

PERANCANGAN SENSOR PH BERBAHAN NIKELIN

SKRIPSI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

ANDRIAN RANGGA DEWATA

NIM. 115060300111009

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2015

LEMBAR PERSETUJUAN

PERANCANGAN SENSOR PH BERBAHAN NIKELIN

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

ANDRIAN RANGGA DEWATA

NIM. 115060300111009 – 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Ir.M. Julius St,M.S.
NIP. 19540720 198203 1 002

Eka Maulana, ST., MT., M. Eng.
NIK. 841130 06 1 1 0280

PENGANTAR

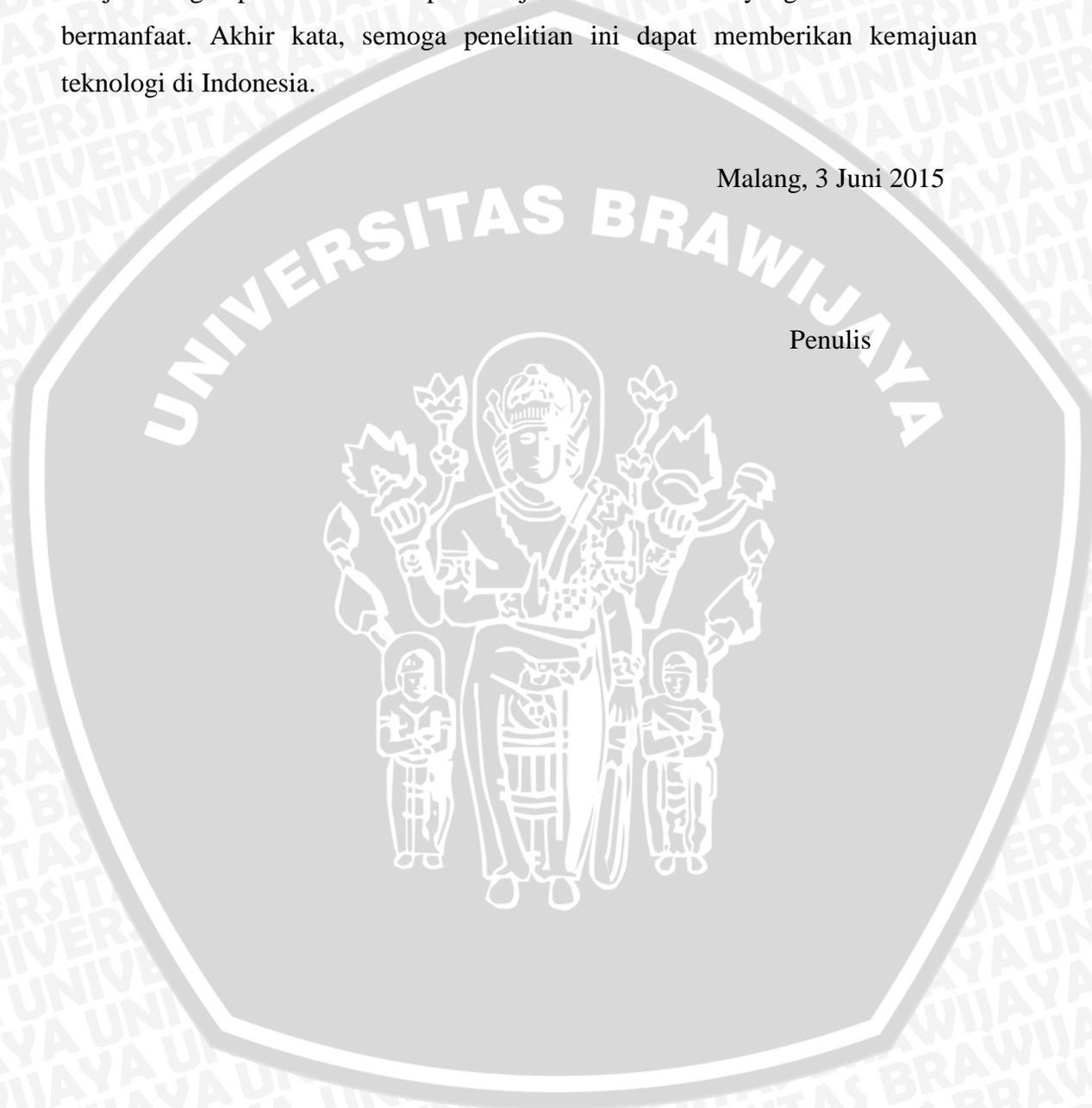
Puji syukur kita persembahkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmad-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian skripsi yang berjudul **“Perancangan Sensor pH Berbahan Nikelin”** ini dengan baik. Penelitian skripsi ini disusun dalam rangka untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik, di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak tersebut diantaranya:

1. Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Ali Mustofa, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Sarjana Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak Ir. Sigir Kusmaryanto, M.Eng. selaku pembimbing akademik.
5. 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.
6. Ayahanda Tri Witarno, Ibunda Ni Made Diana Kristiana, Adik Kelvin Selmiawan, Ibu Rini, dan Bapak Trijoko yang selalu memberikan doa dan semangat.
7. Agung Handoko, Reno Satyogana, Priska Saraswati, Evangeline Ayu, Livia Laurensia, Ainun Azhar, Bayu Satya, Swaraka Maulana, Firmansyah, dan Gagah Pratama yang telah banyak membantu dalam pengerjaan skripsi ini.
8. Duluurku Inverter 2011 yang memberikan pengalaman dan kenangan yang tak terlupakan bagi penulis.
9. Saudara-saudara Laboratorium Elektronika yang telah menemani selama pengujian.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penelitian ini dirasa masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik mengenai penelitian ini diharapkan oleh penulis. Saran dan kritik ditujukan agar penelitian ini dapat menjadi tulisan ilmiah yang lebih baik dan bermanfaat. Akhir kata, semoga penelitian ini dapat memberikan kemajuan teknologi di Indonesia.

Malang, 3 Juni 2015

Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
RINGKASAN	viii
<i>SUMMARY</i>	ix
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	2
BAB II.....	4
2.1 pH.....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Nikelin	5
2.3 Sensor	7
2.3.1 Definisi.....	7
2.3.2 Fungsi.....	7
2.3.3 Klasifikasi	7
2.3.4 Syarat Sensor.....	7
2.4 Jembatan Wheatstone	9
BAB III	11
3.1 Perancangan Sensor pH.....	12
3.2 Alat dan Bahan	12
3.3 Proses Pembuatan.....	12
3.4 Pengujian Alat	13
3.5 Variabel	13

3.6	Metode Analisis.....	14
3.7	Pengambilan Kesimpulan.....	14
BAB IV		15
4.1	Perancangan Mekanik Sensor.....	15
4.2	Pencampuran Resin	16
4.3	Pencetakan Resin.....	16
4.4	Perancangan Elektroda	17
4.5	Pengaturan Uji Sensor	17
BAB V		19
5.1	Pengujian Set ke-1 Sensor pH (ketebalan 0,1mm dan lebar 2mm).....	19
5.2	Pengujian Set ke-2 Sensor pH (ketebalan 0,1mm dan lebar 1,5mm).....	27
5.3	Pengujian Set ke-3 Sensor pH (ketebalan 0,1 mm dan lebar 1,2 mm)...	34
5.4	Pengujian Set ke-1 Sensor pH pada Suhu 50°C	42
5.5	Analisis	50
BAB VI		54
5.6	Kesimpulan.....	54
5.7	Saran	54
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN.....		55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Nikelin	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.2 Spesifikasi Nikelin	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.3 Sifat fisis Nikelin	Error! Bookmark not defined.
Tabel 5.1 Pengujian pertama set sensor ke-1	19
Tabel 5.2 Pengujian kedua set sensor ke-1	20
Tabel 5.3 Pengujian ketiga set sensor ke-1	20
Tabel 5.4 Rata-rata pengujian set sensor ke-1	21
Tabel 5.5 Pengujian pertama set sensor ke-2	25
Tabel 5.6 Pengujian kedua set sensor ke-2	26
Tabel 5.7 Pengujian ketiga set sensor ke-2	26
Tabel 5.8 Rata-rata pengujian set sensor ke-2	27
Tabel 5.9 Pengujian pertama set sensor ke-3	31
Tabel 5.10 Pengujian kedua set sensor ke-3	31
Tabel 5.11 Pengujian ketiga set sensor ke-3	32
Tabel 5.12 Rata-rata pengujian set sensor ke-3	32
Tabel 5.13 Pengujian pertama set sensor ke-1 pada 50°C	37
Tabel 5.14 Pengujian kedua set sensor ke-1 pada 50°C	38
Tabel 5.15 Pengujian ketiga set sensor ke-1 pada 50°C	38
Tabel 5.16 Rata-rata pengujian set sensor ke-1 pada 50°C	37
Tabel 5.17 Regresi pada tiap set sensor pada pH 1 sampai dengan pH 7	44
Tabel 5.18 Sensitifitas pada tiap set sensor pada pH 1 sampai dengan pH 7	45

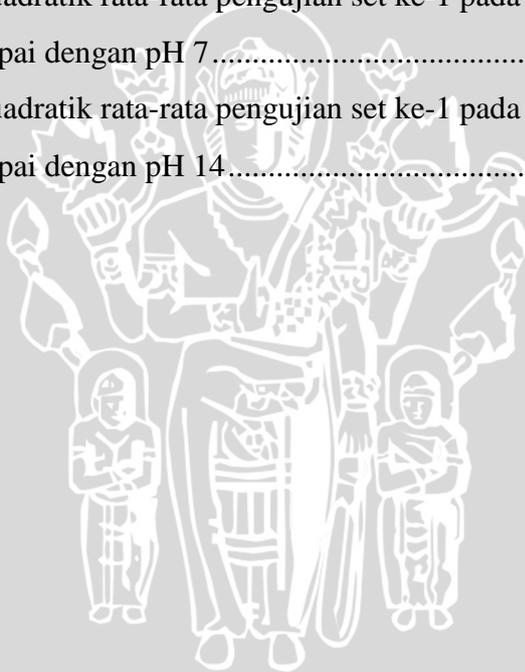


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konsentrasi $[\text{OH}^-]$ dan $[\text{H}^+]$ mol/L (2003: 6)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.2 Sistem kerja sensor ultrasonik (1982).....	9
Gambar 2.3 Temperatur berubah secara kontinyu (1982)	9
Gambar 2.4 Jembatan Wheatstone	10
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	11
Gambar 3.2 Desain pH sensor yang sudah dicetak.....	13
Gambar 4.1 Desain pH Sensor	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.2 Desain fisik sensor pH	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.3 Dimensi nikelin	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.4 Bagian-bagian sensor	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.5 Pengaturan uji sensor	Error! Bookmark not defined.
Gambar 5.1 Dimensi nikelin set 1.....	19
Gambar 5.2 Grafik rata-rata pengujian set ke-1.....	22
Gambar 5.3 Grafik rata-rata pengujian set ke-1 pada pH 1 sampai dengan pH 7	Error! Bookmark not defined.
Gambar 5.4 Grafik kuadrat rata-rata pengujian set ke-1 pada pH 1 sampai dengan pH 7	23
Gambar 5.5 Grafik kuadrat rata-rata pengujian set ke-1 pada pH 1 sampai dengan pH 14	26
Gambar 5.6 Dimensi nikelin set 2.....	27
Gambar 5.7 Grafik rata-rata pengujian set ke-2.....	29
Gambar 5.8 Grafik rata-rata pengujian set ke-2 pada pH 1 sampai dengan pH 7. 30	
Gambar 5.9 Grafik kuadrat rata-rata pengujian set ke-2 pada pH 1 sampai dengan pH 7.....	31
Gambar 5.10 Grafik kuadrat rata-rata pengujian set ke-2 pada pH 1 sampai dengan pH 14	33



Gambar 5.11 Dimensi nikelin set 3.....	34
Gambar 5.12 Grafik rata-rata pengujian set ke-3.....	37
Gambar 5.13 Grafik rata-rata pengujian set ke-3 pada pH 1 sampai dengan pH 7.....	38
Gambar 5.14 Grafik kuadratik rata-rata pengujian set ke-3 pada pH 1 sampai dengan pH 7.....	39
Gambar 5.15 Grafik kuadratik rata-rata pengujian set ke-3 pada pH 1 sampai dengan pH 14.....	42
Gambar 5.16 Grafik rata-rata pengujian set ke-1 pada suhu 50°C.....	45
Gambar 5.17 Grafik rata-rata pengujian set ke-1 pada suhu 50°C pada pH 1 sampai dengan pH 7.....	46
Gambar 5.18 Grafik kuadratik rata-rata pengujian set ke-1 pada suhu 50°C pada pH 1 sampai dengan pH 7.....	47
Gambar 5.19 Grafik kuadratik rata-rata pengujian set ke-1 pada suhu 50°C pada pH 1 sampai dengan pH 14.....	50



RINGKASAN

Andrian Rangga Dewata, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2015, *Perancangan Sensor pH Berbahan Nikelin*, 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. Namun sensor pH yang dibuat secara masal masih belum akurat, dikarenakan bahan logam yang digunakan pada ujung sensor pH tidak sepenuhnya 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 tersebut digunakan nikelin atau *Nickel Alloy* yang biasa digunakan juga dalam berbagai aplikasi termasuk pada baterai Ni-Cd.

Pada penelitian ini sensor yang dirancang akan dicelupkan bagian nikelinnya ke dalam larutan buffer pH 1 sampai dengan pH 14. Linieritas sensor ini dianalisa bagaimana keluarannya berupa tegangan terhadap pH. Karakteristiknya diperoleh dari percobaan 3 set sensor dengan dimensi dan jarak nikelin yang berbeda-beda. Pada penelitian ini diperoleh sensor pH berbahan nikelin bekerja pada kadar pH 1 sampai dengan pH 7. Pada rentang pH tersebut sensor yang paling sensitif ditunjukkan oleh set sensor ke -3 dengan sensitifitas sebesar -1.1 volt setiap perubahan 1 nilai pH, sensor ini mempunyai jarak antar elektroda 1.5 cm.

Kata kunci— sensor pH, nikelin, tegangan.

SUMMARY

Andrian Rangga Dewata is a college student of Brawijaya University, in Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, June 2015, *pH Sensor Design Made of Nikelin*. Advisor lecturers are Ir. M. Julius St,M.S. and Eka Maulana, ST., MT., M.Eng.

PH of a solution can be seen in real time by means of which the pH sensor. However, pH sensors mass production is not accurate, because the metal material used in the pH sensor tip is not completely sensitive to pH levels. pH is defined as the negative logarithm of the hydrogen ion concentration. The pH scale measures how acidic or alkaline a solution. To measure the levels used Nikelin or Nickel Alloy also commonly used in various applications including the Ni-Cd battery.

In this study, the sensors are designed to be dipped into the solution part of the nikelin to buffer of pH 1 sampai dengan pH 14. The linearity of the sensor is analyzed how the output voltage to pH. Characteristics obtained from experiments 3 sets of sensors with dimensions and distances Nikelin different. In this study obtained pH sensor made Nikelin work at pH 1 sampai dengan pH 7. In the pH range of the most sensitive sensor shown by the sensor set to -3 with a sensitivity of -1.1 volts every 1 pH value changes, this sensor has a distance between the electrodes is 1.5 cm

Keywords— pH sensor, nikelin, voltage.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap larutan memiliki tingkat keasaman atau kebasaan yang berbeda-beda, dan biasanya didefinisikan oleh derajat pH. Mengetahui kadar pH suatu larutan sangatlah penting, karena di dalam bidang kimia dan perindustrian yang berhubungan dengan larutan-larutan akan berguna jika mengetahui kadar pH dalam larutan. Seperti pada air mineral kemasan yang dikonsumsi masyarakat, kita bisa mengetahui apakah air mineral itu layak diminum atau tidak dengan cara mengukur berapa kadar pH air mineral tersebut. Biasanya pada kadar pH rendah (<6.5) berupa asam yang kebanyakan mengandung ion logam seperti besi, mangan, tembaga, timbal, dan seng. Selain pada air mineral, mengetahui informasi tentang kadar pH pada suatu produk makanan juga dapat mencegah perkembangan mikroorganisme yang tidak diinginkan dengan mengembangkan cara untuk mencegah hal tersebut (Ray,2008:58).

Komoditas seperti jagung, gandum, dan banyak lagi produk tanaman akan tumbuh dengan maksimal jika ditanam di tanah yang memiliki pH optimal. Untuk menghasilkan panen yang maksimal, petani harus mengkondisikan ladangnya supaya memiliki pH yang tepat dengan tanaman apa yang akan ditanam, karena tiap-tiap tanaman juga memerlukan kadar pH yang berbeda (Kohlmann,2003:2).

Untuk mengetahui kadar pH suatu larutan dibutuhkan alat yang bisa mengetahui kadar pH dalam seketika, karena jika memakai cara konvensional memakai kertas lakmus akan menghabiskan banyak waktu dan tidak akurat. Maka dari itu dibuatlah alat yang digunakan untuk mengukur kadar pH dengan cepat yaitu sensor pH, penggunaannya dengan cara mencelupkan besi-besi di ujung alat tersebut ke dalam cairan yang ingin diukur kadar pH nya. Dengan demikian tidak diperlukan memakai kertas lakmus karena memerlukan waktu yang lebih lama.

Meskipun demikian, sensor pH yang beredar sekarang masih belum sempurna. Dalam pemakaiannya belum sepenuhnya akurat dalam mengukur, dikarenakan bahan yang digunakan dalam pH sensor tersebut yang dalam hal ini besi-besi pada ujung sensor pH tidak sepenuhnya sensitif terhadap kadar pH.

Oleh sebab itulah, dalam penulisan skripsi ini, akan menggunakan bahan Nikelin untuk bagian besi-besi yang akan dicelupkan ke larutan yang ingin diukur kadar pH nya. Dengan harapan, dengan digunakannya bahan ini akan dihasilkan sensor pH yang lebih akurat dan handal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana perancangan sensor pH menggunakan Nikelin
- 2) Bagaimana karakterisasi sensor pH ini

1.3 Batasan Masalah

Hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini akan diberi batas sebagai berikut:

- 1) Pengujian kadar pH dari 1-14.
- 2) Membahas perancangan sensor pH menggunakan bahan Nikelin.
- 3) Analisis hasil perancangan berdasarkan hasil pengujian dibandingkan dengan sensor pH yang sudah ada di pasaran.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendesain sensor pH dengan menggunakan bahan Nikelin dan meng-karakterisasi sensor pH ini

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

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

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas mengenai teori-teori tentang pH, spesifikasi nikelin, definisi serta fungsi sensor, syarat dari sebuah sensor, maupun jembatan Wheatstone yang menunjang dalam dalam perancangan dan pembuatan alat atau sistem.

BAB III Metodologi

Membahas mengenai metode-metode yang digunakan dalam studi literatur tentang pH dan sensor yang digunakan dalam perancangan, pembuatan, pengujian, serta analisis data.

BAB IV Perancangan

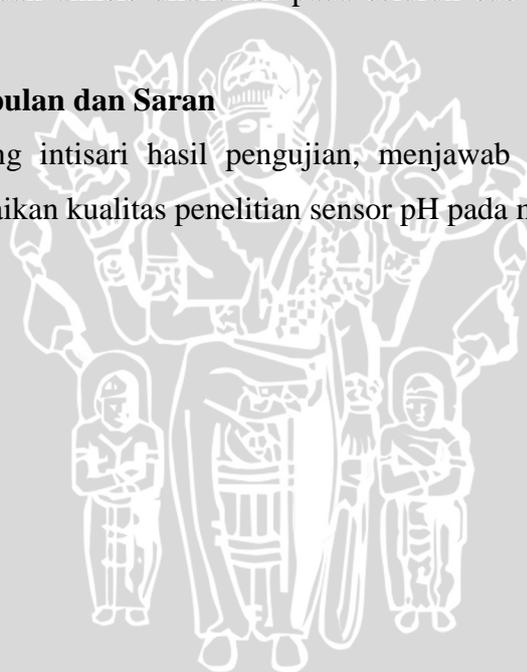
Membahas mengenai penentuan spesifikasi, fungsi dan prinsip kerja dari sensor pH yang digunakan untuk mengukur kadar pH larutan tertentu, perancangan diagram blok kerja secara keseluruhan.

BAB V Pengujian dan Analisis

Memuat tentang aspek-aspek pengujian yaitu penjelasan tentang cara pengujian dan hasil pengujian sensor pH. Aspek analisis meliputi hasil-hasil pengujian. Pengujian dan analisis dilakukan pada seluruh sub sistem dan sistem secara keseluruhan.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Memuat tentang intisari hasil pengujian, menjawab rumusan masalah, serta saran untuk perbaikan kualitas penelitian sensor pH pada masa mendatang.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Kata-kata pH berasal dari “*power of hydrogen*”, konsentrasi dari ion hydrogen $[H^+]$, bisa dilihat pada skala pH. pH sendiri didefinisikan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hydrogen. 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).

$$pH = -\log[H^+] \quad (2.1)$$

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	0.0000000000001	1	0.1	1 x 10 ⁻¹
1 x 10 ⁻¹²	0.000000000001	2	0.01	1 x 10 ⁻²
1 x 10 ⁻¹¹	0.00000000001	3	0.001	1 x 10 ⁻³
1 x 10 ⁻¹⁰	0.0000000001	4	0.0001	1 x 10 ⁻⁴
1 x 10 ⁻⁹	0.000000001	5	0.00001	1 x 10 ⁻⁵
1 x 10 ⁻⁸	0.00000001	6	0.000001	1 x 10 ⁻⁶
1 x 10 ⁻⁷	0.0000001	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

↑ Increasing acidity
Neutral
↓ Increasing basicity

Gambar 0.1 Konsentrasi [OH⁻] dan [H⁺] mol/L
Sumber: Frederick J. Kohlmann (2003:6)

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

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

2.1 Nikelin

Nikelin atau *Nickel Alloy* biasa digunakan untuk penutup transistor, anoda untuk tabung elektronik, dan kabel pada lampu. Digunakan juga dalam berbagai aplikasi termasuk juga battery Ni-Cd. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi nikelin, Tabel 2.2 menunjukkan spesifikasi nikelin, dan Tabel 2.3 menunjukkan sifat fisis Nikelin.



Tabel 0.2 Komposisi Nikelin

Alloy	Ni%	Mn%	Fe%	Si%	Cu%	C%	Ti%
Nickel 200	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Max
	99,2	0,30	0,2	0,10	0,20	0,10	0,10
Nickel 201	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Max
	99,2	0,30	0,2	0,10	0,20	0,02	0,10
Nickel 205	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Max
	99,6	0,20	0,2	0,10	0,10	0,05	0,05

Sumber: JLC Electromet

Tabel 0.2 Spesifikasi Nikelin

	British Standart	Werkstoff Nr	UNS Designation
Nickel 200/201	BS 2075 (NA11)	2.4060	N 02200/01
Nickel 205/205LC	-	2.4061	N 02205

Sumber: JLC Electromet

Tabel 0.3 Sifat fisis Nikelin

	Nickel 200/201	Nickel 205/205 LC
Density (g/cm³)	8.89	8.89
Thermal Conductivity (W/mk)	70.20	75.00
Thermal expansion 20-95°C (0.0000010/K)	13.30	13.30
Electrical Resistivity at 20°C (μΩ-cm)	9.00	8.90

Sumber: JLC Electromet

2.2 Sensor

2.2.1 Definisi

Sensor adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi gejala-gejala atau sinyal-sinyal yang berasal dari perubahan suatu energi seperti energi listrik, energi fisika, energi kimia, energi biologi, energi mekanik dan sebagainya (D.Sharon,dkk:1982).

2.2.2 Fungsi

Sensor berperan untuk mendeteksi gejala perubahan informasi sinyal dalam sistem kontrol, dan berfungsi sebagai umpan balik pada sebuah sistem kendali otomatis.

2.2.3 Klasifikasi

Secara umum berdasarkan fungsi dan penggunaannya sensor dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu sensor thermal, sensor mekanis, dan sensor optik.

a. Sensor Thermal

Sensor yang digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan panas atau temperatur pada suatu dimensi benda atau dimensi ruang tertentu.

b. Sensor Mekanis

Sensor yang digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan gerak mekanis, seperti perpindahan atau pergeseran posisi, gerak lurus, dan melingkar.

c. Sensor Optik

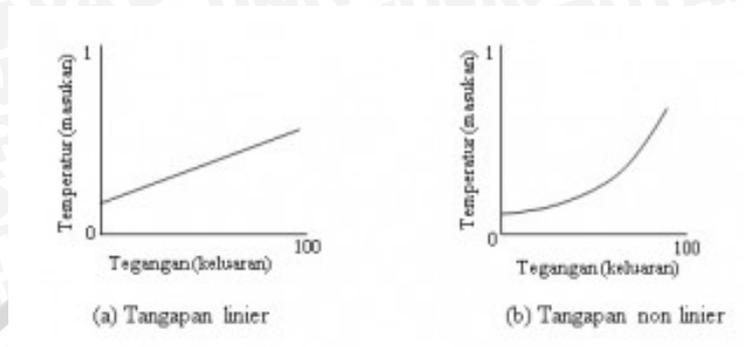
Sensor yang mendeteksi perubahan cahaya dari sumber cahaya, pantulan cahaya, ataupun bias cahaya yang mengenai benda atau ruangan (D.Sharon,dkk:1982)

2.2.4 Syarat Sensor

a. Linearitas

Ada banyak sensor yang menghasilkan sinyal keluaran yang berubah secara kontinu sebagai tanggapan terhadap masukan yang berubah secara kontinu. 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 sistem kerja sensor ultrasonik.



Gambar 0.3 Sistem kerja sensor ultrasonik

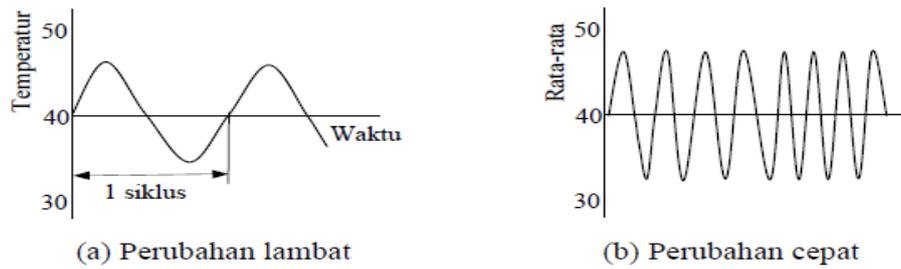
Sumber: D.Sharon,dkk(1982)

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 pada temperatur yang berubah secara kontinyu.



Gambar 0.3 Temperatur berubah secara kontinyu

Sumber: D.Sharon,dkk(1982)

2.3 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/ kortsleting dan sebagainya. Rangkaian ini dibentuk oleh empat buah tahanan (R) yang merupakan segiempat A-B-C-D dalam hal mana 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 resistansi 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 seperti yang diperlihatkan pada jembatan wheatstone. (Pratama, 2010).

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.

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

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

Tegangan keluaran E_0 dari jembatan wheatstone adalah

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

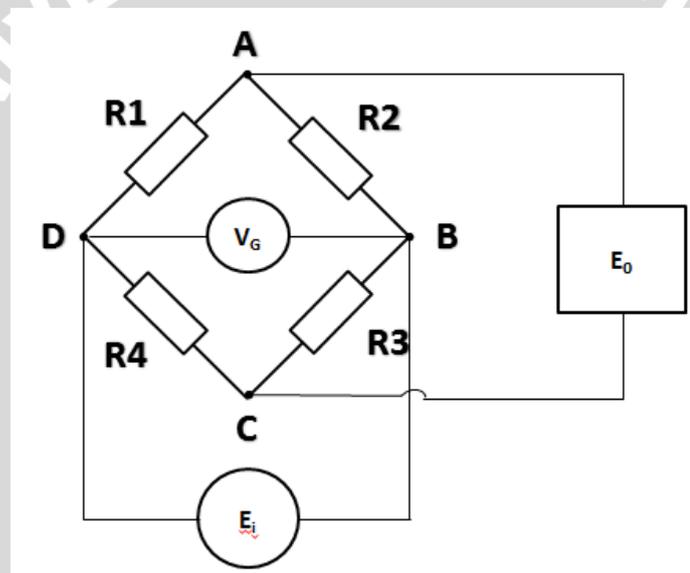
Substitusi Persamaan (2.2) dan (2.3) ke dalam Persamaan (2.4), akan menghasilkan

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

Persamaan diatas mengindikasi bahwa tegangan keluaran awal akan menghilang

($E_0 = 0$) jika,

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



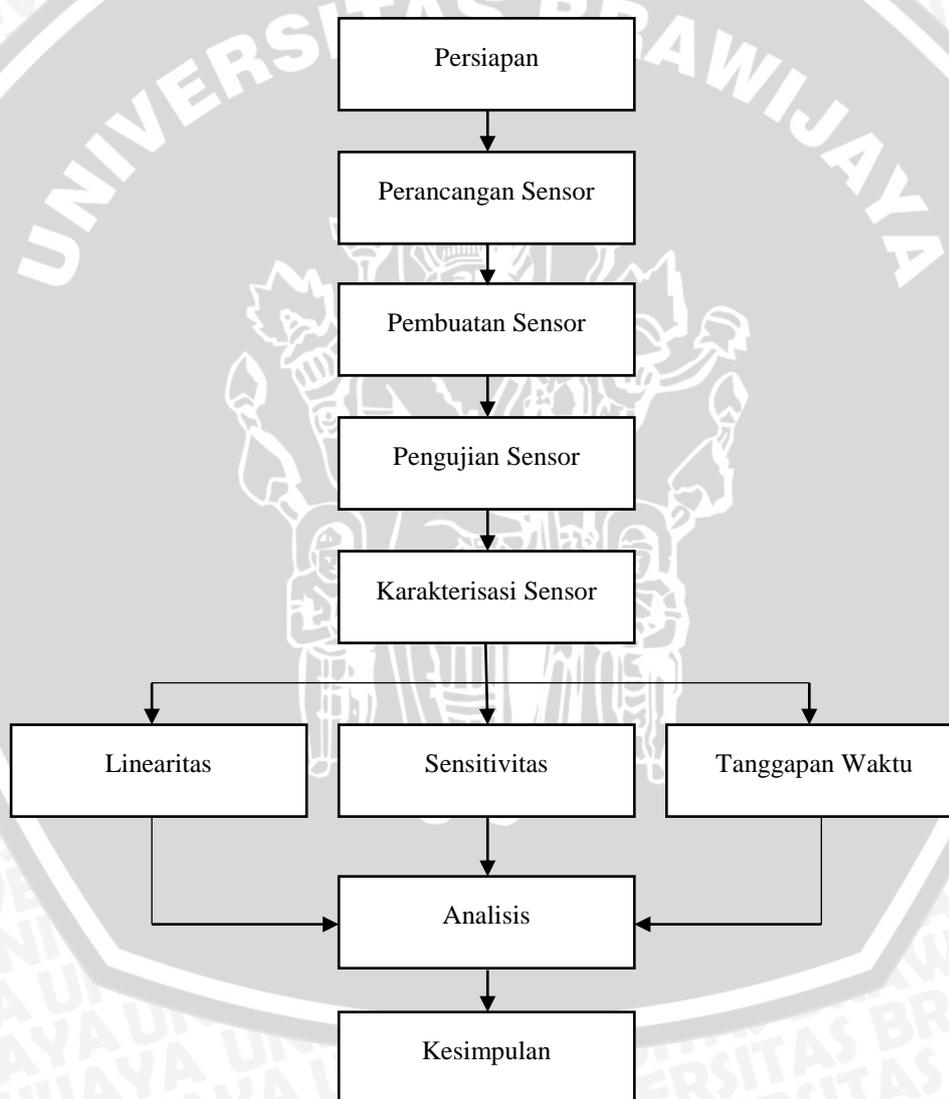
Gambar 0.4 Jembatan Wheatstone

Sumber: Dally(2004)

BAB III

METODE PENELITIAN

Penyusunan proposal ini didasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasiian alat agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang dirancang adalah perancangan alat, pembuatan alat, serta pengujian ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Perancangan Sensor pH

Perancangan sensor pH meliputi perancangan sensor pH serta langkah-langkah pembuatannya. Dalam pembuatannya akan dibagi sesuai dimensi dari nikelin, akan ada 3 set sensor pH yang akan dibuat. Setiap set terdiri dari 3 buah sensor pH yang berbeda-beda jarak antara nikelinnya, dari 0,5 cm, 1 cm, dan 1,5 cm. Pada set pertama nikelinnya mempunyai lebar 2 mm dan ketebalan sebesar 0,1 mm, set kedua dengan lebar 1,5 mm dan ketebalan sebesar 0,1 mm, dan set ketiga dengan lebar 1,2 mm dan ketebalan sebesar 0,1 mm.

Sebagai referensi dari pemilihan dimensi tersebut, penelitian dari Xiaoshan Zhu yang berjudul *pH Sensor using Nano Electrodes in Organic Semiconductor* dijadikan acuan. Zhu membuat sensornya dengan jarak antara elektroda, yang pada penelitian ini adalah nikelin, berjarak 0,5 μm dan lebar elektrodanya sebesar 200 nm.

3.2 Alat dan Bahan

Dalam perancangan sensor pH memerlukan beberapa alat dan bahan, yaitu:

- Cetakan, untuk mencetak sensor pH yang akan dibuat.
- Nikelin, bahan utama dalam sensor pH yang berfungsi sebagai elektroda.
- Resin, sebagai *holder* untuk meletakkan nikelin.
- Katalis, untuk mempercepat pengeringan resin pada saat dicetak.

3.3 Proses Pembuatan

Pertama, resin dan katalis dicampurkan dengan perbandingan tertentu. Setelah tercampur dengan rata, resin dan katalis tersebut dituangkan ke dalam cetakan yang telah disiapkan dengan dimensi tertentu. Pada saat penuangan sudah mencapai setengah dari volume keseluruhan cetakan, dua buah nikelin diletakkan sejajar dengan jarak antar elektroda berbeda-beda. Lalu, setelah cetakan penuh, campuran resin dan katalis tersebut didiamkan sampai mengeras sehingga berbentuk persegi empat seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Desain pH sensor yang sudah dicetak

3.4 Pengujian Alat

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 alat. Sehingga kedepannya sensor dapat dikembangkan dan menjadi lebih baik lagi.

3.5 Variabel

Dalam penelitian ini sensor pH akan diuji pada larutan buffer dengan kadar pH 1 sampai 14. Sensor pH yang akan diuji memiliki jarak antara nikelin sebesar 0,5cm, 1cm, dan 1,5cm. Karena sensor pH ini adalah sensor pasif, akan diberi tegangan sebesar 10 volt dari *power supply*. Keluaran dari sensor pH ini berupa besaran resistif, supaya bisa diukur oleh voltmeter, maka akan digunakan jembatan Wheatstone untuk mengubah besaran resistif menjadi tegangan. Tegangan yang dihasilkan pada tiap-tiap larutan buffer diharapkan berbeda-beda untuk mengetahui karakteristik sensor pH ini.

3.6 Metode Analisis

Dalam penelitian ini sensor yang dirancang akan dicelupkan bagian nikelinnya 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.

Setelah itu akan dianalisa bagaimana linearitas sensor ini, apakah keluarannya berupa tegangan akan linear terhadap masukannya yang dalam hal ini nilai pH atau tidak. Sensitivitasnya juga akan dianalisa, karena sensitivitas juga dipengaruhi linearitas. Apabila tanggapannya linier, maka sensitivitas juga akan sama untuk jangkauan pengukuran keseluruhan. Dan yang terakhir waktu tanggapannya, tanggapan waktu pada sensor menunjukkan seberapa cepat tanggapannya terhadap perubahan masukan. Semakin tinggi tanggapan waktu sensor, maka semakin cepat berubah bila nilai masukannya berubah.

Ketiga karakteristik tersebut tentunya dibuat berdasarkan percobaan terhadap 3 set sensor pH berbahan nikelin yang masing-masing set dimensi dan jarak antara nikelin yang berbeda-beda.

3.7 Pengambilan Kesimpulan

Pada penelitian ini kesimpulan yang akan diambil berasal dari bagaimana karakteristik sensor pH berbahan nikelin ini. Melalui perbandingan dengan sensor pH yang sudah ada, maka kita bisa membandingkan karakteristik kedua sensor dan diharapkan sensor pH berbahan nikelin ini akan disempurnakan oleh penelitian selanjutnya.

BAB IV

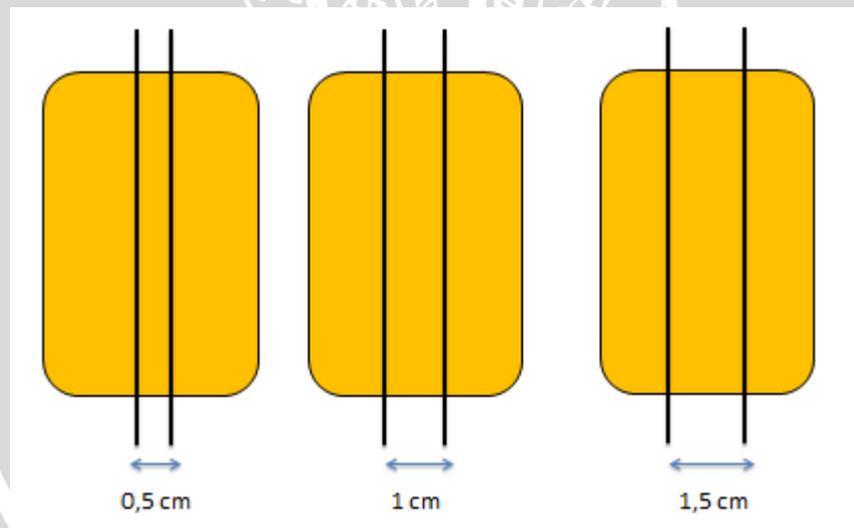
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Dalam perancangan sensor pH ini akan dilakukan beberapa langkah, yaitu:

- Perancangan mekanik sensor
- Pencampuran resin
- Pencetakan resin
- Perancangan Elektroda

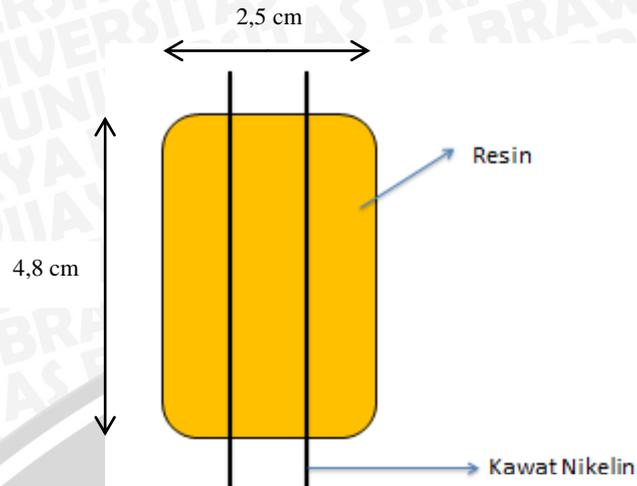
4.1 Perancangan Mekanik Sensor

Sensor pH yang akan dirancang dan dibuat berjumlah 3 set, setiap set terdiri atas 3 buah sensor pH yang berbeda-beda jarak antara kaki-kaki elektrodanya yaitu, 0,5 cm, 1 cm, dan 1,5 cm. Gambar 4.1 menunjukkan desain pH sensor.



Gambar 4.1 Desain pH sensor

Tiap sensor terbuat dari resin yang dicetak dengan ukuran Panjang dan lebarnya masing-masing adalah 4,8 cm dan 2,5 cm dan ditengahnya sudah diletakkan nikelin sebagai elektrodanya yang akan dicelupkan ke dalam larutan buffer seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Desain fisik sensor pH

Pada tiap set sensor juga telah diletakkan nikelin dengan dimensi yang berbeda pula. Pada set pertama nikelinnya mempunyai lebar 2 mm dan ketebalan sebesar 0,1 mm, set kedua dengan lebar 1,5 mm dan ketebalan sebesar 0,1 mm, dan set ketiga dengan lebar 1,2 mm dan ketebalan sebesar 0,1 mm seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Dimensi Nikelin

4.2 Pencampuran Resin

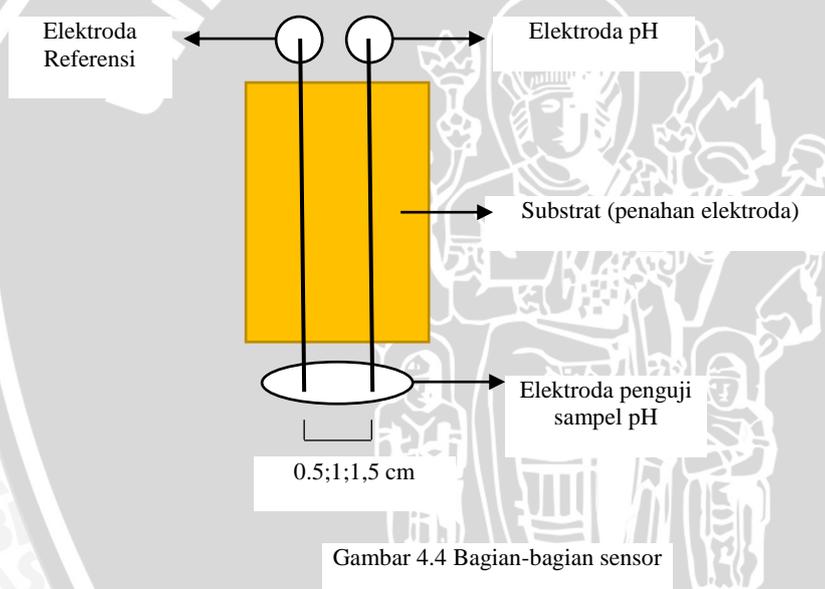
Untuk membuat adonan resin yang akan dibuat sensor pH, diperlukan resin dan katalis. Sebanyak 20ml resin, ditambahkan 4 tetes katalis untuk mempercepat proses pembekuan resin dan diaduk secara merata.

4.3 Pencetakan Resin

Setelah adonan resin telah dicampurkan, lalu dicetak sehingga berbentuk persegi empat seperti ditunjukkan Gambar 4.2. Adonan dicetak dengan cetakan yang telah diatur sehingga ukuran dimensinya sesuai seperti yang diharapkan. Setelah diletakkan pada cetakan, adonan didiamkan selama kurang lebih 3 jam sampai adonan mengeras dan siap dilepaskan dari cetakan.

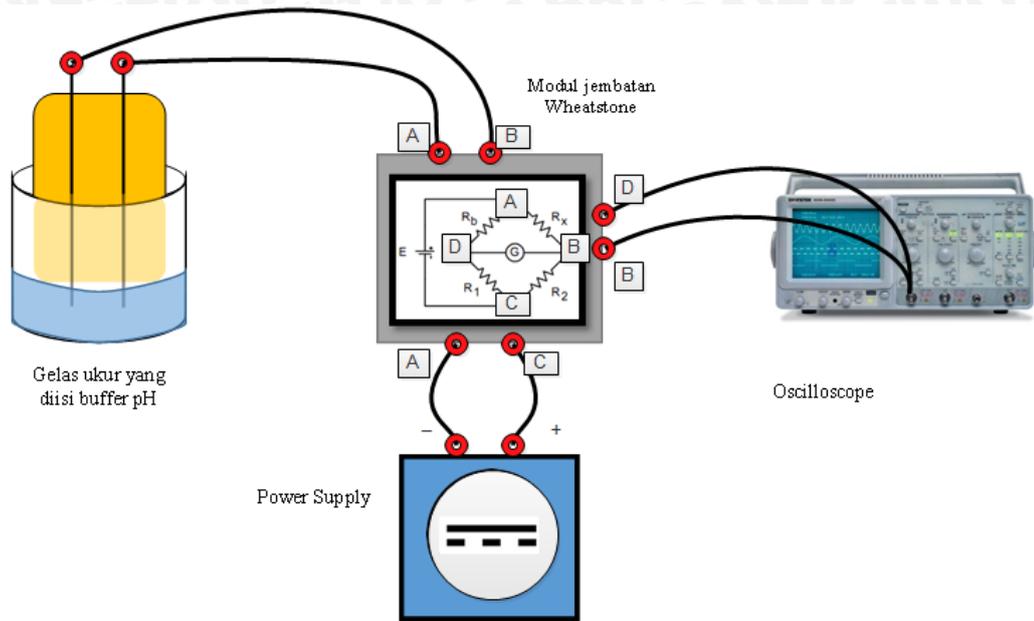
4.4 Perancangan Elektroda

Dalam perancangan elektroda pada sensor pH ini menggunakan nikelin pada kedua elektrodanya. Kedua elektroda yang dimaksud adalah elektroda pH, yang sensitive terhadap perubahan kadar pH dan yang kedua adalah elektroda referensi, yang di desain supaya mempunyai potensial yang bernilai tetap dan untuk mengukur perubahan tegangan yang dikarenakan kadar pH yang berubah pula. Jarak antara kedua elektroda tersebut dibuat berbeda-beda yaitu, 0,5 cm, 1 cm, dan 1,5 cm. Nikelin yang ditunjukkan Gambar 4.2 yang terletak di tengah resin hanya sebagai bagian dari sensor pH, lebih lengkapnya ditunjukkan dalam Gambar 4.4



4.5 Pengaturan Uji Sensor

Dalam pengaturan uji sensor ini akan digunakan beberapa alat yaitu, sensor pH, buffer pH 1 sampai dengan pH 14, *oscilloscope*, modul jembatan Wheatstone, dan *power supply*. Gambar 4.5 menunjukkan pengaturan uji sensor yang dilakukan.



Gambar 4.5 Pengaturan uji sensor

Sensor pH dimasukkan ke dalam gelas ukur yang sudah diisi larutan buffer pH 1 sampai dengan pH 14 secara bergantian. Bagian sensor pH yang dimasukkan ke dalam buffer hanya bagian elektrodanya. Sedangkan keluarannya dimasukkan ke dalam modul jembatan Wheatstone karena harus diubah menjadi tegangan supaya bisa diukur pada *oscilloscope*. *Power supply* diperlukan karena sensor ini adalah sensor pasif yang butuh catu daya eksternal, pada pengaturan ini catu daya yang diberikan tegangan sebesar 10 volt.

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Dalam penelitian ini, pengujian akan dilakukan terhadap 3 set sensor pH berbahan nikelin yang telah dibuat dan diuji dalam larutan buffer pH 1 sampai dengan pH 14.

5.1 Pengujian Set ke-1 Sensor pH (ketebalan 0,1 mm dan lebar 2 mm)

Pengujian sensor pH set 1 akan diuji dengan cara dicelupkan ke dalam larutan buffer pH 1 sampai dengan pH 14. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali lalu di rata-rata dan kemudian dibuat grafik tegangan terhadap pH. Adapun dalam 1 set sensor pH ini akan diuji selama 10 detik dengan jarak antar elektroda berbeda-beda yaitu, 0,5cm yang diwakilkan sensor I, 1 cm yang akan diwakilkan sensor II, dan 1,5cm yang akan diwakilkan sensor III. Gambar 5.1 menunjukkan dimensi nikelin set ke-1.



Gambar 5.1 Dimensi nikelin set 1

Hasil pengujian pertama terhadap set sensor ke-1 ditunjukkan dalam Tabel

5.1.

Tabel 5.1 Pengujian pertama set sensor ke-1

pH	Sensor I (volt)	Sensor II (volt)	Sensor III (volt)
1	-1.27	-1.53	-1.52
2	-1.12	-1.01	-1.01
3	-1.03	-0.98	-0.96
4	-0.97	-0.91	-0.89
5	-0.25	-0.24	-0.19
6	-0.22	-0.21	-0.1
7	0.05	-0.05	0.04
8	-0.66	-0.53	-0.55
9	-0.57	-0.61	-0.59
10	-0.65	-0.51	-0.48
11	0.01	-0.04	-0.15
12	-0.07	-0.03	0.07
13	-0.23	-0.22	-0.72
14	-0.47	-0.06	-0.05

Tabel 5.2 menunjukkan hasil pengujian kedua terhadap set sensor ke-1.

Tabel 5.2 Pengujian kedua set sensor ke-1

pH	Sensor I (volt)	Sensor II (volt)	Sensor III (volt)
1	-1.28	-1.52	-1.5
2	-1.13	-1.05	-1.07
3	-1.03	-0.99	-0.96
4	-0.97	-0.88	-0.88
5	-0.24	-0.19	-0.12
6	-0.16	-0.2	-0.1
7	0.03	0.01	0.07
8	-0.64	-0.62	-0.6
9	-0.67	-0.59	-0.59
10	-0.66	-0.54	-0.51
11	0.02	-0.03	0.05
12	0.09	-0.03	0.05
13	-0.2	-0.21	-0.67
14	-0.44	-0.01	0.11

Tabel 5.3 menunjukkan hasil pengujian ketiga terhadap set sensor ke-1.

Tabel 5.3 Pengujian ke-3 set sensor ke-1

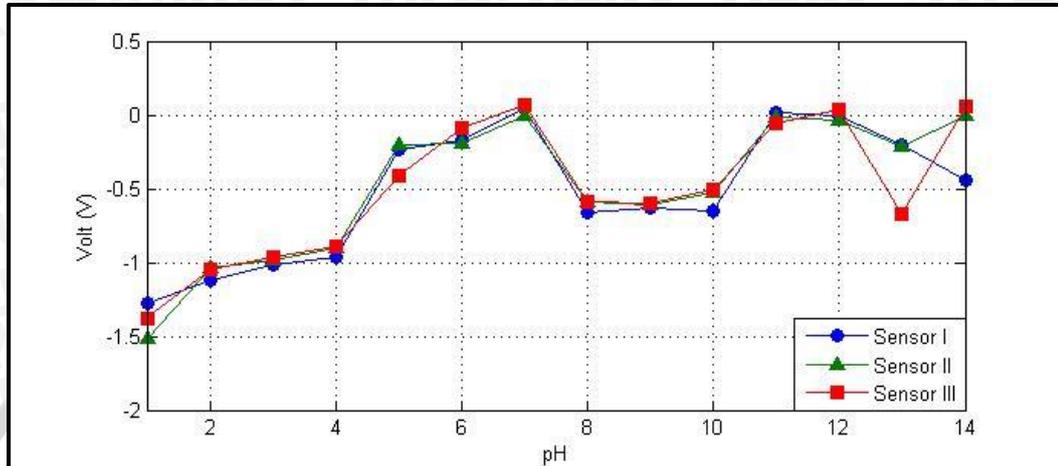
pH	Sensor I (volt)	Sensor II (volt)	Sensor III (volt)
1	-1.29	-1.51	-1.11
2	-1.12	-1.06	-1.05
3	-0.98	-0.99	-0.96
4	-0.95	-0.92	-0.89
5	-0.21	-0.19	-0.92
6	-0.15	-0.18	-0.08
7	0.05	0.02	0.09
8	-0.67	-0.63	-0.63
9	-0.65	-0.64	-0.63
10	-0.65	-0.52	-0.53
11	0.02	0.02	-0.06
12	-0.05	-0.04	-0.01
13	-0.19	-0.2	-0.64
14	-0.42	0.04	0.1

Setelah diuji sebanyak tiga kali pengujian, data dari ketiga pengujian tersebut akan di rata-rata seperti ditunjukkan dalam Tabel 5.4

Tabel 5.4 Rata-rata pengujian set sensor ke-1

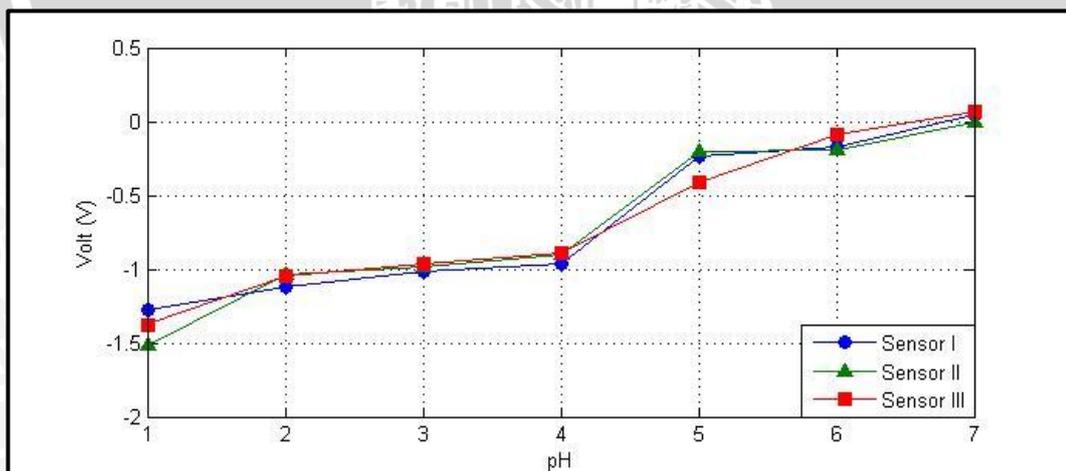
pH	Sensor I (volt)	Sensor II (volt)	Sensor III (volt)
1	-1.28	-1.52	-1.38
2	-1.12	-1.04	-1.04
3	-1.01	-0.99	-0.96
4	-0.96	-0.90	-0.89
5	-0.23	-0.21	-0.41
6	-0.18	-0.20	-0.09
7	0.04	-0.01	0.07
8	-0.66	-0.59	-0.59
9	-0.63	-0.61	-0.60
10	-0.65	-0.52	-0.51
11	0.02	-0.02	-0.05
12	-0.01	-0.03	0.04
13	-0.21	-0.21	-0.68
14	-0.44	-0.01	0.05

Untuk lebih mempermudah menganalisis karakteristik tegangan terhadap pH dalam Tabel 5.4, maka dibuatlah grafik seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.2



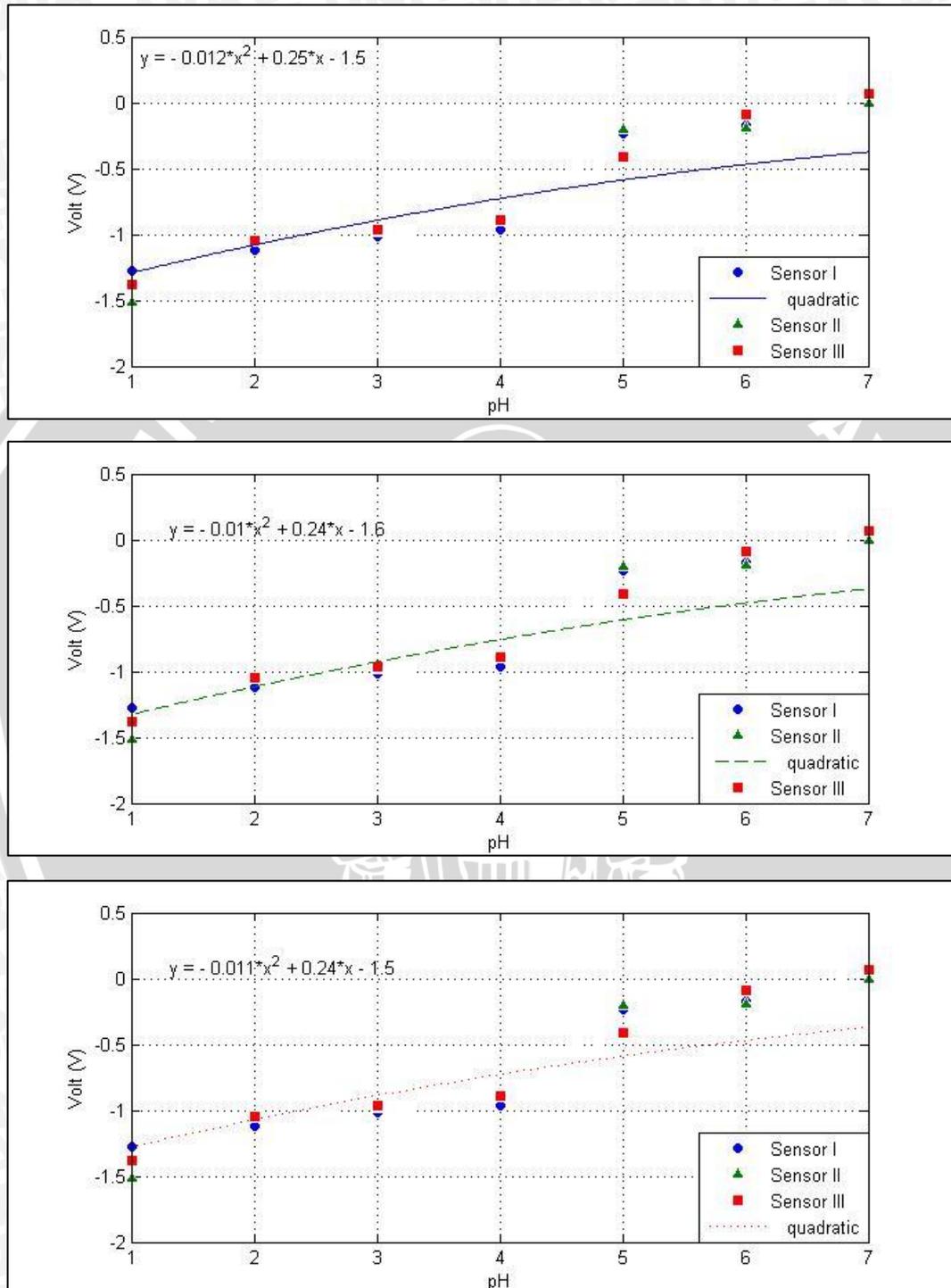
Gambar 5.2 Grafik rata-rata pengujian set ke-1

Gambar 5.2 menunjukkan bahwa tegangan linear terhadap larutan buffer pH 1 sampai dengan pH 7. Grafik tegangan terhadap pH 1 sampai dengan pH 7 ditunjukkan dalam Gambar 5.3



Gambar 5.3 Grafik rata-rata pengujian set ke-1 pada pH 1 sampai dengan pH 7

Untuk menganalisis sensitifitas grafik dalam Gambar 5.3 dengan pH 1 sampai dengan pH 7 dibuat garis regresi dengan metode kuadrat untuk ketiga sensor pada set ke-1, ditunjukkan dalam Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Grafik Kuadrat rata-rata pengujian set ke-1 pada pH 1 sampai dengan 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 5.4, maka digunakanlah metode regresi kuadratik. Dari Gambar 5.4 didapatkan persamaan regresi untuk tiap-tiap garis yang mewakili ketiga sensor dengan jarak yang berbeda-beda.

$$\text{Sensor I persamaannya adalah } y = -0.012x^2 + 0.25x - 1.5 \quad (1)$$

$$\text{Sensor II persamaannya adalah } y = -0.01x^2 + 0.24x - 1.6 \quad (2)$$

$$\text{Sensor III persamaannya adalah } y = -0.011x^2 + 0.24x - 1.5 \quad (3)$$

Perhitungan manual untuk mencari Persamaan (1), (2), dan (3) dapat dilakukan dengan metode regresi linier menggunakan regresi kuadratik. Untuk sensor I, II, dan III dapat dihitung seperti berikut:

Untuk memperoleh SPL dalam a_0 , a_1 dan a_2 menggunakan:

$$\sum a_0 + \sum a_1 x_i + \sum a_2 x_i^2 = \sum y_i$$

$$\sum a_0 x_i + \sum a_1 x_i^2 + \sum a_2 x_i^3 = \sum y_1 x_i$$

$$\sum a_0 x_i^2 + \sum a_1 x_i^3 + \sum a_2 x_i^4 = \sum y_1 x_i^2$$

- Solusi SPL sensor I ini adalah:

$$a_0 = -0.012$$

$$a_1 = 0.25$$

$$a_2 = -1.5$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.012x^2 + 0.25x - 1.5$$

- Solusi SPL sensor II ini adalah:

$$a_0 = -0.01$$

$$a_1 = 0.24$$

$$a_2 = -1.6$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.01x^2 + 0.24x - 1.6$$

- Solusi SPL sensor III ini adalah:

$$a_0 = -0.011$$

$$a_1 = 0.24$$

$$a_2 = -1.5$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.011x^2 + 0.24x - 1.5$$

Pada Gambar 5.4 ditunjukkan dengan garis-garis regresi pada ketiga sensor, kecocokan antara garis pada grafik tersebut dengan data sebenarnya disebut *norm of residuals* pada aplikasi MatLab. Nilai dari *norm of residuals* ini akan mendekati 0 jika garis pada grafik mendekati nilai pada data sebenarnya.

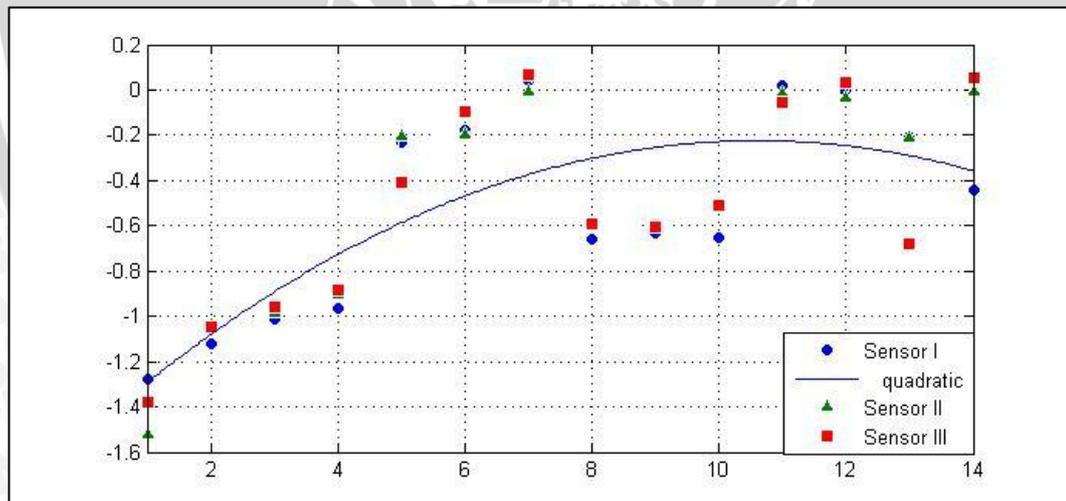
Berikut adalah nilai *norm of residuals* dari ketiga sensor tersebut:

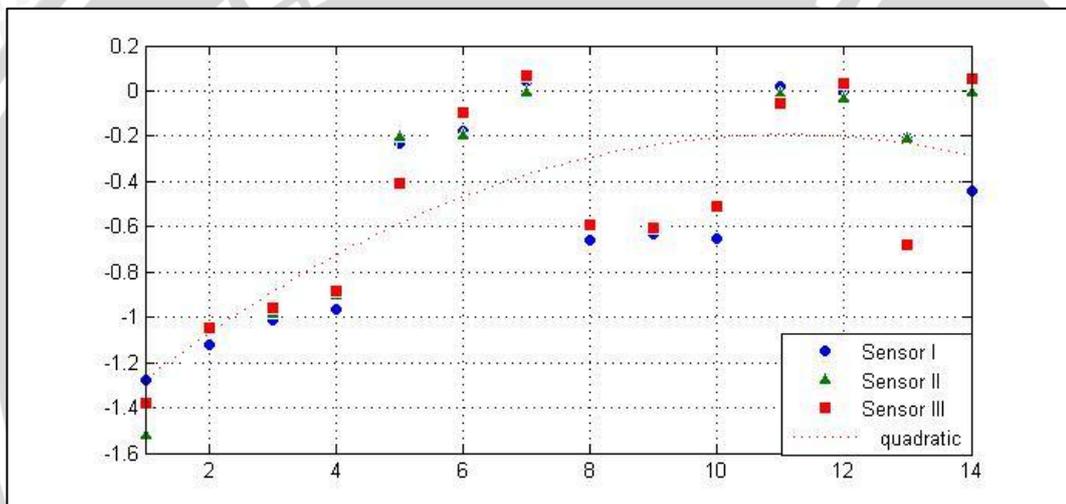
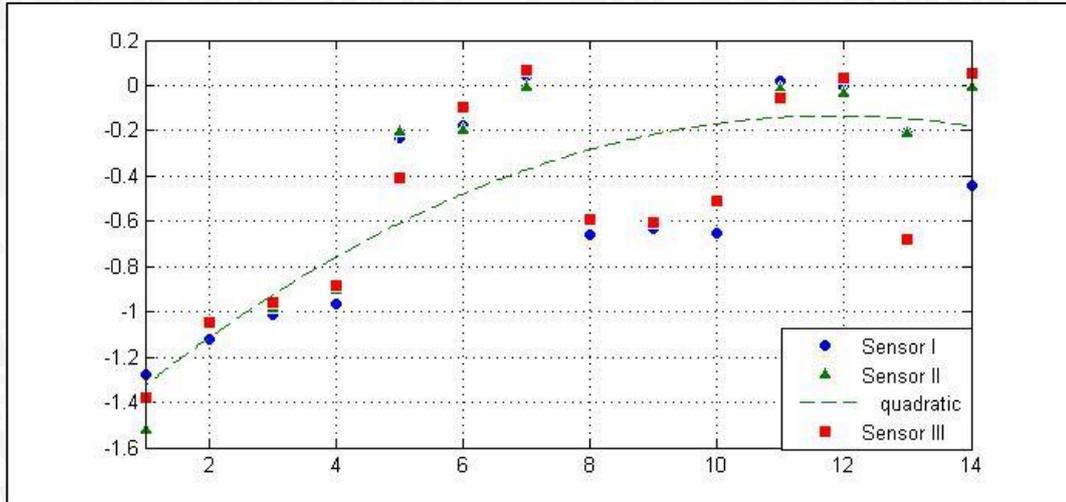
$$\text{Sensor I} = 0.35227$$

$$\text{Sensor II} = 0.36481$$

$$\text{Sensor III} = 0.23725$$

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 ketiga sensor pada set ke-1 yang ditunjukkan dalam Gambar 5.5.





Gambar 5.5 Grafik Kuadratik rata-rata pengujian set ke-1 pada pH 1 sampai dengan pH 14

Pada Gambar 5.5 ditunjukkan dengan garis-garis regresi pada ketiga sensor, kecocokan antara garis pada grafik tersebut dengan data sebenarnya disebut *norm of residuals* pada aplikasi MatLab. Nilai dari *norm of residuals* ini akan mendekati 0 jika garis pada grafik mendekati nilai pada data sebenarnya.

Berikut adalah nilai *norm of residuals* dari ketiga sensor tersebut:

$$\text{Sensor I} = 1.0167$$

$$\text{Sensor II} = 0.93926$$

$$\text{Sensor III} = 1.0511$$

5.2 Pengujian Set ke-2 Sensor pH (ketebalan 0,1 mm dan lebar 1,5 mm)

Pengujian sensor pH set II akan diuji dengan cara dicelupkan ke dalam larutan buffer pH 1 sampai dengan pH 14. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali lalu di rata-rata dan kemudian dibuat grafik tegangan terhadap pH. Adapun dalam 1 set sensor pH ini akan diuji selama 10 detik dengan jarak antar elektroda berbeda-beda yaitu, 0,5cm yang diwakilkan sensor I, 1 cm yang akan diwakilkan sensor II, dan 1,5cm yang akan diwakilkan sensor III. Gambar 5.6 menunjukkan dimensi nikelin set ke-2.



Gambar 5.6 Dimensi nikelin set ke-2

Hasil pengujian pertama terhadap set sensor ke-2 ditunjukkan dalam Tabel

5.5.

Tabel 5.5 Pengujian ke-1 set sensor ke-2

pH	Sensor I (volt)	Sensor II (volt)	Sensor III (volt)
1	-1.06	-1.11	-1.16
2	-0.97	-0.96	-0.98
3	-0.91	-0.84	-0.89
4	-0.76	-0.79	-0.86
5	0.21	0.09	0.06
6	0.22	0.19	0.15
7	0.28	0.21	0.31
8	-0.45	-0.52	-0.46
9	-0.5	-0.52	-0.46
10	-0.46	-0.49	-0.41
11	0.18	0.1	0.18
12	-0.05	0.07	0.01
13	-0.09	-0.02	-0.2
14	-0.13	0.04	0.08

Hasil pengujian kedua terhadap set sensor ke-2 ditunjukkan dalam Tabel

5.6.

Tabel 5.6 Pengujian ke-2 set sensor ke-2

pH	Sensor I (volt)	Sensor II (volt)	Sensor III (volt)
1	-1.1	-1.07	-1.07
2	-0.97	-0.95	-0.99
3	-0.9	-0.88	-0.91
4	-0.75	-0.82	-0.87
5	0.23	0.19	0.12
6	0.23	0.21	0.11
7	0.29	0.21	0.11
8	-0.52	-0.54	-0.47
9	-0.51	-0.53	-0.52
10	-0.47	-0.44	-0.42
11	0.18	0.11	0.19
12	-0.03	-0.03	0.05
13	-0.07	0.01	-0.19
14	-0.01	0.05	0.08

Hasil pengujian ketiga terhadap set sensor ke-2 ditunjukkan dalam Tabel

5.7.

Tabel 5.7 Pengujian ke-3 set sensor ke-3

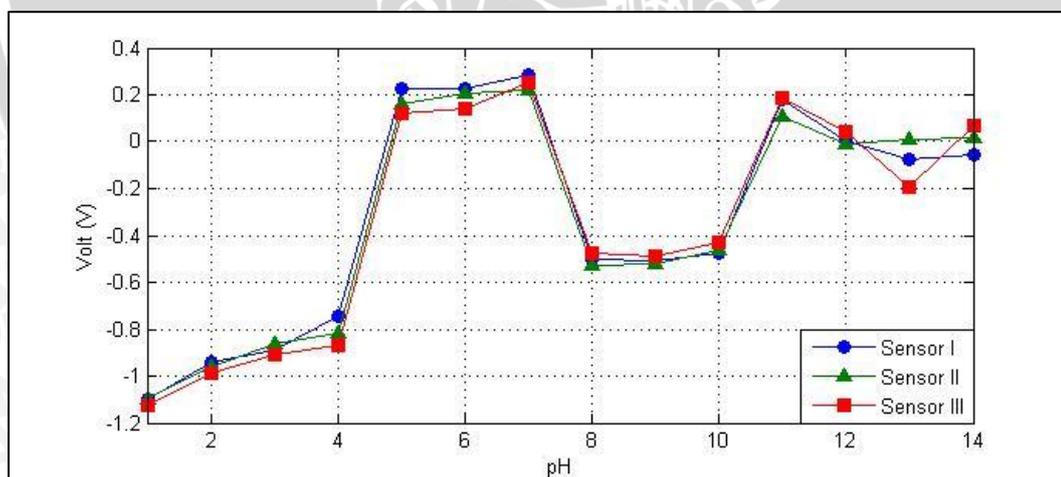
pH	Sensor I (volt)	Sensor II (volt)	Sensor III (volt)
1	-1.14	-1.11	-1.14
2	-0.89	-0.97	-0.99
3	-0.86	-0.87	-0.92
4	-0.73	-0.83	-0.87
5	0.24	0.21	0.18
6	0.23	0.21	0.16
7	0.29	0.23	0.33
8	-0.53	-0.53	-0.49
9	-0.52	-0.51	-0.48
10	-0.49	-0.46	-0.46
11	0.19	0.12	0.19
12	0.08	-0.06	0.06
13	-0.07	0.03	-0.19
14	-0.02	-0.05	0.04

Setelah diuji sebanyak tiga kali pengujian, data dari ketiga pengujian tersebut akan di rata-rata seperti ditunjukkan dalam Tabel 5.8

Tabel 5.8 Rata-rata pengujian set sensor ke-2

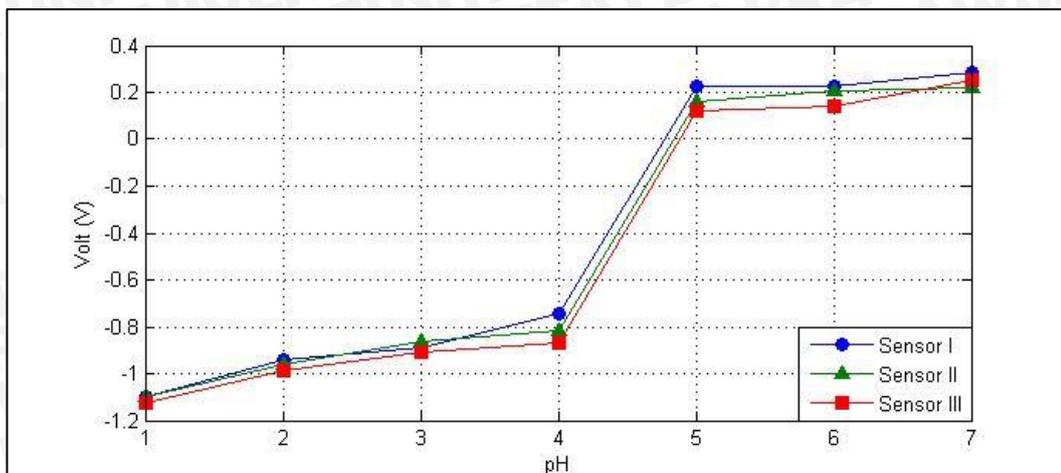
pH	Sensor I (volt)	Sensor II (volt)	Sensor III (volt)
1	-1.10	-1.10	-1.12
2	-0.94	-0.96	-0.99
3	-0.89	-0.86	-0.91
4	-0.75	-0.81	-0.87
5	0.23	0.16	0.12
6	0.23	0.20	0.14
7	0.29	0.22	0.25
8	-0.50	-0.53	-0.47
9	-0.51	-0.52	-0.49
10	-0.47	-0.46	-0.43
11	0.18	0.11	0.19
12	0.00	-0.01	0.04
13	-0.08	0.01	-0.19
14	-0.05	0.01	0.07

Untuk lebih mempermudah menganalisis karakteristik tegangan terhadap pH pada Tabel 5.8, maka dibuatlah grafik seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.7



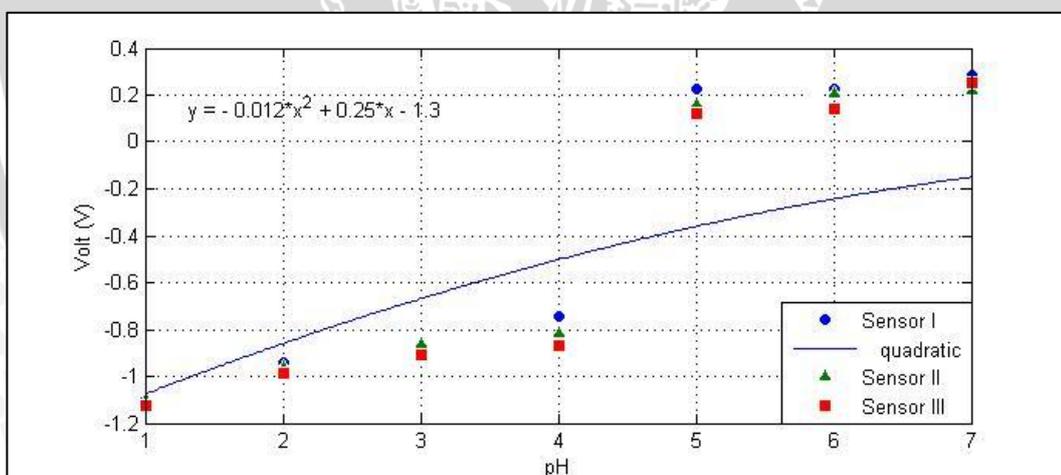
Gambar 5.7 Grafik rata-rata pengujian set ke-2

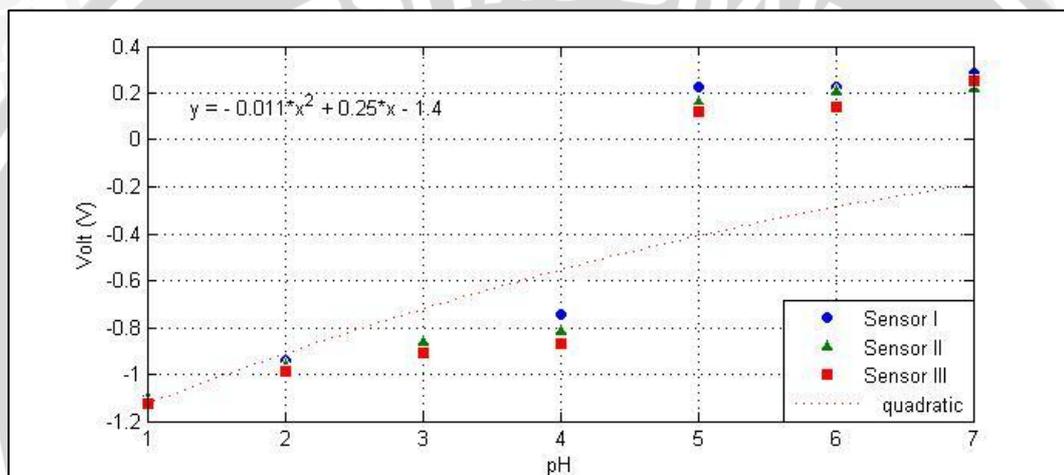
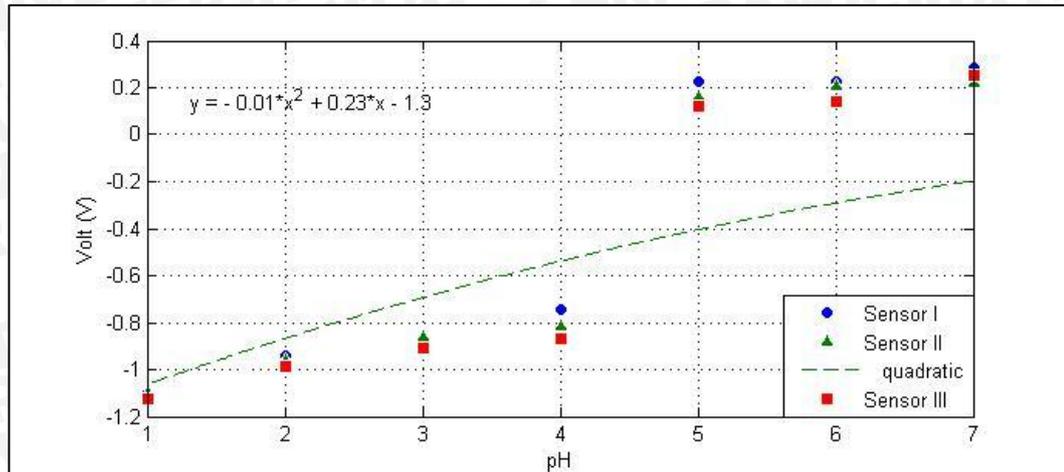
Pada Gambar 5.7 terlihat bahwa tegangan linear terhadap larutan buffer pH 1 sampai dengan pH 7. Grafik tegangan terhadap pH 1 sampai dengan pH 7 terlihat seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.8



Gambar 5.8 Grafik rata-rata pengujian set ke-2 pada pH 1 sampai dengan pH 7

Untuk menganalisis sensitifitas grafik dalam Gambar 5.8 dengan pH 1 sampai dengan pH 7 dibuat garis regresi dengan metode kuadratik untuk ketiga sensor pada set ke-1, ditunjukkan dalam Gambar 5.9.





Gambar 5.9 Grafik Kuadratik rata-rata pengujian set ke-2 pada pH 1 sampai dengan pH 7

Gambar 5.9 menunjukkan grafik kuadratik yang diperoleh dari Gambar 5.8. Untuk mendapatkan sebuah kurva yang dapat menggambarkan kondisi data dalam Tabel 5.8, maka digunakanlah metode regresi kuadratik. Dari Gambar 5.9 didapatkan persamaan regresi untuk tiap-tiap garis yang mewakili ketiga sensor dengan jarak yang berbeda-beda.

Sensor I persamaannya adalah $y = -0.012x^2 + 0.25x - 1.3$ (4)

Sensor II persamaannya adalah $y = 0.01x^2 + 0.23x - 1.3$ (5)

Sensor III persamaannya adalah $y = -0.011x^2 + 0.25 - 1.4$ (6)

Perhitungan manual untuk mencari Persamaan (4), (5), dan (6) dapat dilakukan dengan metode regresi linier menggunakan regresi kuadratik. Untuk sensor I, II, dan III dapat dihitung seperti berikut:

Untuk memperoleh SPL dalam a_0 , a_1 dan a_2 menggunakan:

$$\sum a_0 + \sum a_1 x_i + \sum a_2 x_i^2 = \sum y_i$$

$$\sum a_0 x_i + \sum a_1 x_i^2 + \sum a_2 x_i^3 = \sum y_1 x_i$$

$$\sum a_0 x_i^2 + \sum a_1 x_i^3 + \sum a_2 x_i^4 = \sum y_1 x_i^2$$

- Solusi SPL sensor I ini adalah:

$$a_0 = -0.012$$

$$a_1 = 0.25$$

$$a_2 = -1.3$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.01x^2 + 0.23x - 1.3$$

- Solusi SPL sensor II ini adalah:

$$a_0 = -0.011$$

$$a_1 = 0.25$$

$$a_2 = -1.4$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = 0.013x^2 + 0.24x - 1.3$$

- Solusi SPL sensor III ini adalah:

$$a_0 = -0.011$$

$$a_1 = 0.25$$

$$a_2 = -1.4$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.013x^2 + 0.25x - 1.4$$

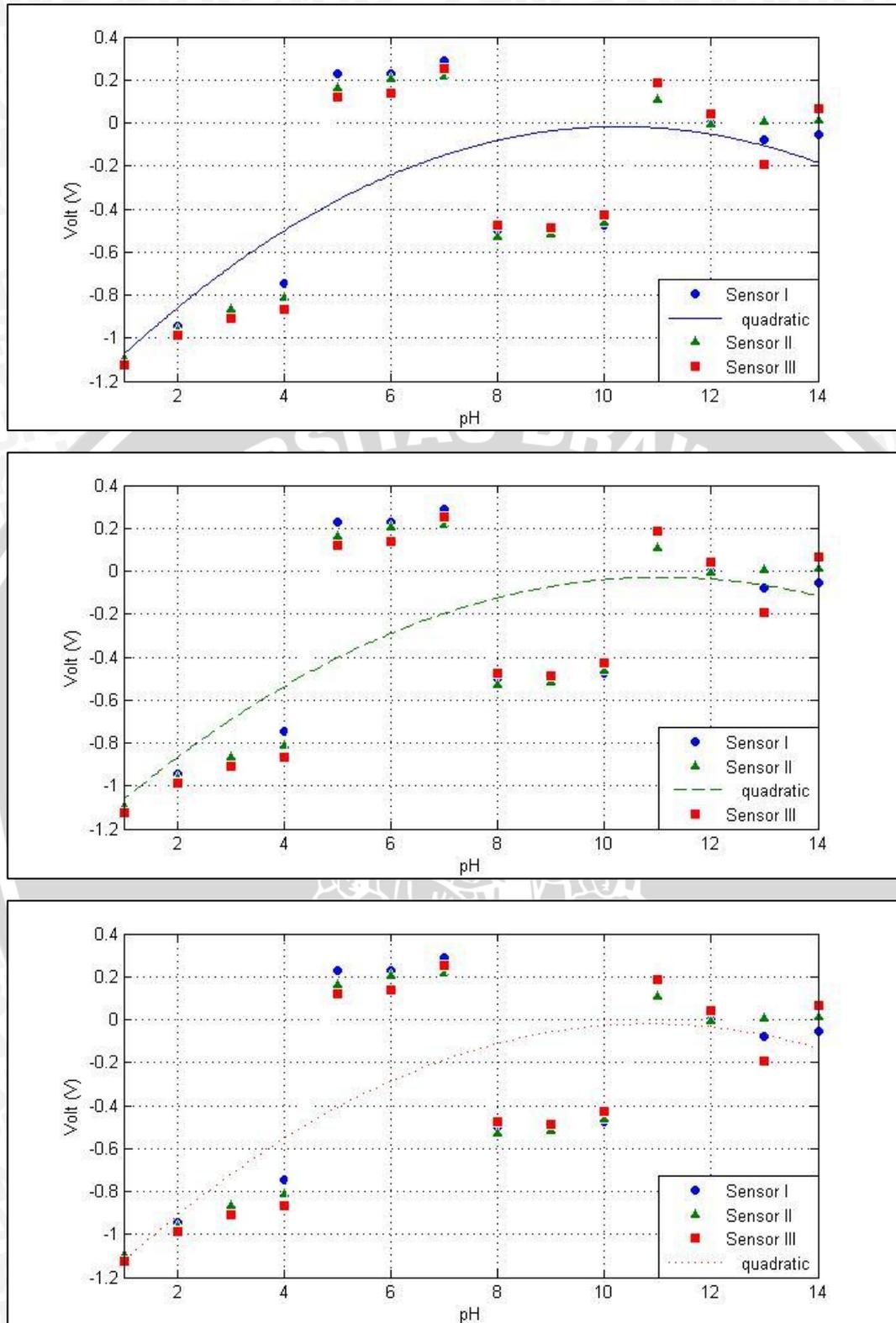
Berikut adalah nilai *norm of residuals* dari ketiga sensor tersebut:

$$\text{Sensor I} = 0.56378$$

$$\text{Sensor II} = 0.56395$$

$$\text{Sensor III} = 0.54619$$

Setelah membuat grafik regresi tegangan terhadap pH 1 sampai dengan 7 telah ditunjukkan dalam Gambar 5.9, selanjutnya dibuatlah pula grafik regresi dengan metode yang sama untuk pH 1 sampai dengan pH 14 untuk ketiga sensor pada set ke-2 yang ditunjukkan dalam Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Grafik Kuadratik rata-rata pengujian set ke-2 pada pH 1 sampai dengan pH 14

Pada Gambar 5.10 ditunjukkan dengan garis-garis regresi pada ketiga sensor, kecocokan antara garis pada grafik tersebut dengan data sebenarnya disebut *norm of residuals* pada aplikasi MatLab. Nilai dari *norm of residuals* ini akan mendekati 0 jika garis pada grafik mendekati nilai pada data sebenarnya. Berikut adalah nilai *norm of residuals* dari ketiga sensor tersebut:

Sensor I = 1.2415

Sensor II = 1.1993

Sensor III = 1.1709

5.3 Pengujian Set ke-3 Sensor pH (ketebalan 0,1 mm dan lebar 1,2 mm)

Pengujian sensor pH set II akan diuji dengan cara dicelupkan ke dalam larutan buffer pH 1 sampai dengan pH 14. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali lalu di rata-rata dan kemudian dibuat grafik tegangan terhadap pH. Adapun dalam 1 set sensor pH ini akan diuji selama 10 detik dengan jarak antar elektroda berbeda-beda yaitu, 0,5cm yang diwakilkan sensor I, 1 cm yang akan diwakilkan sensor II, dan 1,5cm yang akan diwakilkan sensor III. Gambar 5.9 menunjukkan dimensi nikelin set ke-3.



Gambar 5.11 Dimensi nikelin set ke-3

Hasil pengujian pertama terhadap set sensor ke-3 ditunjukkan dalam Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Pengujian ke-1 set sensor ke-3

pH	Sensor I (volt)	Sensor II (volt)	Sensor III (volt)
1	-1.06	-1.08	-1.20
2	-0.88	-0.86	-0.90
3	-0.77	-0.73	-0.78
4	-0.64	-0.61	-0.66
5	0.13	0.16	0.08
6	0.20	0.19	0.11
7	0.30	0.30	0.22
8	-0.35	-0.29	-0.30
9	-0.33	-0.33	-0.33
10	-0.30	-0.31	-0.32
11	0.23	0.16	0.23
12	0.06	-0.04	0.03
13	-0.11	-0.17	-0.18
14	0.03	-0.01	0.03

5.10. Hasil pengujian kedua terhadap set sensor ke-3 ditunjukkan dalam Tabel

Tabel 5.10 Pengujian ke-2 set sensor ke-3

pH	Sensor I (volt)	Sensor II (volt)	Sensor III (volt)
1	-1.05	-1.05	-1.19
2	-0.86	-0.86	-0.9
3	-0.78	-0.72	-0.76
4	-0.69	-0.58	-0.66
5	0.15	0.17	0.09
6	0.2	0.19	0.12
7	0.3	0.3	0.22
8	-0.33	-0.29	-0.3
9	-0.33	-0.34	-0.3
10	-0.29	-0.31	-0.31
11	0.22	0.17	0.23
12	0.14	-0.04	0.04
13	-0.11	-0.17	-0.17
14	0.05	0.07	0.09

5.11. Hasil pengujian ketiga terhadap set sensor ke-3 ditunjukkan dalam Tabel

Tabel 5.11 Pengujian ke-3 set sensor ke-3

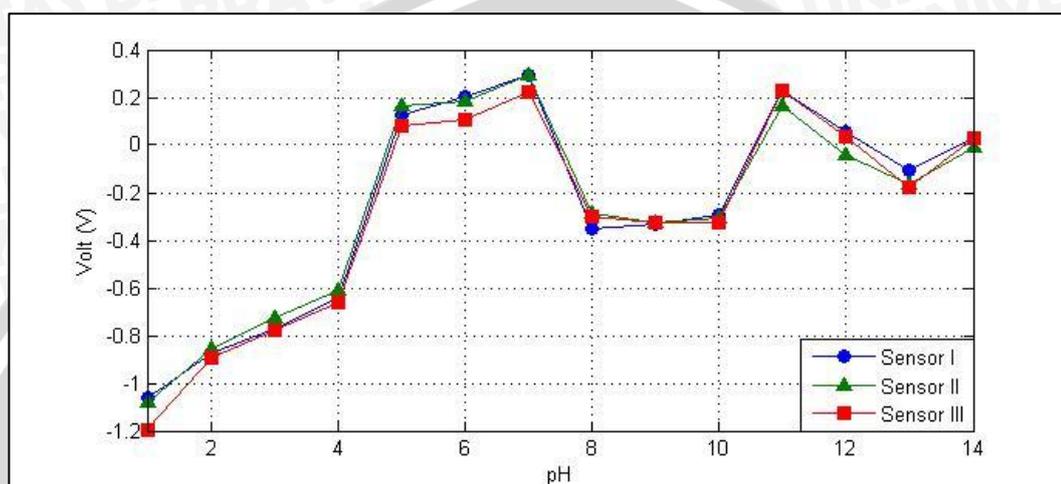
pH	Sensor I (volt)	Sensor II (volt)	Sensor III (volt)
1	-1.09	-1.09	-1.09
2	-0.89	-0.86	-0.9
3	-0.77	-0.73	-0.78
4	-0.6	-0.65	-0.69
5	0.15	0.18	0.09
6	0.21	0.2	0.13
7	0.31	0.3	0.23
8	-0.38	-0.32	-0.3
9	-0.34	-0.33	-0.33
10	-0.3	-0.34	-0.35
11	0.22	0.15	0.23
12	-0.05	-0.04	0.02
13	-0.11	-0.16	-0.2
14	0.11	-0.06	-0.04

Setelah diuji sebanyak tiga kali pengujian, data dari ketiga pengujian tersebut akan di rata-rata seperti ditunjukkan dalam Tabel 5.12

Tabel 5.12 Rata-rata pengujian set sensor ke-3

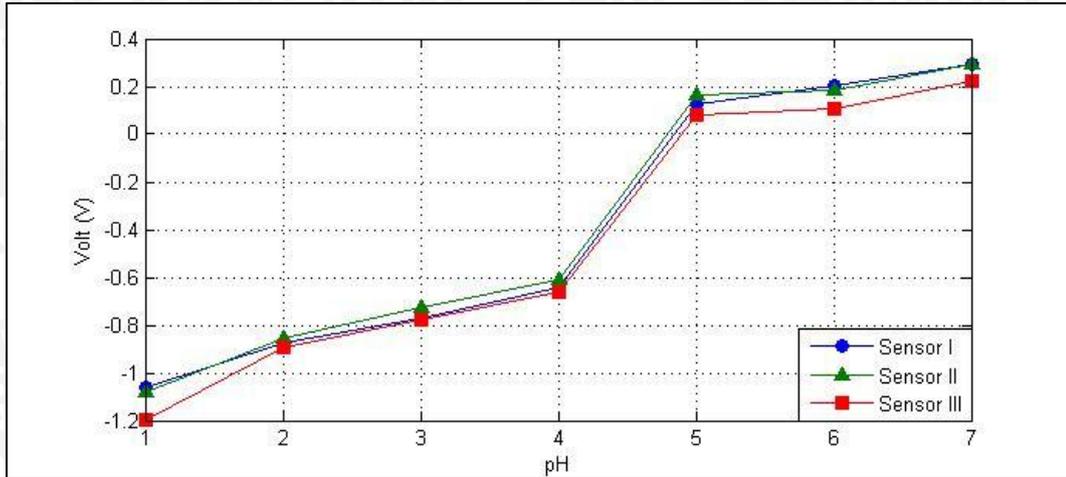
pH	Sensor I (volt)	Sensor II (volt)	Sensor III (volt)
1	-1.06	-1.08	-1.20
2	-0.88	-0.86	-0.90
3	-0.77	-0.73	-0.78
4	-0.64	-0.61	-0.66
5	0.13	0.16	0.08
6	0.20	0.19	0.11
7	0.30	0.30	0.22
8	-0.35	-0.29	-0.30
9	-0.33	-0.33	-0.33
10	-0.30	-0.31	-0.32
11	0.23	0.16	0.23
12	0.06	-0.04	0.03
13	-0.11	-0.17	-0.18
14	0.03	-0.01	0.03

Untuk lebih mempermudah menganalisis karakteristik tegangan terhadap pH pada Tabel 5.12, maka dibuatlah grafik seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.12



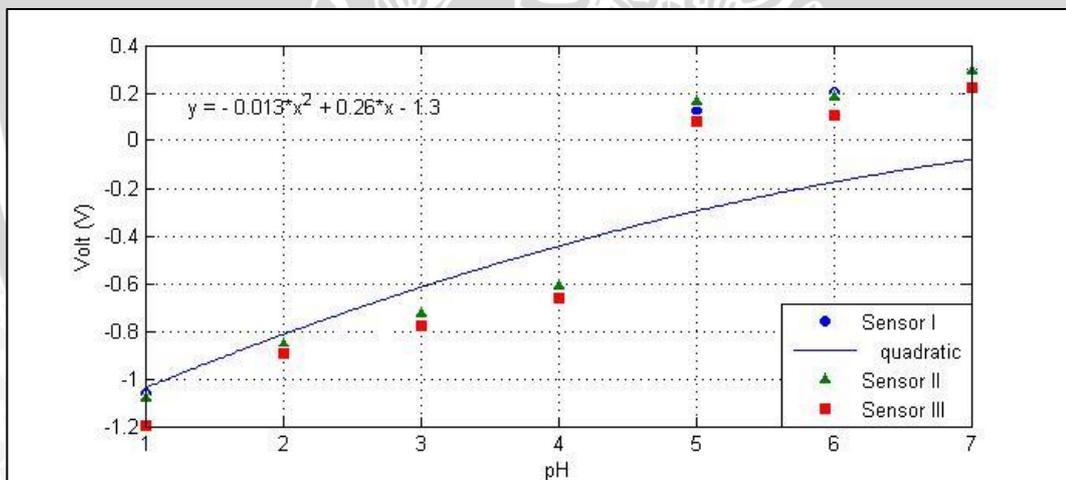
Gambar 5.12 Grafik rata-rata pengujian set ke-3

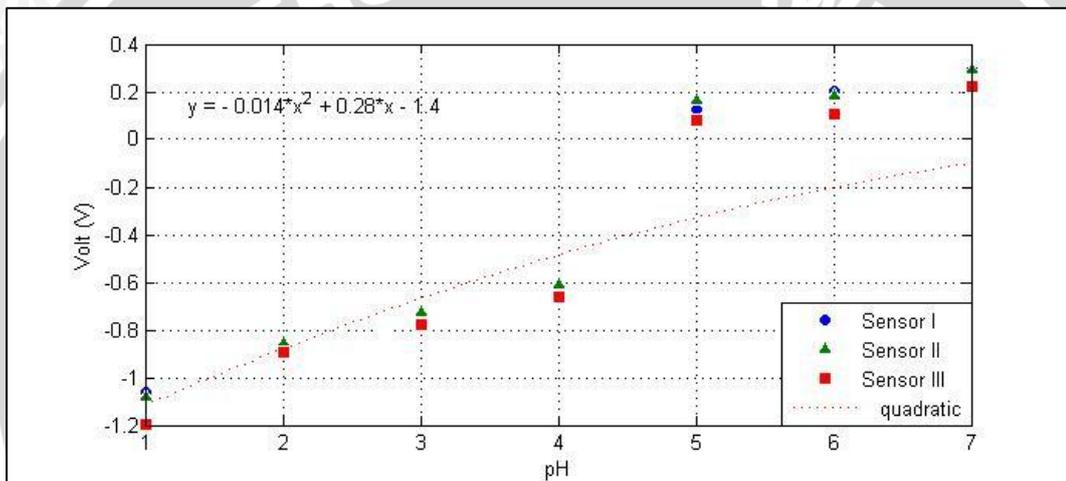
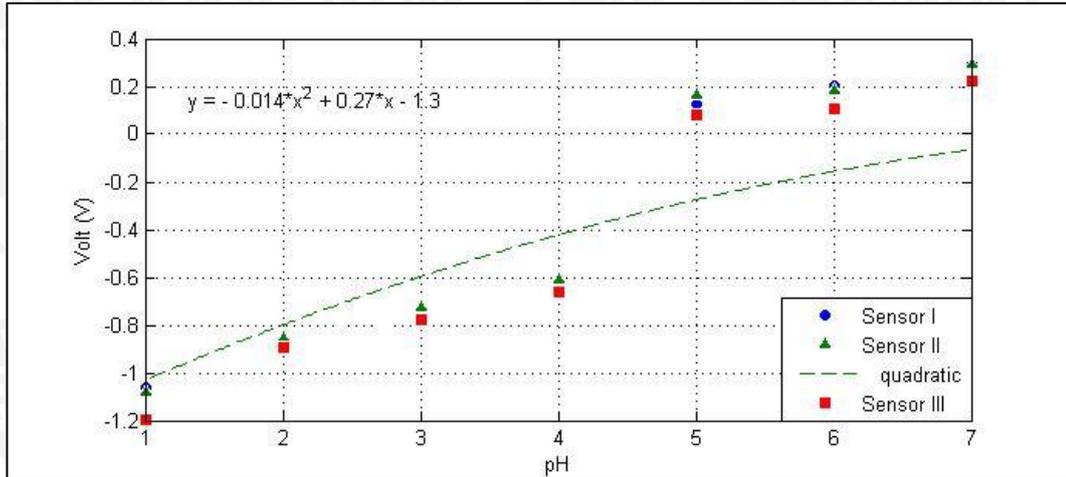
Pada Gambar 5.12 terlihat bahwa tegangan linear terhadap larutan buffer pH 1 sampai dengan pH 7. Grafik tegangan terhadap pH 1 sampai dengan pH 7 terlihat seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.13



Gambar 5.13 Grafik rata-rata pengujian set ke-3 pada pH 1 sampai dengan pH 7

Untuk menganalisis sensitifitas grafik dalam Gambar 5.13 dengan pH 1 sampai dengan pH 7 dibuat garis regresi dengan metode kuadratik untuk ketiga sensor pada set ke-1, ditunjukkan dalam Gambar 5.14.





Gambar 5.14 Grafik kuadrat rata-rata pengujian set ke-3 pada pH 1 sampai dengan pH 7

Gambar 5.14 menunjukkan grafik kuadrat yang diperoleh dari Gambar 5.13. Untuk mendapatkan sebuah kurva yang dapat menggambarkan kondisi data dalam Tabel 5.12, maka digunakanlah metode regresi kuadrat. Dari Gambar 5.14 didapatkan persamaan regresi untuk tiap-tiap garis yang mewakili ketiga sensor dengan jarak yang berbeda-beda.

Sensor I persamaannya adalah $y = -0.013x^2 + 0.26x - 1.3$ (7)

Sensor II persamaannya adalah $y = -0.014x^2 + 0.27x - 1.3$ (8)

Sensor III persamaannya adalah $y = -0.014x^2 + 0.28x - 1.4$ (9)

Perhitungan manual untuk mencari Persamaan (7), (8), dan (9) dapat dilakukan dengan metode regresi linier menggunakan regresi kuadratik. Untuk sensor I, II, dan III dapat dihitung seperti berikut:

Untuk memperoleh SPL dalam a_0 , a_1 dan a_2 menggunakan:

$$\sum a_0 + \sum a_1 x_i + \sum a_2 x_i^2 = \sum y_i$$

$$\sum a_0 x_i + \sum a_1 x_i^2 + \sum a_2 x_i^3 = \sum y_1 x_i$$

$$\sum a_0 x_i^2 + \sum a_1 x_i^3 + \sum a_2 x_i^4 = \sum y_1 x_i^2$$

- Solusi SPL sensor I ini adalah:

$$a_0 = -0.013$$

$$a_1 = 0.26$$

$$a_2 = -1.3$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.013x^2 + 0.26x - 1.3$$

- Solusi SPL sensor II ini adalah:

$$a_0 = -0.014$$

$$a_1 = 0.27$$

$$a_2 = -1.3$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.014x^2 + 0.27x - 1.3$$

- Solusi SPL sensor III ini adalah:

$$a_0 = -0.014$$

$$a_1 = 0.27$$

$$a_2 = -1.3$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.014x^2 + 0.27x - 1.3$$

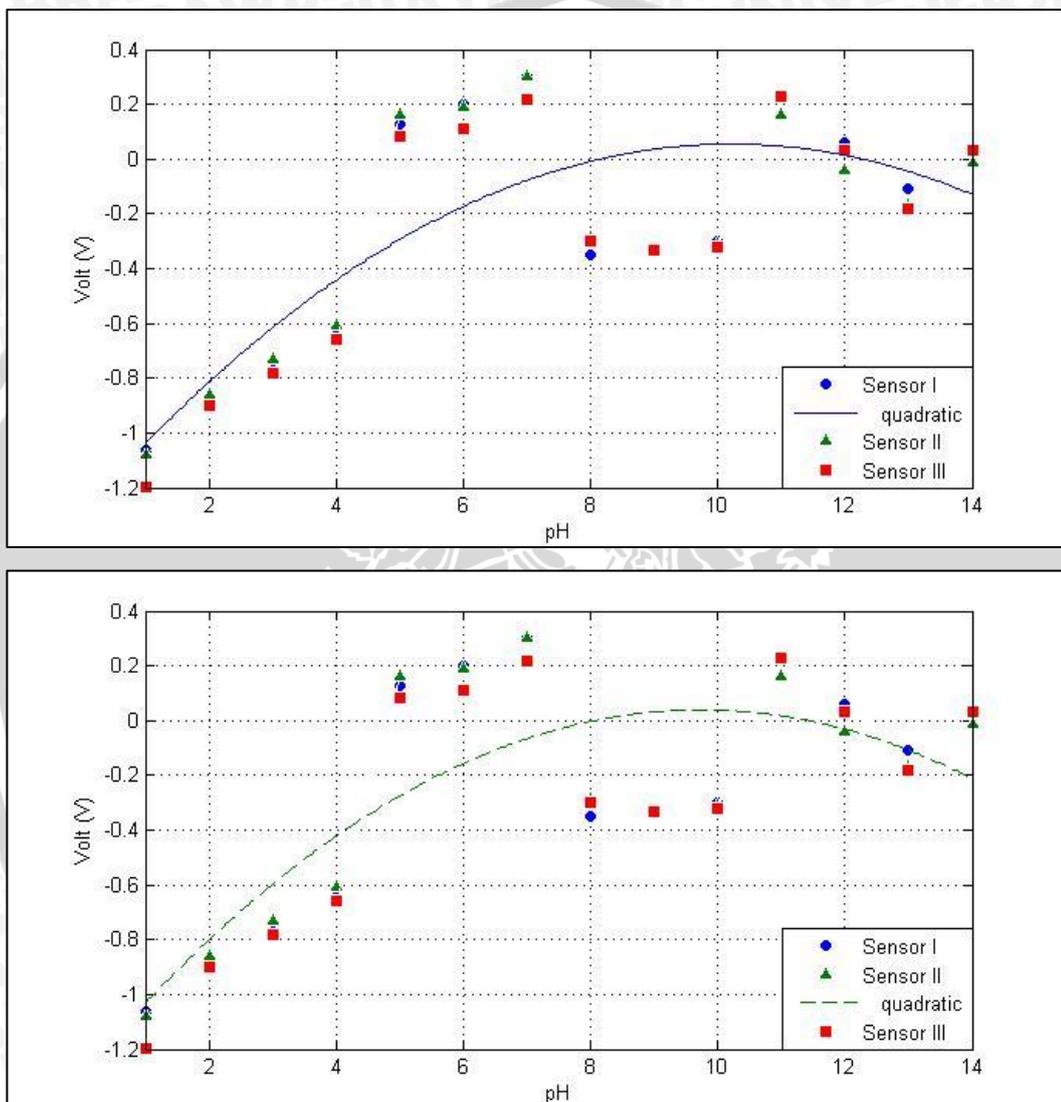
Berikut adalah nilai *norm of residuals* dari ketiga sensor tersebut:

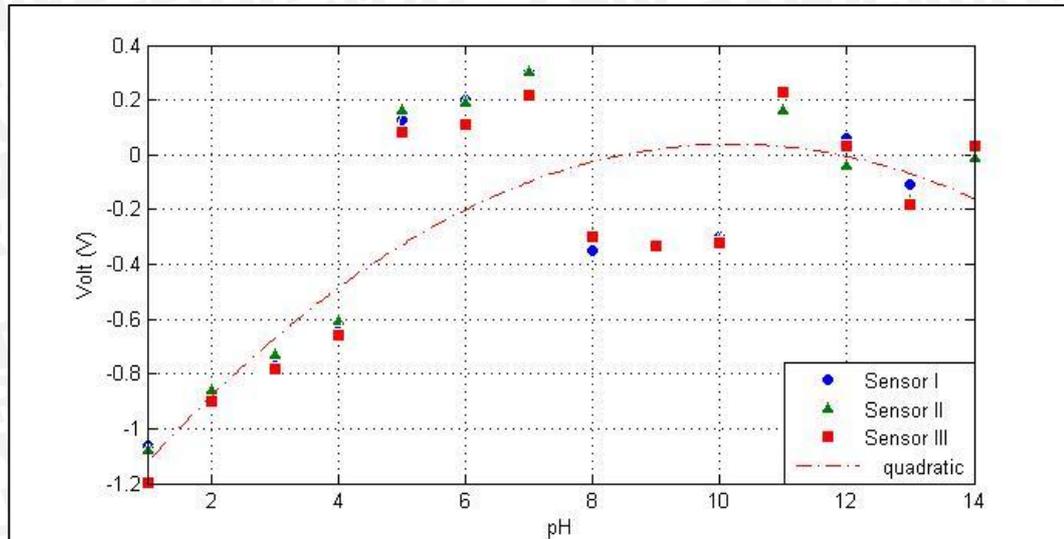
$$\text{Sensor I} = 0.40451$$

$$\text{Sensor II} = 0.3997$$

$$\text{Sensor III} = 0.37852$$

Setelah membuat grafik regresi tegangan terhadap pH 1 sampai dengan 7 telah ditunjukkan dalam Gambar 5.14, selanjutnya dibuatlah pula grafik regresi dengan metode yang sama untuk pH 1 sampai dengan pH 14 untuk ketiga sensor pada set ke-3 yang ditunjukkan dalam Gambar 5.15.





Gambar 5.15 Grafik kuadrat rata-rata pengujian set ke-3 pada pH 1 sampai dengan pH 14

Pada Gambar 5.15 ditunjukkan dengan garis-garis regresi pada ketiga sensor, kecocokan antara garis pada grafik tersebut dengan data sebenarnya disebut *norm of residuals* pada aplikasi MatLab. Nilai dari *norm of residuals* ini akan mendekati 0 jika garis pada grafik mendekati nilai pada data sebenarnya. Berikut adalah nilai *norm of residuals* dari ketiga sensor tersebut:

$$\text{Sensor I} = 0.98636$$

$$\text{Sensor II} = 0.95034$$

$$\text{Sensor III} = 0.91244$$

5.4 Pengujian Set ke-1 Sensor pH pada Suhu 50°C

Pengujian sensor pH set ke-1 akan diuji kembali dengan cara dicelupkan ke dalam larutan buffer pH 1 sampai dengan pH 14 tetapi dalam keadaan suhu 50°C, hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik sensor pH jika berada dalam suhu yang tinggi. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali lalu di rata-rata dan kemudian dibuat grafik tegangan terhadap pH. Adapun dalam 1 set sensor pH ini akan diuji selama 10 detik dengan jarak antar elektroda berbeda-beda yaitu, 0,5cm yang diwakilkan sensor I, 1 cm yang akan diwakilkan sensor II, dan 1,5cm yang akan diwakilkan sensor III. Hasil pengujian pertama terhadap set sensor ke-1 pada suhu 50°C ditunjukkan dalam Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Pengujian ke-1 set sensor ke-1 pada 50°C

pH	50°C		
	Sensor I (volt)	Sensor II (volt)	Sensor III (volt)
1	-1.9	-1.29	-1.27
2	-1.03	-1.08	-1.13
3	-1.02	-1.08	-1.07
4	-0.96	-0.92	-0.89
5	-0.27	-0.33	-0.3
6	-0.16	-0.08	-0.01
7	-0.05	-0.07	-0.003
8	-0.83	-0.56	-0.68
9	-0.69	-0.71	-0.62
10	-0.72	-0.81	-0.61
11	-0.5	-0.51	-0.35
12	-0.54	-0.63	-0.82
13	-0.65	-0.73	-0.74
14	-0.71	-0.77	-0.72

Hasil pengujian kedua terhadap set sensor ke-1 pada suhu 50°C ditunjukkan dalam Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Pengujian ke-2 set sensor ke-1 pada 50°C

pH	50°C		
	Sensor I (volt)	Sensor II (volt)	Sensor III (volt)
1	-1.91	-1.31	-1.29
2	-1.12	-1.14	-1.14
3	-1.06	-1.08	-1.07
4	-0.95	-0.96	-0.9
5	-0.22	-0.27	-0.2
6	-0.13	-0.06	-0.09
7	-0.01	-0.004	0.07
8	-0.58	-0.58	-0.53
9	-0.67	-0.6	-0.54
10	-0.62	-0.63	-0.57
11	-0.36	-0.35	-0.2
12	-0.46	-0.55	-0.69
13	-0.57	-0.68	-0.68
14	-0.59	-0.66	-0.68

Hasil pengujian ketiga terhadap set sensor ke-1 pada suhu 50°C ditunjukkan dalam Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Pengujian ke-3 set sensor ke-1 pada 50°C

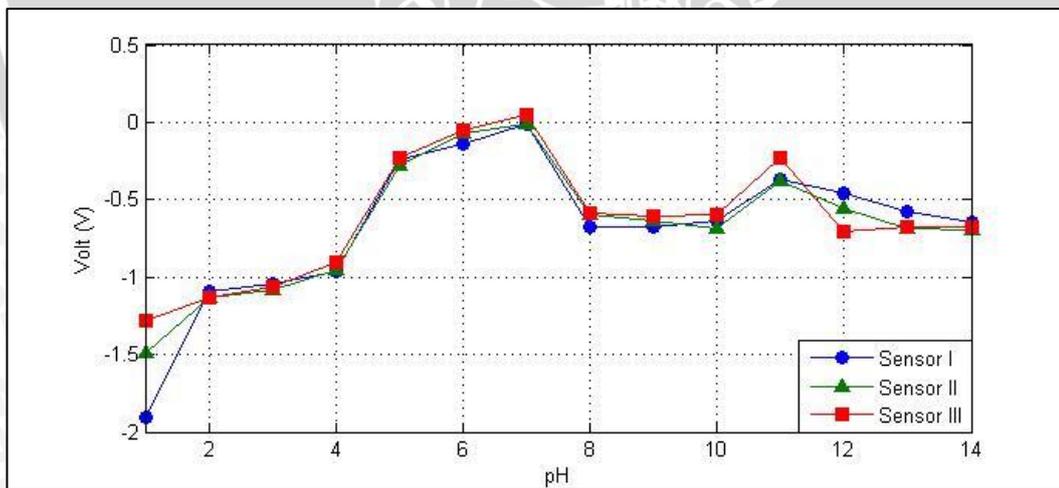
pH	50°C		
	Sensor I (volt)	Sensor II (volt)	Sensor III (volt)
1	-1.91	-1.88	-1.28
2	-1.13	-1.17	-1.14
3	-1.05	-1.09	-1.06
4	-0.99	-0.98	-0.91
5	-0.22	-0.23	-0.18
6	-0.13	-0.06	-0.05
7	0.03	0.05	0.09
8	-0.62	-0.64	-0.56
9	-0.68	-0.6	-0.65
10	-0.58	-0.61	-0.62
11	-0.25	-0.26	-0.13
12	-0.38	-0.48	-0.62
13	-0.51	-0.65	-0.6
14	-0.65	-0.66	-0.62

Setelah diuji sebanyak tiga kali pengujian, data dari ketiga pengujian tersebut akan di rata-rata seperti ditunjukkan dalam Tabel 5.16

Tabel 5.16 Rata-rata pengujian set sensor ke-1 pada 50°C

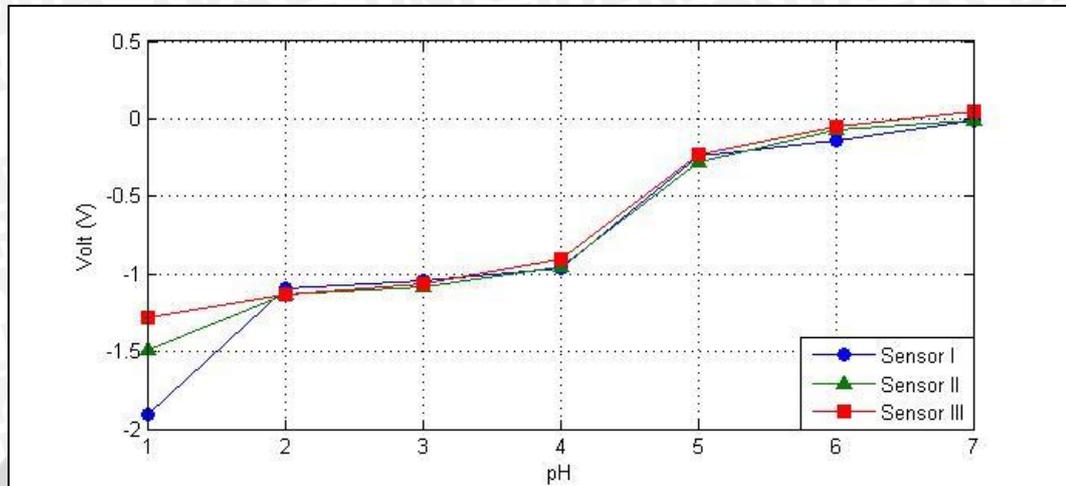
pH	50°C		
	Sensor I (volt)	Sensor II (volt)	Sensor III (volt)
1	-1.91	-1.49	-1.28
2	-1.09	-1.13	-1.14
3	-1.04	-1.08	-1.07
4	-0.97	-0.95	-0.90
5	-0.24	-0.28	-0.23
6	-0.14	-0.07	-0.05
7	-0.01	-0.01	0.05
8	-0.68	-0.59	-0.59
9	-0.68	-0.64	-0.60
10	-0.64	-0.68	-0.60
11	-0.37	-0.37	-0.23
12	-0.46	-0.55	-0.71
13	-0.58	-0.69	-0.67
14	-0.65	-0.70	-0.67

Untuk lebih mempermudah menganalisis karakteristik tegangan terhadap pH pada Tabel 5.16, maka dibuatlah grafik seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.16.



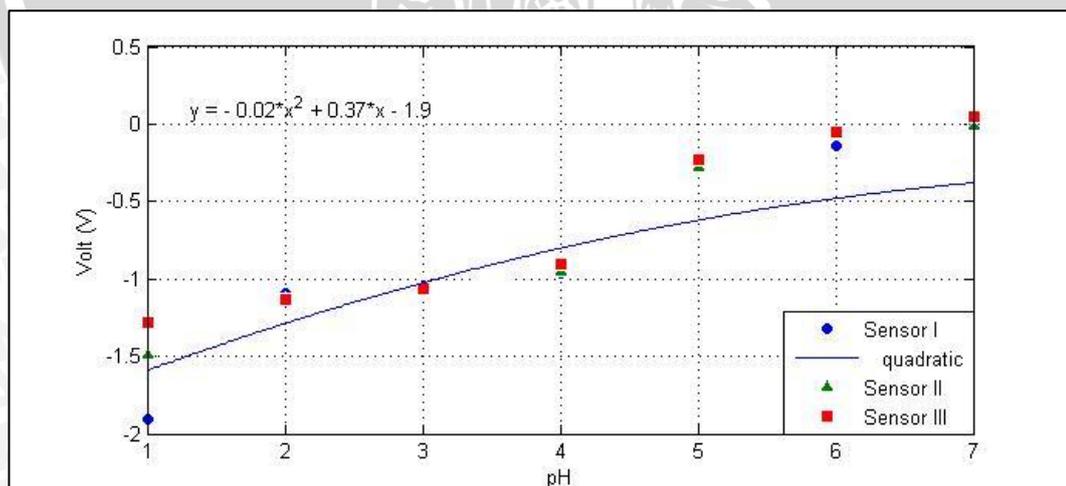
Gambar 5.16 Grafik rata-rata pengujian set ke-1 pada suhu 50°C

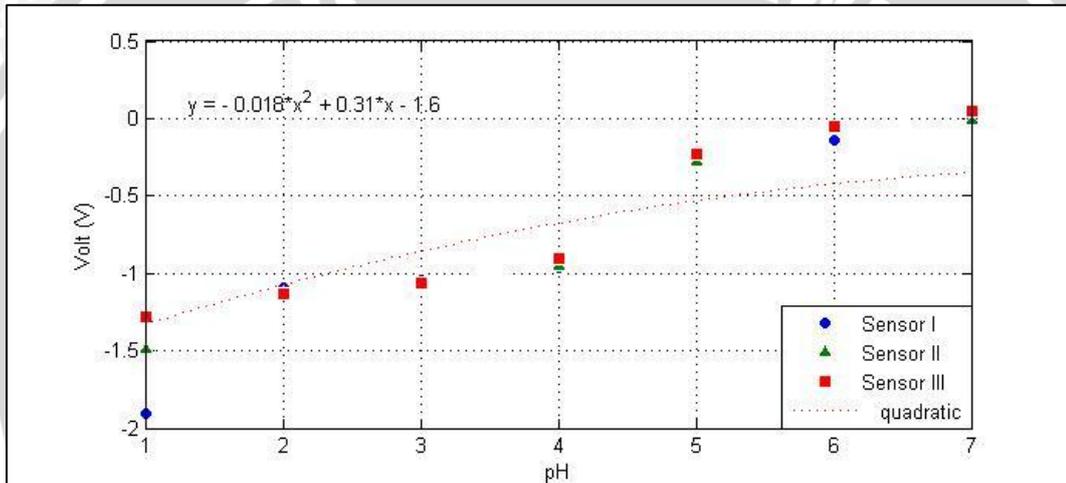
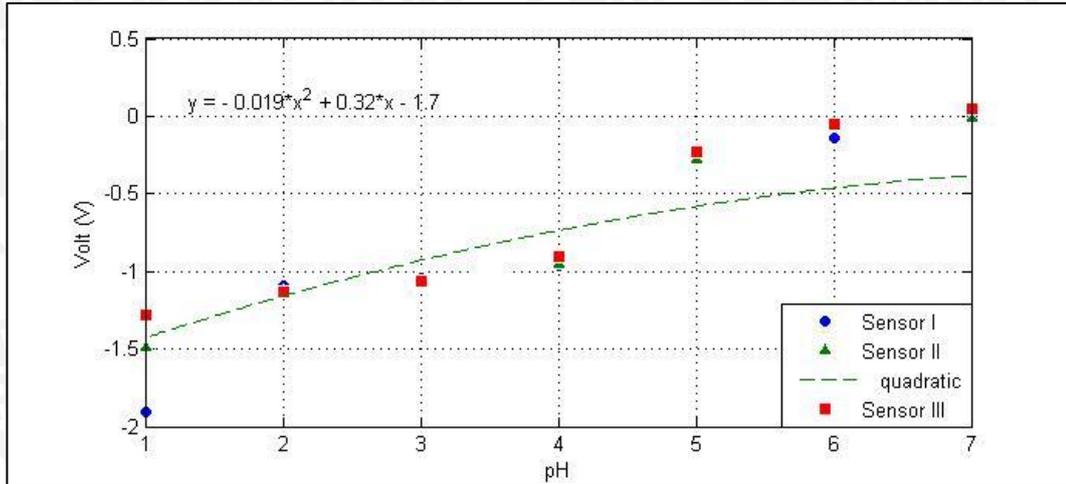
Pada Gambar 5.16 terlihat bahwa tegangan linear terhadap larutan buffer pH 1 sampai dengan pH 7. Grafik tegangan terhadap pH 1 sampai dengan pH 7 terlihat seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.17



Gambar 5.17 Grafik rata-rata pengujian set ke-1 pada suhu 50°C pada pH 1 sampai dengan pH 7

Untuk menganalisis sensitifitas grafik dalam Gambar 5.17 dengan pH 1 sampai dengan pH 7 dibuat garis regresi dengan metode kuadratik untuk ketiga sensor pada set ke-1 dalam suhu 50°C, ditunjukkan dalam Gambar 5.18.





Gambar 5.18 Grafik kuadratik rata-rata pengujian set ke-1 pada pH 1 sampai dengan pH 7 dalam suhu 50°C

Gambar 5.18 menunjukkan grafik kuadratik yang diperoleh dari Gambar 5.17. Untuk mendapatkan sebuah kurva yang dapat menggambarkan kondisi data dalam Tabel 5.16, maka digunakanlah metode regresi kuadratik. Dari Gambar 5.18 didapatkan persamaan regresi untuk tiap-tiap garis yang mewakili ketiga sensor dengan jarak yang berbeda-beda.

Sensor I persamaannya adalah $y = -0.02x^2 + 0.37x - 1.9$ (10)

Sensor II persamaannya adalah $y = -0.019x^2 + 0.32x - 1.7$ (11)

Sensor III persamaannya adalah $y = -0.018x^2 + 0.31x - 1.6$. (12)



Perhitungan manual untuk mencari Persamaan (10), (11), dan (12) dapat dilakukan dengan metode regresi linier menggunakan regresi kuadrat. Untuk sensor I,II, dan III dapat dihitung seperti berikut:

Untuk memperoleh SPL dalam a_0 , a_1 dan a_2 menggunakan:

$$\sum a_0 + \sum a_1 x_i + \sum a_2 x_i^2 = \sum y_i$$

$$\sum a_0 x_i + \sum a_1 x_i^2 + \sum a_2 x_i^3 = \sum y_1 x_i$$

$$\sum a_0 x_i^2 + \sum a_1 x_i^3 + \sum a_2 x_i^4 = \sum y_1 x_i^2$$

- Solusi SPL sensor I ini adalah:

$$a_0 = -0.02$$

$$a_1 = 0.37$$

$$a_2 = -1.9$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.02x^2 + 0.37x - 1.9$$

- Solusi SPL sensor II ini adalah:

$$a_0 = -0.019$$

$$a_1 = 0.32$$

$$a_2 = -1.7$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.019x^2 + 0.32x - 1.7$$

- Solusi SPL sensor III ini adalah:

$$a_0 = -0.018$$

$$a_1 = 0.31$$

$$a_2 = -1.6$$

Regresi liniernya adalah:

$$y = -0.018x^2 + 0.31x - 1.6$$

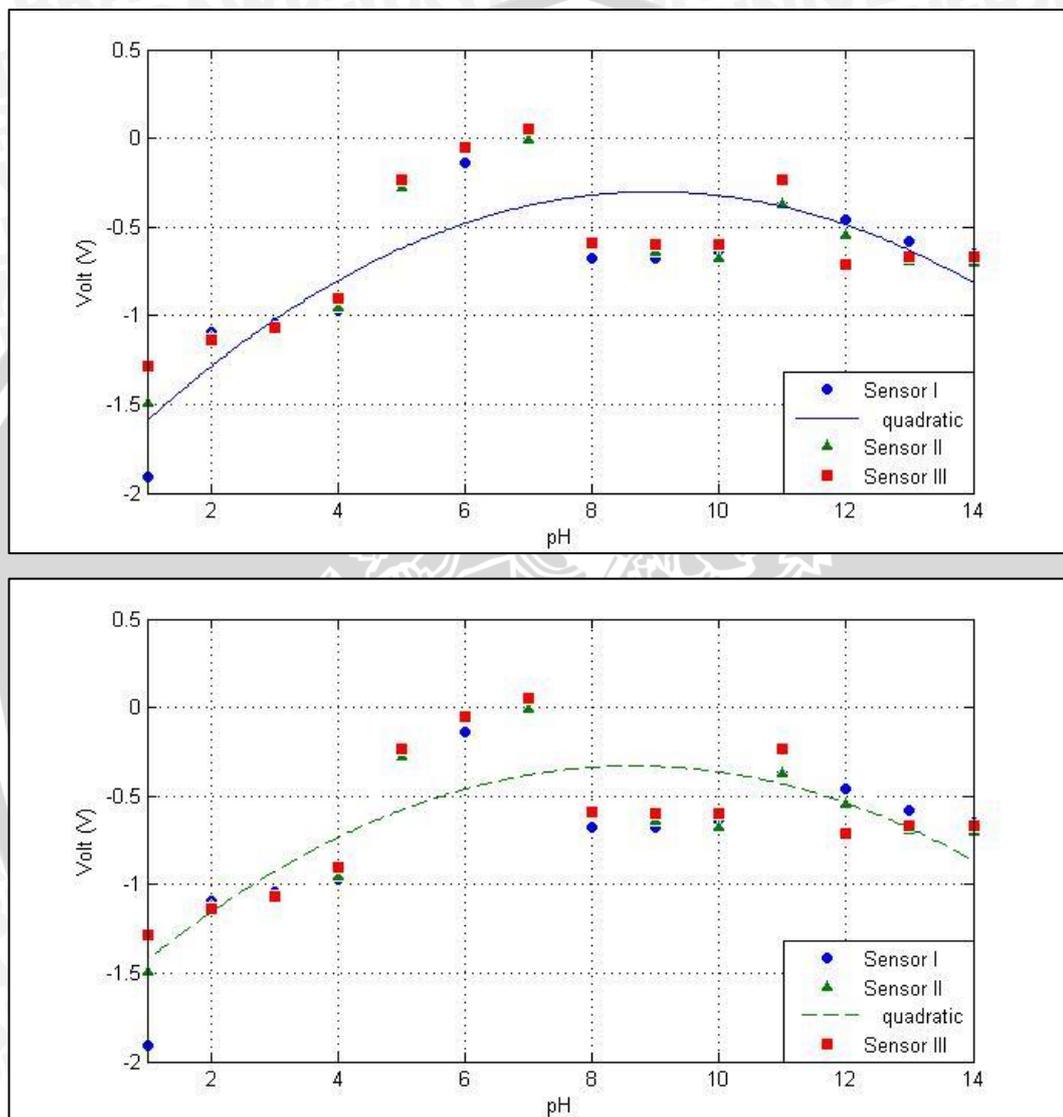
Berikut adalah nilai *norm of residuals* dari ketiga sensor tersebut:

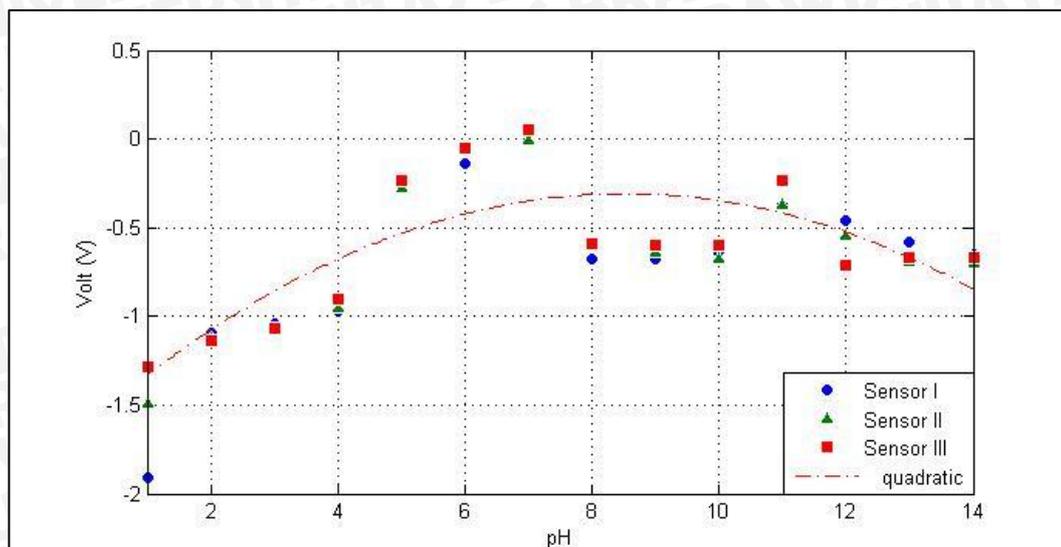
$$\text{Sensor I} = 0.45272$$

$$\text{Sensor II} = 0.36188$$

$$\text{Sensor III} = 0.35393$$

Setelah membuat grafik regresi tegangan terhadap pH 1 sampai dengan 7 telah ditunjukkan dalam Gambar 5.18, selanjutnya dibuatlah pula grafik regresi dengan metode yang sama untuk pH 1 sampai dengan pH 14 untuk ketiga sensor pada set ke-3 yang ditunjukkan dalam Gambar 5.19.





Gambar 5.19 Grafik kuadrat rata-rata pengujian set ke-1 pada pH 1 sampai dengan pH 14 dalam suhu 50°C

Pada Gambar 5.19 ditunjukkan dengan garis-garis regresi pada ketiga sensor, kecocokan antara garis pada grafik tersebut dengan data sebenarnya disebut *norm of residuals* pada aplikasi MatLab. Nilai dari *norm of residuals* ini akan mendekati 0 jika garis pada grafik mendekati nilai pada data sebenarnya. Berikut adalah nilai *norm of residuals* dari ketiga sensor tersebut:

$$\text{Sensor I} = 0.98557$$

$$\text{Sensor II} = 0.86292$$

$$\text{Sensor III} = 0.90337$$

5.5 Analisis

Setelah ketiga set sensor pH yang terdiri dari dimensi nikelin yang berbeda-beda dan jarak antar nikelin juga berbeda, diperoleh bahwa semakin besar nilai kadar pH maka nilai keluaran tegangannya pun semakin besar. Hal tersebut bisa terlihat pada grafik ketiga set sensor pH.

Nilai tegangan yang dihasilkan linier dengan nilai kadar pH yang diuji, akan tetapi pada kadar pH 8 sampai 14, nilai tegangan nya tidak linier lagi bahkan tak teratur. Nilai dari *norm of residuals* pada grafik pH 1 sampai dengan pH 7 dibandingkan dengan grafik pH 1 sampai dengan pH 14 pun berbeda, pada pH 1 sampai dengan pH 7 lebih mendekati 0 daripada grafik pH 1 sampai dengan pH

14, hal ini membuktikan bahwa grafik pH 1 sampai dengan 7 lebih mendekati nilai data sebenarnya daripada grafik pH 1 sampai dengan pH 14. Jadi, sensor pH dengan berbahan nikelin ini hanya bisa bekerja pada kadar pH 1 sampai dengan pH 7 atau bisa dikatakan hanya bisa bekerja pada kadar pH asam dan netral. Hal ini juga bisa ditemukan pada pengujian pada suhu 50°C, nilai tegangannya linier hanya pada pH 1 sampai dengan pH 7, tetapi nilai tegangannya lebih rendah daripada pengujian pada suhu kamar atau ±26°C.

Tabel 5.17 menunjukkan daftar regresi tiap set sensor dan pada tiap set sensor ada 3 sensor yang berjarak 0.5;1;1.5 secara berurutan.

Tabel 5.17 Regresi pada tiap set sensor

Set	Sensor ke-	Regresi
1	1	$y = -0.012x^2 + 0.25x - 1.5$
	2	$y = -0.01x^2 + 0.24x - 1.6$
	3	$y = -0.011x^2 + 0.24x - 1.5$
2	1	$y = -0.012x^2 + 0.25x - 1.3$
	2	$y = -0.01x^2 + 0.23x - 1.3$
	3	$y = -0.011x^2 + 0.25x - 1.4$
3	1	$y = -0.013x^2 + 0.26x - 1.3$
	2	$y = -0.014x^2 + 0.27x - 1.3$
	3	$y = -0.014x^2 + 0.28x - 1.4$
1 (50°C)	1	$y = -0.02x^2 + 0.37x - 1.9$
	2	$y = -0.019x^2 + 0.32x - 1.7$
	3	$y = -0.018x^2 + 0.31x - 1.6$

Pada set ke-1 dari sensor berbahan nikelin yang elektrodanya berjarak 0,5 cm;1 cm;1,5 cm pada pH 1 sampai dengan pH 7 didapatkan sensitifitas seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.4 dengan cara menghitung selisih tegangan dibagi dengan selisih pH yang sudah ada pada masing-masing Gambar 5.4. Untuk memudahkan penghitungan, pada masing-masing set akan diambil selisih 2 pada nilai pH 2-4, jadi pada selisih tegangannya juga akan dihitung pada rentang pH yang diambil tersebut, berikut perhitungannya:

Pada sensor berjarak 0.5 cm sensitifitasnya adalah $S = \frac{\Delta V}{\Delta pH} = \frac{-0.35}{2} = -0.175$

Jadi sensitifitasnya adalah $S = -0.175 \text{ V/pH}$.

Pada sensor berjarak 1 cm sensitifitasnya adalah $S = \frac{\Delta V}{\Delta pH} = \frac{-0.35}{2} = -0.175$

Jadi sensitifitasnya adalah $S = -0.175 \text{ V/pH}$.

Pada sensor berjarak 1,5 cm sensitifitasnya adalah $S = \frac{\Delta V}{\Delta pH} = \frac{-0.325}{2} = -0.1625$

Jadi sensitifitasnya adalah $S = -0.1625 \text{ V/pH}$.

Pada set ke-2 dari sensor berbahan nikelin yang elektrodanya berjarak 0,5 cm; 1 cm; 1,5 cm pada pH 1 sampai dengan pH 7 didapatkan sensitifitas seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.7

Pada sensor berjarak 0.5 cm sensitifitasnya adalah $S = \frac{\Delta V}{\Delta pH} = \frac{-0.36}{2} = -0.183$

Jadi sensitifitasnya adalah $S = -0.183 \text{ V/pH}$.

Pada sensor berjarak 1 cm sensitifitasnya adalah $S = \frac{\Delta V}{\Delta pH} = \frac{-0.27}{2} = -0.13$

Jadi sensitifitasnya adalah $S = -0.13 \text{ V/pH}$.

Pada sensor berjarak 1,5 cm sensitifitasnya adalah $S = \frac{\Delta V}{\Delta pH} = \frac{-0.3}{2} = -0.15$

Jadi sensitifitasnya adalah $S = -0.15 \text{ V/pH}$.

Pada set ke-3 dari sensor berbahan nikelin yang elektrodanya berjarak 0,5 cm; 1 cm; 1,5 cm pada pH 1 sampai dengan pH 7 didapatkan sensitifitas seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.10

Pada sensor berjarak 0.5 cm sensitifitasnya adalah $S = \frac{\Delta V}{\Delta pH} = \frac{-0.33}{2} = -0.17$

Jadi sensitifitasnya adalah $S = -0.17 \text{ V/pH}$.

Pada sensor berjarak 1 cm sensitifitasnya adalah $S = \frac{\Delta V}{\Delta pH} = \frac{-0.33}{2} = -0.17$

Jadi sensitifitasnya adalah $S = -0.17 \text{ V/pH}$.

Pada sensor berjarak 1,5 cm sensitifitasnya adalah $S = \frac{\Delta V}{\Delta pH} = \frac{-0.4}{2} = -0.2$

Jadi sensitifitasnya adalah $S = -0.2 \text{ V/pH}$.

Pada set ke-1 dari sensor berbahan nikelin yang elektrodanya berjarak 0,5 cm; 1 cm; 1,5 cm pada pH 1 sampai dengan pH 7 yang diuji pada suhu 50°C didapatkan sensitifitas seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.13

Pada sensor berjarak 0.5 cm sensitifitasnya adalah $S = \frac{\Delta V}{\Delta pH} = \frac{-0.425}{2} = -0.2125$

Jadi sensitifitasnya adalah $S = -0.2125V/pH$.

Pada sensor berjarak 1 cm sensitifitasnya adalah $S = \frac{\Delta V}{\Delta pH} = \frac{-0.35}{2} = -0.175$

Jadi sensitifitasnya adalah $S = -0.175 V/pH$.

Pada sensor berjarak 1,5 cm sensitifitasnya adalah $S = \frac{\Delta V}{\Delta pH} = \frac{-0.35}{2} = -0.175$

Jadi sensitifitasnya adalah $S = -0.175 V/pH$.

Tabel 5.18 menunjukkan daftar sensitifitas tiap set sensor dan pada tiap set sensor ada 3 sensor yang berjarak 0.5;1;1.5 secara berurutan.

Tabel 5.18 Sensitifitas pada tiap set sensor pada pH 1 sampai dengan pH 7

Set	Sensor ke-	Sensitifitas (V/pH)
1	1	-0.175
	2	-0.175
	3	-0.1625
2	1	-0.183
	2	-0.13
	3	-0.15
3	1	-0.17
	2	-0.17
	3	-0.2
1 (50°C)	1	-0.2125
	2	-0.175
	3	-0.175

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan didapatkan sebagai berikut:

- 1) Sensor pH berbahan nikelin yang telah dirancang bekerja pada kadar pH 1 sampai dengan pH 7 atau asam dan netral, karena pada rentang pH 8-14 atau basa, tegangan terhadap pH sudah tidak konsisten. Begitu pula dengan pengujian pada suhu 50°C, tegangan yang dihasilkan semakin kecil walaupun tetap cenderung linier.
- 2) Pada rentang pH 1 sampai dengan pH 7 set 1,2,dan 3 menunjukkan bahwa tegangan terhadap pH meningkat secara progresif. Berdasarkan set sensor 1,2, dan 3 sensor pH yang paling sensitif ditunjukkan oleh set ke-2 dari sensor pH dengan besar sensitifitasnya adalah $S = -0.13 \text{ V/pH}$, pada jarak antar elektrodanya 1 cm dengan regresi kuadratnya adalah $y = 0.01x^2 + 0.23x - 1.3$. Sedangkan pengujian set sensor 1 yang diuji pada suhu 50°C menunjukkan sensor yang paling sensitif adalah sensor dengan jarak elektroda 1 cm dan 1.5 cm dengan sensitifitasnya adalah $S = -0.175 \text{ V/pH}$ dan $S = -0.175 \text{ V/pH}$.

6.2 Saran

Untuk penelitian dan penyempurnaan sensor pH berbahan nikelin ini diharapkan dapat dikembangkan sistem instrumentasi sensor ini sehingga dapat menunjukkan berapa kadar pH pada larutan tertentu secara *real-time*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bueche, Fredick J. dan Eugene Hecht. 2006. Fisika Universitas. Jakarta :Erlangga.
- Chang, Raymond. 2002. *Chemistry*. Singapore: Mc.Graw-Hill Education.
- Chuang, Cheng-Hsin *et al.* 2011. *Flexible pH Sensor with Polyaniline Layer Based on Impedance Measurement. IEEE Journal on Fifth International Conference on Sensing Technology.*
- Dally, James W. 1984. *Instrumentation for Engineering Measurement*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Flink, R.J dan O.G Brink. 1984. *Dasar-dasar Ilmu Instrumen*. Jakarta : Binacipta.
- JLC Electromet Pvt. Ltd. *Nickle Alloys*. [Online]
<http://www.jlcelectromet.com/nickelalloys.htm> [diakses 22 Januari 2015]
- Kohlmann, Frederick J. 2003. *A Technical Handbook for Industry*. USA: Hach
- Purnama, Agus. 2012. *Jembatan Wheatstone*. [Online] <http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/jembatan-wheatstone/> [diakses 22 Januari 2015]
- Ray, Bibek. 2002. *Fundamental Food Microbiology*. USA: CRC Press.
- Simonis, Anette *et al.* 2001. *A Hybrid Thin Film pH Semsor with Integrated Thick-Film Reference*. MDPI Journal. 183-192

LAMPIRAN

