</i>	25
4.3.1.	Pembersihan <i>Screen</i>	25
4.3.2.	Pemberian Resis pada <i>Screen</i>	25
4.3.3.	Pengeringan	25
4.3.4.	Pengalihan Gambar Pola ke <i>Screen</i>	25
4.3.5.	Pencentakan Pola pada <i>Screen</i>	25
4.3.6.	Pembersihan Substrat	26
4.3.7.	Pencetakan Konduktor	26
4.4.	Proses Pembentukan Konduktor	26
4.4.1.	Perataan (<i>leveling</i>).....	26
4.4.2.	Pengeringan (<i>drying</i>).....	26
4.4.3.	Pembakaran (<i>firing</i>).....	26
4.4.4.	Pendinginan (<i>cooling</i>)	27
4.5.	Pembuatan Konduktor Secara Keseluruhan	27
4.6.	Hasil Sensor pada Substrat Alumina	28
4.7.	Rangkaian Uji Sensor.....	29
BAB V PENGUKURAN DAN ANALISIS.....		31
5.1.	Pengujian Sensor pH Film Tebal	31
5.2.	Pengujian Sensor pH Film Tebal pada Suhu 50°C.....	43
5.3.	Analisis.....	52
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		55
6.1.	Kesimpulan	55
6.2.	Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA		57
LAMPIRAN.....		59



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Konsentrasi $[\text{OH}^-]$ dan $[\text{H}^+]$ mol/L.....	6
Gambar 2.2: Tanggapan Sensor Suhu	7
Gambar 2.3: Tanggapan sensor secara kontinu	8
Gambar 2.4: Jembatan Wheatstone	9
Gambar 2.5: Klasifikasi Mikroelektronika.....	10
Gambar 2.6: Pasta Konduktor	13
Gambar 2.7: Substrat Alumina	15
Gambar 2.8: Screen	15
Gambar 2.9: Rakel.....	16
Gambar 2.10: Furnace Vulcan A-550.....	17
Gambar 3.1: Diagram Alur Penelitian.....	19
Gambar 3.2: Blok Diagram Rangkaian.	21
Gambar 4.1: Dimensi Konduktor Film Tebal.....	23
Gambar 4.2: Variasi Bentuk Konduktor Film Tebal.....	24
Gambar 4.3: Proses Pembuatan Konduktor Secara keseluruhan.....	28
Gambar 4.4: Hasil Sensor pada Substrat dengan jarak tiap konduktor 2.5 mm, 5 mm, 7.5 mm, dan 10 mm.....	28
Gambar 4.5: Metode Pengukuran pH pada Sensor pH Film Tebal.....	29
Gambar 5.1: Dimensi Konduktor Film tebal	31
Gambar 5.2: Grafik rata-rata hasil pengujian sensor film tebal	37
Gambar 5.3: Grafik rata-rata hasil pengujian sensor film tebal pH-1 sampai pH-7.....	38
Gambar 5.4: Grafik kuadratik hasil pengujian 4 sensor film tebal pada pH-1 sampai pH-7.....	39
Gambar 5.5: Grafik kuadratik hasil pengujian 4 sensor film tebal pada pH-1 sampai pH-14.....	42
Gambar 5.6: Grafik rata-rata hasil pengukuran sensor pH film tebal pada suhu 50°C	46
Gambar 5.7: Grafik rata-rata hasil pengukuran sensor pH film tebal pH-1 sampai dengan pH-7 pada suhu 50°C	47

Gambar 5.8: Grafik kuadratik hasil pengujian 4 sensor film tebal pH-1 sampai pH-7 pada suhu 50°C48

Gambar 5.9: Grafik kuadratik hasil pengujian 4 sensor film tebal pH 1 sampai pH 14 pada suhu 50°C51



DAFTAR TABEL

Tabel 5.1 Pengujian ke-1 sensor film tebal	32
Tabel 5.2 Pengujian ke-2 sensor film tebal	32
Tabel 5.3 Pengujian ke-3 sensor film tebal	33
Tabel 5.4 Pengujian ke-4 sensor film tebal	33
Tabel 5.5 Pengujian ke-5 sensor film tebal	34
Tabel 5.6 Pengujian ke-6 sensor film tebal	34
Tabel 5.7 Pengujian ke-7 sensor film tebal	35
Tabel 5.8 Pengujian ke-8 sensor film tebal	35
Tabel 5.9 Pengujian ke-9 sensor film tebal	36
Tabel 5.10 Pengujian ke-10 sensor film tebal	36
Tabel 5.11 Rata-rata hasil pengujian sensor film tebal	37
Tabel 5.12 Pengujian ke-1 pada suhu 50°C.....	43
Tabel 5.13 Pengujian ke-1 pada suhu 50°C.....	44
Tabel 5.14 Pengujian ke-3 pada suhu 50°C.....	44
Tabel 5.15 Pengujian ke-4 pada suhu 50°C.....	45
Tabel 5.16 Pengujian ke-5 pada suhu 50°C.....	45
Tabel 5.17 Rata-rata hasil pengujian sensor pH film tebal pada suhu 50°C	46
Tabel 5.18 Regresi pada tiap sensor	53
Tabel 5.19 Sensitivitas pada tiap sensor.....	54



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teknologi sensor saat ini sudah berkembang sangat pesat. Saat ini telah banyak ditemukan bermacam-macam sensor yang digunakan sebagai pendeteksi (*detector*) dengan berbagai karakteristik dan fungsinya masing-masing. Dan penggunaannya pun sudah semakin luas seperti pada mobil otomatis, mesin-mesin, pengobatan, industri dan teknologi robot.

Transduser adalah jenis sensor yang digunakan untuk mengubah besaran mekanis, magnetis, panas, sinar, dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik (D Sharon, dkk, 1982). Sensor sering digunakan untuk pendeteksian pada saat melakukan pengukuran atau pengendalian. Berbagai macam sensor yang ada sekarang ini diantaranya sensor panas, sensor suara, sensor gas, sensor cahaya, sensor pH dan sensor gerak.

Saat ini kebutuhan akan suatu alat pengukuran pH yang digunakan untuk menentukan derajat keasaman atau kebasahan dari suatu larutan dalam berbagai bidang, diantaranya dalam bidang industri, makanan, kesehatan dan lingkungan mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Hampir semua proses yang menggunakan air membutuhkan pengukuran pH. Kebanyakan makhluk hidup tergantung pada tingkat pH yang tepat untuk mempertahankan hidup. Semua manusia dan hewan bergantung pada mekanisme internal untuk mempertahankan tingkat pH darah mereka. Pengukuran dan pengendalian pH adalah sangat penting untuk berbagai studi oleh karena itu kebutuhan yang semakin meningkat terhadap sensor pH, mendorong untuk terus dilakukan penelitian mengenai sensor pH agar kebutuhan terhadap sensor pH yang lebih akurat dengan harga yang lebih murah dapat terpenuhi.

Pada umumnya jenis sensor pH yang banyak digunakan terbuat dari bahan gelas yang memiliki ukuran yang relatif besar, memiliki tahanan dalam yang sangat besar dalam orde Mega-Ohm dan mudah pecah bila terjatuh atau terbentur serta biaya yang mahal. Berbagai usaha telah dilakukan untuk miniaturisasi sensor pH dengan menggunakan teknologi monolitik dan teknologi film tanpa mengubah fungsinya agar dapat lebih menghemat ruang dan biaya. Seiring dengan perkembangan teknologi

mikroelektronika saat ini, teknik microfabrication dapat digunakan secara efektif untuk pembuatan sensor elektro-kimia seperti sensor pH.

Untuk merealisasikan teknologi ini diperlukan tersedianya alat dan bahan yang digunakan. Pasta konduktor Palladium-Perak digunakan sebagai elektroda karena harga yang relatif murah, daya rekat kuat dan mudah di solder. Substrat Alumina digunakan sebagai media interkoneksi antar komponen karena sifatnya konduktor termal, inert dan tahan terhadap suhu tinggi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian untuk membuat rancangan sensor pH menggunakan konduktor Palladium-Perak pada substrat alumina dengan teknologi film tebal

1.2. Rumusan Masalah

Dalam penelitian sensor pH dengan teknologi film tebal, maka permasalahan yang muncul dapat dirumuskan sebagai berikut :

- 1) Bagaimana cara perancangan sensor pH film tebal?
- 2) Bagaimana proses pembuatan sensor pH dengan metode film tebal?
- 3) Bagaimana karakterisasi sensor pH dengan teknologi film tebal?

1.3. Batasan Masalah

Dengan mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan maka hal-hal yang berkaitan dengan perancangan akan diberi batasan sebagai berikut:

- 1) Penelitian dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.
- 2) Fabrikasi dilakukan dengan menggunakan teknologi *screen printing*.
- 3) Bahan konduktor yang digunakan adalah pasta Palladium-Perak Dupont 6125.
- 4) Bahan dasar substrat adalah alumina.
- 5) Pengujian menggunakan buffer pH 1-14.

1.4. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang serta mengetahui kinerja sensor pH menggunakan konduktor palladium dengan metode film tebal.

1.5. Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah metodologi pembahasan, dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan sensor pH dengan metode film tebal.

BAB III Metodologi Penelitian

Berisi tentang metode yang dipakai dalam melakukan penelitian dan perencanaan serta pengujian sensor pH.

BAB IV Perencanaan dan Pembuatan Alat

Perancangan dan pembuatan sensor pH meliputi, perancangan pola, pembuatan cetakan, dan proses pembuatan secara keseluruhan.

BAB V Pengukuran dan Analisis

Memuat pengujian dan analisis sensor pH serta membahas tentang cara dan hasil pengujian terhadap sensor pH yang telah direalisasikan.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Memuat kesimpulan hasil pengujian, menjawab rumusan masalah, serta saran untuk meningkatkan kualitas penelitian sensor pH pada masa yang akan datang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Sistem Sensor pH

Kata-kata pH berasal dari "*power of hydrogen*", konsentrasi dari ion hidrogen $[H^+]$, bisa dilihat pada skala pH. pH sendiri didefinisikan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen. pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Ia didefinisikan sebagai kologaritma aktivitas ion hidrogen (H^+) yang terlarut. Koefisien aktifitas ion hidrogen tidak dapat diukur secara eksperimental, sehingga nilainya didasarkan pada perhitungan teoritis. Skala pH bukanlah skala absolut. Ia bersifat relatif terhadap sekumpulan larutan standar yang pH-nya ditentukan berdasarkan persetujuan internasional.

Definisi pH sendiri diperkenalkan pertama kali oleh seorang ahli Biokimia dari Denmark, Soren Peter Lauritz pada tahun 1909. Besarannya dinyatakan dalam minus logaritma dari konsentrasi ion H. Sebagai contoh, ada pernyataan pH 6, itu artinya konsentrasi H dalam larutan tersebut adalah 0,000001 bagian dari total larutan. Tetapi, karena ada tanda -(negatif) dibelakang angka tersebut, yang dinilai kurang praktis, maka orang mengalikannya lagi dengan tanda -(minus) sehingga diperoleh angka positif 6. Oleh karena itu, pH diartikan sebagai "- (minus) logaritma dari konsentrasi ion H^+ " (Lauritz:1909).

$$pH = -\log[H^+],$$

Dimana: $[H^+]$ adalah konsentrasi ion hydrogen dalam mol/L

Skala pH mengukur seberapa asam atau basa suatu larutan, dan dimulai dari 0 sampai 14, pH 7 adalah netral, jika kurang dari 7 adalah asam, dan lebih dari 7 adalah basa. Nilai pH adalah persamaan dari rasio $[H^+]$ dibanding $[OH^-]$ (konsentrasi ion hidroksida). Maka, jika nilai $[H^+]$ lebih besar dari $[OH^-]$, hasilnya adalah asam. Demikian juga jika nilai $[OH^-]$ lebih besar dari $[H^+]$, maka hasilnya adalah basa. Pada pH 7, rasio $[H^+]$ dan $[OH^-]$ sama, karena itu hasilnya adalah netral (Kohlmann,2003:6).

	[OH ⁻] concentration (mol/l)	pH	[H ⁺] concentration (mol/l)	
1 x 10 ⁻¹⁴	0.00000000000001	0	1	1 x 100
1 x 10 ⁻¹³	0.00000000000001	1	0.1	1 x 10 ⁻¹
1 x 10 ⁻¹²	0.00000000000001	2	0.01	1 x 10 ⁻²
1 x 10 ⁻¹¹	0.00000000000001	3	0.001	1 x 10 ⁻³
1 x 10 ⁻¹⁰	0.00000000000001	4	0.0001	1 x 10 ⁻⁴
1 x 10 ⁻⁹	0.00000000000001	5	0.00001	1 x 10 ⁻⁵
1 x 10 ⁻⁸	0.00000000000001	6	0.000001	1 x 10 ⁻⁶
1 x 10 ⁻⁷	0.00000001	7	0.0000001	1 x 10 ⁻⁷
1 x 10 ⁻⁶	0.000001	8	0.00000001	1 x 10 ⁻⁸
1 x 10 ⁻⁵	0.00001	9	0.000000001	1 x 10 ⁻⁹
1 x 10 ⁻⁴	0.0001	10	0.0000000001	1 x 10 ⁻¹⁰
1 x 10 ⁻³	0.001	11	0.00000000001	1 x 10 ⁻¹¹
1 x 10 ⁻²	0.01	12	0.000000000001	1 x 10 ⁻¹²
1 x 10 ⁻¹	0.1	13	0.0000000000001	1 x 10 ⁻¹³
1 x 100	1	14	0.00000000000001	1 x 10 ⁻¹⁴

Gambar 2.1: Konsentrasi [OH⁻] dan [H⁺] mol/L

Sumber : Frederick J. Kohlmann (2003:6)

Gambar 2.1 menjelaskan kondisi netral [H⁺] = 1x10⁻⁷ mol/L yang merepresentasikan pH 7, maka bisa ditulis:

$$\begin{aligned}
 \text{pH} &= -\log (1 \times 10^{-7}) \\
 &= -(\log 1 + \log 10^{-7}) \\
 &= -(0 + (-7)) \\
 &= 7
 \end{aligned}$$

2.2. Buffer pH

Larutan penyangga, larutan dapar, atau *buffer* adalah larutan yang digunakan untuk mempertahankan nilai pH tertentu agar tidak banyak berubah selama reaksi kimia berlangsung. Sifat yang khas dari larutan penyangga ini adalah pH-nya hanya berubah sedikit dengan pemberian sedikit asam kuat atau basa kuat. Dalam penelitian ini larutan penyangga digunakan sebagai bahan untuk menguji sensitifitas sensor pH.

Larutan penyangga tersusun dari asam lemah dengan basa konjugatnya atau oleh basa lemah dengan asam konjugatnya. Reaksi di antara kedua komponen penyusun ini disebut reaksi asam-basa konjugasi. Secara umum, larutan penyangga digambarkan sebagai campuran yang terdiri dari:

- 1) Asam lemah (HA) dan basa konjugasinya (ion A⁻), campuran ini menghasilkan larutan bersifat asam.



2) Basa lemah (B) dan asam konjugasinya (BH⁺), campuran ini menghasilkan larutan bersifat basa.

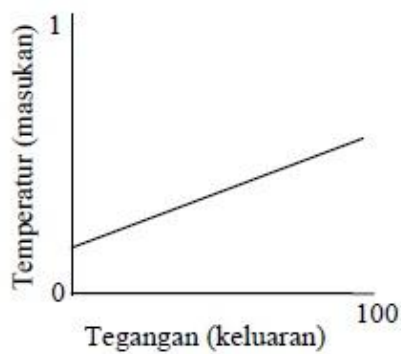
2.3. Sensor

Sensor adalah jenis transduser yang digunakan untuk mendeteksi gejala-gejala perubahan atau sinyal-sinyal serta mengubah besaran mekanis, magnetis, panas, sinar, dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik (D Sharon, dkk, 1982).

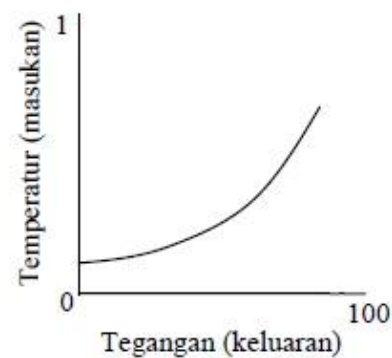
Sensor berperan untuk mendeteksi gejala perubahan informasi sinyal dalam sistem kontrol, dan berfungsi sebagai umpan balik pada sebuah sistem kendali otomatis. Sensor yang baik harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut:

a. Linearitas

Ada banyak sensor yang menghasilkan sinyal keluaran yang berubah secara kontinyu sebagai tanggapan terhadap masukan yang berubah secara kontinyu. Sebagai contoh, sebuah sensor panas dapat menghasilkan tegangan sesuai dengan panas yang dirasakannya. Dalam hal ini dapat diketahui secara tepat bagaimana perubahan keluaran dibandingkan dengan masukannya berupa sebuah grafik. Gambar 2.2 menunjukkan tanggapan sensor secara linier dan non-linier.



(a) Tanggapan linier



(b) Tanggapan non linier

Gambar 2.2: Tanggapan Sensor Suhu

Sumber : (D Sharon, dkk, 1982)

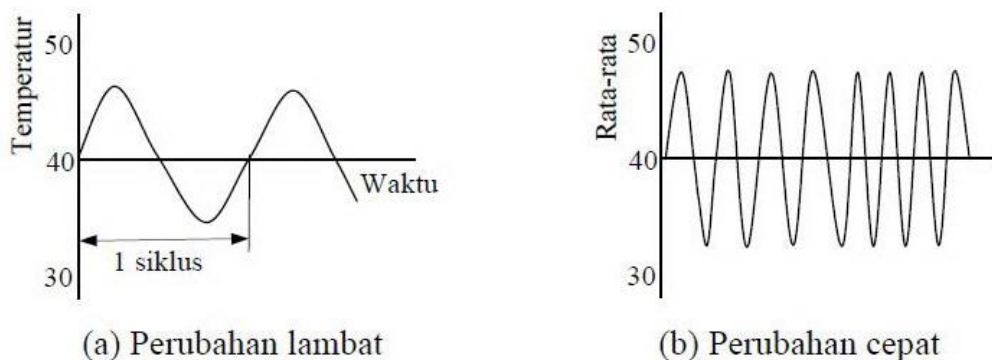
b. Sensitivitas

Sensitivitas akan menunjukkan seberapa jauh kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur. Sensitivitas sering juga dinyatakan dengan bilangan yang menunjukkan perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan.

Linieritas sensor juga mempengaruhi sensitivitas dari sensor. Apabila tanggapannya linier, maka sensitivitas juga akan sama untuk jangkauan pengukuran keseluruhan.

c. Tanggapan Waktu

Tanggapan waktu pada sensor menunjukkan seberapa cepat tanggapannya terhadap perubahan masukan. Semakin tinggi tanggapan waktu sensor, maka semakin cepat berubah bila nilai masukannya berubah. Sebagai contoh, instrument dengan tanggapan frekuensi yang jelek adalah sebuah thermometer merkuri. Masukannya adalah temperatur dan keluarannya posisi merkuri (D.Sharon,dkk:1982). Gambar 2.3 menunjukkan tanggapan waktu sensor yang berubah secara kontinyu.



Gambar 2.3: Tanggapan sensor secara kontinyu

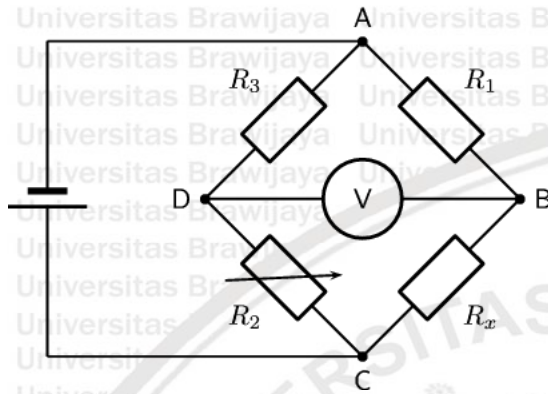
Sumber: (D Sharon, dkk, 1982)

2.4. Jembatan Wheatstone

Jembatan Wheatstone dipergunakan untuk memperoleh ketelitian dalam melaksanakan pengukuran terhadap suatu tahanan yang nilainya relative kecil sekali umpamanya saja suatu kebocoran dari kabel tanah/ konsleting dan sebagainya. Rangkaian ini dibentuk oleh empat buah tahanan (R) yang merupakan segiempat A-B-C-D yang kemudian rangkaian ini dihubungkan dengan sumber tegangan dan sebuah galvanometer nol (0). Kalau tahanan-tahanan itu diatur sedemikian rupa sehingga galvanometer itu tidak akan mengadakan suatu hubungan antara keempat tahanan tersebut (Suryatmo, 1986).

Jembatan Wheatstone merupakan suatu susunan rangkaian listrik untuk mengukur suatu tahanan yang tidak diketahui harganya (besarannya). Kegunaan dari Jembatan

Wheatstone adalah untuk mengukur nilai suatu hambatan dengan cara arus yang mengalir pada galvanometer sama dengan nol (karena potensial ujung-ujungnya sama besar). Sehingga dapat dirumuskan dengan perkalian silang. Cara kerjanya adalah sirkuit listrik dalam empat tahanan dan sumber tegangan yang dihubungkan melalui dua titik diagonal dan pada kedua diagonal yang lain dimana galvanometer ditempatkan. Gambar 2.4 menunjukkan rangkaian jembatan wheatstone.



Gambar 2.4: Jembatan Wheatstone

Sumber : Stig Ekelof (2001)

Menurut Dally (2004), jembatan wheatstone biasa digunakan untuk mengubah nilai hambatan menjadi nilai tegangan keluaran. Tegangan keluaran E_0 pada jembatan wheatstone dapat ditentukan dengan memperlakukan bagian atas dan bawah dari jembatan wheatstone sebagai satu pembagi tegangan.

$$E_{AB} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E_i \quad (2.2)$$

$$E_{AD} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} E_i \quad (2.3)$$

Tegangan keluaran E_0 dari jembatan wheatstone adalah

$$E_0 = E_{BD} = E_{AB} - E_{AD} \quad (2.4)$$

Substitusi Persamaan (2.2) dan (2.3) ke dalam Persamaan (2.4), akan menghasilkan

$$E_0 = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} E_i \quad (2.5)$$

Persamaan diatas mengindikasi bahwa tegangan keluaran awal akan menghilang ($E_0 = 0$) jika,

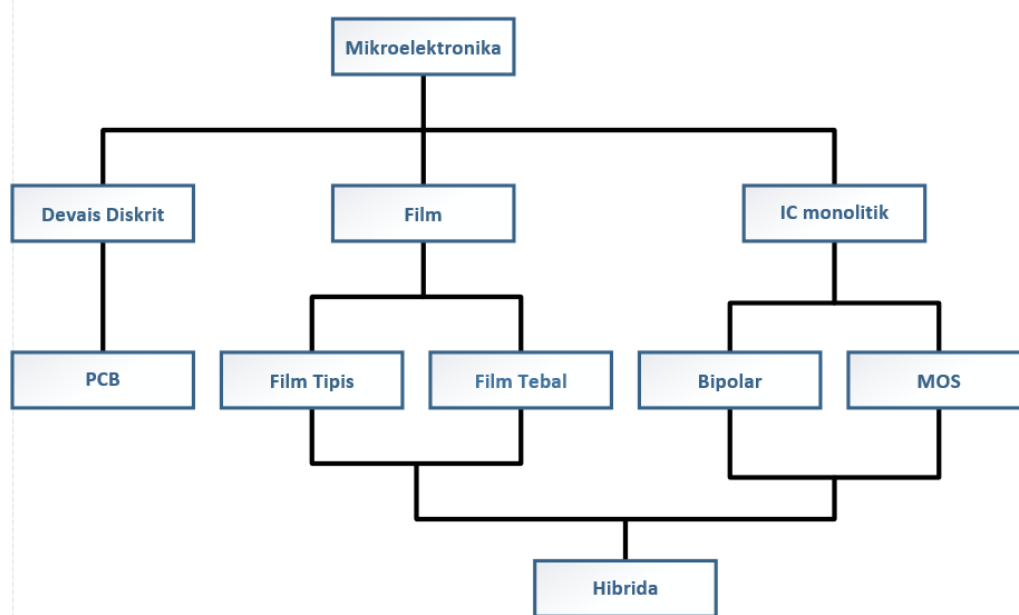
$$R_1 R_3 = R_2 R_4 \quad (2.6)$$

2.5. Teknologi Hibrida Film Tebal

Teknologi mikroelektronika diterapkan untuk merealisasikan pembuatan sirkuit elektronik berdimensi kecil dengan pertimbangan peningkatan fungsi kemampuan perkomponen, pengurangan berat, kekuatan daya uji, dan kemampuan stabilitas terhadap lingkungan dengan biaya yang lebih murah.

Perkembangan bidang mikroelektronika dewasa ini sudah begitu pesatnya. Sementara orang cenderung memusatkan perhatian kepada chip silikon dibanding film tebal. Mikroelektronika terdiri atas beberapa teknologi penting yang dapat dibagi menjadi tiga yaitu: teknologi peralatan diskrit yang berhubungan dengan teknologi *Printed Circuit Board* (PCB), teknologi film yang terbagi menjadi film tebal (*thick film*) dan film tipis (*thin film*), teknologi rangkaian terpadu atau *Integrated Circuits* (IC) monolitik yang terbagi menjadi *bipolar* dan *Metal Oxide Semiconductor* (MOS). Gabungan teknologi film dan teknologi IC monolitik menghasilkan teknologi hibrida. (Haskard, 1988).

Teknologi hibrida film tebal terdiri atas sejumlah proses yang diulang beberapa kali dengan urutan tertentu. Prosesnya meliputi pembuatan *screen*, pencetakan pengeringan dan pembakaran. Pada proses standar ini ditambahkan juga proses pembersihan, penyolderan, pengujian dan pengemasan. Teknologi film tebal adalah salah satu bidang dari teknologi hibrida yang ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5: Klasifikasi Mikroelektronika

Sumber: Haskard, 1988 : 1

2.6. Sistem Screen Printing

Metode yang digunakan dalam teknologi film tebal dalam pelapisan pasta pada substrat menggunakan metode *screen printing* yang menyerupai proses penyablonan.

2.6.1. Pembuatan Pola

Langkah ini dimulai dengan memindahkan pola rangkaian hasil perancangan ke dalam bentuk tata letak yang sesuai dengan aturan perancangan teknologi rangkaian film tebal. Untuk mendapatkan pola yang akurat, maka pola dibuat dengan kepresisian yang tinggi dengan skala yang lebih besar beberapa kali.

2.6.2. Pelapisan Screen

Dalam proses pembuatan *screen* pelapisan emulsi dapat menggunakan cara:

1) Emulsi langsung

Dalam emulsi langsung *screen* dilapisi dengan emulsi melalui cara pengecatan dengan menggunakan penyaput pada kedua sisinya. *Screen* kemudian disinari dengan sinar ultra violet yang dilewatkan melalui masker foto positif dari pola rangkaian. Pada bagian yang tersinari emulsi akan menjadi polimer dan tidak larut dalam air, sedangkan emulsi yang tak tersinari pada *screen* kemudian dibersihkan. Selanjutnya *screen* dikeringkan.

2) Emulsi tidak langsung

Dalam metode emulsi tidak langsung. Film emulsi dilapiskan pada lembaran polyester. Kemudian film disinari seperti pada metode langsung. Setelah bagian yang tidak menjadi polimer dibersihkan, film emulsi pada lembaran polyester diletakkan pada bagian bawah *screen* dan secara hati-hati ditekan dengan alat penekan. Kemudian dibiarkan kering selanjutnya lembaran *polyester* dilepas dari *screen*, dan emulsi tetap melekat pada *screen*

3) Emulsi gabungan langsung dan tidak langsung

Dalam metode gabungan emulsi langsung dan tidak langsung, Emulsi pada lembaran *polyester* ditekan pada *screen* tetapi masih belum disinari. Sewaktu dikeringkan lembaran polyester dibuang kemudian *screen* yang terlapisi emulsi disinari seperti pada metode langsung.

2.6.3. Printing

Proses *printing* merupakan proses kunci pada teknologi film tebal. Fungsi *printing* adalah meletakkan pasta dengan jumlah tertentu pada tempat yang tepat pada substrat.

Proses *printing* dapat dilakukan dengan metode:

1) *Snap-off*

Metode *Snap-off* adalah salah satu cara melakukan proses *printing* dimana terdapat jarak antara substrat dan *screen*. Jadi antara *screen* dan substrat tidak saling menempel, sehingga *screen* harus lentur untuk mengatasi jarak dengan tekanan dari rakel.

2) Kontak Langsung

Pada metode kontak langsung substrat digerakkan keatas sehingga menempel pada *screen* selama proses *printing*, pada rakel tidak diperlukan tekanan sebesar metode *snap-off*.

(Haskard, 1988:22)

2.6.4. Pengendapan Cetakan

Proses ini dilakukan dengan cara membiarkan substrat selama 5-10 menit pada suhu ruangan agar pasta benar – benar mengendap sehingga jalur-jalur bekas *screen* menghilang.

2.6.5. Pengeringan Cetakan

Fungsi pengeringan adalah membuang pelarut yang menguap dari pasta yang tercetak sebelum pembakaran pada tungku. Waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan hasil cetakan berbeda – beda disesuaikan dengan petunjuk pembuat pasta.

2.6.6. Sistem Pembakaran

Proses Pembakaran dilakukan dengan menggunakan tungku (*Furnace*). Pembakaran mempunyai fungsi untuk menghilangkan bahan organik pengikat dari pasta yang kering, dan membentuk struktur pada bahan pasta.

Faktor utama yang menentukan proses pada tungku pembakaran adalah:

- Profil waktu dari temperatur
- Keadaan atmosfer tungku

(Harper, 1974: 6-38,6-39)

2.6.7. Pasta Film Tebal

Pasta yang digunakan dalam teknologi film tebal terdiri dari berbagai macam pasta sesuai dengan fungsinya. Macam-macam pasta film tebal antara lain yaitu:

- 1) Pasta resistor, pasta yang mempunyai fungsi untuk membentuk resistor dengan berbagai nilai resistansi.
- 2) Pasta konduktor, pasta yang mempunyai fungsi untuk menghasilkan konduktor. Pasta Konduktor ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6: Pasta Konduktor

Sumber: Lab Elektronika TE. UB.

- 3) Pasta dielektrik, pasta yang mempunyai fungsi untuk menghasilkan lapisan dielektrik.
- 4) Pasta pelindung (coating), pasta yang mempunyai fungsi untuk menghasilkan lapisan pelindung rangkaian.
- 5) Pasta solder, pasta yang mempunyai fungsi sebagai bahan solder.

2.6.8. Konduktor Film Tebal

Selain sebagai jalur penghubung antara komponen aktif dan pasif pada rangkaian teknologi film tebal.

Fungsi konduktor film tebal adalah:

- 1) Jalur Interkoneksi
- 2) Terminal Resistor
- 3) Konduktor Tempat Penyolderan Lead (*pad*)
- 4) Konduktor Untuk Crossover
- 5) Elektroda Kapasitor
- 6) Konduktor Tempat Mengikatkan Chip

2.6.9. Senyawa Pembentuk Konduktor

Pasta konduktor yang dikeluarkan pabrik merupakan hasil campuran dari berbagai senyawa. Pada umumnya pasta konduktor disusun dari tiga senyawa utama, yaitu:

- 1) Partikel-partikel Logam atau Paduan Logam

Partikel-partikel ini merupakan komponen utama pembentuk lapisan konduktor. Logam yang digunakan harus tahan terhadap suhu tinggi. Untuk itu, digunakan logam mulia

- 2) Senyawa Gelas

Senyawa gelas berfungsi sebagai pengikat partikel-partikel logam serta pembentuk lapisan yang memungkinkan penempelan partikel-partikel logam pada substrat. Senyawa gelas yang sering digunakan antara lain, yaitu: Bismuth Oksida, Cadmium Oksida, dan Timbal Borrosilikat.

- 3) Senyawa Organik

Senyawa organik dalam pasta berfungsi sebagai senyawa yang memberikan sifat fluida pada partikel-partikel logam dan senyawa gelas. Dengan terbentuknya sifat fluida, maka pasta dapat dicetak pada substrat dengan metoda screen printing. Senyawa organik yang biasanya digunakan antara lain, yaitu: terenten dan resin.

2.6.10. Substrat Film Tebal

Substrat merupakan salah satu bagian yang sangat penting pada pembuatan sistem teknologi film tebal. Selain sebagai media interkoneksi antara komponen aktif dan pasif, pelapisan pada pembentukan pola jalur konduktor, resistor serta kapasitor dilakukan secara langsung di atas media substrat tersebut. Substrat alumina ditunjukkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7: Substrat Alumina

Sumber: Lab. Elektronika TE. UB

Substrat dalam teknologi film tebal harus mempunyai kriteria sebagai berikut:

- 1) Kekuatan mekanik
- 2) Tahan suhu tinggi
- 3) Inert
- 4) Resistivitas
- 5) Konduktor termal

(Harper, 1974 : 3-5)

2.6.11. Screen

Screen merupakan tenunan berlubang-lubang yang terbuat dari serat. Fungsi *screen* adalah sebagai tempat pembentukan pola yang akan dicetak dan menentukan ketebalan pasta yang dilekatkan. Bentuk *screen* ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8: Screen

Sumber: Lab. Elektronika TE. UB

Serat yang digunakan untuk membentuk jaring-jaring suatu *screen* terbuat dari berbagai macam bahan. Bahan yang digunakan adalah *polyester*, *nylon*, dan *stainless steel*.

Bentuk dan konstruksi rangka *screen* sangat penting dalam mendapatkan hasil perekatan yang baik dan bagus.

Syarat-syarat rangka *screen* adalah:

- 1) Tidak berubah bentuk dalam segala temperatur.
- 2) Rangka *screen* harus bebas dari permukaan-permukaan yang kasar.
- 3) Bagian rangka *screen* yang bertemu dengan kain *screen* harus halus dan licin.
- 4) Rangka *screen* tidak berubah dalam keadaan basah atau kering.
- 5) Tahan terhadap bahan-bahan kimia yang digunakan dalam proses pencetakan

(M.Julius, 1997).

2.6.12. Rakel

Rakel digunakan untuk proses penyaputan *screen* yang memindahkan pasta ke substrat alumina dengan cara menekan dengan kemiringan sudut 45° - 60° terhadap permukaan *screen*. Rakel ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9: Rakel

Sumber: Lab. Elektronika TE. UB

2.6.13. Oven

Oven digunakan untuk proses pengeringan tahap awal setelah meletakkan pasta konduktor Palladium pada substrat Alumina yang membutuhkan pemanasan dengan temperatur 100°C selama 15 menit.

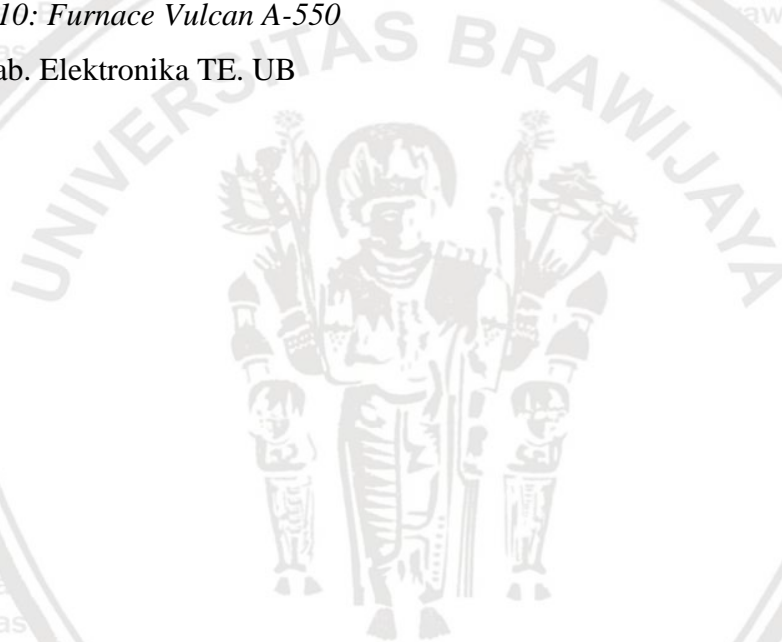
2.6.14. Furnace

Furnace digunakan untuk proses penempelan pasta konduktor Palladium pada substrat Alumina yang membutuhkan pemanasan dengan temperature 700°C selama 15 menit. *Furnace* ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



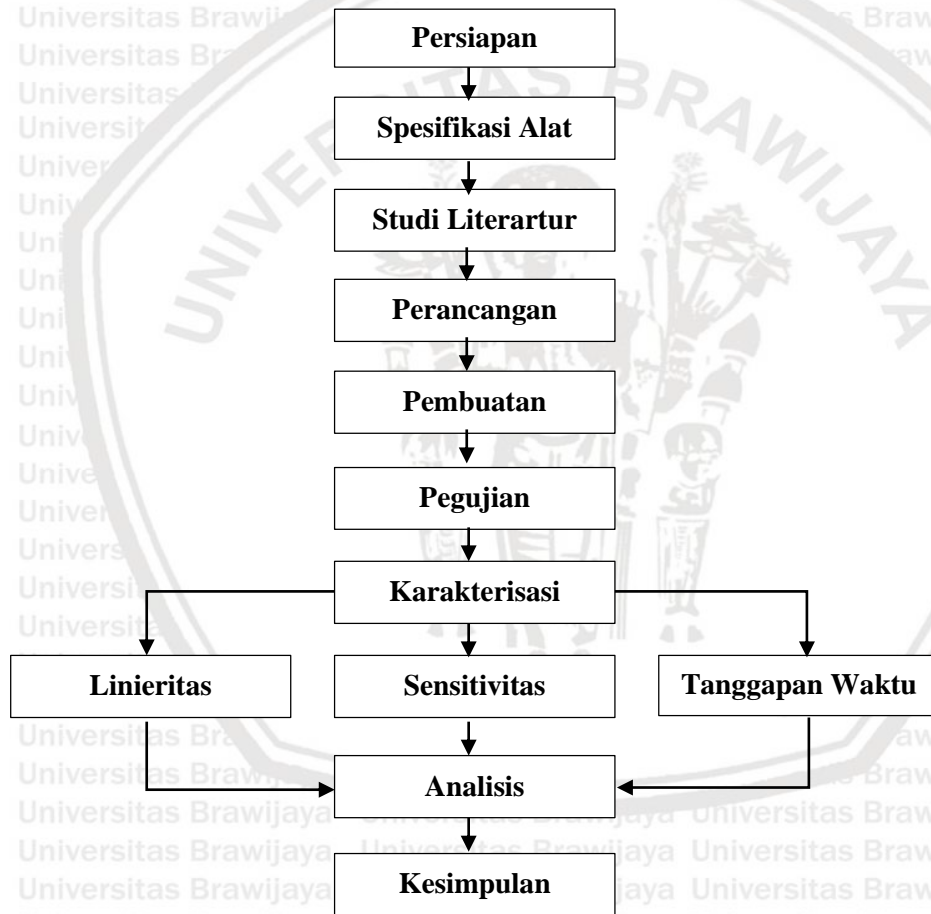
Gambar 2.10: *Furnace* Vulcan A-550

Sumber: Lab. Elektronika TE. UB



BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

Penyusunan laporan ini didasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasiian penelitian agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasiikan penelitian yang dirancang adalah spesifikasi alat, studi literatur, perancangan, pengujian, pengambilan kesimpulan. Tahap-tahap penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Diagram Alur Penelitian

3.1. Spesifikasi Alat

Penentuan spesifikasi alat didasarkan pada kebutuhan sistem yang akan menjadi acuan pada perancangan alat tersebut. Spesifikasi alat tersebut yakni :



- 1) Fabrikasi resistor menggunakan teknologi film tebal (*thick film technology*)
- 2) Media pembuatan resistor menggunakan substrat berbahan alumina (Al_2O_3).
- 3) Menggunakan resis dan sensitizer sebagai emulsi
- 4) Pasta konduktor menggunakan pasta buatan Shoei yang terbuat dari palladium-perak ($Pd-Ag$).

3.2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori penunjang sistem yang dibutuhkan dalam perencanaan dan pembuatan alat. Teori yang diperlukan antara lain mengenai pH, sensor, teknologi film tebal, material dalam perancangan dan pembuatan teknologi film tebal.

3.3. Perancangan

Pada penelitian ini, akan dibuat konduktor dengan jarak yang berbeda yaitu 2,5 mm, 5 mm, 7.5 mm dan 10 mm. Konduktor tersebut akan dibuat dengan pasta Palladium-Perak. Perancangan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua tahap, yakni perancangan desain pola konduktor dan pembuatan sensor pH film tebal.

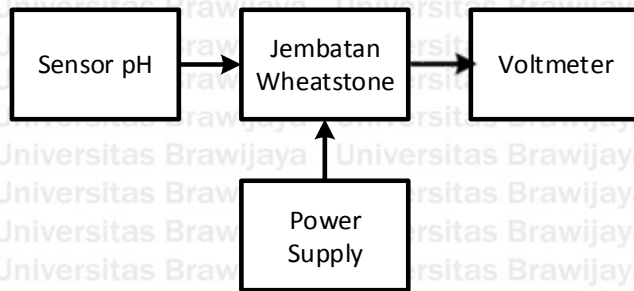
Pembuatan desain variasi bentuk dan tata letak konduktor dilakukan menggunakan software CorelDraw X7. Data didapat dengan cara melakukan fabrikasi. Metode fabrikasi dilakukan dengan teknologi *screen printing*.

3.4. Pengujian

Pengujian alat diperlukan untuk memastikan bahwa sensor dapat bekerja sesuai dengan perancangan yang telah dilakukan. Selain itu pengujian juga diperlukan untuk mengetahui performa kerja secara keseluruhan dan karakteristik dari sensor itu sendiri.

Melalui pengujian ini, diharapkan kita dapat mengetahui secara riil apakah sensor dapat berfungsi sesuai dengan perancangan yang telah dilakukan. Hasil dari pengujian inilah yang nantinya akan memberikan gambaran pada kita bagaimana performa kerja dan karakteristik dari sensor yang telah dirancang. Selain itu kita juga dapat menganalisis faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi dari performa kerja sensor.

Untuk langkah-langkah penyusunan komponen yang dibutuhkan untuk proses pengujian ditunjukkan dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.2: Blok Diagram Rangkaian.

Pengujian dilakukan dengan cara antara lain:

- 1) Pengukuran dimensi konduktor.

Pengukuran dimensi konduktor dilakukan dengan mengukur menggunakan penggaris apakah telah sesuai dengan ukuran yang telah dirancang.

- 2) Pengujian resistansi konduktor

Pada pengujian resistansi konduktor dilakukan menggunakan ohm meter.

- 3) Pengukuran pH

Untuk mengukur pH pada penelitian ini dilakukan dengan meneteskan *buffer pH* pada konduktor yang berfungsi sebagai elektroda. Konduktor tersebut dihubungkan ke jembatan wheatstone yang diberi sumber tegangan, yang kemudian ditengah-tengah jembatan wheatstone tersebut diberi voltmeter untuk mengukur besarnya tegangan keluaran.

3.5. Analisis Data

Dalam penelitian ini sensor yang dirancang pada substrat akan dicelupkan ke dalam larutan buffer 1-14. Tiap nilai pH yang berbeda akan menghasilkan nilai tegangan yang berbeda, nilai-nilai tersebut akan terbaca pada *oscilloscope* dan akan dicatat sebagai data.

Analisis data pada penelitian ini adalah bagaimana linieritas, sensitivitas dan tanggapan waktu sensor. Analisa linieritas sensor adalah tegangan akan linear terhadap nilai masukannya yang dalam hal ini nilai pH atau tidak. Sensitivitas sensor dipengaruhi linearitas. Apabila tanggapannya linier, maka sensitivitas juga akan linier untuk jangkauan pengukuran keseluruhan. Dan untuk waktu tanggapan sensor menunjukkan seberapa cepat tanggapannya terhadap perubahan masukan. Semakin tinggi tanggapan waktu sensor, maka semakin cepat berubah bila nilai masukannya berubah.

Ketiga karakteristik sensor tersebut tentunya didapatkan berdasarkan hasil pengujian terhadap 4 sensor pH yang dibuat menggunakan metode film tebal dengan pasta konduktor berbahan Palladium-Perak dengan jarak antara konduktor yang berbeda-beda.

3.6. Penyusunan Kesimpulan

Pada penelitian ini kesimpulan yang akan diperoleh melalui pengujian sensor, dan data yang diperoleh sehingga didapatkan bagaimana karakteristik sensor pH yang dibuat dengan menggunakan metode film tebal ini. Dengan tersedianya sensor pH yang sudah ada, maka dapat dibandingkan karakteristik antara sensor pH konvensional dengan sensor pH film tebal. Dan diharapkan sensor pH dengan metode ini akan disempurnakan oleh penelitian selanjutnya.



BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

4.1. Perancangan Konduktor Film Tebal

Nilai resistansi konduktor film tebal ditentukan oleh dimensi atau ukuran konduktor dan resistivitas lembar (*sheet resistivity*) pasta yang digunakan. Nilai resistansi konduktor yang dibuat dibuat dengan menggunakan teknologi film tebal ditunjukkan dalam persamaan (4.1) – (4.3) dan dimensi konduktor film tebal ditunjukkan dalam Gambar 4.1.

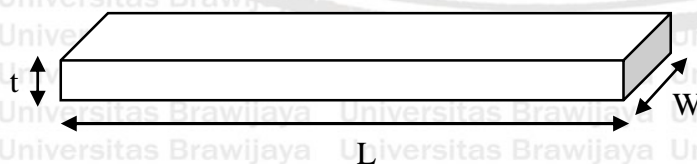
$$R = \rho \frac{L}{tW} \dots\dots\dots(4.1)$$

$$R_s = \frac{\rho}{t} \dots\dots\dots(4.2)$$

$$R = R_s \frac{L}{w} \dots\dots\dots(4.3)$$

Keterangan:

- R = nilai resistansi (Ω)
- ρ = resistivitas bulk material pasta ($\Omega \cdot \text{mm}$)
- L = panjang konduktor (mm)
- W = lebar konduktor (mm)
- R_s = resistivitas lembar pasta ($\Omega \cdot \square^{-1}$)
- T = ketebalan film (mm)
- $L \cdot W^{-1}$ = aspek rasio



Gambar 4.1: Dimensi Konduktor Film Tebal



4.2. Pembuatan Pola Konduktor

4.2.1. Kertas

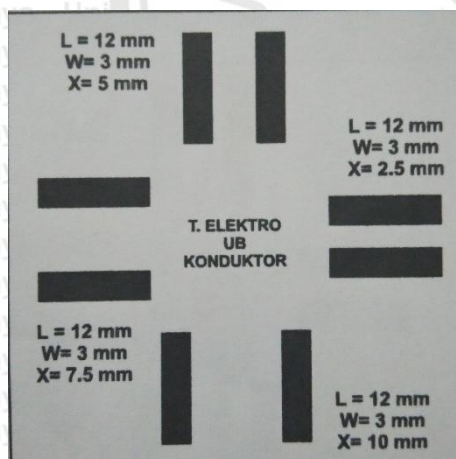
Kertas merupakan media tempat dicetaknya gambar tata letak yang telah dirancang. Ketebalan kertas sangat mempengaruhi hasil pencetakan printer. Apabila kertas terlalu tipis maka perekatan tinta kurang bagus.

4.2.2. Printer

Printer merupakan media yang berfungsi untuk menempelkan tinta pada kertas. Untuk mendapatkan hasil cetakan yang baik maka digunakan pengaturan hasil cetakan pada printer dengan kualitas yang baik, sehingga gambar hasil pencetakan tidak samar.

4.2.3. Perangkat Lunak (*Software*)

Pembuatan desain tata letak konduktor dengan ketelitian tinggi dilakukan dengan menggunakan software Corel Draw X7. Variasi rancang bentuk konduktor ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2: Variasi Bentuk Konduktor Film Tebal.

4.2.4. Proses pembuatan pola

Proses pembuatan pola konduktor yaitu dilakukan dengan mencetak pola pada kertas menggunakan printer. Kualitas gambar sangat mempengaruhi dalam membuat cetakan pada *screen*. Apabila gambar yang dicetak terlihat samar atau tidak jelas maka cetakan *screen* akan terbentuk lubang.

4.3. Pembuatan Pola Konduktor Pada Screen

Setelah pembentukan pola konduktor sesuai dengan ukuran sebenarnya, selanjutnya adalah pembentukan pola yang akan dicetak pada *screen*. *Screen* yang digunakan adalah dengan ukuran T200. Menurut ukuran semakin besar nilai T maka semakin tinggi kerapatan *screen*. Pada proses pembentukan pola konduktor pada *screen* terdapat langkah-langkah sebagai berikut:

4.3.1. Pembersihan Screen

Pembersihan *screen* cetakan dilakukan untuk membersihkan *screen* dari debu atau bekas cetakan yang masih menempel pada *screen*.

4.3.2. Pemberian Resis pada Screen

Larutan peka cahaya atau resis dilapiskan pada permukaan *screen* bagian luar dan bagian dalam menggunakan rakel dengan gerakan satu arah dari atas ke bawah dan dari kiri ke kanan hingga rata.

4.3.3. Pengeringan

Pengeringan dilakukan dengan menggunakan hair dryer. Pengeringan ini dilakukan setelah *screen* dilapisi oleh resis dalam kondisi minim cahaya agar resis menjadi kuat serta tidak terbentuk cetakan sebelum digunakan.

4.3.4. Pengalihan Gambar Pola ke Screen

Hasil gambar pada kertas atau film diletakkan pada permukaan yang menghadap *screen* bagian luar dan diletakkan secara terbalik agar sesuai dengan gambar rancangan konduktor. Kemudian gunakan kaca untuk memberi tekanan pada film terhadap *screen* agar film tidak bergeser. Selanjutnya *screen* yang telah diberi film tersebut disinari lampu ultraviolet atau sinar matahari selama 1 menit untuk memperoleh gambar pola bayangan pada *screen*.

4.3.5. Pencentakan Pola pada Screen

Setelah proses penyinaran, kemudian *screen* di aliri air ke seluruh permukaan *screen* secara merata hingga bagian yang tercipta bayangan gambar pola konduktor menjadi berlubang dan bersih. Kemudian dikeringkan lagi dengan menggunakan hair dryer.

4.3.6. Pembersihan Substrat

Pembersihan substrat dilakukan menggunakan alcohol yang dioleskan menggunakan kain atau tisu ke permukaan substrat Alumina agar kotoran tidak menempel pada substrat.

4.3.7. Pencetakan Konduktor

Dalam pembentukan konduktor ini digunakan pasta Palladium-Perak. Substrat diletakkan dibawah *screen* cetakan kemudian pasta Palladium-Perak diletakkan di atas *screen*. Selanjutnya pasta konduktor diratakan menggunakan rakel dengan sudut 45° sampai 65° hingga merata terhadap permukaan *screen*.

4.4. Proses Pembentukan Konduktor

Sebelum proses pembentukan konduktor, pasta yang dilekatkan pada substrat belum bersifat sebagai konduktor. Proses pembentukan konduktor terdiri dari beberapa langkah yang membutuhkan perlakuan berbeda. Langkah-langkah pembentukan konduktor yaitu:

4.4.1. Perataan (*leveling*)

Hasil cetakan dapat dikatakan rata apabila pasta yang telah dicetak menunjukkan bentuk permukaan yang rata tanpa ada bekas bentuk pada *screen*. Proses perataan ini dilakukan dengan meletakkan substrat yang baru saja dilekati pasta pada suhu ruangan selama jangka waktu 15 menit. (Harper, Charles A. 1975:5-33).

4.4.2. Pengeringan (*drying*)

Setelah proses perataan maka langkah selanjutnya adalah proses pengeringan dengan menempatkan substrat pada oven dengan suhu 150°C selama jangka waktu 15 menit. (Harper, Charles A. 1975:5-34).

4.4.3. Pembakaran (*firing*)

Proses pembakaran berfungsi untuk mengubah pasta yang telah dilekatkan agar menjadi konduktor. Proses ini dilakukan dengan meletakkan substrat yang telah melalui proses perataan dan pengeringan ke dalam *furnace* dengan suhu antara 700°C sampai 1000°C selama 15 menit. (Harper, Charles A. 1975:5-8).

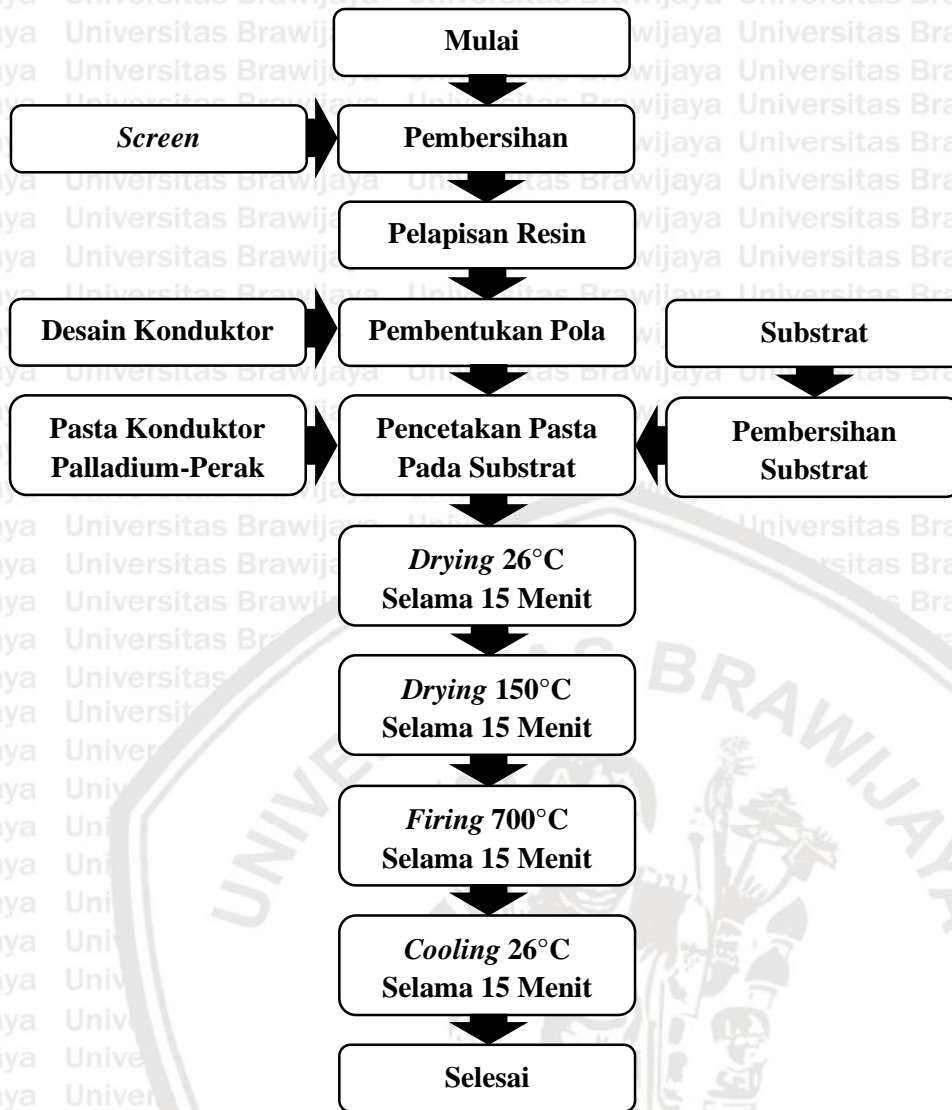
4.4.4. Pendinginan (*cooling*)

Setelah proses pembakaran, maka substrat didinginkan pada suhu ruangan. Untuk mempercepat penurunan suhu substrat, maka susbstrat diletakkan di dekat pendingin.

4.5. Pembuatan Konduktor Secara Keseluruhan

Proses pembuatan konduktor keseluruhan secara garis besar adalah pembuatan pola terlebih dahulu dengan menggunakan software Corel Draw X7 untuk didapat ukuran hasil yang presisi dan sesuai. Kemudian dilanjutkan dengan proses pembuatan cetakan konduktor pada *screen* dengan melakukan pelapisan resis serta penempatan film dan *screen* dibawah sinar ultraviolet. Proses selanjutnya adalah pencetakan konduktor pada substrat dengan cara meletakkan substrat dibawah *screen* cetakan dan pasta konduktor di atas *screen* yang kemudian diratakan dengan menggunakan rakel.

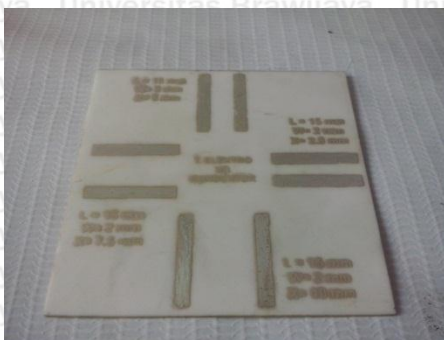
Pasta konduktor yang ditempelkan pada substrat akan menjalani proses perataan agar didapat bentuk konduktor yang bagus, pengeringan untuk mengeringkan pasta yang telah diratakan, pembakaran untuk mengubah pasta yang telah dilekatkan menjadi konduktor dan kemudian proses pendinginan untuk menurunkan suhu konduktor dan substrat setelah menjalani proses pembakaran. Proses pembuatan konduktor pasta Palladium-Perak pada substrat Alumina secara keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.3: Proses Pembuatan Konduktor Secara keseluruhan

4.6. Hasil Sensor pada Substrat Alumina

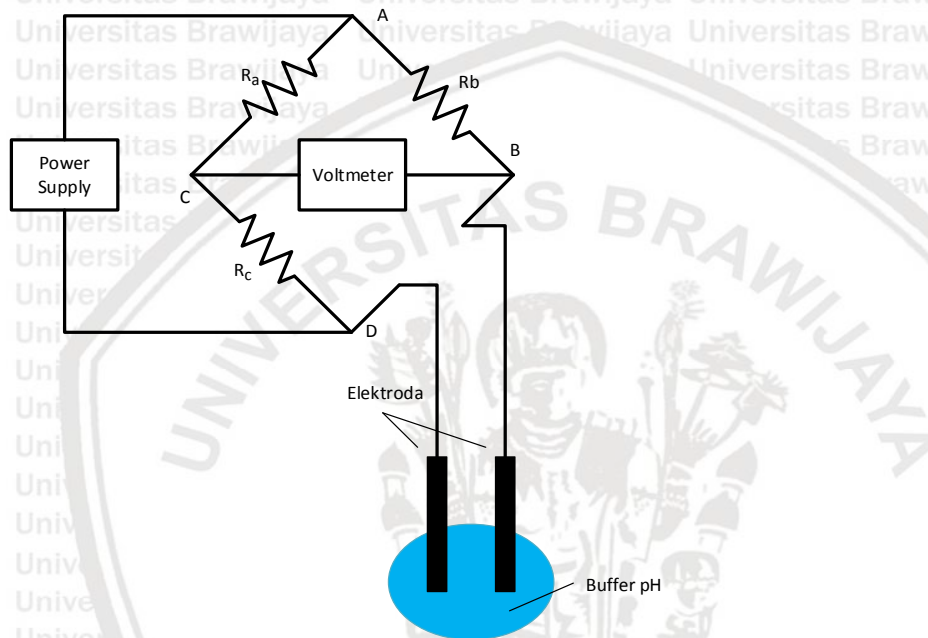
Hasil Sensor pada Substrat Alumina ditunjukkan dalam Gambar 4.4



Gambar 4.4: Hasil Sensor pada Substrat dengan jarak tiap konduktor 2.5 mm, 5 mm, 7.5 mm, dan 10 mm

4.7. Rangkaian Uji Sensor

Untuk mengukur pH pada penelitian ini dilakukan dengan meneteskan *buffer pH* pada konduktor yang berfungsi sebagai elektroda. Konduktor tersebut dihubungkan ke jembatan wheatstone yang diberi sumber tegangan, yang kemudian ditengah-tengah jembatan wheatstone tersebut diberi voltmeter atau oscilloscope untuk mengukur besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan dari sensor pH. Bentuk rangkaian dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 4.5.



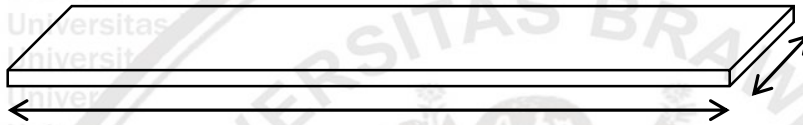
Gambar 4.5: Metode Pengukuran pH pada Sensor pH Film Tebal.

Sensor pH dimasukkan ke dalam wadah yang berisi larutan buffer pH 1 sampai dengan pH 14 secara bergantian. Dikarenakan sensor pH ini adalah sensor pasif yaitu keluran dari sensor berupa besaran resistif sehingga membutuhkan catu daya eksternal, serta modul Jembatan Wheatstone agar besaran resistansi dapat diubah menjadi tegangan agar dapat diukur pada *oscilloscope*. *Power supply* yang digunakan untuk penelitian ini diatur agar tegangan yang dihasilkan sebesar 10 volt.

BAB V

PENGUKURAN DAN ANALISIS

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan pada sensor pH yang telah di cetak pada substrat Alumina dengan teknologi film tebal dengan memasukkan sensor pH ke dalam larutan *buffer* pH 1 hingga pH 14. Pengujian dilakukan sebanyak sepuluh kali lalu di rata-rata dan kemudian dibuat grafik tegangan terhadap pH. Sensor pH di uji selama 10 detik dengan jarak masing-masing elektroda sensor yang berbeda-beda, yaitu 2.5 mm (sensor I), 5 mm (sensor II), 7.5 mm (sensor III), dan 10 mm (sensor IV). Dimensi elektroda konduktor film tebal ini ditunjukkan dalam Gambar 5.1



Gambar 5.1: Dimensi Konduktor Film tebal

5.1. Pengujian Sensor pH Film Tebal

Pengukuran tegangan yang dihasilkan sensor dilakukan dengan mengubah variable masukan yaitu *buffer* pH yang telah diukur dengan alat ukur standar (pH meter dengan merk “Senz pH Duo”). Hasil pengukuran tegangan sensor di uji selama 10 detik dengan nilai pH 1 hingga pH 14 dan 10 kali pengujian ditunjukkan dalam Tabel 5.1 hingga Tabel 5.10. Hasil pengukuran tegangan keseluruhan akan di rata-rata yang ditunjukkan dalam Tabel 5.11.

Tabel 5.1 Pengujian ke-1 sensor film tebal

pH/Sensor	I	II	III	IV
1	-0.27	-0.2	-0.22	-0.25
2	-0.16	-0.18	-0.15	-0.14
3	-0.12	-0.13	-0.11	-0.13
4	-0.11	-0.1	-0.08	-0.1
5	-0.08	-0.06	-0.06	-0.08
6	-0.05	-0.03	-0.04	-0.05
7	0.01	0.04	0.02	0.01
8	-0.06	-0.08	-0.07	-0.05
9	-0.1	-0.11	-0.09	-0.09
10	-0.14	-0.16	-0.13	-0.12
11	-0.16	-0.14	-0.12	-0.08
12	-0.13	-0.15	-0.16	-0.12
13	-0.2	-0.15	-0.2	-0.19
14	-0.18	-0.12	-0.17	-0.17

Tabel 5.2 Pengujian ke-2 sensor film tebal

pH/Sensor	I	II	III	IV
1	-0.25	-0.23	-0.27	-0.26
2	-0.18	-0.18	-0.19	-0.17
3	-0.14	-0.16	-0.14	-0.15
4	-0.1	-0.13	-0.12	-0.13
5	-0.09	-0.07	-0.08	-0.1
6	-0.06	-0.05	-0.03	-0.05
7	-0.01	0.01	0	0.02
8	-0.08	-0.04	-0.04	-0.02
9	-0.11	-0.12	-0.09	-0.1
10	-0.16	-0.15	-0.12	-0.12
11	-0.15	-0.12	-0.1	-0.06
12	-0.13	-0.14	-0.14	-0.09
13	-0.2	-0.13	-0.17	-0.19
14	-0.17	-0.13	-0.17	-0.15

Tabel 5.3 Pengujian ke-3 sensor film tebal

<i>pH/Sensor</i>	I	II	III	IV
1	-0.3	-0.25	-0.24	-0.28
2	-0.17	-0.2	-0.21	-0.2
3	-0.15	-0.17	-0.15	-0.17
4	-0.11	0.13	-0.13	-0.14
5	-0.1	-0.08	-0.07	-0.08
6	-0.03	-0.04	-0.04	-0.06
7	0.02	0.01	0.03	-0.01
8	-0.05	-0.04	-0.03	-0.03
9	-0.09	-0.08	-0.1	-0.09
10	-0.15	-0.16	-0.13	-0.12
11	-0.13	-0.13	-0.08	-0.08
12	-0.15	-0.13	-0.12	-0.1
13	-0.18	-0.18	-0.15	-0.13
14	-0.15	-0.13	-0.17	-0.15

Tabel 5.4 Pengujian ke-4 sensor film tebal

<i>pH/Sensor</i>	I	II	III	IV
1	-0.25	-0.31	-0.28	-0.27
2	-0.2	-0.22	-0.17	-0.18
3	-0.15	-0.16	-0.16	-0.13
4	-0.12	-0.12	-0.11	-0.08
5	-0.08	-0.06	-0.09	-0.07
6	-0.03	-0.03	-0.05	-0.03
7	0.01	0.02	0.02	0.02
8	-0.05	-0.04	-0.08	-0.04
9	-0.09	-0.07	-0.11	-0.1
10	0.14	-0.16	-0.12	-0.12
11	-0.14	-0.13	-0.12	-0.09
12	-0.14	-0.16	-0.13	-0.11
13	-0.17	-0.15	-0.15	-0.1
14	-0.15	-0.13	-0.16	-0.16

Tabel 5.5 Pengujian ke-5 sensor film tebal

pH/Sensor	I	II	III	IV
1	-0.23	-0.24	-0.27	-0.23
2	-0.19	-0.2	-0.19	-0.16
3	-0.16	-0.15	-0.15	-0.13
4	-0.12	-0.13	-0.12	-0.11
5	-0.08	-0.08	-0.07	-0.09
6	-0.05	-0.04	-0.03	-0.05
7	-0.01	0	0.02	0.03
8	-0.06	-0.05	-0.05	-0.04
9	-0.08	-0.1	-0.08	-0.1
10	-0.11	-0.13	-0.12	-0.12
11	-0.13	-0.11	-0.11	-0.12
12	-0.17	-0.13	-0.13	-0.1
13	-0.17	-0.14	-0.16	-0.1
14	-0.17	-0.12	-0.14	-0.16

Tabel 5.6 Pengujian ke-6 sensor film tebal

pH/Sensor	I	II	III	IV
1	-0.28	-0.24	-0.26	-0.28
2	-0.2	-0.19	-0.21	-0.19
3	-0.16	-0.14	-0.16	-0.15
4	-0.13	-0.11	-0.14	-0.12
5	-0.1	-0.09	-0.1	-0.08
6	-0.05	-0.03	-0.04	-0.03
7	0	0.01	0.02	-0.01
8	-0.04	-0.06	-0.05	-0.05
9	-0.08	-0.9	-0.09	-0.1
10	-0.14	-0.14	-0.12	-0.13
11	-0.13	-0.12	-0.1	0.08
12	-0.14	-0.15	-0.12	-0.09
13	-0.18	-0.15	-0.1	-0.14
14	-0.15	-0.1	-0.16	-0.15

Tabel 5.7 Pengujian ke-7 sensor film tebal

<i>pH/Sensor</i>	I	II	III	IV
1	-0.25	-0.27	-0.24	-0.24
2	-0.17	-0.2	-0.18	-0.15
3	-0.12	-0.15	-0.14	-0.13
4	-0.09	-0.11	-0.1	-0.09
5	-0.07	-0.08	-0.06	-0.06
6	-0.05	0.03	-0.05	-0.04
7	0	0.02	0.01	0.03
8	-0.04	-0.06	-0.04	-0.02
9	-0.11	-0.09	-0.08	-0.09
10	-0.16	-0.15	-0.11	-0.12
11	-0.12	-0.11	-0.11	-0.09
12	-0.14	-0.13	-0.14	-0.12
13	-0.17	-0.16	-0.12	-0.11
14	-0.14	-0.12	-0.17	-0.16

Tabel 5.8 Pengujian ke-8 sensor film tebal

<i>pH/Sensor</i>	I	II	III	IV
1	-0.21	-0.23	-0.25	-0.23
2	-0.19	-0.18	-0.17	-0.18
3	-0.15	-0.14	-0.14	-0.13
4	-0.1	0.12	-0.11	-0.12
5	-0.08	-0.08	-0.08	-0.09
6	-0.06	-0.04	-0.05	-0.04
7	-0.01	0	-0.01	0.01
8	-0.06	-0.04	-0.05	-0.04
9	-0.11	-0.09	-0.1	-0.09
10	-0.15	-0.15	-0.12	-0.13
11	-0.13	-0.11	-0.08	-0.1
12	-0.13	-0.14	-0.12	-0.11
13	-0.18	-0.16	-0.13	-0.12
14	-0.15	-0.13	-0.14	-0.15

Tabel 5.9 Pengujian ke-9 sensor film tebal

pH/Sensor	I	II	III	IV
1	-0.22	-0.23	-0.22	-0.25
2	-0.17	-0.17	-0.18	-0.19
3	-0.14	-0.16	-0.14	-0.16
4	-0.12	-0.13	-0.12	-0.11
5	-0.09	-0.1	-0.09	-0.08
6	-0.05	-0.04	-0.05	-0.05
7	0	0.01	-0.01	0
8	-0.04	-0.06	-0.5	-0.04
9	-0.1	-0.09	-0.09	-0.1
10	-0.16	-0.14	-0.12	-0.12
11	-0.13	-0.1	-0.1	-0.08
12	-0.16	-0.15	-0.14	-0.09
13	-0.17	-0.16	-0.1	-0.08
14	-0.16	-0.13	-0.15	-0.16

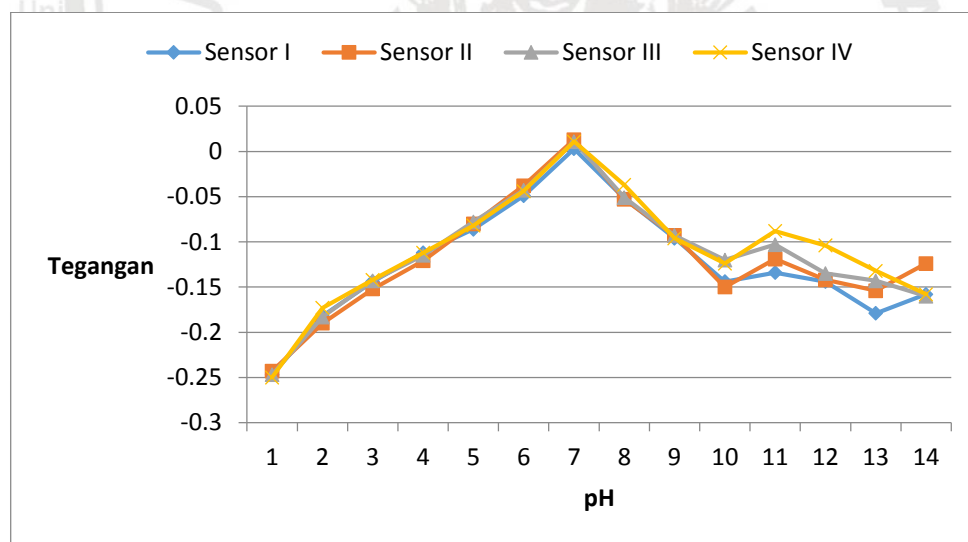
Tabel 5.10 Pengujian ke-10 sensor film tebal

pH/Sensor	I	II	III	IV
1	-0.21	-0.23	-0.22	-0.21
2	-0.19	-0.18	-0.18	-0.17
3	-0.15	-0.16	-0.14	-0.14
4	-0.12	-0.13	-0.12	-0.12
5	-0.09	-0.1	-0.08	-0.09
6	-0.06	-0.05	-0.05	-0.04
7	0.02	0.01	0.01	0.01
8	-0.04	-0.06	-0.05	-0.04
9	-0.09	-0.09	-0.1	-0.1
10	-0.13	-0.16	-0.11	-0.14
11	-0.12	-0.12	-0.11	-0.1
12	-0.15	-0.14	-0.15	-0.11
13	-0.17	-0.16	-0.15	-0.16
14	-0.16	-0.13	-0.17	-0.17

Tabel 5.11 Rata-rata hasil pengujian sensor film tebal

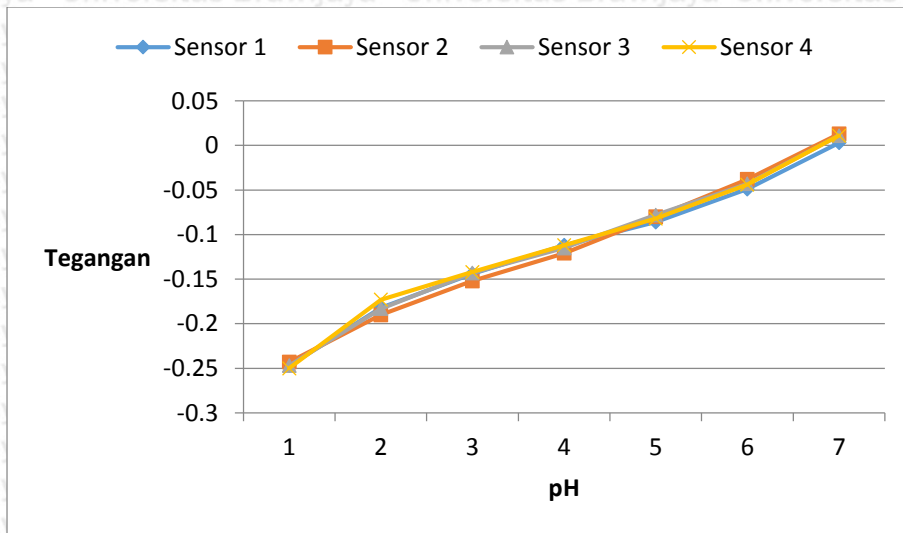
pH/Sensor	I	II	III	IV
1	-0.247	-0.243	-0.247	-0.25
2	-0.182	-0.19	-0.183	-0.173
3	-0.144	-0.152	-0.143	-0.142
4	-0.112	-0.121	-0.115	-0.112
5	-0.086	-0.08	-0.078	-0.082
6	-0.049	-0.038	-0.043	-0.044
7	0.003	0.013	0.011	0.011
8	-0.052	-0.053	-0.051	-0.037
9	-0.096	-0.093	-0.093	-0.096
10	-0.144	-0.15	-0.12	-0.124
11	-0.134	-0.119	-0.103	-0.088
12	-0.144	-0.142	-0.135	-0.104
13	-0.179	-0.154	-0.143	-0.132
14	-0.158	-0.124	-0.16	-0.158

Untuk lebih mempermudah menganalisis karakteristik tegangan terhadap pH dalam Tabel 5.11, maka dibuatlah grafik rata-rata seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.2



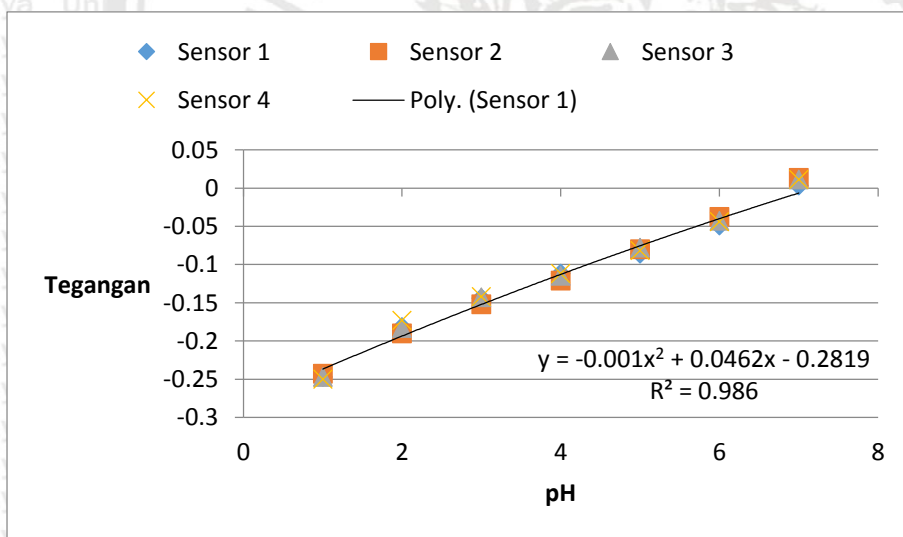
Gambar 5.2: Grafik rata-rata hasil pengujian sensor film tebal

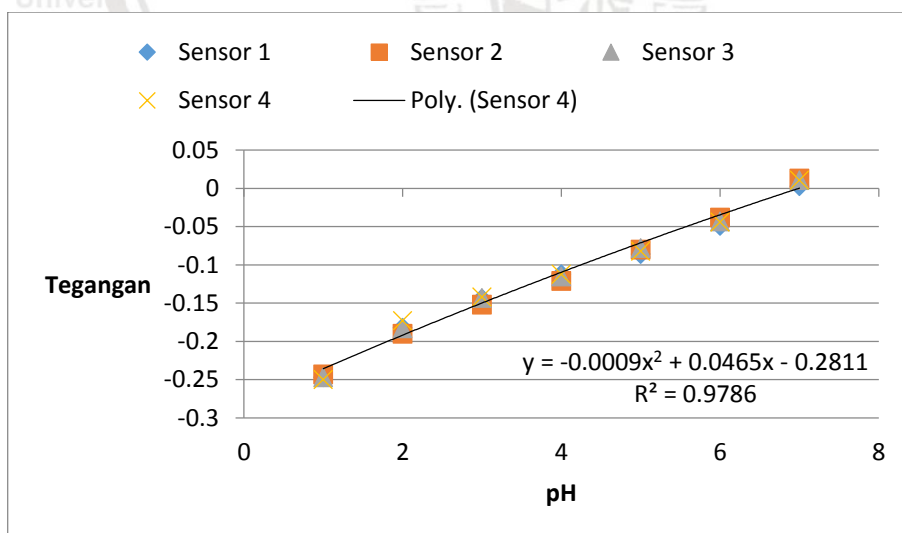
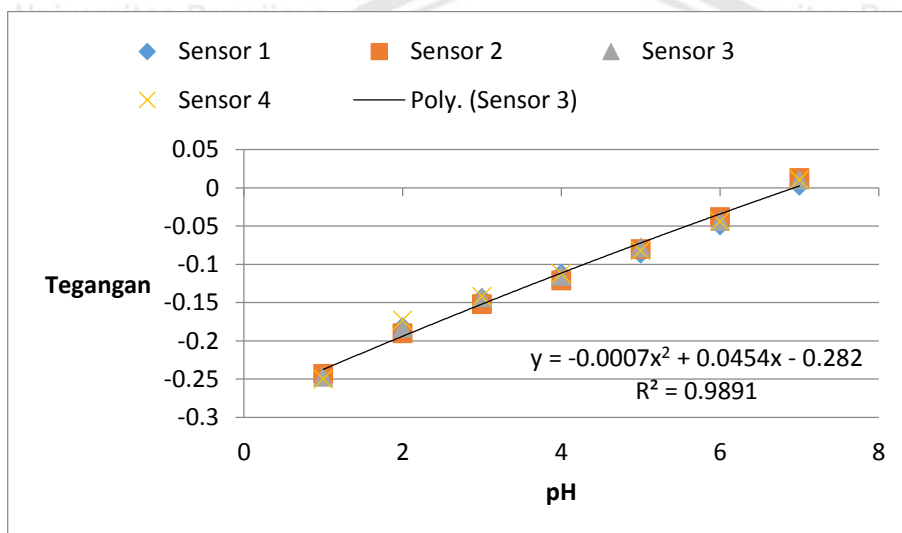
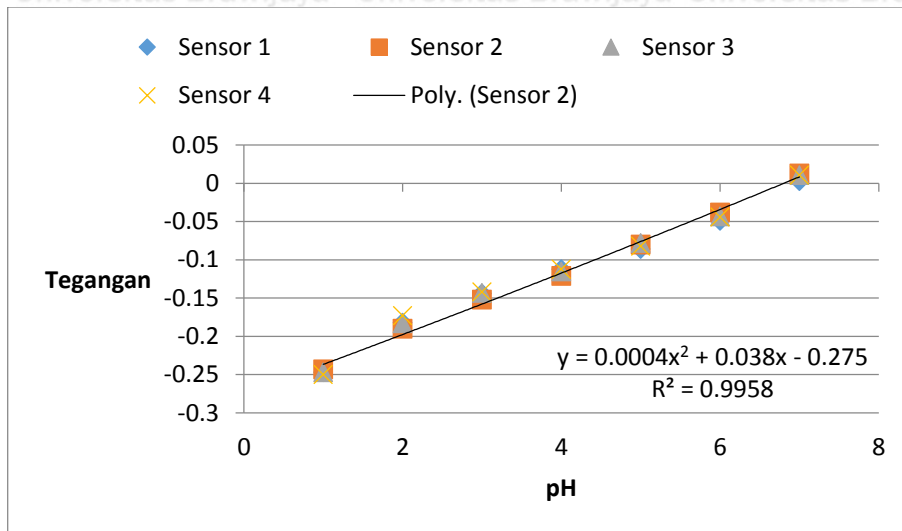
Dari Gambar 5.2 dapat dilihat bahwa tegangan hasil pengukuran linear terhadap larutan *buffer* pH-1 sampai dengan pH-7. Sedangkan tegangan hasil pengukuran terhadap larutan *buffer* pH-8 sampai dengan pH-9 menurun dan hasil pengukuran terhadap larutan *buffer* pH-10 sampai dengan pH-14 tidak menentu. Grafik linier tegangan terhadap pH 1 sampai dengan pH 7 ditunjukkan dalam Gambar 5.3



Gambar 5.3: Grafik rata-rata hasil pengujian sensor film tebal pH-1 sampai pH-7

Untuk menganalisis sensitifitas grafik dalam Gambar 5.3 dengan pH 1 sampai dengan pH 7 dibuat garis regresi dengan metode kuadratik untuk hasil pengujian keempat sensor yang ditunjukkan dalam Gambar 5.4





Gambar 5.4: Grafik kuadratik hasil pengujian 4 sensor film tebal pada pH 1 sampai pH 7

Gambar 5.4 menunjukkan grafik kuadratik yang diperoleh dari Gambar 5.3. Untuk mendapatkan sebuah kurva yang dapat menggambarkan kondisi data dalam Tabel 5.11,

maka digunakanlah metode regresi kuadratik. Dari Gambar 5.4 didapatkan persamaan regresi untuk tiap-tiap garis yang mewakili keempat sensor film tebal ini dengan jarak yang berbeda-beda. Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Sensor I} : y = -0.001x^2 + 0.0462x - 0.2819 \quad (1)$$

$$\text{Sensor II} : y = 0.0004x^2 + 0.038x - 0.275 \quad (2)$$

$$\text{Sensor III} : y = -0.0007x^2 + 0.0454x - 0.282 \quad (3)$$

$$\text{Sensor IV} : y = -0.0009x^2 + 0.0465x - 0.2811 \quad (4)$$

Perhitungan manual untuk mencari Persamaan (1), (2), (3) dan (4) dapat dilakukan dengan metode regresi linier menggunakan regresi kuadratik. Untuk memperoleh SPL dalam a_0 , a_1 dan a_2 menggunakan:

$$\sum a_0 + \sum a_1 x_i + \sum a_2 x_i^2 = \sum y_i \quad (5-1)$$

$$\sum a_0 x_i + \sum a_1 x_i^2 + \sum a_2 x_i^3 = \sum y_1 x_i \quad (5-2)$$

$$\sum a_0 x_i^2 + \sum a_1 x_i^3 + \sum a_2 x_i^4 = \sum y_1 x_i^2 \quad (5-3)$$

• Solusi SPL sensor I ini adalah:

$$a_0 = -0.001$$

$$a_1 = 0.0462$$

$$a_2 = -0.2819$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.001x^2 + 0.0462x - 0.2819$$

• Solusi SPL sensor II ini adalah:

$$a_0 = 0.0004$$

$$a_1 = 0.038$$

$$a_2 = -0.275$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = 0.0004x^2 + 0.038x - 0.275$$

• Solusi SPL sensor III ini adalah:

$$a_0 = -0.0007$$

$$a_1 = 0.0454$$

$$a_2 = -0.282$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.0007x^2 + 0.0454x - 0.282$$

• Solusi SPL sensor IV ini adalah:

$$a_0 = -0.0009$$

$$a_1 = 0.0465$$

$$a_2 = -0.2811$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.0009x^2 + 0.0465x - 0.2811$$

Pada Gambar 5.4 garis-garis menunjukkan regresi pada keempat sensor, kecocokan antara garis pada grafik tersebut dengan data sebenarnya disebut R^2 atau *norm of residuals*. Nilai dari *norm of residuals* ini akan mendekati 0 jika garis pada grafik mendekati nilai pada data sebenarnya sedangkan R^2 akan mendekati 1 jika garis grafik mendekati nilai sebenarnya. Berikut adalah nilai R^2 dari keempat sensor tersebut:

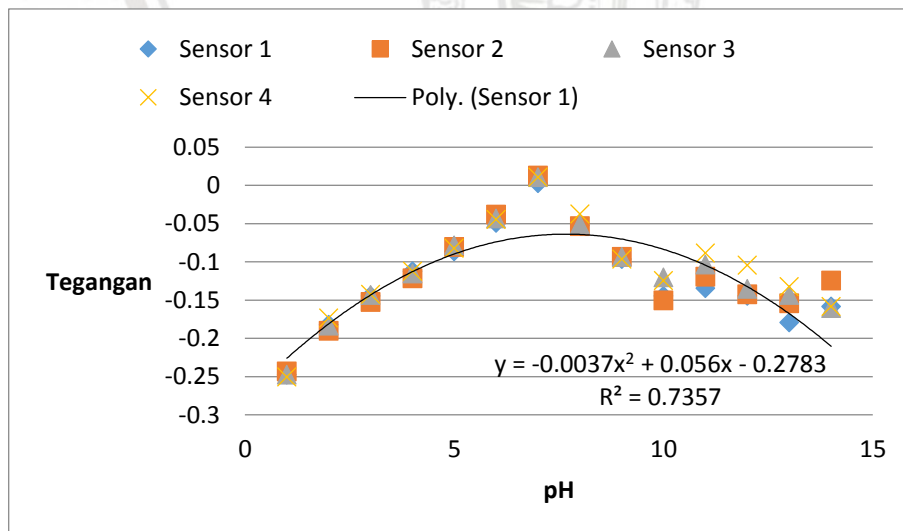
$$\text{Sensor I} : R = 0.9860 \quad \text{norm} : 0.024245$$

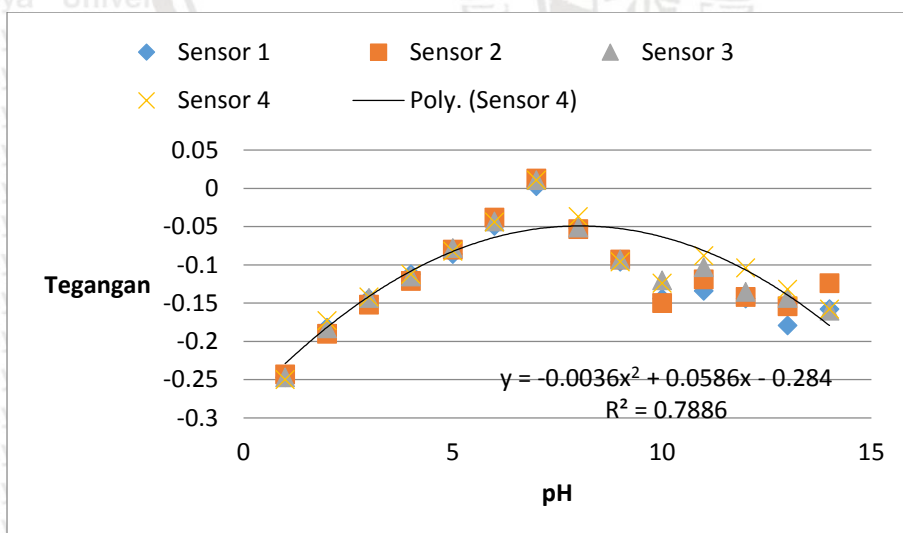
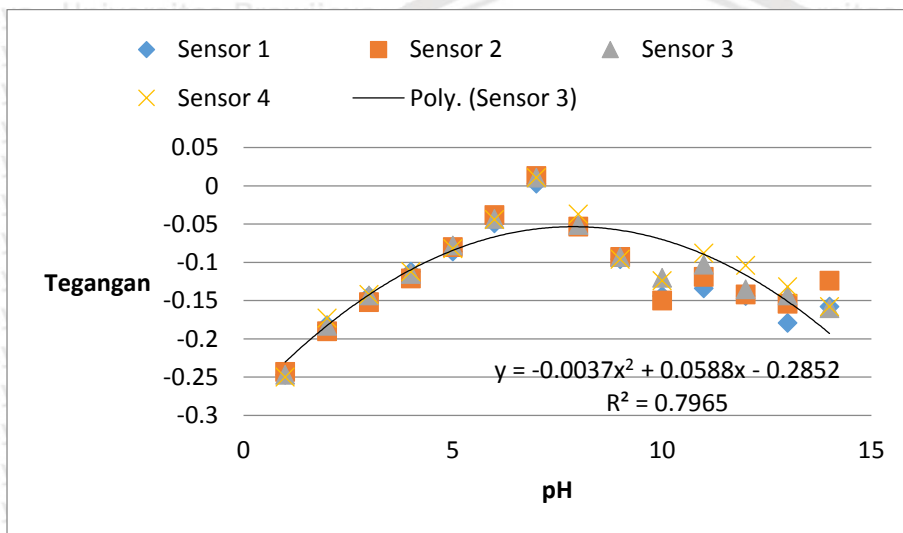
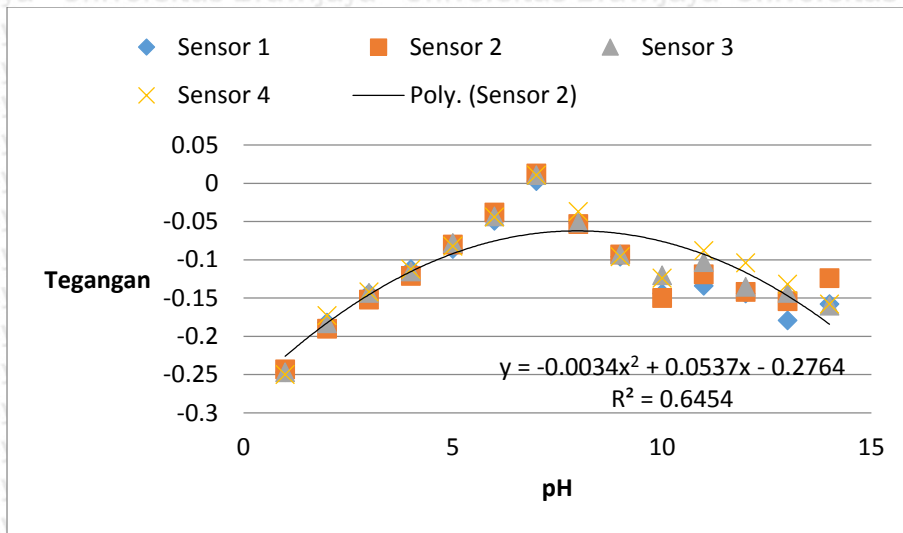
$$\text{Sensor II} : R = 0.9958 \quad \text{norm} : 0.013985$$

$$\text{Sensor III} : R = 0.9891 \quad \text{norm} : 0.022255$$

$$\text{Sensor IV} : R = 0.9786 \quad \text{norm} : 0.030806$$

Setelah membuat grafik regresi tegangan terhadap pH 1 sampai dengan 7 telah ditunjukkan dalam Gambar 5.4, selanjutnya dibuatlah pula grafik regresi dengan metode yang sama untuk pH 1 sampai dengan pH 14 untuk keempat sensor pH film tebal yang ditunjukkan dalam Gambar 5.5





Gambar 5.5: Grafik kuadratik hasil pengujian 4 sensor film tebal pada pH 1 sampai pH

Dari Gambar 5.5 dapat kita lihat bahwa garis-garis tersebut menunjukkan regresi pada keempat sensor, kecocokan antara garis pada grafik tersebut dengan data sebenarnya disebut R^2 atau *norm of residuals*. Berikut adalah nilai R^2 dari keempat sensor tersebut untuk pH 1 sampai dengan pH 14:

Sensor I : $R^2 = 0.7357$ *norm* : 0.11865

Sensor II : $R^2 = 0.6454$ *norm* : 0.13934

Sensor III : $R^2 = 0.7965$ *norm* : 0.10406

Sensor IV : $R^2 = 0.7886$ *norm* : 0.10625

5.2. Pengujian Sensor pH Film Tebal pada Suhu 50°C

Pada pengujian ini keempat sensor pH film tebal tersebut akan dicelupkan kembali pada *Buffer* pH-1 sampai pH-14 akan tetapi pengukuran akan dilakukan pada suhu 50°C, hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik sensor apabila dilakukan pengukuran pada suhu tinggi. Hasil pengukuran tegangan sensor di uji selama 10 detik dengan nilai pH-1 hingga pH-14 dan 5 kali pengujian ditunjukkan dalam Tabel 5.12 hingga Tabel 5.16. Hasil pengukuran tegangan keseluruhan akan di rata-rata yang di tunjukkan dalam Tabel 5.17.

Tabel 5 12 Pengujian ke-1 pada suhu 50°C

pH/Sensor	I	II	III	IV
1	-0.27	-0.23	-0.24	-0.28
2	-0.19	-0.18	-0.20	-0.17
3	-0.14	-0.13	-0.13	-0.12
4	-0.11	-0.1	-0.1	-0.09
5	-0.08	-0.08	-0.07	-0.08
6	-0.06	-0.07	-0.05	-0.05
7	-0.01	-0.03	-0.02	-0.01
8	-0.05	-0.06	-0.06	-0.05
9	-0.12	-0.11	-0.10	-0.10
10	-0.15	-0.16	-0.15	-0.13
11	-0.19	-0.13	-0.14	-0.10
12	-0.15	-0.15	-0.18	-0.15
13	-0.18	-0.16	-0.19	-0.20
14	-0.16	-0.17	-0.16	-0.18

Tabel 5.13 Pengujian ke-1 pada suhu 50°C

pH/Sensor	I	II	III	IV
1	-0.28	-0.27	-0.26	-0.28
2	-0.21	-0.20	-0.21	-0.21
3	-0.18	-0.18	-0.16	-0.17
4	-0.14	-0.13	-0.13	-0.14
5	-0.11	-0.09	-0.10	-0.10
6	-0.05	-0.06	-0.06	-0.08
7	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03
8	-0.07	-0.04	-0.06	-0.04
9	-0.11	-0.11	-0.11	-0.09
10	-0.14	-0.15	-0.13	-0.13
11	-0.16	-0.14	-0.10	-0.09
12	-0.14	-0.13	-0.13	-0.11
13	-0.17	-0.19	-0.15	-0.13
14	-0.15	-0.14	-0.16	-0.14

Tabel 5.14 Pengujian ke-3 pada suhu 50°C

pH/Sensor	I	II	III	IV
1	-0.25	-0.23	-0.26	-0.24
2	-0.20	-0.19	-0.19	-0.17
3	-0.16	-0.16	-0.17	-0.14
4	-0.13	-0.14	-0.13	-0.10
5	-0.08	-0.08	-0.07	-0.07
6	-0.04	-0.05	-0.04	-0.05
7	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03
8	-0.06	-0.04	-0.07	-0.05
9	-0.10	-0.09	-0.11	-0.11
10	-0.12	-0.13	-0.13	-0.09
11	-0.13	-0.10	-0.11	-0.11
12	-0.17	-0.13	-0.14	-0.13
13	-0.16	-0.15	-0.14	-0.10
14	-0.15	-0.12	-0.15	-0.15

Tabel 5.15 Pengujian ke-4 pada suhu 50°C

<i>pH/Sensor</i>	I	II	III	IV
1	-0.26	-0.26	-0.25	-0.24
2	-0.18	-0.19	-0.19	-0.17
3	-0.12	-0.14	-0.14	-0.14
4	-0.09	-0.10	-0.09	-0.10
5	-0.07	-0.06	-0.06	-0.07
6	-0.05	-0.03	-0.05	-0.04
7	-0.01	-0.02	-0.01	-0.02
8	-0.06	-0.05	-0.05	-0.04
9	-0.10	-0.10	-0.09	-0.10
10	-0.15	-0.14	-0.12	-0.12
11	-0.13	-0.12	-0.13	-0.08
12	-0.13	-0.14	-0.15	-0.12
13	-0.18	-0.17	-0.11	-0.13
14	-0.15	-0.13	-0.118	-0.15

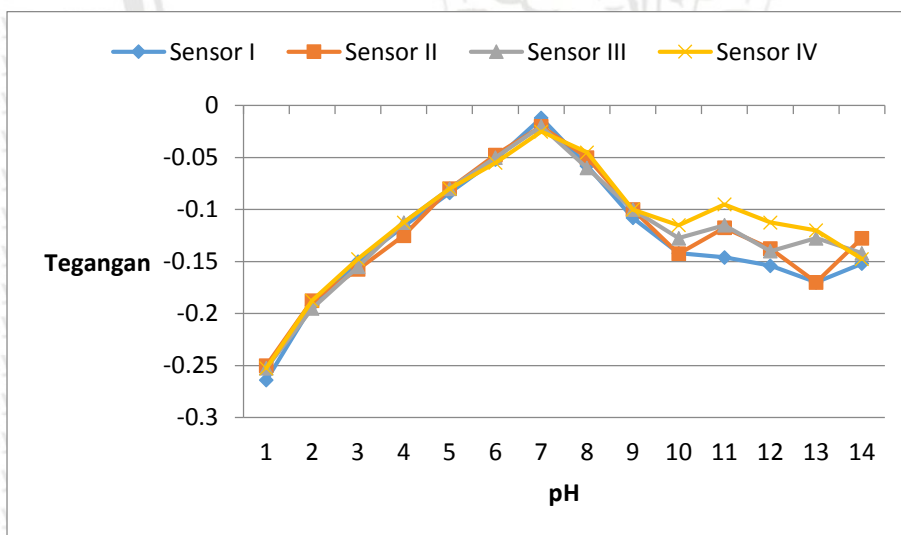
Tabel 5.16 Pengujian ke-5 pada suhu 50°C

<i>pH/Sensor</i>	I	II	III	IV
1	-0.26	-0.24	-0.24	-0.25
2	-0.18	-0.17	-0.19	-0.20
3	-0.15	-0.15	-0.15	-0.14
4	-0.11	-0.13	-0.10	-0.11
5	-0.08	-0.09	-0.09	-0.08
6	-0.06	-0.05	-0.05	-0.05
7	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02
8	-0.05	-0.07	-0.06	-0.05
9	-0.11	-0.10	-0.09	-0.10
10	-0.15	-0.15	-0.13	-0.12
11	-0.12	-0.11	-0.12	-0.10
12	-0.18	-0.15	-0.14	-0.09
13	-0.16	-0.17	-0.11	-0.12
14	-0.15	-0.12	-0.14	-0.15

Tabel 5.17 Rata-rata hasil pengujian sensor pH film tebal pada suhu 50°C

pH/Sensor	I	II	III	IV
1	-0.2625	-0.25	-0.2525	-0.2525
2	-0.1925	-0.1875	-0.195	-0.1875
3	-0.1525	-0.1575	-0.155	-0.1475
4	-0.1175	-0.06	-0.1125	-0.1125
5	-0.085	-0.08	-0.08	-0.08
6	-0.05	-0.0475	-0.05	-0.055
7	-0.0125	-0.02	-0.02	-0.025
8	-0.06	-0.05	-0.06	-0.045
9	-0.105	-0.1	-0.1	-0.1
10	-0.14	-0.1425	-0.1275	-0.115
11	-0.135	-0.1175	-0.115	-0.095
12	-0.155	-0.1375	-0.14	-0.1125
13	-0.1675	-0.17	-0.1275	-0.12
14	-0.15	-0.1275	-0.142	-0.1475

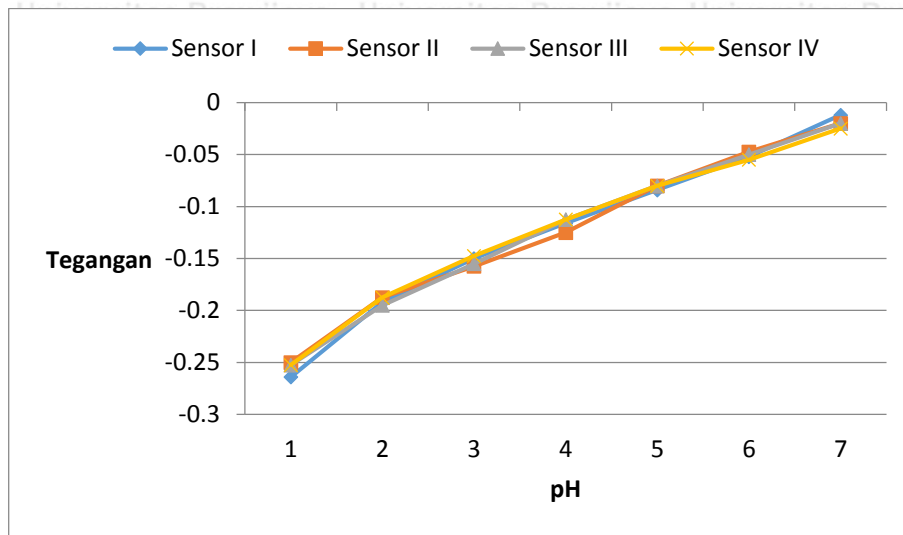
Untuk lebih mempermudah menganalisis karakteristik tegangan terhadap pH dalam Tabel 5.17, maka dibuatlah grafik rata-rata seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.6



Gambar 5.6: Grafik rata-rata hasil pengukuran sensor pH film tebal pada suhu 50°C

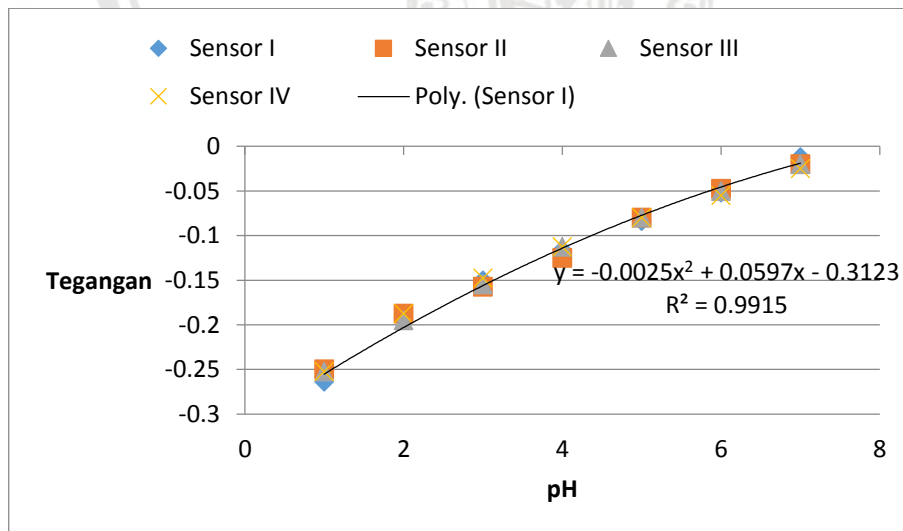
Dari Gambar 5.6 dapat dilihat bahwa tegangan hasil pengukuran linear terhadap larutan *buffer* pH-1 sampai dengan pH-7. Sedangkan tegangan hasil pengukuran terhadap larutan *buffer* pH-8 sampai dengan pH-9 menurun dan hasil pengukuran terhadap larutan

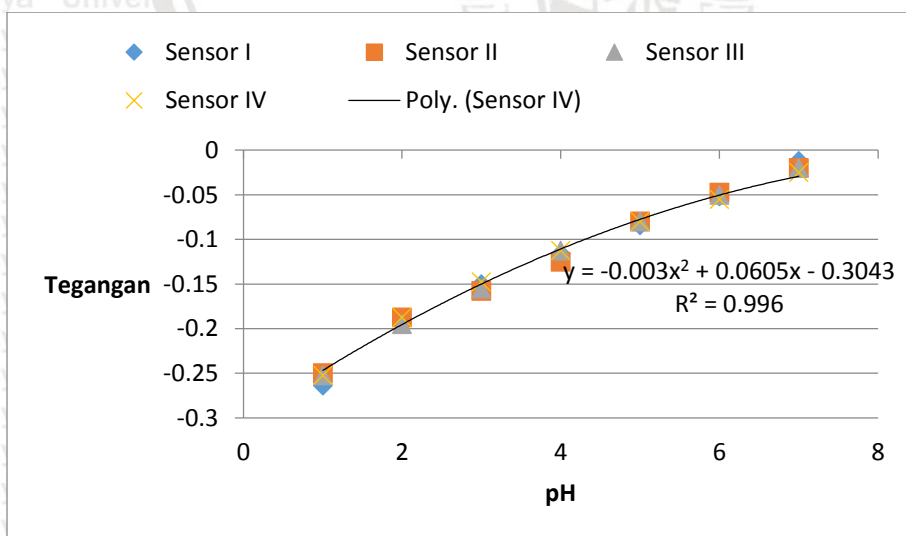
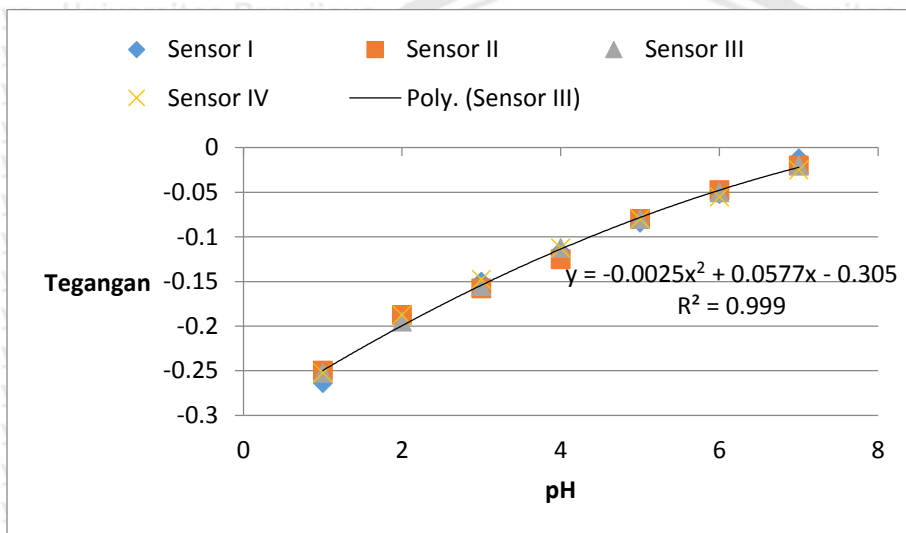
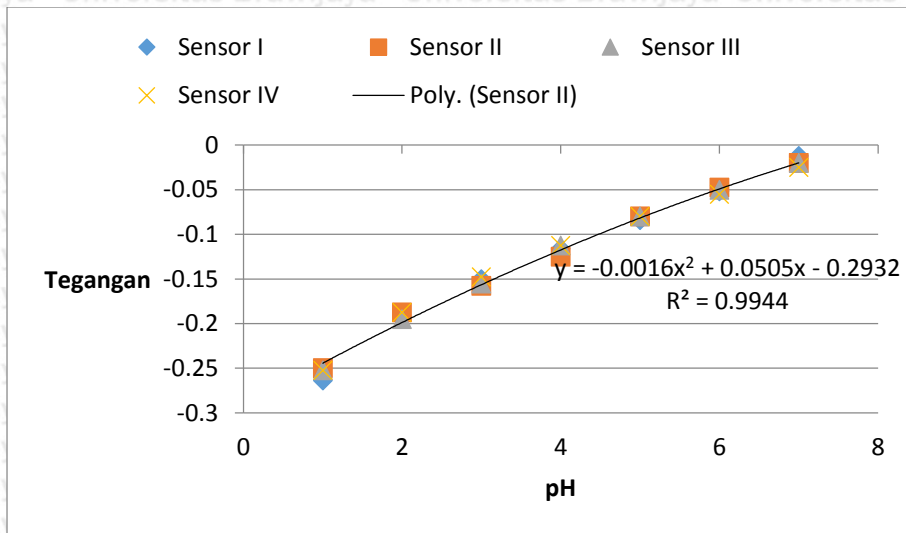
buffer pH-10 sampai dengan pH-14 tidak menentu. Grafik linier tegangan terhadap pH 1 sampai dengan pH 7 ditunjukkan dalam Gambar 5.7



Gambar 5.7: Grafik rata-rata hasil pengukuran sensor pH film tebal pH-1 sampai dengan pH-7 pada suhu 50°C

Untuk menganalisis sensitifitas grafik dalam Gambar 5.7 dengan pH-1 sampai dengan pH-7 dibuat garis regresi dengan metode kuadratik untuk hasil pengujian keempat sensor yang ditunjukkan dalam Gambar 5.8





Gambar 5.8: Grafik kuadratik hasil pengujian 4 sensor film tebal pH-1 sampai pH-7 pada suhu 50°C

Gambar 5.8 menunjukkan grafik kuadratik yang diperoleh dari Gambar 5.7. Untuk mendapatkan sebuah kurva yang dapat menggambarkan kondisi data dalam Tabel 5.17, maka digunakanlah metode regresi kuadratik. Dari Gambar 5.8 didapatkan persamaan regresi untuk tiap-tiap garis yang mewakili keempat sensor film tebal ini dengan jarak yang berbeda-beda. Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Sensor I} : y = -0.0025x^2 + 0.0597x - 0.3123 \quad (1)$$

$$\text{Sensor II} : y = -0.0016x^2 + 0.0505x - 0.2932 \quad (2)$$

$$\text{Sensor III} : y = -0.0025x^2 + 0.0577x - 0.305 \quad (3)$$

$$\text{Sensor IV} : y = -0.003x^2 + 0.0605x - 0.3043 \quad (4)$$

Perhitungan manual untuk mencari Persamaan (1), (2), (3) dan (4) dapat dilakukan dengan metode regresi linier menggunakan regresi kuadratik. Untuk memperoleh SPL dalam a_0 , a_1 dan a_2 menggunakan:

$$\sum a_0 + \sum a_1 x_i + \sum a_2 x_i^2 = \sum y_i \quad (5-4)$$

$$\sum a_0 x_i + \sum a_1 x_i^2 + \sum a_2 x_i^3 = \sum y_1 x_i \quad (5-5)$$

$$\sum a_0 x_i^2 + \sum a_1 x_i^3 + \sum a_2 x_i^4 = \sum y_1 x_i^2 \quad (5-6)$$

• Solusi SPL sensor I ini adalah:

$$a_0 = -0.0025$$

$$a_1 = 0.0597$$

$$a_2 = -0.3123$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.0025x^2 + 0.0597x - 0.3123$$

• Solusi SPL sensor II ini adalah:

$$a_0 = 0.0016$$

$$a_1 = 0.0505$$

$$a_2 = -0.2932$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.0016x^2 + 0.0505x - 0.2932$$

• Solusi SPL sensor III ini adalah:

$$a_0 = -0.0025$$

$$a_1 = 0.0577$$

$$a_2 = -0.305$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.0025x^2 + 0.0577x - 0.305$$

• Solusi SPL sensor IV ini adalah:

$$a_0 = -0.003$$

$$a_1 = 0.0605$$

$$a_2 = -0.3043$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.003x^2 + 0.0605x - 0.3043$$

Pada Gambar 5.8 garis-garis menunjukkan regresi pada keempat sensor, kecocokan antara garis pada grafik tersebut dengan data sebenarnya disebut R^2 atau *norm of residuals*. Nilai dari *norm of residuals* ini akan mendekati 0 jika garis pada grafik mendekati nilai pada data sebenarnya sedangkan R^2 akan mendekati 1 jika garis grafik mendekati nilai sebenarnya. Berikut adalah nilai R^2 dari keempat sensor tersebut:

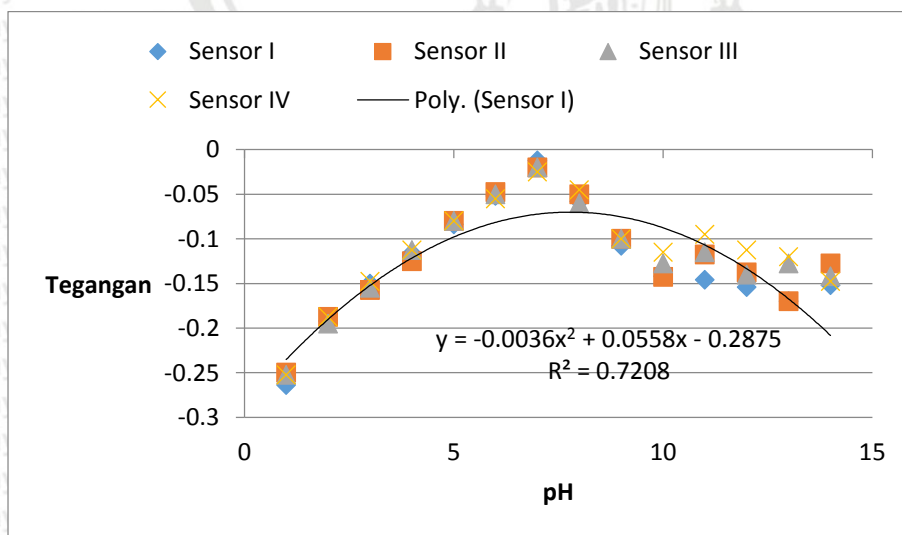
$$\text{Sensor I : } R = 0.9915 \quad \text{norm : } 0.019356$$

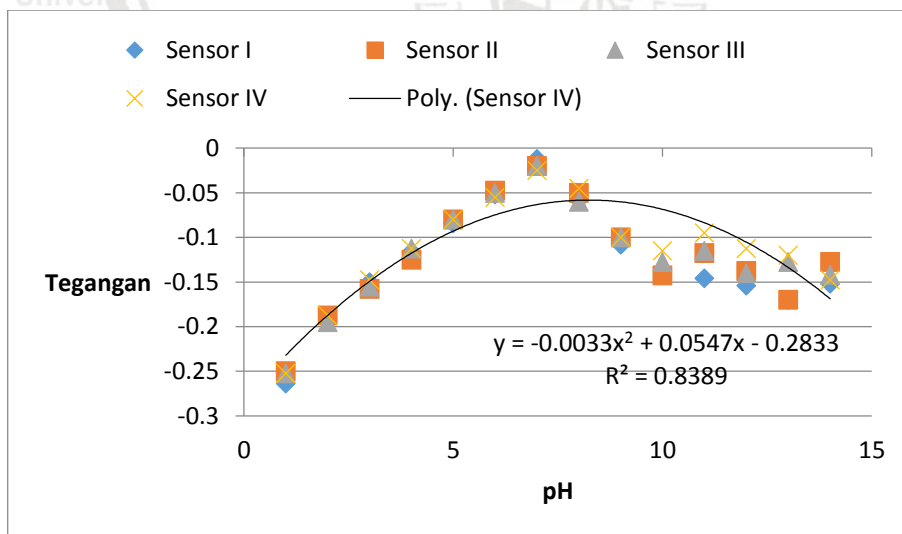
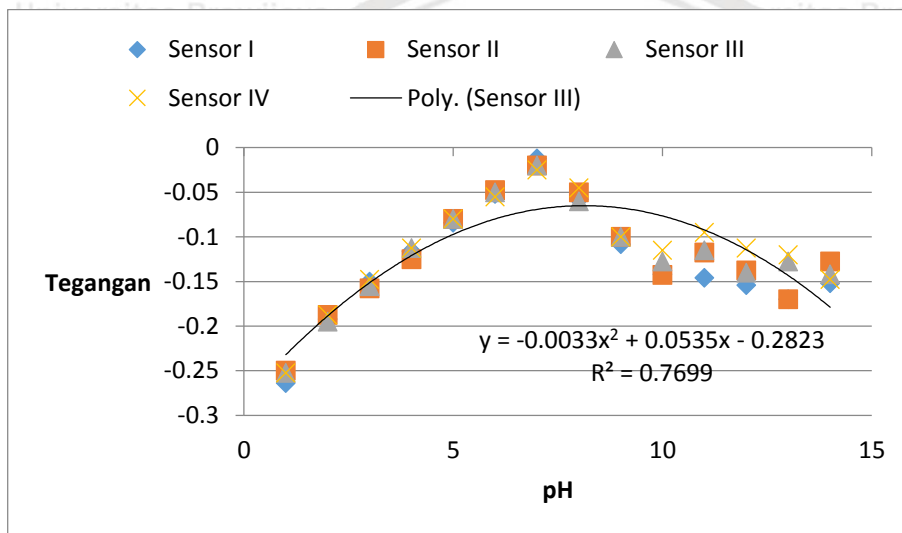
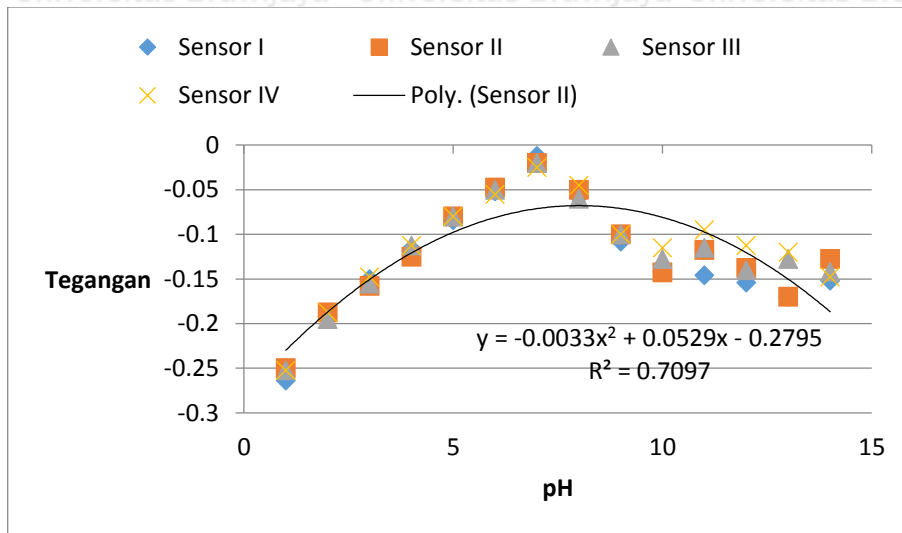
$$\text{Sensor II : } R = 0.9944 \quad \text{norm : } 0.01493$$

$$\text{Sensor III : } R = 0.999 \quad \text{norm : } 0.0065238$$

$$\text{Sensor IV : } R = 0.996 \quad \text{norm : } 0.012247$$

Setelah membuat grafik regresi tegangan terhadap pH 1 sampai dengan 7 telah ditunjukkan dalam Gambar 5.8, selanjutnya dibuatlah pula grafik regresi dengan metode yang sama untuk pH 1 sampai dengan pH 14 untuk keempat sensor pH film tebal yang ditunjukkan dalam Gambar 5.9.





Gambar 5.9: Grafik kuadratik hasil pengujian 4 sensor film tebal pH 1 sampai pH 14 pada suhu 50°C

Dari Gambar 5.9 dapat kita lihat bahwa garis-garis tersebut menunjukkan regresi pada keempat sensor, kecocokan antara garis pada grafik tersebut dengan data sebenarnya disebut R^2 atau *norm of residuals*. Berikut adalah nilai R^2 dari keempat sensor tersebut untuk pH 1 sampai dengan pH 14:

Sensor I	:	$R = 0.7208$	<i>norm</i>	:	0.1219
Sensor II	:	$R = 0.7097$	<i>norm</i>	:	0.11846
Sensor III	:	$R = 0.7699$	<i>norm</i>	:	0.10287
Sensor IV	:	$R = 0.8389$	<i>norm</i>	:	0.084913

5.3. Analisis

Dari hasil pengujian empat sensor pH dengan metode film tebal yang menggunakan pasta konduktor palladium-perak dengan jarak yang berbeda yaitu 2.5 mm, 5 mm, 7.5 mm, 10 mm diperoleh hasil semakin tinggi pH maka tegangan keluaran sensor juga semakin besar. Hal ini dapat dilihat dari gambar grafik hasil pengukuran keempat sensor pH tersebut.

Nilai tegangan yang dihasilkan linier terhadap kadar pH yang diuji, akan tetapi pada pH-8 sampai pH-9 nilai tegangan keluaran menurun dan pada pH-10 sampai pH-14 nilai tegangannya tidak linier lagi bahkan tidak teratur. Dilihat dari grafik regresi antara pH-1 hingga pH-7 dengan pH-1 hingga pH-14 dapat dibandingkan bahwa nilai R^2 dan *norm of residuals* sangat berbeda. Nilai R^2 dan *norm of residuals* pada grafik pH-1 hingga pH-7 lebih baik daripada pH-1 hingga pH-14 yang membuktikan bahwa grafik pH-1 hingga pH-7 lebih mendekati nilai sebenarnya daripada grafik pH-1 hingga pH-14

Jadi sensor pH dengan metode film tebal ini hanya dapat bekerja pada pH-1 sampai pH-7 atau dapat dikatakan bekerja pada kadar asam-netral. Hal ini juga terjadi pada pengujian yang dilakukan pada suhu 50°C. yaitu nilai tegangan linier hanya pada kadar pH-1 sampai pH-7 saja. Akan tetapi rata-rata tegangan hasil pengukuran pH pada suhu 50°C lebih rendah daripada pengukuran pada suhu ruang ($\pm 26^\circ\text{C}$).

Tabel 5.18 menunjukkan daftar regresi tiap set sensor pH dimana terdapat 4 sensor dengan jarak yang berbeda yaitu 2.5 mm, 5 mm, 7.5 mm, 10 mm secara berurutan.

Tabel 5.18 Regresi pada tiap sensor

Pengujian	Sensor	Regresi
Suhu ruang ($\pm 26^\circ\text{C}$)	Sensor I	$y = -0.001x^2 + 0.0462x - 0.2819$
	Sensor II	$y = 0.0004x^2 + 0.038x - 0.275$
	Sensor III	$y = -0.0007x^2 + 0.0454x - 0.282$
	Sensor IV	$y = -0.0009x^2 + 0.0465x - 0.2811$
Suhu 50°C	Sensor I	$y = -0.0025x^2 + 0.0597x - 0.3123$
	Sensor II	$y = -0.0016x^2 + 0.0505x - 0.2932$
	Sensor III	$y = -0.0025x^2 + 0.0577x - 0.305$
	Sensor IV	$y = -0.003x^2 + 0.0605x - 0.3043$

Untuk mengetahui sensitivitas sensor pada pH-1 sampai pH-7 seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.3 dan gambar 5.7 untuk suhu 50°C dengan cara menghitung selisih tegangan dibagi dengan selisih pH yang di ukur. Untuk memudahkan penghitungan, pada masing-masing sensor akan diambil selisih 2 pada nilai pH 3-5, jadi pada selisih tegangannya juga akan dihitung pada rentang pH yang diambil tersebut.

Berikut perhitungannya pada suhu ruang ($\pm 26^\circ\text{C}$):

$$\text{Sensor I} \quad S = \frac{\Delta V}{\Delta \text{pH}} = \frac{-0.086 - (-0.144)}{2} = \frac{-0.058}{2} = -0.029 \text{ V/pH}$$

$$\text{Sensor II} \quad S = \frac{\Delta V}{\Delta \text{pH}} = \frac{-0.080 - (-0.152)}{2} = \frac{-0.072}{2} = -0.036 \text{ V/pH}$$

$$\text{Sensor III} \quad S = \frac{\Delta V}{\Delta \text{pH}} = \frac{-0.078 - (-0.143)}{2} = \frac{-0.065}{2} = -0.032 \text{ V/pH}$$

$$\text{Sensor IV} \quad S = \frac{\Delta V}{\Delta \text{pH}} = \frac{-0.082 - (-0.142)}{2} = \frac{-0.061}{2} = -0.030 \text{ V/pH}$$

Berikut perhitungannya pada suhu 50°C :

$$\text{Sensor I} \quad S = \frac{\Delta V}{\Delta \text{pH}} = \frac{-0.085 - (-0.152)}{2} = \frac{-0.067}{2} = -0.033 \text{ V/pH}$$

$$\text{Sensor II} \quad S = \frac{\Delta V}{\Delta \text{pH}} = \frac{-0.080 - (-0.157)}{2} = \frac{-0.077}{2} = -0.038 \text{ V/pH}$$

$$\text{Sensor III} \quad S = \frac{\Delta V}{\Delta \text{pH}} = \frac{-0.080 - (-0.155)}{2} = \frac{-0.075}{2} = -0.037 \text{ V/pH}$$

$$\text{Sensor IV} \quad S = \frac{\Delta V}{\Delta \text{pH}} = \frac{-0.080 - (-0.147)}{2} = \frac{-0.067}{2} = -0.033 \text{ V/pH}$$

Tabel 5.19 menunjukkan daftar sensitifitas sensor pH dengan metode film tebal menggunakan pasta palladium-perak dengan jarak yang berbeda yaitu 2.5 mm (sensor I), 5 mm (sensor II), 7.5 mm (sensor III). 10 mm (Sensor IV).

Tabel 5 19 Sensitivitas pada tiap sensor

<i>Pengujian</i>	Sensor	Sensitivitas(V/pH)
<i>Suhu ruang ($\pm 26^{\circ}C$)</i>	Sensor I	-0.029
	Sensor II	-0.036
	Sensor III	-0.032
	Sensor IV	-0.030
<i>Suhu $50^{\circ}C$</i>	Sensor I	-0.033
	Sensor II	-0.038
	Sensor III	-0.037
	Sensor IV	-0.033

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilaksanakan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

Sensor pH yang telah dirancang dengan metode film tebal menggunakan konduktor palladium-perak hanya bekerja secara efektif dan linier pada kadar pH-1 sampai dengan pH-7 atau asam-netral. Hasil yang sama juga didapat pada pengujian sensor pH pada suhu 50°C. Akan tetapi tegangan keluaran yang dihasilkan cenderung lebih kecil daripada pengujian yang dilakukan pada suhu ruang ($\pm 26^\circ\text{C}$).

Pada rentang pH-1 sampai pH-7 sensor menunjukkan bahwa tegangan keluaran terhadap pH meningkat secara progresif. Berdasarkan analisis keempat sensor pH film tebal ini sensor II memiliki sensitivitas terhadap pH paling tinggi yaitu $S = -0.036 \text{ V/pH}$ pada suhu ruang dan $S = -0.038 \text{ V/pH}$ pada suhu 50°C dengan jarak antar elektrodanya adalah 5 mm. Regresi kuadratik dari sensor II ini adalah $y = 0.0004x^2 + 0.038x - 0.275$ pada suhu ruang ($\pm 26^\circ\text{C}$) dan $y = -0.0016x^2 + 0.0505x - 0.2932$ pada suhu 50°C.

Pada rentang pH-8 sampai pH-14 atau basa, tegangan keluaran terhadap pH tidak teratur atau linier lagi. Hal ini dapat disebabkan karena pengaruh jenis larutan, terjadi reaksi kimia, atau variabel yang di ukur bukan konsentrasi ion hidrogen. Sehingga hasil dari penelitian ini adalah konduktor Palladium-Perak pada film tebal tidak sesuai untuk mengukur derajat keasaman suatu larutan.

6.2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan alat dan bahan pada film tebal yang dapat bereaksi dengan ion hidrogen agar didapatkan hasil yang sesuai dengan pH yang di ukur. Dikarenakan tegangan yang dikeluarkan cukup kecil maka untuk penelitian dan penyempurnaan sensor pH dengan metode film tebal ini diperlukan rangkaian penyangga serta amplifier untuk memperoleh hasil yang lebih besar (baik). Untuk kedepannya sensor ini diharapkan dapat dikembangkan dengan sistem instrumentasi pengkondisi sinyal sehingga dapat menunjukkan berapa kadar pH pada larutan tertentu secara *real-time*.

DAFTAR PUSTAKA

- Altisent, Jose M. Duran, Norma Retamal Parra, Ruben Yugueros Moratiel. 2009. *pH Concept, Measurement And Applications In Agriculture And Environment*. Higher Technical School of Agricultural Engineers UPM. Madrid.
- Chang, Raymond. 2007. *Chemistry Ninth Edition*. Mc Graw Hill. New York.
- Dally, James W. 1984. *Instrumentation for Engineering Measurement*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Debataraja, Aminuddin, Robeth V. Manurung. 2011. *Mikrofabrikasi Elektroda untuk Aplikasi Deteksi Konsentrasi [H+] dengan Teknologi Lapisan Tebal*. Politeknik Negeri Jakarta. Depok
- Desiana, Eka. 2010. *Perencanaan dan Pembuatan Sensor Nitrat dengan Teknologi Film Tebal (Thick Film)*. Skripsi Universitas Brawijaya.
- Effendrik, Popong. 1997. *Karakterisasi Konduktor Pasta Palladium-Perak Pada Substrat Alumina Dengan Teknologi Hibrida Film Tebal*. Skripsi Universitas Brawijaya.
- Ekelof, Stig. 2001. *The Genesis of the Wheatstone Bridge*. Volume 10, No. 1, Engineering Science and Education Journal, Februari 2001.
- Gill, Edric I, Arousian Arshak, And Khalil Arshak,. 2009. *Investigation of Thick-Film Polyaniline-Based Conductimetric pH Sensors for Medical Applications*. Volume 9, No. 5, http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4812121&tag=1, 7 April 2009.
- Gostkiewicz, M. Glanc, M. Sophocleous, J.K. Atkinson, and E. Garcia-Breijo. 2013. *Performance of miniaturized thick-film solid state pH sensors*. Volume 202, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924424713001763>, 1 November 2013.
- Harper, Charles A. 1974. *Handbook of thick Film Hybrid Microelectronics*. Mc graw-Hill Book Company. USA.
- Harper, Charles A and Ronald M. Sampson. 1984. *Electronic Material handbook*. Mc graw-Hill Book Company. Singapore.
- Haskard, Malcolm R. 1987. *Thick Film Hybrid Manufacture and Design*. Prentice hall, Inc. New Jersey.
- Humaniora, Rhezananta Arya. 2014. *Karakterisasi VCR dan TCR Resistor Pasta Resistor Pada Substrat Alumina Dengan Teknologi Film Tebal*. Skripsi Universitas Brawijaya.

Kohlmann, Frederick J. 2003. *What Is pH, And How Is It Measured. A Technical Handbook for Industry.* Hach Company.

Julius St, M. 1993. *Sablon Screen Printing.* UPT Penerbitan FT-UB. Malang.

Julius St, M. 1997. *Laporan Akhir Pembuatan Laboratorium Teknologi Film Tebal Sarana Miniatur Rangkaian Elektronika.* Jurusan Teknik Elektro-Fakultas Teknik-Universitas Brawijaya. Malang.

Mukti, Herdinto Praja. 2014. *Karakterisasi VCR dan TCR Konduktor Pasta Palladium-Perak Pada Substrat Alumina Dengan Teknologi Film Tebal.* Skripsi Universitas Brawijaya.

Simonis, Anette, Thomas Krings, Hans Lüth, Joseph Wang and Michael J. Schöning. 2001. *A „Hybrid“ Thin-Film pH Sensor with Integrated Thick-Film Reference.* <http://www.mdpi.net/sensors>. 2 November 2001.

Suryatmo, F. 1986. *Teknik Listrik Pengukuran.* Bina aksara. Jakarta.

Toledo, Mettler. 2013. *A Guide to pH Measurement – the Theory and Practice of pH Applications.* Urdorf. Switzerland.

