

**PENGEMBANGAN ELEKTRODA SENSOR ASAM URAT SEBAGAI
SENSOR pH DENGAN PENAMBAHAN RUTHENIUM**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



TIKA PURI ARDIANTI

NIM. 135060301111053

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2017



LEMBAR PENGESAHAN

**PENGEMBANGAN ELEKTRODA SENSOR ASAM URAT SEBAGAI SENSOR pH
DENGAN PENAMBAHAN RUTHENIUM**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



TIKA PURI ARDIANTI

NIM. 135060301111053

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 31 Maret 2017

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr.Ir.Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc
NIP. 19700113 199403 1 002

Ir.Nurussa'adah,MT
NIP. 19680706 1992032001

Mengetahui ketua jurusan

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph. D
19741203 200012 1 001



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Teriring ucapan terimakasih kepada:

Ayahanda Tri Kromo Karsidin dan Ibunda Purwati tercinta



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI, TESIS, ATAU DISERTASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi/Tesis/Disertasi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi/Tesis/Disertasi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi/Tesis/Disertasi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 18 April 2017

Mahasiswa,

Tika Puri Ardianti

NIM. 13506030111105



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah S.W.T karena berkat rahmat serta karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Shalawat beserta salam semoga senantiasa terlimpah curahkan kepada Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, para sahabatnya, hingga kepada umatnya hingga akhir zaman, amin.

Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Judul dari skripsi adalah “Pengembangan Elektroda Sensor Asam Urat Sebagai Sensor pH dengan Penambahan Ruthenium”. Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, Bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terimakasih kepada yang terhormat :

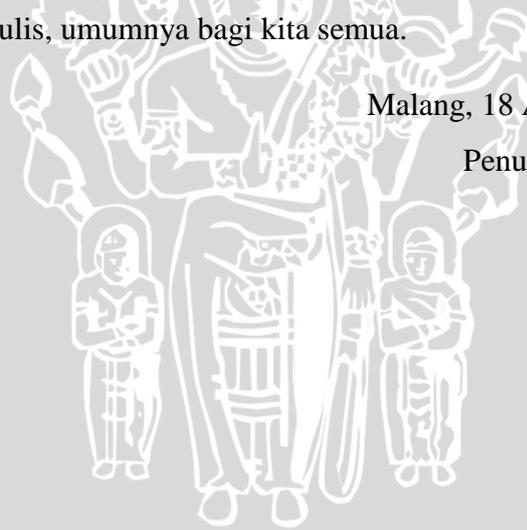
1. Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph. D., selaku ketua jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya yang telah membantu proses dalam melakukan penulisan skripsi.
2. Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program S1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya yang membantu jalannya penelitian skripsi ini.
3. Bapak DR. Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc selaku Pembimbing I yang selalu bijaksana memberikan bimbingan, nasehat serta waktunya selama penelitian dan penulisan skripsi ini.
4. Ibu Ir. Nurrussa'adah M.T selaku pembimbing II sekaligus KKDK konsentrasi Elektronika yang telah mencurahkan perhatian, bimbingan serta do'a dan kepercayaan yang berarti bagi penulis.
5. Staf Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah membekali penulis dengan berbagai ilmu selamamengikuti perkuliahan sampai akhir penulisan skripsi.
6. Staf Tata Usaha Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah membantu penulis selama perkuliahandan penulisan skripsi ini.
7. Bapak DR. Goib Wiranto, B.S.El.Eng selaku peneliti utana PPET LIPI yang telah membimbing selama KKN dan penelitian di Kampus LIPI Bandung.
8. Bapak Benny Abdul Karim A.Md, selaku pembimbing lapangan selama penelitian di Kampus LIPI Bandung sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

9. Orang Tua Tercinta Bapak Trikrono Karsidin, Ibu Purwati yang selalu memberi semangat, dorongan, do'a dan perhatian yang tiada tara, Kakaku Tersayang Zulfi Rohudin Hendrawan, beserta Kakek-Nenek serta seluruh keluarga besarku.
10. Teman-teman angkatan 2013 Teknik Elektro 2013 yang selalu menemani.
11. Teman-teman kost Panjaitan (Mayda, Mbak Diyan, Riska, Nia, Amel)
12. Teman-teman KKN-P di LIPI Bandung.
13. Teman Magang selama penelitian di LIPI Bandung (Muhiroh), yang selalu sabar.
14. Teman-teman Teknik Elektronika 2013 serta Keluarga besar Teknik Elektronika TEUB, yang selalu memberikan semangat serta informasi.
15. Keluarga besar Workshop TEUB dan Keluarga Besar Teknik Elektro UB yang selalu menginspirasi.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda kepada semuanya. Demi perbaikan selanjutnya saran dan kritik yang membangun akan penulis terima dengan senang hati. Akhirnya, hanya kepada Allah SWT penulis serahkan segalanya, semoga dapat bermanfaat khususnya bagi penulis, umumnya bagi kita semua.

Malang, 18 April 2017

Penulis,

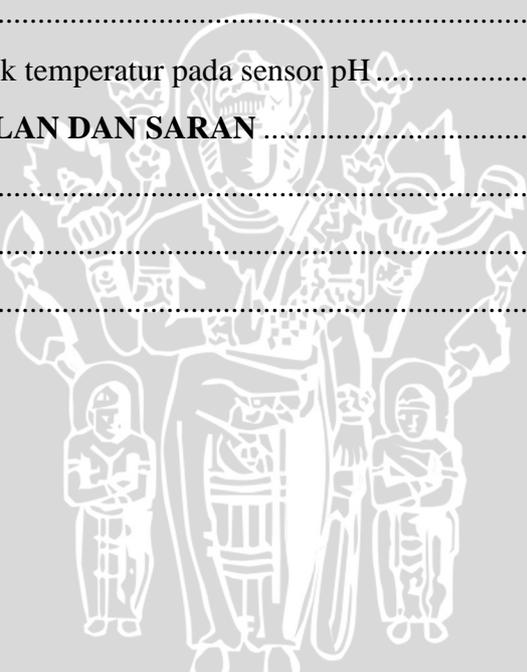


DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
RINGKASAN	xi
SUMMARY	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan masalah	2
1.3 Batasan masalah	2
1.4 Tujuan penelitian	2
1.5 Manfaat penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sensor	5
2.2 Sensor pH	6
2.3 Sensor asam urat	9
2.4 Pengembangan Sensor asam urat sebagai sensor pH	12
2.6 <i>Ruthenium Oxyde</i>	14
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1 Penyiapan bahan	18
3.1 1Sensor pH	18
3.1 2Penyiapan larutan	18
3.4 Pengujian waktu respon sensor.....	19
3.5 Pengujian keluaran sensor dengan perubahan pH	19
3.6 Pengujian lama penyimpanan	20



3.7 Pengujian terhadap suhu.....	22
3.8 Analisis hasil pengujian.....	23
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Penyiapan bahan.....	25
4.2 Pengujian waktu respon.....	29
4.3 Pengujian keluaran sensor dengan perubahan pH.....	36
4.4 Pengujian pengaruh lama penyimpanan.....	37
4.4.1 Pengujian pengaruh penyimpanan dengan selang waktu satu hari.....	46
4.4.2 Pengujian pengaruh penyimpanan dengan selang waktu lima bulan	47
4.3 Pengujian efek temperatur pada sensor pH.....	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan.....	67
5.1 Saran.....	68
DAFTAR ISI	69



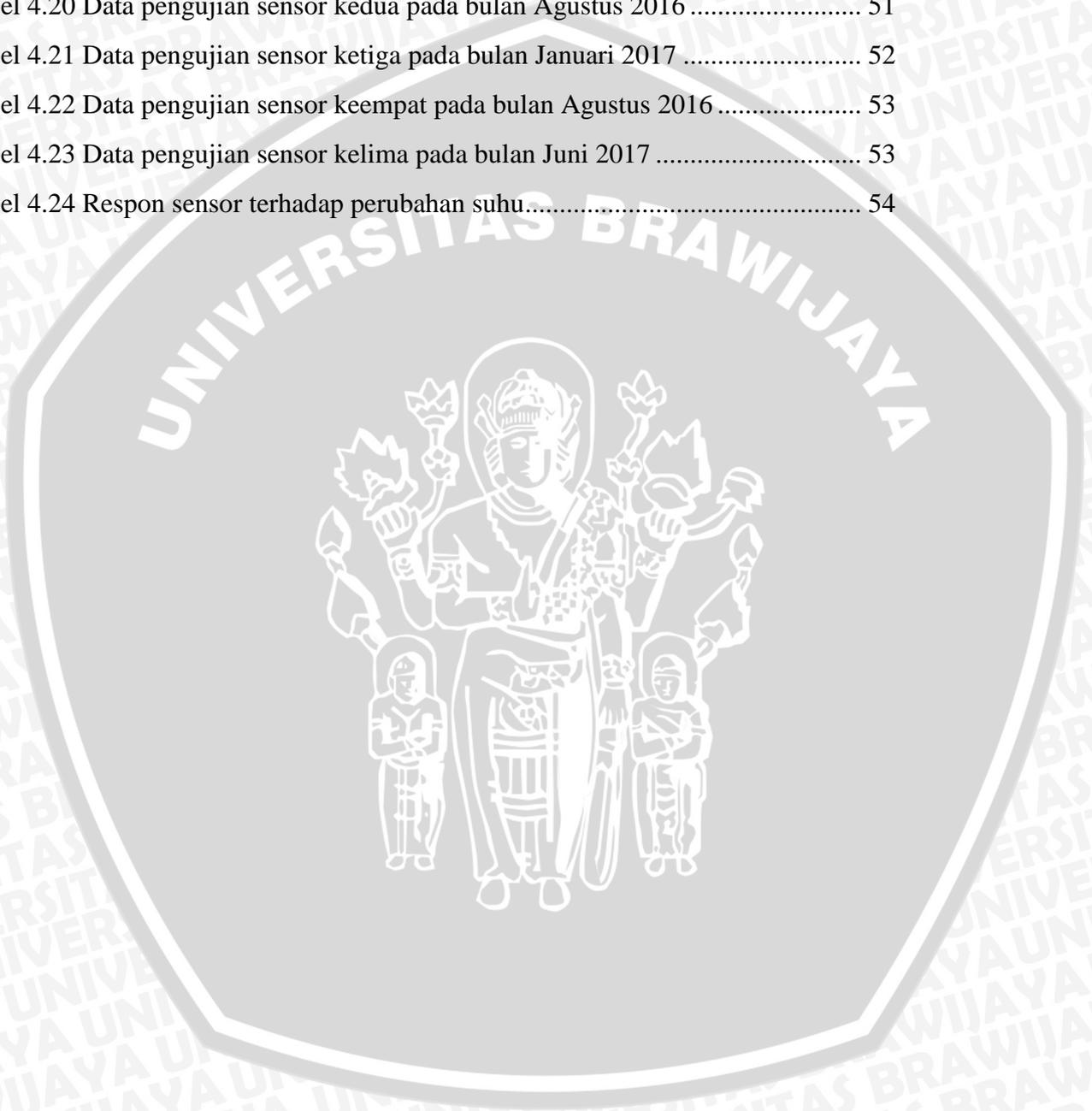
DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Variasi Nerst slope dengan perubahan suhu pada elektroda ideal	7
Tabel 2.2	Karakteristik Ruthenium	14
Tabel 4.1	Pengukuran tegangan keluaran selama 120 detik pertama untuk sensor pertama	27
Tabel 4.2	Pengukuran tegangan keluaran selama 120 detik pertama untuk sensor kedua	28
Tabel 4.3	Pengukuran tegangan keluaran selama 120 detik pertama untuk sensor ketiga	29
Tabel 4.4	Pengukuran tegangan keluaran selama 120 detik pertama untuk sensor keempat	29
Tabel 4.5	Pengukuran tegangan keluaran selama 120 detik pertama untuk sensor kelima	30
Tabel 4.6	Pengukuran waktu respon sensor pertama	31
Tabel 4.7	Pengukuran waktu respon sensor kedua	32
Tabel 4.8	Pengukuran waktu respon sensor ketiga	33
Tabel 4.9	Pengukuran waktu respon sensor keempat	33
Tabel 4.10	Pengukuran waktu respon sensor kelima	34
Tabel 4.11a	Waktu respon sensor pertama	35
Tabel 4.11b	Waktu respon sensor kedua	35
Tabel 4.11c	Waktu respon sensor ketiga	35
Tabel 4.11d	Waktu respon sensor keempat	35
Tabel 4.11e	Waktu respon sensor kelima	35
Tabel 4.12	Nilai tegangan sensor pertama terhadap perubahan terhadap nilai pH ...	37
Tabel 4.13	Nilai tegangan sensor kedua terhadap perubahan terhadap nilai pH	38
Tabel 4.14	Nilai tegangan sensor ketiga terhadap perubahan terhadap nilai pH	39
Tabel 4.15	Nilai tegangan sensor keempat terhadap perubahan terhadap nilai pH ...	41
Tabel 4.16	Nilai tegangan sensor kelima terhadap perubahan terhadap nilai pH	42



Table 4.17 Data nilai sensitifitas dan akurasi pengukuran terhadap persamaan

Nerst dan pH normal	43
Tabel 4.18 Data pengujian sensor pertama pada bulan Agustus 2016.....	53
Tabel 4.19 Data pengujian sensor pertama pada bulan Januari 2017	54
Tabel 4.20 Data pengujian sensor kedua pada bulan Agustus 2016	51
Tabel 4.21 Data pengujian sensor ketiga pada bulan Januari 2017	52
Tabel 4.22 Data pengujian sensor keempat pada bulan Agustus 2016	53
Tabel 4.23 Data pengujian sensor kelima pada bulan Juni 2017	53
Tabel 4.24 Respon sensor terhadap perubahan suhu.....	54



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	karakteristik elektroda pH.....	7
Gambar 2.2	Skema elektroda pH meter.....	8
Gambar 2.3	Diagram alir fabrikasi film tebal.....	11
Gambar 2.4	Struktur sensor asam urat.....	13
Gambar 2.5	Grafik karakteristik sensor asam urat	14
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	15
Gambar 3.2	Blok diagram penyiapan bahan	16
Gambar 3.3	Blok diagram pengujian waktu respon sensor	17
Gambar 3.4	Pengujian keluaran sensor dengan perubahan pH	18
Gambar 3.5	Blok diagram pengujian lama penyimpanan dengan selang waktu satu hari	19
Gambar 3.6	Blok diagram pengujian lama penyimpanan dengan selang waktu lima bulan	20
Gambar 3.7	Blok diagram pengujian terhadap suhu	21
Gambar 4.1a	Pasta Ruthenium.....	24
Gambar 4.1b	screen yang digunakan untuk pelapisan.....	24
Gambar 4.2	Mesin printer De Hart.....	25
Gambar 4.3	Sensor pH yang digunakan untuk pengujian	25
Gambar 4.4	Oven yang digunakan untuk <i>Drying</i>	26
Gambar 4.5	Kelima sensor pH	27
Gambar 4.6	Grafik pengukuran tegangan keluaran selama 120 detik pertama untuk sensor pertama	28
Gambar 4.7	Grafik pengukuran tegangan keluaran selama 120 detik pertama untuk sensor kedua.....	28
Gambar 4.8	Grafik pengukuran tegangan keluaran selama 120 detik pertama untuk sensor ketiga	29

Gambar 4.9 Grafik pengukuran tegangan keluaran selama 120 detik pertama untuk sensor keempat	30
Gambar 4.10 Grafik pengukuran tegangan keluaran selama 120 detik pertama untuk sensor kelima	30
Gambar 4.11 Grafik waktu respon sensor pertama	31
Gambar 4.12 Grafik waktu respon sensor kedua	32
Gambar 4.13 Grafik waktu respon sensor ketiga	34
Gambar 4.14 Grafik waktu respon sensor keempat	36
Gambar 4.15 Grafik waktu respon sensor kelima	35
Gambar 4.16 Diagram waktu respon dari kelima sensor	38
Gambar 4.17 Grafik tegangan keluaran sensor pertama dibandingkan dengan persamaan Nerst	40
Gambar 4.18 Grafik tegangan keluaran sensor kedua dibandingkan dengan persamaan Nerst	41
Gambar 4.19 Grafik tegangan keluaran sensor ketiga dibandingkan dengan persamaan Nerst	42
Gambar 4.20 Grafik tegangan keluaran sensor keempat dibandingkan dengan persamaan Nerst	47
Gambar 4.21 Grafik tegangan keluaran sensor kelima dibandingkan dengan persamaan Nerst	47
Gambar 4.22 Diagram nilai sensitifitas dan persentase akurasi pengukuran terhadap persamaan Nerst dan pH normal dari kelima sensor	48
Gambar 4.23 Respon kelima sensor terhadap perubahan pH dan dibandingkan dengan persamaan Nerst	49
Gambar 4.24 Grafik kemiringan data pada bulan Agustus 2016 dibandingkan bulan Januari 2017 untuk sensor pertama	51
Gambar 4.25 Grafik kemiringan data pada bulan Agustus 2016 dibandingkan bulan Januari 2017 untuk sensor kedua	52

Gambar 4.26 Grafik kemiringan data pada bulan Agustus 2016 dibandingkan bulan Januari 2017 untuk sensor ketiga 53

Gambar 4.27 Grafik respon kelima sensor terhadap perubahan suhu untuk larutan dengan pH 2..... 55



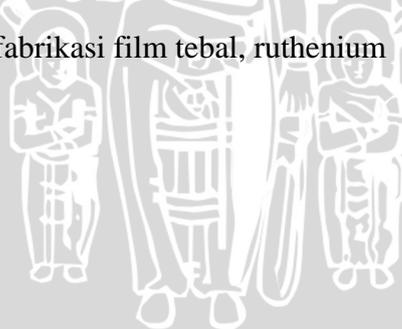


RINGKASAN

Tika Puri Ardianti, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April 2017, *Pengembangan Elektroda Sensor Asam Urat Sebagai Sensor pH dengan Penambahan Ruthenium*, Dosen Pembimbing : Ponco Siwindarto dan Nurussa'adah

pH merupakan salah satu indikator kualitas air, kualitas air penting untuk diketahui karena banyaknya fungsi air yang berdampak langsung pada kehidupan. Sensor pH konvensional telah banyak diproduksi, sehingga dapat digunakan sebagai acuan pembuatan sensor pH dengan teknologi mikrofabrikasi. Pada penelitian ini digunakan sensor pH yang berasal dari pengembangan elektroda Sensor asam urat dengan penambahan Ruthenium. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan elektroda sensor asam urat menjadi sensor pH kemudian mengkarakterisasi sensor pH tersebut, serta mengkarakterisasi sensor dengan beberapa parameter yakni perubahan nilai pH, waktu respon sensor, pengaruh penyimpanan dan respon sensor terhadap pengubahan suhu serta menampilkan kurva karakteristik sensor pH yang menyatakan hubungan antar pH larutan, tegangan, waktu, serta respon terhadap suhu. Didapatkan hasil bahwa semakin besar nilai pH maka nilai tegangan keluaran semakin kecil, untuk pH 2 dengan pengukuran menggunakan lima buah sensor didapatkan tegangan keluaran 328 mV-278 mV sedangkan tegangan keluaran kelima sensor untuk pH 9 sebesar -1 mV sampai -56 mV. Waktu respon yang dimiliki setiap sensor untuk setiap larutan berbeda, mulai dari 2 menit sampai 6 menit. Semakin lama sensor disimpan dan semakin sering digunakan maka performa sensor akan menurun. Suhu mempengaruhi nilai tegangan keluaran sensor, pada suhu 25°C tegangan keluaran kelima sensor secara berurutan 328 mV-278 mV, sedangkan untuk suhu 65°C tegangan keluaran sebesar 106 mV- 212 mV, nilai tegangan semakin menurun dengan bertambahnya suhu. Untuk penelitian selanjutnya disarankan sensor difabrikasi mulai tahapan awal, penyimpanan sensor juga diusahakan dalam tempat yang kedap udara agar didapatkan sensor dengan performa yang lebih bagus.

Kata kunci : sensor pH, fabrikasi film tebal, ruthenium





SUMMARY

Tika Puri Ardianti, *Departement of Electrical Engineering , Faculty of Engineering, University of Brawijaya, April 2017, Development of Electrode uric acid Sensors as a pH Sensor with the addition of Ruthenium, Academic Supervisor : Ponco Siwindarto and Nurussa'adah*

pH is one of the indicators of water quality, the water quality is important to know because of the many functions that have a direct impact on aquatic life. Conventional pH sensor has been widely produced, so it can be used as a reference for the creation of a pH sensor with mikrofabrikasi technology. On the study of the pH sensor that is used comes from the development of uric acid electrode with the addition of Ruthenium. The purpose of this research is to develop a uric acid electrode into a pH sensor then characterize the pH sensor, as well as characterize the sensor with some parameters i.e., change in pH, the sensor response time, the influence of storage and sensor response towards changing the temperature and the pH sensor characteristic curve showing that States the relationship between solution pH, voltage, time, as well as the response to temperature. Obtained results that the greater the pH then the value of the output voltage is getting smaller, for pH 2 with measurements using five sensor output voltage obtained 328 mV-278 mV output voltage while the fifth sensor for pH 9 of 1 mV to-56 mV. Response time is owned by each sensor for every solution is different, ranging from 2 minutes to 6 minutes. The longer the sensors are stored and used more often then the sensor will decrease performance,. Temperature affects the value of the output voltage sensors, temperature 25 ° C the output voltage sensor fifth sequentially 328 mV-278 mV, while for a temperature of 65 ° C the output voltage of 106 mV-212 mV voltage value declined with increasing temperature. For subsequent research suggested the initial stages start fabricated sensor, sensor storage also laboured in place airtight so that the sensor is obtained with better performance.

Keyword : pH sensor, thick film fabrication, ruthenium.





BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Terdapat beberapa indikator kualitas air atau larutan diantaranya, temperatur, konduktivitas, *dissolved oxygen*, tingkat keasaman (pH), viskositas, dan kekeruhan. Kualitas air penting untuk diketahui sehubungan dengan banyaknya fungsi air yang berdampak langsung pada kehidupan, terutama dalam bidang industri dibutuhkan air atau larutan dalam kualitas tertentu, terutama tingkat keasaman suatu larutan. Hal ini juga menjadi fokus penelitian. Banyaknya proses-proses di sektor industri yang melibatkan larutan, sehingga tingkat kualitas air tidak dapat diabaikan. Kualitas air berdasarkan tingkat keasaman sangat dibutuhkan untuk mengetahui tingkat keasaman dari larutan yang dibutuhkan. Larutan dengan tingkat keasaman yang tinggi menunjukkan larutan tersebut asam, sedangkan larutan dengan tingkat keasaman rendah menunjukkan bahwa larutan tersebut basa.

Sekarang telah banyak diproduksi sensor pH konvensional, pH meter dengan ketelitian yang tinggi yaitu 0,01 pH (Extech Instrument, 2006). Tetapi pH meter masih memiliki kekurangan yaitu perubahan yang lambat dan berosilasi, yang merupakan masalah yang penting dalam menentukan skala yang valid, selain itu harga satu buah pHmeter yang relatif mahal.

Sekarang ini teknologi mikrofabrikasi telah banyak digunakan dalam elektronika. Penggunaan teknologi ini menandakan kemajuan teknologi khususnya dalam bidang elektronika. Cabang dari teknologi mikrofabrikasi yakni teknologi diskret, teknologi film, dan teknologi monolitik. Teknologi film sering digunakan untuk membuat piranti elektronika. Teknologi film terdiri dari dua buah cabang ilmu yaitu teknologi film tebal dan teknologi film tipis. Kedua teknologi ini merupakan teknologi miniaturasi rangkaian elektronik dengan perbedaan utama pada ukuran dan teknik pembuatannya. Teknologi ini dibutuhkan pada bidang-bidang yang terus mengalami perkembangan diantaranya telekomunikasi, otomotif, medis dan industri elektronika. Keunggulan dari teknologi mikrofabrikasi adalah ukuran menjadi sangat kecil dan ringan, dan harga yang relatif murah.

Untuk skripsi ini digunakan sensor asam urat yang dibuat oleh LIPI yang difabrikasi menggunakan teknologi film tebal. Dari sensor asam urat tersebut telah dikembangkan menjadi sensor pH dengan menambahkan Ruthenium pada elektroda kerja dari sensor asam urat. Tetapi sensor pH hasil pengembangan dari sensor asam urat dan belum pernah

dikarakterisasi, sehingga pada penelitian ini telah dilakukan karakterisasi dari sensor pH tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

1. Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut : Bagaimana respon sensor pH terhadap larutan dengan tingkat keasaman yang berbeda-beda?
2. Bagaimana pengaruh waktu terhadap performa sensor ?
3. Bagaimana respon sensor terhadap perubahan suhu ?
4. Faktor apa saja yang mempengaruhi performa dari sensor pH dan seperti apa karakteristik dari sensor tersebut ?

1.3 Batasan Masalah

Dengan mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, maka hal-hal yang berkaitan dengan penelitian dan sistem akan diberi batas sebagai berikut :

1. Sensor yang digunakan merupakan sensor asam urat yang telah di fabrikasi oleh LIPI, dikembangkan menjadi sensor pH dengan penambahan Ruthenium.
2. Elektrolit yang digunakan berupa larutan KCl yang ditambah dengan gelatin 7%.
3. Pengujian respon sensor dilakukan pada larutan yaitu larutan pH 2, pH 4, pH 6 dan pH 9.
4. Pengujian pengaruh lama penyimpanan dengan selang waktu lima bulan hanya dilakukan pada sensor pertama, sensor kedua dan sensor ketiga.
5. Digunakan empat variasi suhu untuk pengujian, yaitu suhu 35°C, 45°C, 55°C dan 65°C.
6. Pengujian terhadap suhu hanya dilakukan pada larutan dengan pH 2.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan sensor asam urat menjadi sensor pH kemudian mengkarakterisasi sensor pH tersebut, serta mengkarakterisasi sensor dengan beberapa parameter yakni waktu respon, perubahan nilai pH, lama penyimpanan dan pengaruh suhu, serta menampilkan kurva karakteristik sensor pH yang menyatakan hubungan antar pH larutan dengan tegangan, kestabilan terhadap waktu, serta respon terhadap suhu.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik sensor pH yang berasal dari pengembangan elektroda sensor asam urat dengan penambahan sehingga dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA.

2.1 Sensor

Sensor adalah detector yang memiliki kemampuan untuk mengukur beberapa jenis kualitas fisik yang terjadi, seperti tekanan atau cahaya. Sensor kemudian akan dapat mengkonversi pengukuran menjadi sinyal bahwa seseorang akan dapat membaca. Sebagian besar sensor yang digunakan saat ini benar-benar akan dapat berkomunikasi dengan perangkat elektronik yang akan melakukan pengukuran dan perekaman. (Syam Rafiuddin, 2013)

Sensor dalam elektronika berkembang sangat pesat, sampai saat ini ada sensor analog dan sensor digital. Pengertian sensor dalam sebuah sistem elektronika adalah sebuah sirkuit, secara fungsi sensor adalah komponen masukan dalam rangkaian elektronika yang bisa merasakan atau mendeteksi perubahan lingkungan sekitar dan menghasilkan keluaran sesuai fungsinya. *Input* dari sensor biasanya bersifat mekanik atau berupa bentuk energi tertentu, kemudian diubah menjadi sinyal listrik. Semua jenis sensor dapat digolongkan dalam dua jenis, sensor aktif dan sensor pasif. Sensor aktif bekerja dengan menggunakan catu daya luar dalam pengoperasiannya, hal ini digunakan sensor untuk memproduksi dan menghasilkan sinyal keluaran. Sensor pasif tidak membutuhkan sumber energi untuk menghasilkan sinyal listrik dalam mendeteksi perubahan atau pemicu eksternal.

Sedangkan berdasarkan bentuk energi yang diterima sensor dibagi menjadi lima jenis yaitu , sensor dengan stimulus energi magnetik, kimia, radiasi, sensor cahaya. Sensor magnetik terdiri dari sensor pendeteksi perubahan kuat medan magnetik, dan sensor Efek Hall. Jenis sensor yang terakhir adalah sensor kimia, terdapat tiga golongan untuk sensor ini, pertama *Direct Sensor*, jenis kedua yakni *Complex Sensor* contohnya Sensor Biokimia dan jenis ketiga adalah *Humidity and Moisture Sensors*. Dari semua jenis sensor mempunyai prinsip pengukuran yang sama yaitu memperoleh respon perubahan atau tanggapan yang diukur dari parameter perubahan yang terjadi sesuai gejala yang diamati.

2.2 Sensor pH

pH merupakan salah satu parameter penting dari suatu larutan. Definisi dari pH adalah aktifitas dari ion Hidrogen, pH merupakan kombinasi dari dua huruf, p untuk *power* dan H untuk *Hydrogen*. Ada suatu larutan ada kesetimbangan antara air, alkali (OH^-) dan asam (H^+), pH adalah keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh bahan.



Nilai pH dapat dituliskan secara matematik:

$$\text{pH} = -\log \alpha H^+ \quad (2-2)$$

Jadi nilai dari pH adalah logaritma negative dari aktivitas ion Hidrogen. pH digunakan untuk menunjukkan tingkat kebasaaan dan keasaman larutan pada suhu tertentu. Nilai pH terdapat pada kisaran 1-14, jika nilai pH 1-6 menunjukkan bahwa larutan tersebut bersifat asam, jika nilai pH 7 menunjukkan bahwa larutan tersebut bersifat basa, dan jika nilai pH 8-14 menunjukkan bahwa larutan tersebut bersifat basa.

Hubungan antara pH dengan tegangan dideskripsikan pada persamaan Nerst.

$$E = E_0 - \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \text{pH} \quad (2-3)$$

$$E = E_0 + \left(\frac{RT}{nF} \right) \ln \frac{(\text{Reduksi})}{(\text{Oksidasi})} \quad (2-4)$$

$$E = E_0 - \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \ln \frac{a_2}{a_1} \quad (2-5)$$

Keterangan :

ΔE = tegangan potensial

E_0 = potensial standar elektroda referensi

R = konstanta gas ($8,314 \text{ J k}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

T = Suhu (K)

n = nomor valensi dari ion Hidrogen

F = konstanta Faraday

a_1 = aktifitas ion hidrogen larutan yang diukur

a_2 = aktifitas ion hidrogen dalam buffer internal

Untuk pengukuran pH dengan Ag|AgCl pada elektroda referensi, maka persamaan kesetimbangan reaksinya adalah.



Sehingga persamaan Nerst untuk reaksi kesetimbangan dengan Ag|AgCl pada elektroda referensi.

$$E = E_0 + \left(\frac{RT}{nF} \right) \ln \frac{(\alpha \text{ AgCl})}{(\alpha \text{ Ag} \alpha \text{ Cl}^-)} = E^0 - 0,05916 \text{ pH} \quad (2-7)$$

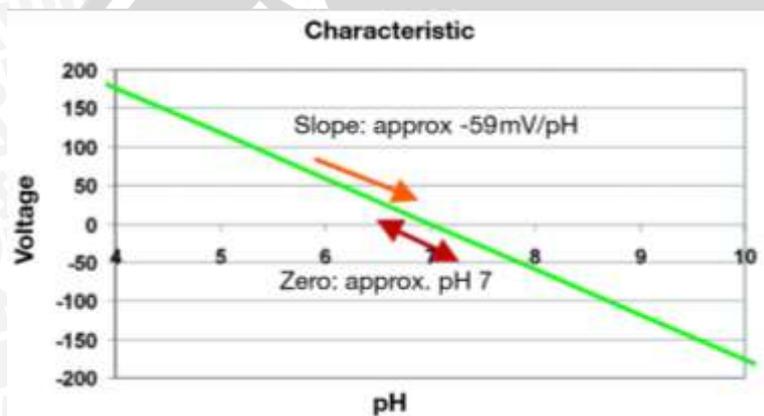
Pada prakteknya, $\frac{R \cdot T \cdot 2,303}{F}$ dinamakan tegangan Nerst dan merepresentasikan teori slope dari elektroda sistem pH. Tabel 2.1 menunjukkan menunjukkan menunjukkan *Nerstian slope* pada kenaikan temperatur dengan elektroda ideal dan Nerst slope sebesar 0,05916 pada suhu 25°C. (Sardarnejad Ali.,Etc , 2015)

Untuk hubungan antara pH dengan tegangan ditunjukkan oleh gambar 2.1.

Tabel 2.1 Variasi Nerst slope dengan perubahan suhu pada elektroda ideal

Temperatur (°C)	Nerst Slope (mV/pH)
0	54,20
10	56,18
20	58,17
25	59,16
30	60,15
40	62,14
50	64,12
60	66,10
70	68,09
80	70,07
90	72,06

Sumber : JJ. Baron, 2006



Gambar 2.1 karakteristik elektroda pH

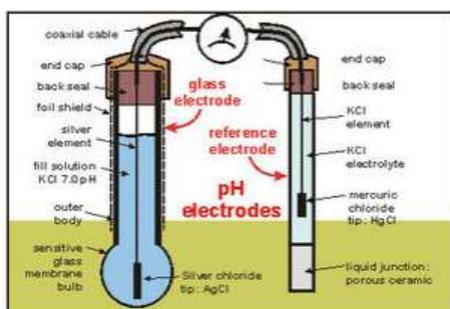
Sumber : schleicher, 2007

pH meter merupakan instrumen elektronik yang berfungsi untuk mengukur tingkat keasaman dari suatu larutan, adapun alat lain yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat keasaman larutan yaitu pH strip dan *fenolptali*. Pengukuran pH secara konvensional dapat dilakukan dengan menggunakan kertas lakmus. Indikator yang umum digunakan untuk mengukur nilai pH suatu larutan, kertas lakmus akan berubah menjadi merah bila keasaman tinggi dan berubah menjadi biru bila keasaman rendah. Selain kertas lakmus ada indikator lain untuk mengukur pH yaitu pH meter yang bekerja berdasarkan prinsip elektrolit suatu larutan. Sistem pengukuran pH mempunyai dua bagian yaitu elektroda kerja dan elektroda pembanding. Dengan berkembangnya teknologi maka didapatkanlah sensor pH dalam ukuran yang kecil.

Sensor pH termasuk dalam sensor kimia, teknologi pembuatan berbasis serat optik dengan kelebihan keakuratan yang lebih baik dan tidak rentan terhadap gangguan listrik. Pengukuran dari sensor pH adalah dengan membandingkan kedua buah elektroda yang dicelupkan didalam larutan, sehingga diperoleh beda potensial. Dua buah elektroda tersebut adalah elektroda kerja dan elektroda referensi. Untuk elektroda referensi menghasilkan nilai potensial yang konstan, sedangkan nilai potensial dari elektroda kerja berubah sesuai dengan nilai pH dari larutan yang diukur.

Pada sensor pH komersial elektroda kerja yang digunakan terbuat dari bahan yang sensitif terhadap ion atau elektroda gelas. Elektroda batang (terbuat dari gelas dan disolasi dengan baik) dan membran gelas yang berdingding tipis dan sensitif terhadap ion H^+ , sedangkan untuk elektroda pembanding terdapat di tengah-tengah dengan dilingkupi larutan $Ag|AgCl$. Untuk catatan sensor tersebut hanya mengukur tegangan tanpa mengukur arus. Dengan demikian sensor pH termasuk dalam sensor kimia jenis potensiometrik. Beda potensial yang terjadi akibat elektroda yang tercelup dalam larutan berinteraksi dengan ion-ion positif larutan yang diukur, dan jumlah ion bebas dalam larutan menunjukkan nilai pH dari larutan tersebut. Semakin banyak ion bebas dalam larutan mengindikasikan bahwa beda potensial di dalam larutan tersebut semakin tinggi.

Pada prinsipnya pengukuran suatu pH adalah didasarkan pada potensial elektro kimia yang terjadi antara larutan yang terdapat didalam elektroda gelas (membran gelas) yang telah diketahui dengan larutan yang terdapat diluar elektroda gelas yang diketahui. Hal ini dikarenakan lapisan tipis dari gelembung kaca akan berinteraksi dengan ion hidrogen yang ukurannya relatif kecil dan aktif, elektroda gelas tersebut akan mengukur potensial elektro kimia dari ion Hydrohen. Untuk melengkapi sirkuit elektrik dibutuhkan elektroda pembanding. Sebagai catatan alat tersebut tidak mengukur arus hanya mengukur tegangan, elektroda pembanding dan elektroda kerja diperlihatkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema elektroda pH meter
Hendra Hartas, Desember 2008

Dalam tabung gelas elektrode juga terdapat perak dan perak klorida yang berada dalam larutan buffer. Jika aktifitas ion hidrogen dari larutan yang diukur dari pada larutan yang ada di dalam tabung gelas maka perbedaan tegangan menjadi positif. Jika konsentrasi ion dalam larutan ukur lebih kecil maka akan didapatkan perbedaan potensial yang negatif. Elektroda referensi terdiri atas tabung gelas yang berisi larutan potasium klorida (KCl) dengan lubang halus pada bagian bawah tabung gelas. Kawat penghubung merupakan perak yang bagian luarnya diisi dengan perak klorida.

2.3 Sensor Asam Urat

Sensor asam urat termasuk kedalam jenis biosensor, biosensor merupakan metode analisis yang menggunakan komponen biologi aktif yang diintegrasikan dengan peralatan elektronik untuk menentukan kadar suatu senyawa.

Teknis analisis dengan biosensor adalah mengintegrasikan komponen biologi aktif dengan "transducer" untuk menghasilkan sinyal elektronik yang dapat diukur. (Manurung, 2012)

Biosensor merupakan sensor kimiawi di mana terdiri dari 3 (tiga) elemen dasar yaitu: reseptor (biocomponent), transduser (physical component) dan separator (membrane atau beberapa jenis coating). Reseptor terdiri dari doped metal oxide atau organic polimer yang dapat berinteraksi dengan "analyte". *Biocomponent* ini dapat berupa enzim, antibodi, bakteri dan nucleic acids. Untuk berbagai aplikasi dari biosensor, enzim merupakan senyawa yang paling banyak digunakan sebagai bioreceptor molecules atau biocomponent. Enzim yang digunakan untuk biosensor ini berupa asam urat (*uric acid*).

Enzim uricase terkatalis oksidasi *in vivo* dengan uric acid dan oksigen sebagai oxidizing agent menghasilkan allantoin dan CO₂ sebagai produk oksidasi terhadap uric acid sedangkan hidrogen peroksida sebagai hasil reduksi dari oksigen seperti yang terlihat pada Persamaan berikut.



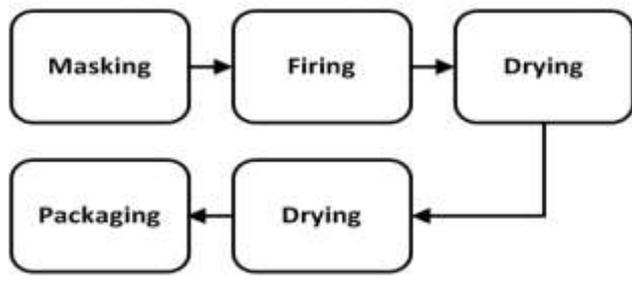
dengan pendeteksian *uric acid* dengan proses elektrokimia terhadap hydrogen peroksida yang dihasilkan. (Manurung, 2012)



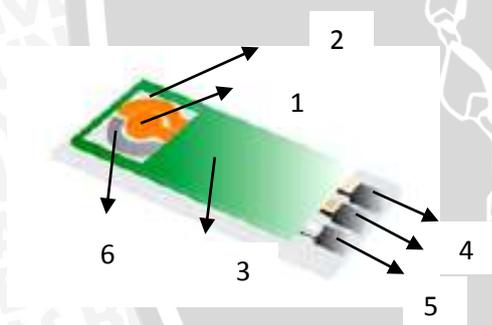
sensor asam urat yang digunakan dalam penelitian ini dibuat dengan menggunakan teknologi film tebal. Terdapat tiga elektroda dalam sensor ini yaitu elektroda kerja, elektroda referensi dan *counter electrode* yang terbuat dari bahan emas sedangkan elektroda referensi dari bahan perak (Ag) yang dibuat melalui proses *electroplating*. Ketiga elektroda tersebut difabrikasi dengan teknik *screen printing*. Dengan adanya elektroda pembanding yang

terbuat dari Ag dan adanya elektroda kerja dari sensor asam urat tersebut maka pada skripsi kedua elektroda tersebut yang akan dikembangkan menjadi sensor pH.

Teknologi film tebal mampu membuat komponen elektronika menjadi ukuran yang kecil di dalam sebuah substrat dengan jalur konduktor yang sangat kecil. Pada gambar 2.3 ditunjukkan diagram alir fabrikasi film tebal, dan pada gambar 2.4 ditunjukkan struktur dari sensor asam urat yang digunakan.



Gambar 2.3 Diagram alir fabrikasi film tebal
Sumber : Manurung, R.V, 2012



Gambar 2.4 Struktur sensor asam urat
Sumber: Manurung, R.V. et al : 2012

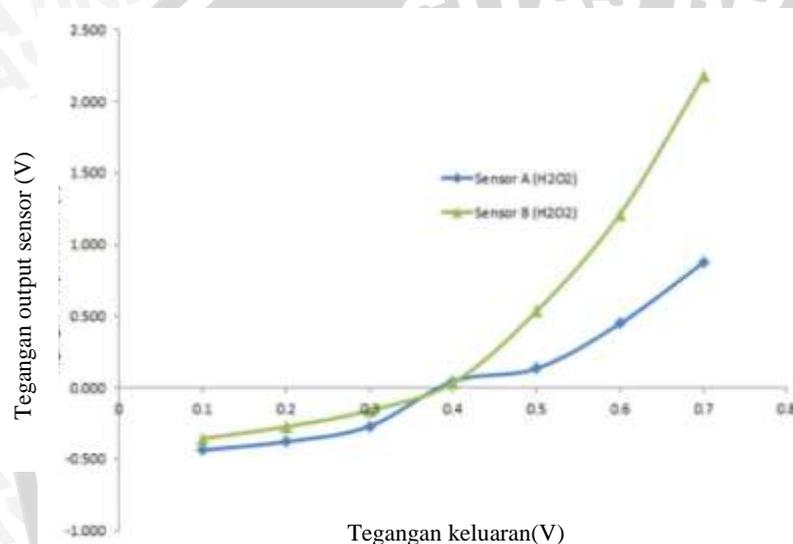
Keterangan :

1. *Working electrode* (bahan Au)
2. *Counter electrode* (bahan Au)
3. Enkapsulasi
4. Slot pad dan CE (bahan Ag)
5. Slot pada WE (bahan Ag)
6. *Reference electrode* (bahan Ag)

Dilakukan pengujian terhadap kinerja elektroda pembanding, bertujuan untuk memantau kestabilan tegangan yang dihasilkan oleh elektroda tersebut. Faktor kestabilan

sangatlah memegang peranan penting dalam pengujian dengan menggunakan teknik amperometrik konfigurasi tiga elektroda. Pengujian dilakukan dengan membandingkan tegangan yang dihasilkan melalui proses potensiometri dengan elektroda referensi Ag|AgCl komersial yang diperoleh dari Accumet terhadap larutan elektrolit KCl dengan konsentrasi 0,1 M. Secara umum kinerja elektroda referensi Ag|AgCl dapat dikatakan cukup baik dan dapat digunakan pada divais sensor asam urat r (Manurung, 2012).

Prinsip kerja dari sensor asam urat ini sebenarnya mengukur arus akibat reaksi antara elektroda referensi dengan elektroda kerja dengan konfigurasi tiga elektroda. sensor asam urat ini bekerja dengan pemberian tegangan eksternal. Pada gambar 2.5 berikut akan ditunjukkan karakteristik dari sensor asam urat .



Gambar 2.5 Grafik karakteristik sensor asam urat
Sumber : manurung, 2012

Dari karakteristik sensor asam urat tersebut terlihat bahwa keluaran sensor berupa tegangan, sesuai dengan sensor pH dimana keluaran dari sensor pH berupa tegangan, ini merupakan salah satu alasan pengembangan sensor asam urat menjadi sensor pH selain elektroda yang ada pada sensor asam urat tersebut.

2.4 Pengembangan Sensor Asam Urat Sebagai Sensor Ph

Dari penjelasan sensor asam urat diketahui bahwa sensor asam urat memiliki tiga buah elektrode diantaranya, elektrode kerja, elektrode referensi dan elektrode *counter*. Elektrode kerja sensor asam urat terbuat dari bahan emas (Au), elektrode referensi terbuat dari perak (Ag) dan elektrode *counter* terbuat dari emas (Au). Pada penelitian ini dilakukan pengembangan biosensor agar dapat digunakan sebagai sensor pH dengan menambahkan Ruthenium pada elektrode kerja.

Prinsip dari pengukuran pH yaitu dengan membandingkan elektroda referensi yang mempunyai nilai potensial yang tetap dengan elektroda kerja yang nilai potensialnya akan berubah mengikuti dari larutan yang diukur. Berdasarkan prinsip kerja pengukuran pH tersebut maka hanya dua buah elektrode yang akan digunakan untuk penelitian ini yaitu elektroda kerja dan elektroda referensi, sedangkan untuk elektroda *counter* diabaikan.

Sensor pH konvensional menggunakan elektroda gelas untuk elektroda kerjanya. Beberapa kelebihan dari elektroda gelas sensitifitas yang tinggi, stabilitas yang tinggi, selektifitas ion yang tinggi, dan jangkauan operasi yang luas. Terdapat juga kelemahan dari elektroda gelas diantaranya mekanik yang rapuh, harus disimpan pada tempat yang basah, ukuran yang besar, bentuk yang terbatas dan harga yang mahal.

Berbagai logam oksida seperti RuO_2 , IrO_2 , PtO_2 , RhO_2 , TiO_2 , SnO_2 , Ta_2O_5 , dan PdO , telah diteliti untuk digunakan sebagai elektroda kerja dari sensor pH. Beberapa keuntungan logam oksida diantaranya tidak mudah larut, stabilitas kekuatan mekanik, elektro katalis dan manufactur teknologi. Dibandingkan dengan logam oksida lainnya Ruthenium memiliki sifat yang unik meliputi kestabilan termal sangat tahan terhadap korosi, histrisis rendah, sensitifitas yang tinggi, dan resistivitas yang rendah. (Sardarnejad Ali., Etc, 2015)

Dengan menggunakan teknik pelapisan *screen printing* digunakan RuO_2 pada elektroda kerja. Sensor pH memerlukan elektrolit pada elektroda referensinya sehingga terjadi pertukaran ion. Pertukaran ion dibutuhkan agar terjadi aliran listrik sehingga pengukuran potensial (sensor pH) dapat dilakukan. Sekalipun pada terjadi pertukaran ion pada elektroda referensi, hal ini tidak diikuti dengan reaksi kimia, sehingga pH elektrolit pada elektroda referensi akan selalu konstan dan nilai potensial elektroda akan selalu konstan.

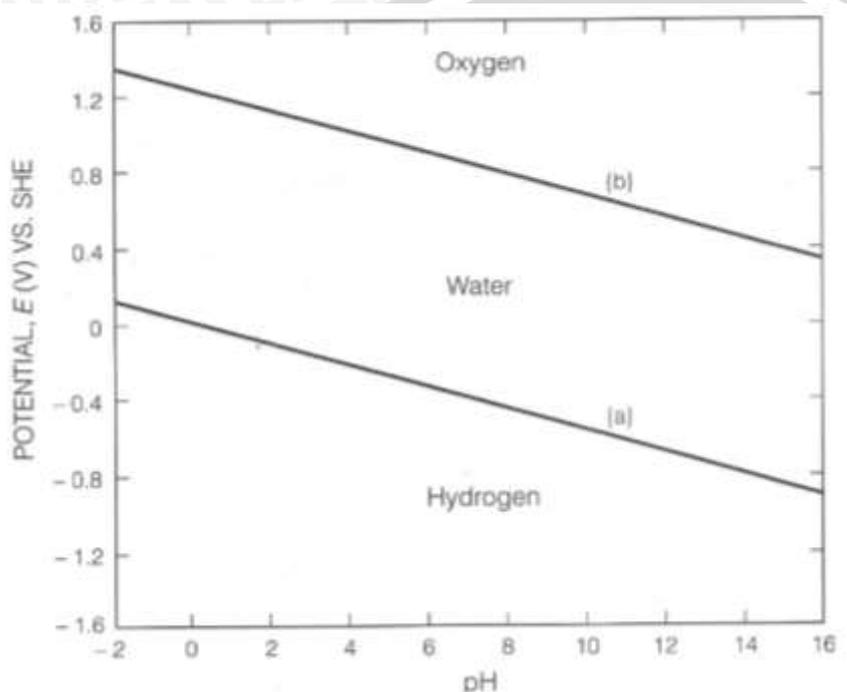
Dari sensor asam urat yang dipakai, memiliki bahan yang sama seperti yang digunakan pada sensor pH komersial yaitu perak (Ag), elektroda perak tersebut belum dilapisi dengan KCl, KCl berfungsi sebagai elektrolit. Jadi pada penelitian ini akan dilakukan pelapisan elektroda dengan pasta Ru dan pelapisan KCl pada elektroda referensi, sehingga didapat elektroda referensi yang diinginkan yaitu $\text{Ag}|\text{AgCl}$. Setelah proses tersebut dilakukan maka akan dilakukan pengujian terhadap sensor pH tersebut.

2.5 Mekanisme Respon pH

Interpretasi dari mekanisme respon pH dari logam oksida yaitu RuO_2 , interpretasi paling memungkinkan adalah interpretasi dengan oksigen., yang ditunjukkan pada persamaan berikut.



δ adalah interkalasi oksigen, MO_x adalah logam oksida dengan tingkat oksidasi tertinggi dan $MO_{x-\delta}$ adalah tingkat oksidasi terendah. Catatan persamaan (2-10) interkalasi oksigen diasumsikan aktivitas proton pada fase cair dan aktivitas oksigen pada fase padat. Diagram pourbaix pada gambar 2.6 banyak digunakan untuk menjelaskan mekanisme mengatur keseimbangan redoks diantara dua Ruthenium oksida larut yang ditunjukkan pada persamaan (2.11). (Sardarinejad Ali.,Etc , 2015)



Gambar .2.6 Diagram Pourbaix
Sumber : <http://complex.gmu.edu>

Sampai saat ini RuO_2 sebagai oksida elektronik konduktif telah sering digunakan pada aplikasi elektrokatalis. Aktivitas elektrokatalis RuO_2 tinggi diketahui karena beberapa entasi molekul RuO_2 dan struktur Kristal nano RuO_2 . Selain itu efek morfologi permukaan dari RuO_2 hidrat telah diteliti dengan menghitung titik nol perkiraan dan pengujian melalui siklus voltmetri, difusi tritium proton dipermukaan, retakan, dan sepanjang batas-batas butir. Persamaan umum ketimbangan pertukaran proton dari RuO_2 sebagai berikut.



2.6 Ruthenium Oxyde

Ruthenium merupakan salah satu unsur kimia, merupakan kelompok 8B, terletak pada periode 5 dan 6 dalam tabel periodik. Bentuk fisik dari *Ruthenium* yaitu logam perak abu-

abu seperti platinum namun lebih keras. *Ruthenium* alami terdiri dari campuran tujuh isotop stabil: *Ruthenium-96* (5,54 persen), *Ruthenium-98* (1,86 persen), *Ruthenium-99* (12,7 persen), *ruthenium-100* (12,6 persen), *ruthenium-101* (17,1 persen), *ruthenium-102* (31,6 persen), dan *Ruthenium-104* (18,6 persen). (Mun christian, 2007)

Dikarenakan karakteristik yang seperti itu maka dipilihlah Ru sebagai elektroda pada sensor pH ini. *Ruthenium* memiliki resistensi yang tinggi terhadap serangan kimia. *Ruthenium* dengan *osmium* adalah logam yang paling mulia dari platinum, logam tidak tercemar di udara pada suhu biasa dan tahan terhadap serangan asam kuat, bahkan oleh *Aqua regia*.

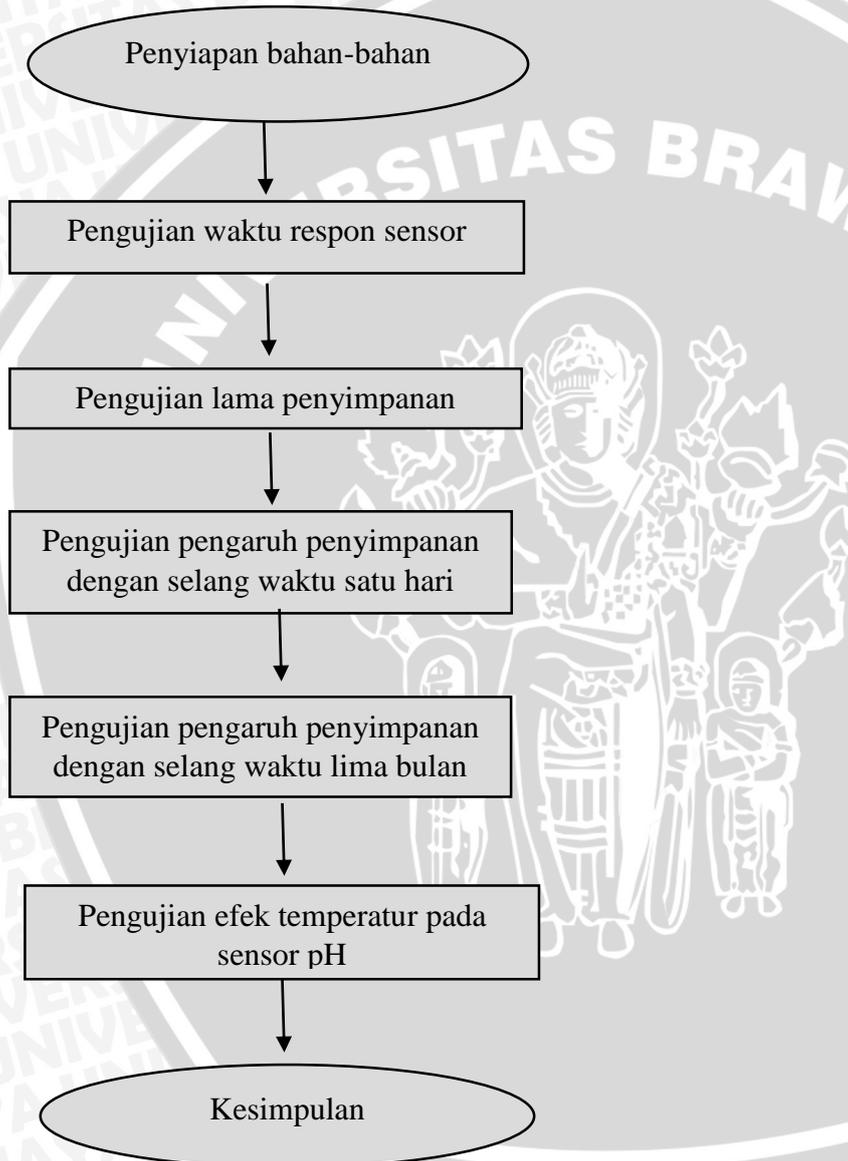
Tabel 2.2 Karakteristik Ruthenium

Nomor atom	44
Berat atom	101,07
Titik lebur	2.250 ° C (4082 ° F)
Titik didih	3.900 ° C (7052 ° F)
Berat jenis	12.30 (20 ° C)
Valensi	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
Elektron konfigurasi	2-8-18-15-1 or (Kr)4d ⁷ 5s ¹

BAB III

METODE PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat di bab pendahuluan, maka diperlukan langkah-langkah penyelesaian. Langkah-langkah tersebut meliputi penyiapan bahan uji, pengukuran keluaran sensor, analisis hasil pengujian, kesimpulan. Berikut merupakan diagram alir atau langkah-langkah dalam merealisasikan penelitian yang ditunjukkan pada gambar 3.1



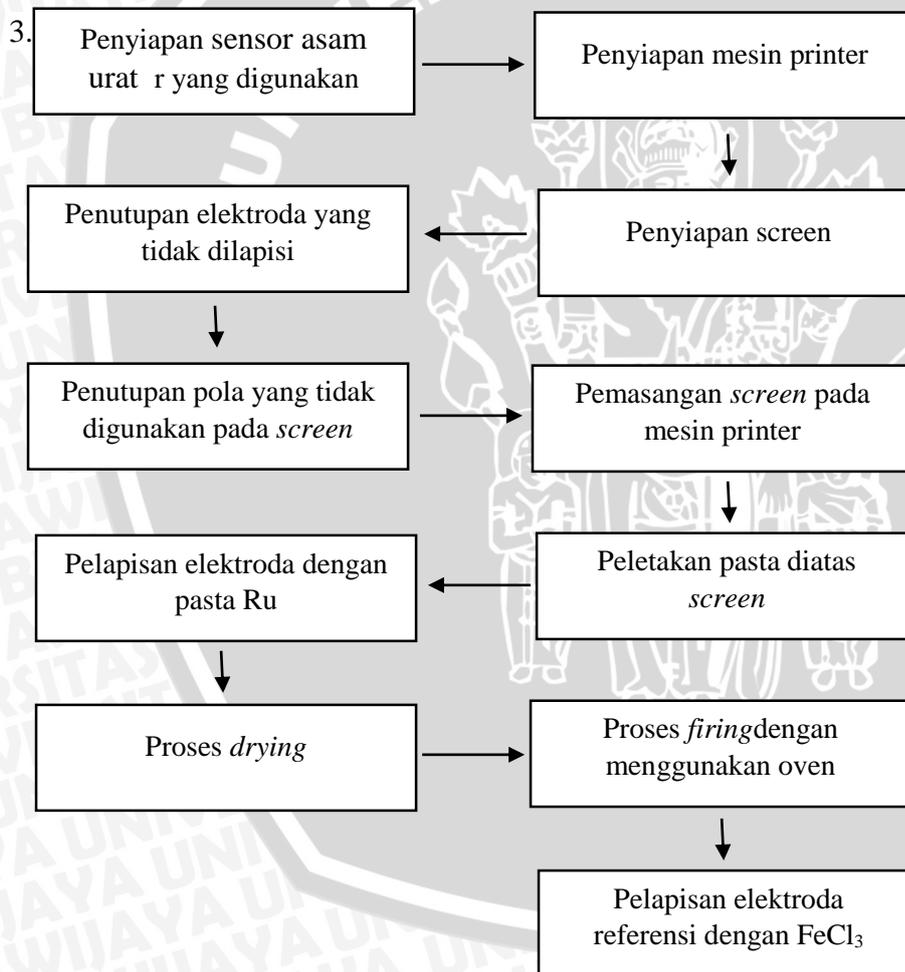
Gambar 3.1 Diagram alir Penelitian

3.1 Penyiapan Bahan

Terdapat beberapa bahan yang harus disiapkan dalam penelitian ini. Bahan utama yang harus disiapkan adalah sensor pH yang digunakan, kemudian larutan-larutan uji dengan pH yang berbeda-beda, multimeter, kabel jumper, pH meter dan hot plate.

3.1.1 Sensor pH

Sensor pH yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari sensor asam urat asam urat, dengan tiga buah elektroda kerja, diantaranya *working* elektrode, *counter* elektrode, dan *reference* elektrode. Untuk pengukuran sensor pH hanya dibutuhkan dua buah elektrode yaitu elektroda kerja dan elektroda referensi (elektroda pembanding), sehingga hanya dua elektroda yang disambungkan dengan kabel dan diukur dengan multimeter, yaitu elektroda kerja dan elektroda referensi. Langkah-langkah pembuatan sensor pH terdapat pada gambar 3.



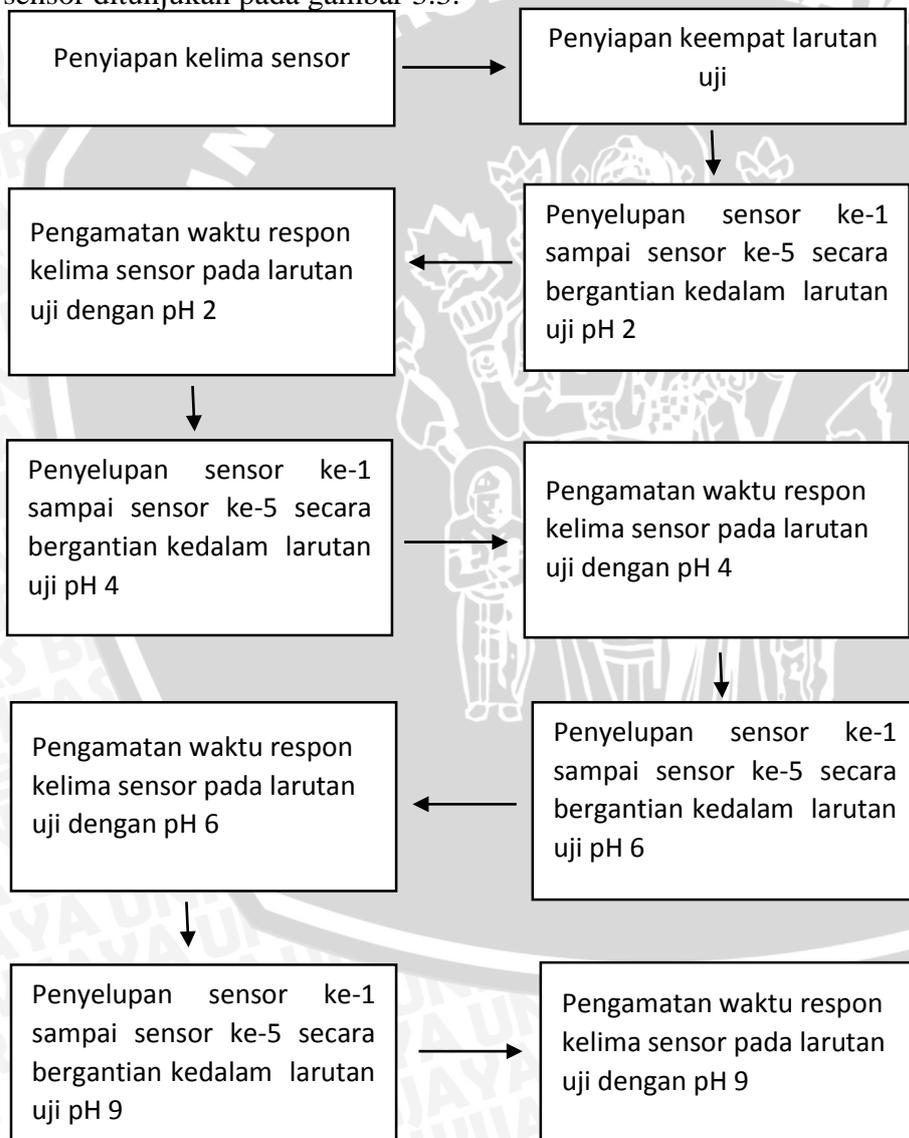
Gambar 3.2 Blok diagram penyiapan bahan

3.1.2 Penyiapan Larutan

Pada penelitian ini digunakan empat buah larutan dengan nilai pH yang berbeda-beda yaitu, pH 2, pH 4, pH 6, dan pH 9. Penentuan larutan uji berdasarkan tingkat asam dan basa larutan tersebut dengan mempertimbangkan ketersediaan larutan di pasaran.

3.2 Pengujian Waktu Respon Sensor

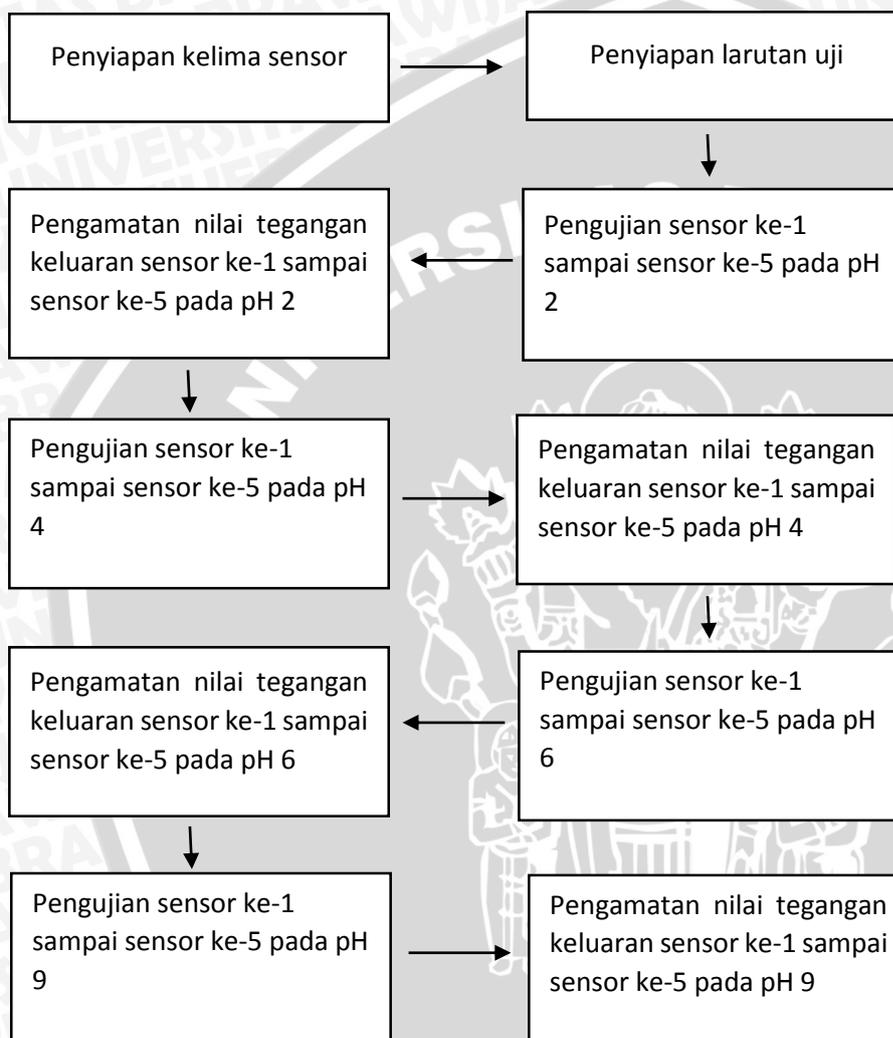
Pengujian respon terdiri dari dua tahap, tahap pertama mengamati tegangan keluaran dari sensor selama 120 detik pertama setelah sensor dicelupkan ke larutan uji. Tahap kedua dilakukan pengujian waktu respon sensor untuk setiap pengukuran terhadap masing-masing larutan uji. Larutan uji yang digunakan untuk pengujian waktu respon diukur terlebih dahulu dengan menggunakan pH meter konvensional. Langkah-langkah pengujian waktu respon sensor ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Blok pengujian waktu respon sensor

3.2 Pengujian Keluaran Sensor Dengan Perubahan pH

Pengujian pertama dilakukan dengan menguji sensor pada larutan dengan nilai pH yang berbeda-beda. Terdapat enam sensor dan masing-masing sensor diukur nilai tegangannya terhadap empat buah larutan yang telah disiapkan. Larutan uji yang digunakan untuk pengujian keluaran sensor dengan perubahan pH diukur terlebih dahulu dengan menggunakan pH meter konvensional. Langkah-langkah pengujian keluaran sensor dengan perubahan pH terdapat pada gambar 3.4

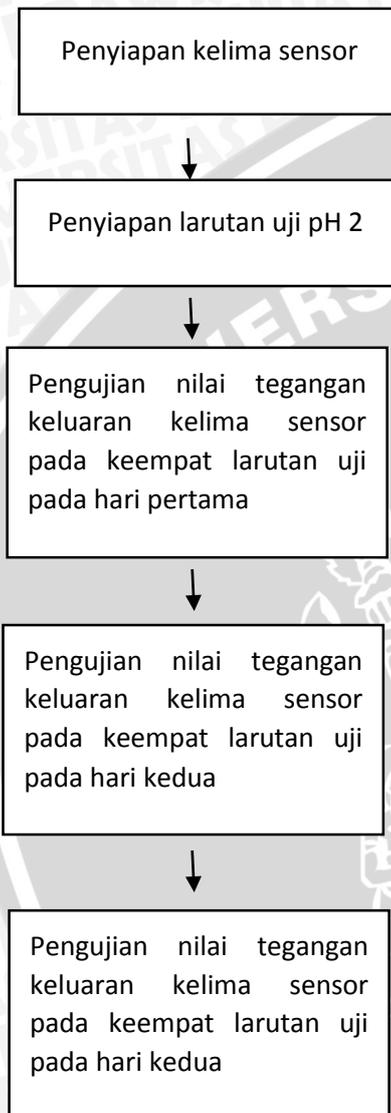


Gambar 3.4 Blok diagram pengujian keluaran sensor dengan perubahan pH

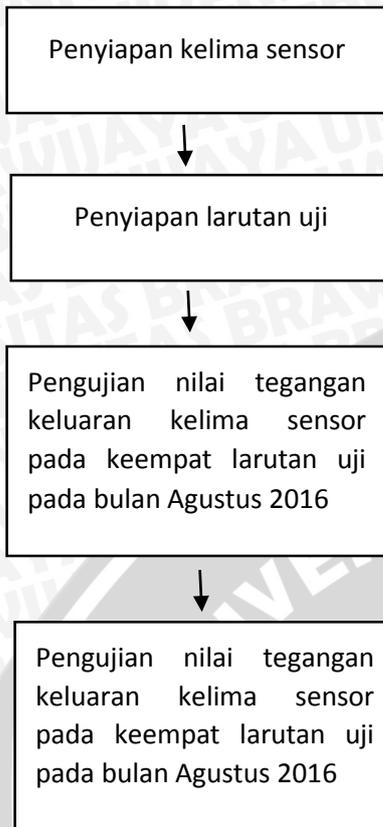
3.3 Pengujian Lama Penyimpanan

Pengujian yang kedua adalah pengujian terhadap lama penyimpanan. Pengujian terhadap lama penyimpanan terbagi menjadi dua, yaitu pengujian lama penyimpanan dengan selang waktu satu hari dan pengujian lama penyimpanan dengan selang waktu lima bulan. Berikut adalah blok diagram pengujian lama penyimpanan dengan selang waktu satu hari dan pengujian lama penyimpanan dengan selang waktu lima bulan. Larutan uji yang digunakan untuk pengujian lama penyimpanan diukur terlebih dahulu dengan menggunakan pH meter komersial. Langkah-langkah pengujian lama penyimpanan dengan selang waktu

satu hari ditunjukkan pada gambar 3.5 sedangkan langkah-langkah pengujian lama penyimpanan dengan selang waktu lima bulan ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.5 Blok diagram pengujian lama penyimpanan dengan selang waktu satu hari



Gambar 3.6 Blok diagram pengujian lama penyimpanan dengan selang waktu lima bulan

3.4 Pengujian Terhadap Suhu

Dilakukan pengujian perubahan suhu untuk keenam *chip* sensor. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat pemanas berupa Hot plate. Pertama siapkan sensor dan larutan uji pH 2, ukur larutan uji dengan pH meter komersial untuk memastikan bahwa nilai larutan uji benar-benar dalam pH 2. Tuangkan larutan pH pada gelas kimia, kemudia letakan gelas kimia yang berisi larutan pH diatas Hot plate. Atur suhu Hot plate, dengan rentang suhu pengujian yaitu 35°C, 45°C, 55°C, dan 65°C. Pengujian dilakukan satu persatu. Dimulai dari sensor pertama dengan pengujian pada larutan dengan empat variasi suhu. Pengujian dilakukan sampai sensor keenam, kemudian dibuat grafik setiap sensor terhadap kenaikan suhu. Langkah-langkah pengujian respon sensor terhadap perubahan suhu terdapat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Blok diagram pengujian terhadap suhu

3.5 Analisis Hasil Pengujian

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian terhadap variabel nilai pH, waktu dan juga suhu. Pengujian terhadap perubahan pH yaitu dengan melihat, apakah sensor yang diuji menghasilkan tegangan sesuai dengan nilai larutan pH tersebut. Apakah sensor menghasilkan tegangan yang semakin rendah apabila nilai pH dari larutan yang diuji semakin tinggi / semakin basa. Pengujian terhadap lama penyimpanan untuk mengetahui apakah penyimpanan sensor dengan tanpa dilakukan pemakaian akan mempengaruhi performa dari sensor tersebut.

Hasil pengujian terhadap suhu yaitu dengan didapatkan data perubahan nilai tegangan sensor pada sensor yang sama dan larutan yang sama namun dengan suhu yang semakin naik. Ketiga variabel tersebut kemudian dianalisis untuk menentukan karakter dari sensor tersebut. Kemudian ditarik kesimpulan sensor manakah yang mempunyai performa paling bagus, dan dapat dijadikan acuan untuk pembuatan sensor pH lainnya



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini langkah pertama yang dilakukan yaitu penyiapan bahan uji. Pengujian dilakukan dengan metode potensiometri yaitu pengukuran perubahan potensial dari elektroda untuk mengetahui konsentrasi dari suatu larutan. Pengujian dilakukan secara bertahap mulai dari pengujian waktu respon sensor, pengujian keluaran sensor dengan perubahan pH, pengujian pengaruh lama penyimpanan dan pengujian efek suhu pada sensor pH. Pengujian keluaran sensor dengan perubahan pH dilakukan dengan menggunakan empat larutan dengan nilai yang berbeda yaitu pH 2, pH 4, pH 6, dan pH 9. Larutan yang digunakan meliputi larutan yang bersifat asam dan bersifat basa. Hal itu dilakukan untuk mengetahui apakah respon sensor sesuai dengan nilai pH yang diukur. Dan untuk mengetahui apakah larutan yang diukur masih berada pada pH yang diinginkan maka digunakan pH meter untuk mengukur pH dari larutan uji tersebut.

Kemudian pengujian pengaruh penyimpanan terbagi menjadi dua, pertama pengujian pengaruh penyimpanan selang waktu satu hari dan pengujian pengaruh penyimpanan dengan selang waktu lima bulan. Pengujian pengaruh penyimpanan selang waktu satu hari bertujuan untuk mengetahui apakah dengan sensor disimpan selama satu hari akan mempengaruhi performa dari sensor tersebut, begitu pula dengan pengujian pengaruh penyimpanan dengan selang waktu lima bulan bertujuan untuk mengetahui pengaruh penyimpanan dengan selang waktu yang lama dengan tanpa dilakukan pemakaian terhadap sensor akankah mempengaruhi performa dari sensor tersebut.

Begitu pula untuk pengujian terhadap suhu dilakukan dengan memanaskan satu larutan dengan nilai pH yang telah diketahui mulai dari suhu 25°C, 35°C, 45°C, 55°C, dan 65°C. Kemudian dilakukan pengukuran untuk larutan pada tiap kenaikan suhu. Setelah ketiga pengujian selesai maka dilakukan karakterisasi untuk ke lima *chip* sensor dan dibuat grafik hubungan antara nilai pH, tegangan keluaran, suhu dan waktu, sehingga didapatkan karakter dari setiap *chip* sensor.

4.1 Penyiapan Bahan

Langkah awal pada penelitian adalah dengan menyiapkan empat larutan dengan nilai pH yang berbeda-beda yaitu pH 2, pH 4, pH 6 dan pH 9, serta sensor yang akan diuji. Sensor pH yang diuji terbuat dari sensor asam urat asam urat. Agar sensor tersebut dapat digunakan sebagai sensor pH maka dilakukan pelapisan pada elektroda kerja dari sensor tersebut yang terbuat dari pasta emas (Ag). Dipilihnya Untuk elektroda referensi yang terbuat dari pasta

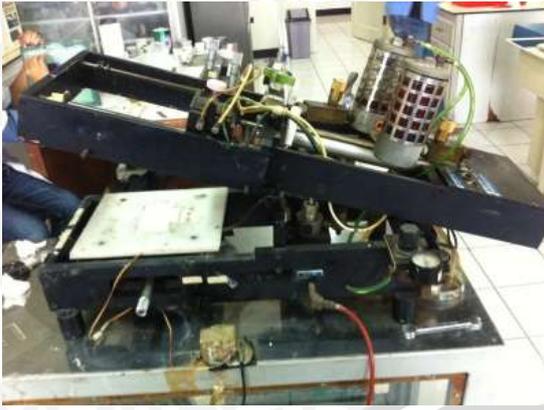
perak (Ag) dibiarkan, tanpa dilapisi kembali. Dan untuk elektroda *counter* diabaikan, karena pengukuran pH tidak membutuhkan elektroda *counter*.

Proses pelapisan elektroda dengan pasta Ru dilakukan dengan beberapa proses. Pertama tentukan bagian yang akan di lapisi dengan pasta Ru, tutup bagian elektroda lain dengan menggunakan isolasi, namun jangan terlalu ditekan saat penempelannya. Pada gambar 4.1 a ditunjukkan pasta Ru yang digunakan untuk pelapisan pada elektroda kerja sensor, dan pada gambar 4.1b ditunjukkan *screen* yang digunakan untuk melapisi elektroda kerja sensor.



Gambar 4.1 (a) Pasta Ruthenium (b) *Screen* yang digunakan untuk pelapisan

Proses pelapisan menggunakan mesin printer De Haart dan *screen* yang digunakan adalah *screen* bekas dari pembuatan sensor asam urat tersebut, dimana telah menempel film dengan polanya. Tutup pola yang tidak diinginkan dengan menggunakan isolasi. Printer De Hart yang digunakan ditunjukkan pada gambar 4.2 dan untuk pH meter konvensional yang digunakan ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.2 Mesin printer De Haart



Gambar 4.3 Sensor pH yang digunakan untuk pengujian

Persiapkan mesin pencetak terlebih dahulu. Posisikan *screen* pada mesin pencetak, atur posisi sensor dan atur pola film agar sejajar dengan elektroda yang ingin dilapisi. Ketika penyetelan tersebut telah selesai, letakan pasta Ru pada bagian atas *screen*. Pasta yang telah diletakan diatas *screen* akan diratakan oleh rakel yang ada pada mesin setelah tuas pencetak pada mesin ditekan. Kemudian mesin akan secara otomatis terbuka dan sensor dapat diambil setelah elektroda yang diinginkan terlapisi dengan pasta Ru.

Setelah pencetakan dilakukan *drying* dengan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 5 menit. Proses pengeringan bertujuan agar pasta tidak berubah bentuk apabila tergores. Setelah itu *chip* sensor didinginkan selama 10-15 menit. Apabila sensor pH ini difabrikasi dari awal langkah selanjutnya dilakukan proses *Firing* dengan menggunakan mesin *Firing* RTC, namun karena sensor pH yang digunakan berasal dari sensor asam urat

yang sudah jadi maka proses *Firing* dan proses enkapsulasi tidak dilakukan. Proses *Firing* bertujuan untuk memperkuat ikatan partikel pada substrat, dan ikatan partikel substrat dengan pasta.

Dikarenakan sensor pH ini dibuat dengan pelapisan pasta Ru pada elektroda kerjanya, untuk menggantikan proses *Firing* dilakukan pengovenan kembali pada suhu 250°C selama 1,5 jam. Setelah pengovenan selesai kemudian dilakukan pendinginan kembali selama 15 menit.

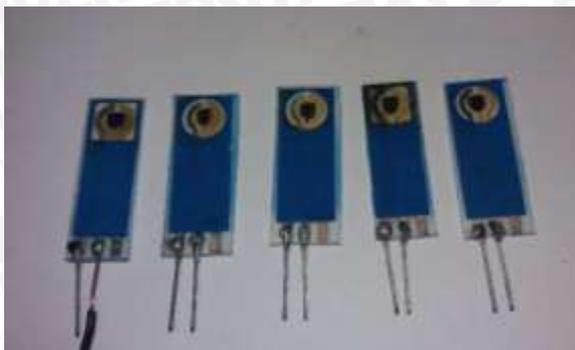
Pasta yang digunakan untuk pembuatan elektroda referensi adalah pasta silver (Ag), sehingga dilakukan sintesis AgCl dengan pelapisan manual. Lapisan Ag murni dapat dibentuk menjadi AgCl dengan *chlorination* yaitu melapisi permukaan dengan menggunakan FeCl_3 0,05M selama 60 detik sampai warna perak berubah menjadi kegelapan. Pelapisan dilakukan dengan menggunakan *cutton bath*.

Lapisan AgCl dibentuk dengan proses klorinasi menggunakan besi klorida, proses ini menghasilkan lapisan AgCl lebih cepat dan lapisan yang terbentuk lebih seragam (homogeny). Dalam proses klorinasi ini, elektroda perak (Ag) dicelupkan dalam larutan klorida dan bilas dengan menggunakan air deionisasi. (B.J Polk, dkk 2005).

Langkah selanjutnya adalah pelapisan elektroda referensi Ag| Agcl dengan larutan KCl dan Gelatin 7%. KCl berfungsi sebagai elektrolit sedangkan Gelatin berfungsi mengentalkan. Gelatin bersifat netral sehingga tidak mempengaruhi larutan elektrolitnya dan mempunyai daya rekat yang cukup bagus. Dipakainya larutan KCl dan gelatin yang kental agar pelapisan tidak dilakukan berulang, cukup sekali. Langkah terakhir yaitu pengeringan *chip* sensor dengan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 5 menit. Setelah proses tersebut sensor pH siap digunakan. Dihilnya larutan KCl dengan Gelatin 7% berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya bahwa larutan KCl dengan Gelatin 7% mempunyai performa yang cukup bagus.



Gambar 4.4 Oven yang digunakan dalam proses *drying*



Gambar 4.5 Kelima sensor pH

Gambar 4.4 merupakan foto dari oven yang digunakan pada proses drying dan proses firing dan pada gambar 4.5 menunjukkan kelima sensor yang digunakan, dari yang paling kiri merupakan sensor pertama, kemudian sensor kedua, ketiga, keempat dan sensor kelima.

4.2 Pengujian Waktu Respon Sensor

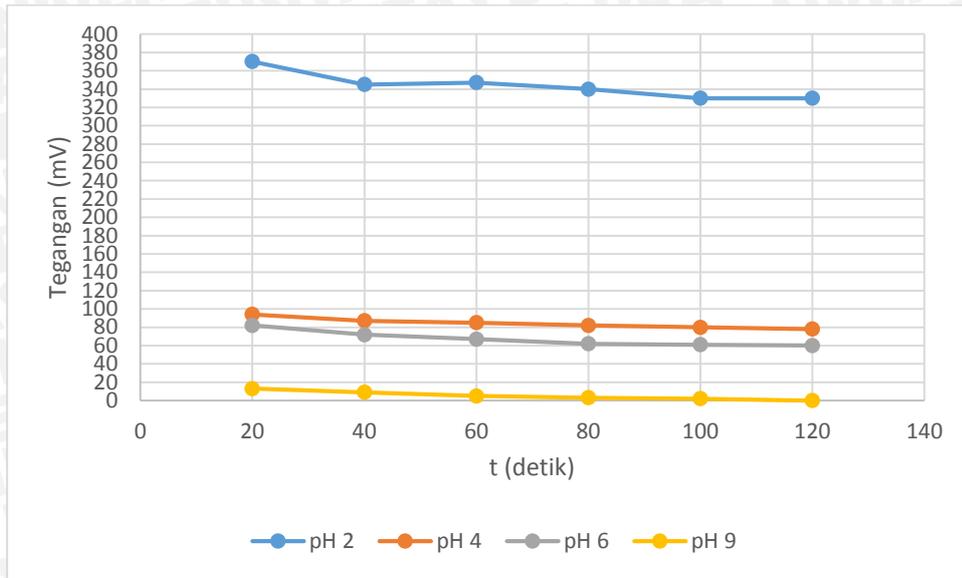
Dilakukan pengujian terhadap respon sensor untuk mengetahui performa dari sensor. Pengujian dilakukan dengan empat buah larutan yang berbeda yaitu pH 2, pH 4, pH 6 dan pH 9, nilai pH dari larutan uji dipastikan terlebih dahulu dengan dilakukan pengukuran nilai pH menggunakan pH meter konvensional. Setelah pengukuran nilai pH tiap larutan, diketahui bahwa nilai pH keempat larutan uji tetap

Pengukuran dilakukan pada suhu 25°C sebanyak dua kali, pengukuran yang pertama yaitu dengan melihat pada 120 detik pertama, apakah potensial dari sensor stabil. Setelah dipastikan sensor stabil untuk 120 detik pertama, maka dilakukan pengukuran terhadap sensor dengan empat larutan secara berurutan dari pH 2, pH 4, pH 6, pH 9. Pengukuran kedua dilakukan dengan mencelupkan *chip* sensor pertama kedalam larutan pH 2 kemudian diamati keluaran dari sensor sampai menit dimana sensor tersebut stabil. Tetap dengan sensor yang sama dilakukan pengukuran untuk pH 4 dan seterusnya. Untuk keempat sensor yang lain dilakukan hal yang sama dalam pengukuran respon sensor. Pada gambar 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 akan ditunjukkan grafik tegangan keluaran sensor pada 120 detik pertama.

Tabel 4.1.

Pengukuran Tegangan Selama 120 Detik Pertama untuk Sensor Pertama

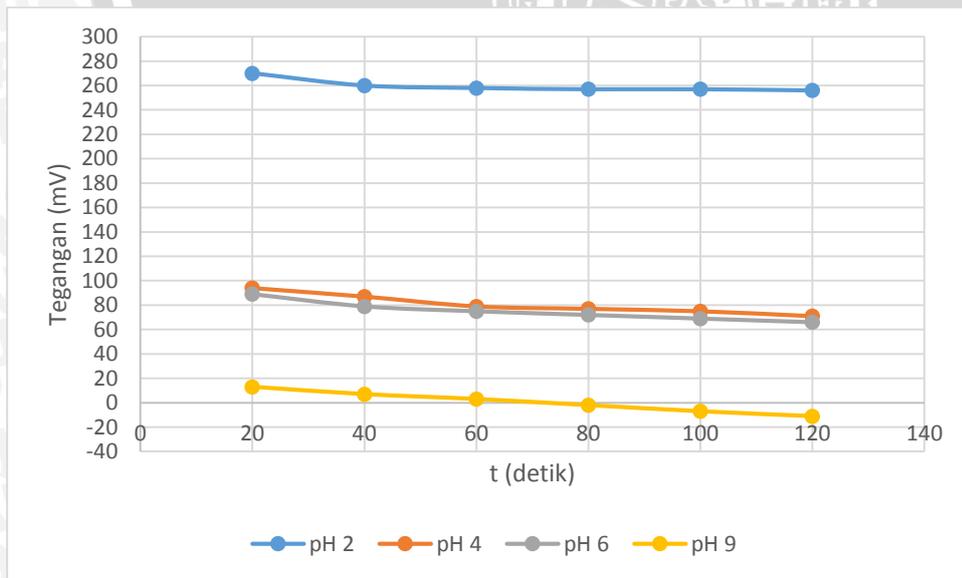
pH	detik ke-					
	20	40	60	80	100	120
2	370	345	347	340	330	330
4	94	87	85	82	80	78
6	82	72	67	62	61	60
9	13	9	5	3	2	0



Gambar 4.6 Grafik pengukuran tegangan keluaran selama 120 detik pertama untuk sensor pertama

Tabel 4.2
Pengukuran Tegangan Selama 120 Detik Pertama untuk Sensor Kedua

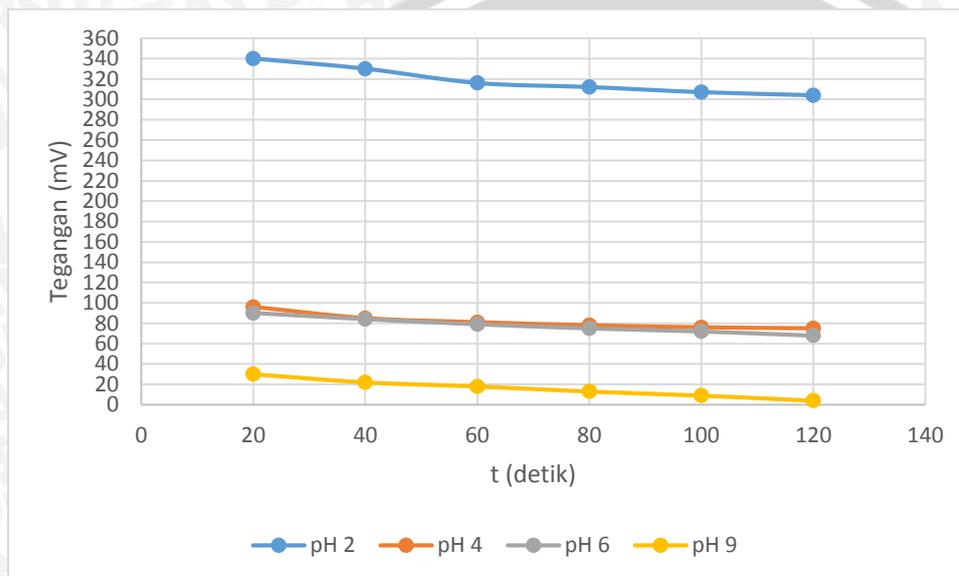
pH	detik ke-					
	20	40	60	80	100	120
2	270	260	258	257	257	256
4	94	87	79	77	75	71
6	89	79	75	72	69	66
9	13	7	3	-2	-7	-11



Gambar 4.7 Grafik pengukuran tegangan keluaran selama 120 detik pertama untuk sensor kedua

Tabel 4.3
Pengukuran Tegangan Selama 120 Detik Pertama untuk Sensor Ketiga

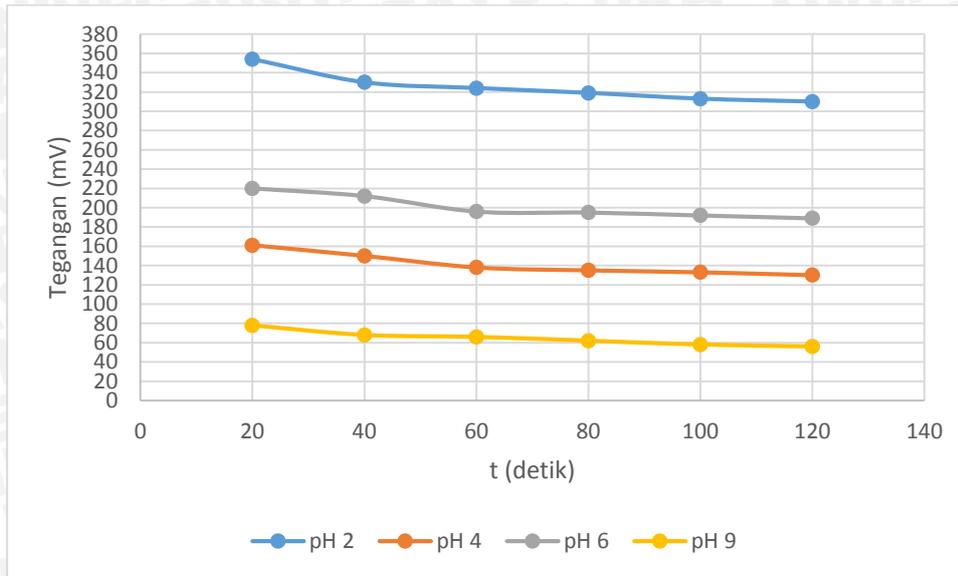
pH	detik ke-					
	20	40	60	80	100	120
2	340	330	316	312	307	304
4	96	85	81	78	76	75
6	90	84	79	75	72	68
9	30	22	18	13	9	4



Gambar 4.8 Grafik pengukuran tegangan keluaran selama 120 detik pertama untuk sensor ketiga

Tabel 4.4
Pengukuran Tegangan Selama 120 Detik Pertama untuk Sensor Keempat

pH	detik ke-					
	20	40	60	80	100	120
2	354	330	324	319	313	310
4	220	212	196	195	192	189
6	161	150	138	135	133	130
9	78	68	66	62	58	56

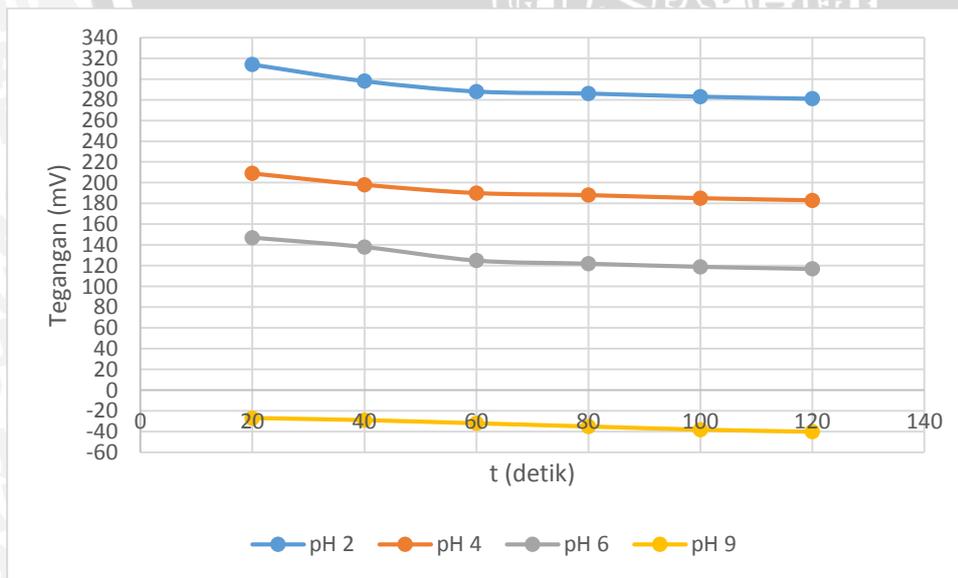


Gambar 4.9 Grafik pengukuran tegangan keluaran selama 120 detik pertama untuk sensor keempat

Tabel 4.5

Pengukuran Tegangan Selama 120 Detik Pertama untuk Sensor Kelima

pH	detik ke-					
	20	40	60	80	100	120
2	314	298	288	286	283	281
4	209	198	190	188	185	183
6	147	138	125	122	119	117
9	-27	-29	-32	-35	-38	-40



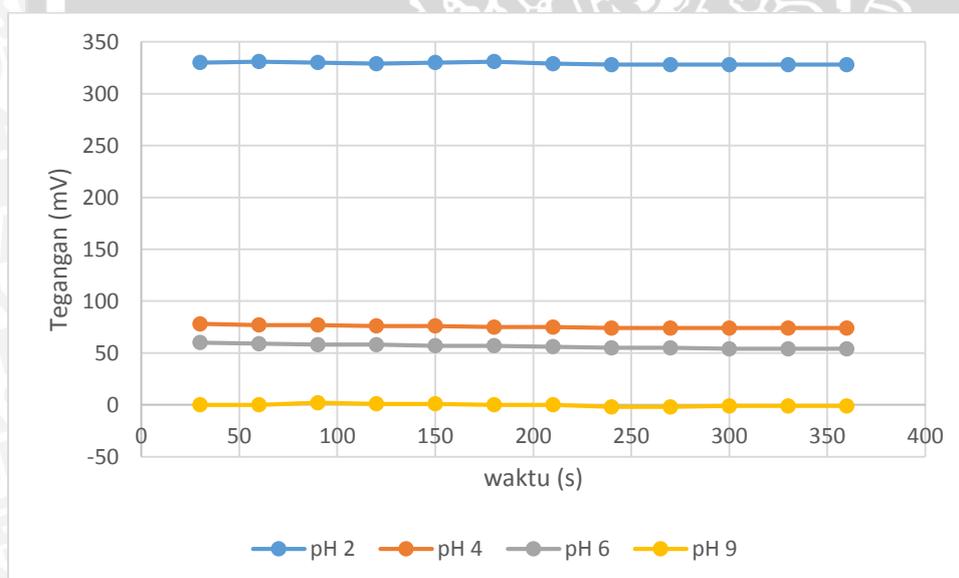
Gambar 4.10 Grafik pengukuran tegangan keluaran selama 120 detik pertama untuk sensor kelima

Pada gambar 4.10 sampai gambar 4.14 terdapat grafik yang memperlihatkan bahwa pengukuran potensial sensor pada 120 detik pertama respon sensor sudah mulai stabil. Hal ini dilakukan karena peneliti tidak mengamati data potensial pada interval 0-120 detik pada pengukuran potensial setiap sensornya. Pengamatan baru dilakukan setelah sensor mengalami kestabilan yaitu setelah 120 detik pertama.

Pengujian yang kedua adalah mengukur waktu respon sensor untuk setiap pengukuran, baik waktu respon untuk pengukuran dengan masing-masing larutan uji, yaitu larutan dengan pH 2, pH 4, pH 6, dan pH 9. Data waktu respon setiap sensor terdapat pada tabel-tabel berikut.

Tabel 4.6 Pengukuran waktu respon pada sensor pertama

pH	Detik ke-											
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
2	330	331	330	329	330	331	329	328	328	328	328	328
4	78	77	77	76	76	75	75	74	74	74	74	74
6	60	59	58	58	57	57	56	55	55	54	54	54
9	0	0	2	1	1	0	0	-2	-2	-1	-1	-1

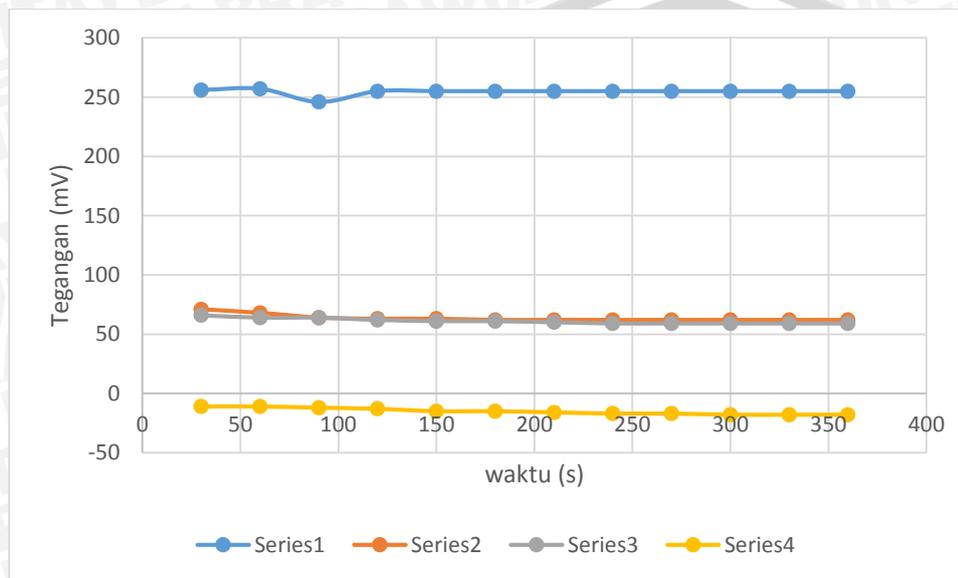


Gambar 4.11 Grafik waktu respon sensor pertama

Gambar 4.11 menunjukkan grafik waktu respon dari sensor pertama dengan pengujian terhadap empat larutan uji. Didapatkan bahwa untuk pH 2 waktu respon selama 6 menit. pH, pada pH 4 waktu respon selama 6 menit, pada pH 6 waktu respon selama 5 menit, dan pada pH 9 waktu respon selama 5 menit.

Tabel 4.7 Pengukuran waktu respon pada sensor kedua

pH	Detik ke-											
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
2	256	257	246	255	255	255	255	255	255	255	255	255
4	71	68	64	63	63	62	62	62	62	62	62	62
6	66	64	64	62	61	61	60	59	59	59	59	59
9	-11	-11	-12	-13	-15	-15	-16	-17	-17	-18	-18	-18

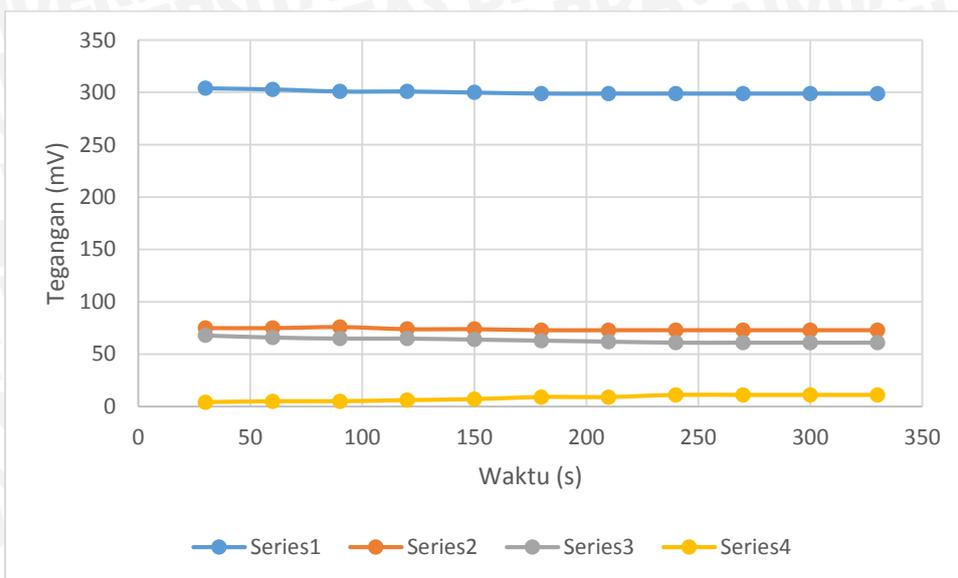


Gambar 4.12 Grafik waktu respon sensor kedua

Gambar 4.21 menunjukkan grafik waktu respon dari sensor pertama dengan pengujian terhadap empat larutan uji. Didapatkan bahwa untuk pH 2 waktu respon selama 2 menit, pH, pada pH 4 waktu respon selama 3 menit, pada pH 6 waktu respon selama 4,5 menit, dan pada pH 9 waktu respon selama 5 menit.

Tabel 4.8 Pengukuran waktu respon pada sensor ketiga

pH	Detik ke-											
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
2	304	303	301	301	300	299	299	299	299	299	299	299
4	75	75	76	74	74	73	73	73	73	73	73	73
6	68	66	65	65	64	63	62	61	61	61	61	61
9	4	5	5	6	7	9	9	11	11	11	11	11

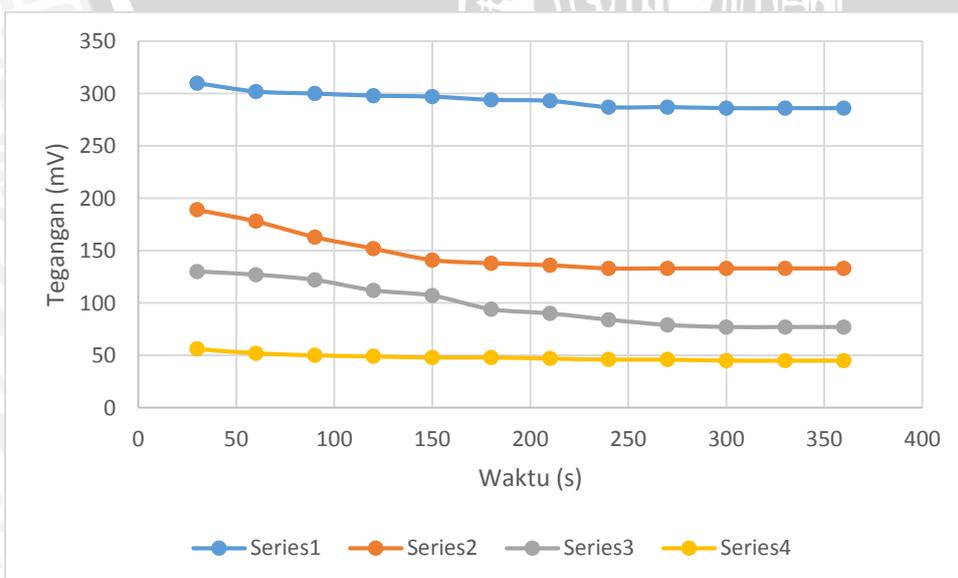


Gambar 4.12 Grafik waktu respon sensor ketiga

Gambar 4.12 menunjukkan grafik waktu respon dari sensor pertama dengan pengujian terhadap empat larutan uji. Didapatkan bahwa untuk pH 2 waktu respon selama 3 menit, pH, pada pH 4 waktu respon selama 3 menit, pada pH 6 waktu respon selama 4 menit, dan pada pH 9 waktu respon selama 4 menit.

Tabel 4.9 Pengukuran waktu respon pada sensor keempat

pH	Detik ke-												
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	
2	310	302	300	298	297	294	293	287	287	286	286	286	
4	189	178	163	152	141	138	136	133	133	133	133	133	
6	130	127	122	112	107	94	90	84	79	77	77	77	
9	56	52	50	49	48	48	47	46	46	45	45	45	

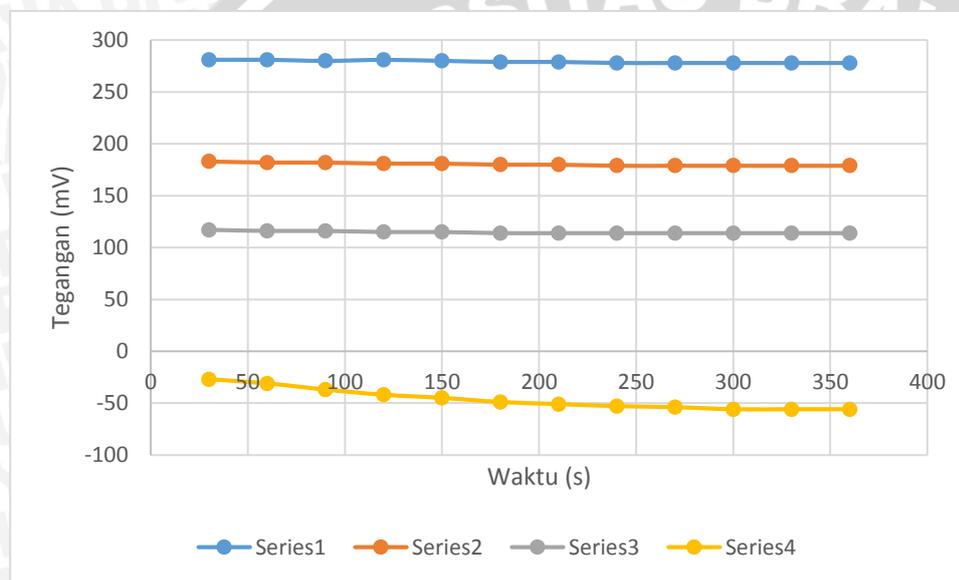


Gambar 4.12 Grafik waktu respon sensor keempat

Gambar 4.12 menunjukkan grafik waktu respon dari sensor pertama dengan pengujian terhadap empat larutan uji. Didapatkan bahwa untuk pH 2 waktu respon selama 5 menit. pH, pada pH 4 waktu respon selama 4 menit, pada pH 6 waktu respon selama 5 menit, dan pada pH 9 waktu respon selama 5 menit.

Tabel 4.10 Pengukuran waktu respon pada sensor kelima

pH	Detik ke-											
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
2	281	281	280	281	280	279	279	278	278	278	278	278
4	183	182	182	181	181	180	180	179	179	179	179	179
6	117	116	116	115	115	114	114	114	114	114	114	114
9	-27	-31	-37	-42	-45	-49	-51	-53	-54	-56	-56	-56



Gambar 4.13 Grafik waktu respon sensor kelima

Gambar 4.13 menunjukkan grafik waktu respon dari sensor pertama dengan pengujian terhadap empat larutan uji. Didapatkan bahwa untuk pH 2 waktu respon selama 4 menit. pH, pada pH 4 waktu respon selama 4 menit, pada pH 6 waktu respon selama 3 menit, dan pada pH 9 waktu respon selama 5 menit.

Tabel 4.11
Waktu Respon Sensor (a) Sensor Pertama (b) Sensor Kedua (c) Sensor Ketiga (d) Sensor Keempat (e) Sensor Kelima

Sensor Pertama		Sensor Kedua		Sensor Ketiga	
Nilai pH	waktu respon (menit)	Nilai pH	waktu respon (menit)	Nilai pH	waktu respon (menit)
2	6	2	2	2	3
4	6	4	3	4	3
6	5	6	4,5	6	4
9	5	9	5	9	4

(a)

(b)

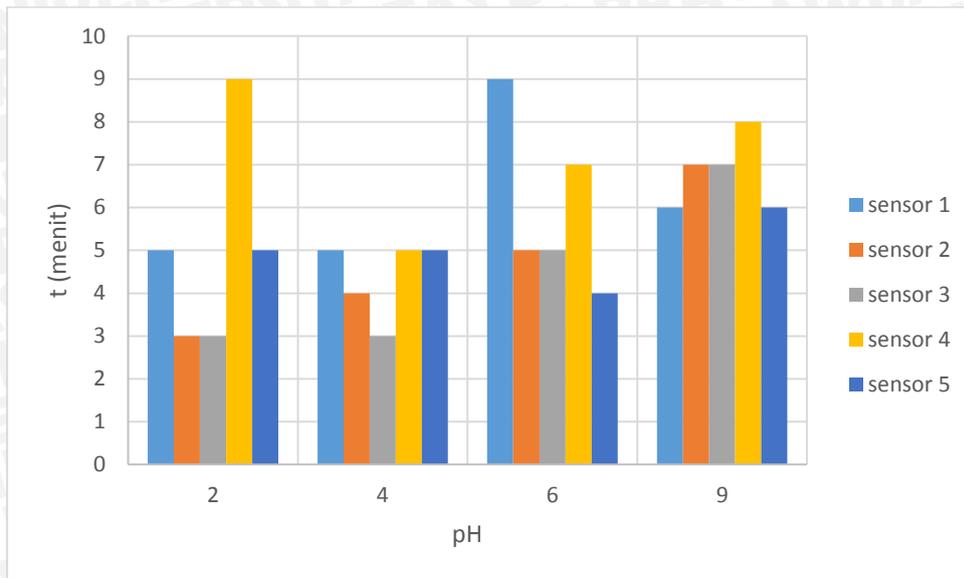
(c)

Sensor Keempat		Sensor Kelima	
Nilai pH	waktu respon (menit)	Nilai pH	waktu respon (menit)
2	5	2	4
4	4	4	4
6	5	6	3
9	5	9	5

(d)

(e)

Dari tabel 4.11 tersebut diketahui bahwa sensor ketiga mempunyai rata-rata waktu respon yang leatif cepat untuk pengukuran empat larutan uji, kemudian diikuti dengan sensor kedua, sensor kelima, sensor keempat, dan sensor pertama. Pengukuran kecepatan dilakukan dengan perataan waktu respon setiap sensor untuk pengukuran keempat.



Gambar 4.14 Diagram waktu respon sensor dari kelima kelima sensor

4.3 Pengujian Keluaran Sensor Dengan Perubahan pH

Pengujian kedua menggunakan lima buah *chip* sensor yang sama dengan pengujian sebelumnya, pengukuran dilakukan pada suhu normal yaitu 25°C. Data yang ditunjukkan pada tabel nilai tegangan sensor terhadap perubahan pH diplot kedalam sebuah grafik. Nilai kemiringan dari grafik merepresentasikan nilai kemiringan Nerst dan sensitifitas pada pengukuran pH, sedangkan nilai konstanta pada persamaan grafik merepresentasikan nilai E° atau harga potensial standar pada keadaan larutan uji netral. Grafik yang dihasilkan mengacu pada persamaan Nerst untuk tetapan oksida logam $E = E^\circ - 0,05916 \text{ pH}$ persamaan tersebut untuk keadaan ideal pada suhu 25° C. Tetapi untuk penelitian ini mempunyai persamaan Nerst sendiri dengan digunakannya RuO_2 sebagai lapisan aktif atau lapisan elektroda kerja. Gradien Nerst merepresentasikan sensitifitas sensor pH dan idealnya gradien Nerst pada suatu sensor pH adalah 59,16 mV/pH. Namun penelitian ini mempunyai metode sendiri baik dari fabrikasi, pengukuran dan struktur sehingga menghasilkan gradien tersendiri.

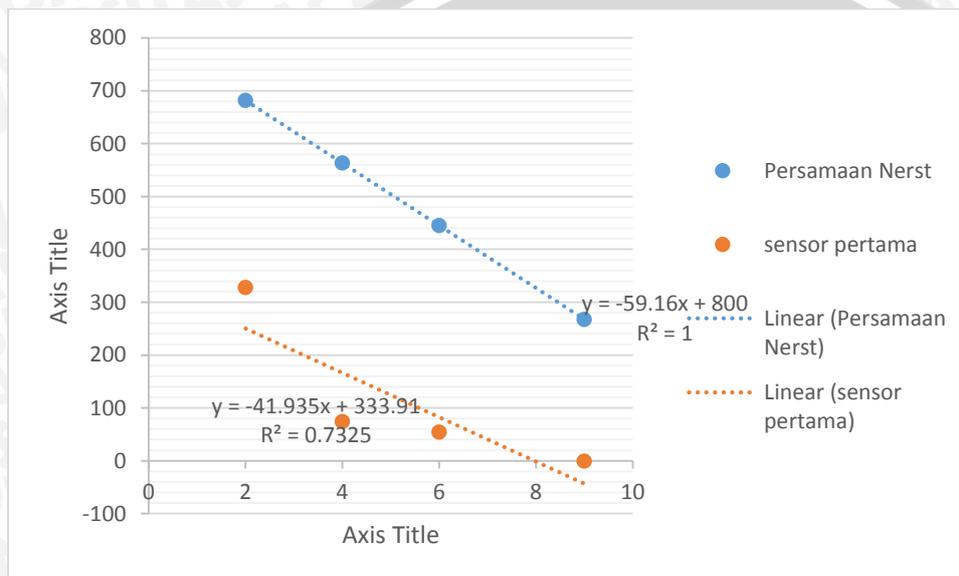
Data nilai tegangan sensor yang ditunjukkan pada tabel-tabel akan diplot dalam sebuah grafik, untuk menentukan sekaligus mengetahui nilai kemiringan dan konstanta dari kemiringan grafik. Nilai kemiringan grafik merepresentasikan nilai kemiringan Nerst dan sensitifitas pengukuran sensor pH pada suhu 25°C.

a) Sensor Pertama

Berikut adalah tabel beserta grafik hasil pengujian sensor pertama untuk nilai pH 2, pH 4, pH 6, pH 9.

Tabel 4.12
 Nilai Tegangan Sensor Pertama Terhadap Perubahan Nilai pH

Nilai pH	Tegangan (mV)
2	328
4	74
6	54
9	-1



Gambar 4.15 Grafik tegangan keluaran sensor pertama dibandingkan dengan persamaan Nerst

Gambar 4.15 menunjukkan grafik Nerst dari sensor pertama terhadap perubahan nilai pH dari larutan uji. Berdasarkan data di atas terlihat bahwa terjadi penurunan tegangan keluaran dari sensor untuk pH 2 sampai pH 9. Pada gambar 4.12 terdapat grafik Sensor pertama, $y = -41,935x + 333,91$ persamaan tersebut merepresentasikan persamaan $E = E^\circ - (x) pH$. Nilai tersebut merupakan gradien persamaan Nerst untuk persamaan $E = E^\circ - (x) pH$ sehingga diperoleh nilai x pada persamaan tersebut yakni -41,935. Nilai konstanta pada grafik tersebut merupakan nilai dari E° atau nilai potensial sel elektroda pada keadaan netral yaitu sebesar 333,91 milivolt. Dengan perolehan data grafik tersebut maka persamaan Nerst untuk sensor pH ini adalah $E = 333,91 - 41,935 pH$, atau $E = 0,33391 - 0,041935 pH$. Pada persamaan tersebut apabila nilai E adalah nol maka didapatkan nilai pH berdasarkan persamaan tersebut adalah 7,9. Tingkat akurasi pengukuran E° terhadap ukuran pH netral 7 adalah 87,14%. Untuk keakurasian pengukuran sensitifitas atau kemiringan grafik Nerst terhadap nilai ideal pada suhu 25°C adalah 78,1%. Nilai tersebut diperoleh dari hasil selisih

yang diperoleh antara data kemiringan nilai penelitian dengan nilai kemiringan ideal dan dibandingkan dengan keiringan ideal tersebut yaitu 59,16 mV/pH.

$$\text{Tingkat akurasi} = \frac{41,935 - 59,16}{59,16} \times 100\% = 29,1\%$$

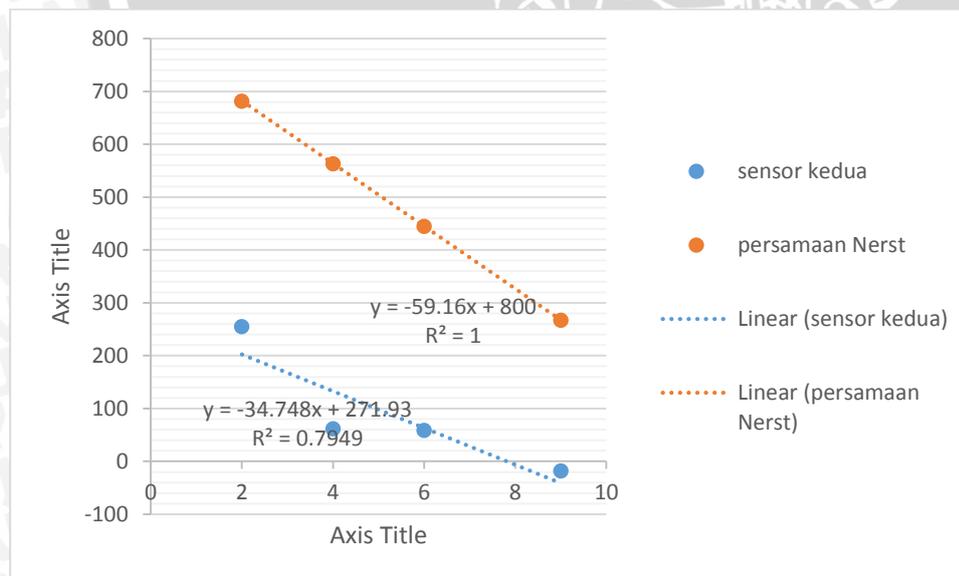
$$\text{Tingkat akurasi} = (100 - 29,1)\% = 70,9\%$$

b) Sensor Kedua

Berikut adalah tabel beserta grafik hasil pengujian sensor kedua untuk nilai pH 2, pH 4, pH 6, pH 9.

Tabel 4.13
Nilai Tegangan Sensor Kedua Terhadap Perubahan Nilai pH

Nilai pH	Tegangan (mV)
2	255
4	62
6	59
9	-18



Gambar 4.16 Grafik tegangan keluaran sensor kedua dibandingkan dengan persamaan

Nerst

Gambar 4.16 menunjukkan grafik Nerst dari sensor pertama terhadap perubahan nilai pH dari larutan uji. Berdasarkan data di atas terlihat bahwa terjadi penurunan tegangan keluaran dari sensor untuk pH 2 sampai pH 9. Pada gambar 4.13 terdapat grafik Sensor kedua, $y = -34,748x + 271,93$ persamaan tersebut merepresentasikan persamaan $E = E^\circ - (x) pH$. Nilai tersebut merupakan gradien persamaan Nerst untuk persamaan $E = E^\circ - (x) pH$ sehingga diperoleh nilai x pada persamaan tersebut yakni $-34,748$. Nilai konstanta pada grafik tersebut merupakan nilai dari E° atau nilai potensial sel elektroda pada keadaan netral yaitu sebesar 271,93 milivolt. Dengan perolehan data grafik tersebut maka persamaan Nerst untuk sensor pH ini adalah $E = 271,93 - 34,748 pH$, atau $E = 0,27193 - 0,034748 pH$. Pada persamaan tersebut apabila nilai E adalah nol maka didapatkan nilai pH berdasarkan persamaan tersebut adalah 7,8. Tingkat akurasi pengukuran E° terhadap ukuran pH netral 7 adalah 88,57%. Untuk keakurasian pengukuran sensitifitas atau kemiringan grafik Nerst terhadap nilai ideal pada suhu $25^\circ C$ adalah 58,7%. Nilai tersebut diperoleh dari hasil selisih yang diperoleh antara data kemiringan nilai penelitian dengan nilai kemiringan ideal dan dibandingkan dengan keiringan ideal tersebut yaitu 59,16 mV/pH.

$$\text{Tingkat akurasi} = \frac{34,748 - 59,16}{59,16} \times 100\% = 41,3\%$$

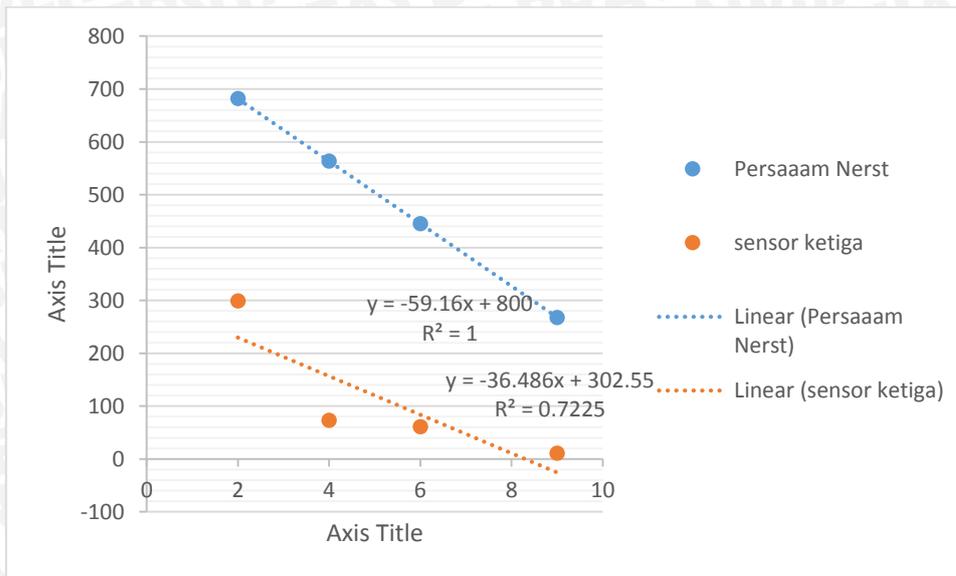
$$\text{Tingkat akurasi} = (100 - 41,3)\% = 58,7\%$$

c) Sensor Ketiga

Berikut adalah tabel beserta grafik hasil pengujian sensor ketiga untuk nilai pH 2, pH 4, pH 6, pH 9.

Tabel 4.14
Nilai Tegangan Sensor Setiga Terhadap Perubahan Nilai pH

Nilai pH	Tegangan (mV)
2	299
4	73
6	61
9	11



Gambar 4.17 Grafik tegangan keluaran sensor ketiga dibandingkan dengan persamaan Nerst

Gambar 4.17 menunjukkan grafik Nerst dari sensor pertama terhadap perubahan nilai pH dari larutan uji. Berdasarkan data di atas terlihat bahwa terjadi penurunan tegangan keluaran dari sensor untuk pH 2 sampai pH 9. Pada gambar 4.14 terdapat grafik Sensor ketiga, $y = -39,57x + 313,24$ persamaan tersebut merepresentasikan persamaan $E = E^\circ - (x) pH$. Nilai tersebut merupakan gradien persamaan Nerst untuk persamaan $E = E^\circ - (x) pH$ sehingga diperoleh nilai x pada persamaan tersebut yakni $-39,57$. Nilai konstanta pada grafik tersebut merupakan nilai dari E° atau nilai potensial sel elektroda pada keadaan netral yaitu sebesar 313,24 milivolt. Dengan perolehan data grafik tersebut maka persamaan Nerst untuk sensor pH ini adalah $E = 313,24 - 39,57pH$, atau $E = 0,31324 - 0,03957 pH$. Pada persamaan tersebut apabila nilai E adalah nol maka didapatkan nilai pH berdasarkan persamaan tersebut adalah 7,9. Tingkat akurasi pengukuran E° terhadap ukuran pH netral 7 adalah 87,14%. Untuk keakurasian pengukuran sensitifitas atau kemiringan grafik Nerst terhadap nilai ideal pada suhu $25^\circ C$ adalah 66,9%. Nilai tersebut diperoleh dari hasil selisih yang diperoleh antara data kemiringan nilai penelitian dengan nilai kemiringan ideal dan dibandingkan dengan keiringan ideal tersebut yaitu 59,16 mV/pH.

$$\text{Tingkat akurasi} = \frac{(39,57 - 59,16)}{59,16} \times 100\% = 33,1\%$$

$$\text{Tingkat akurasi} = (100 - 33,1)\% = 66,9\%$$

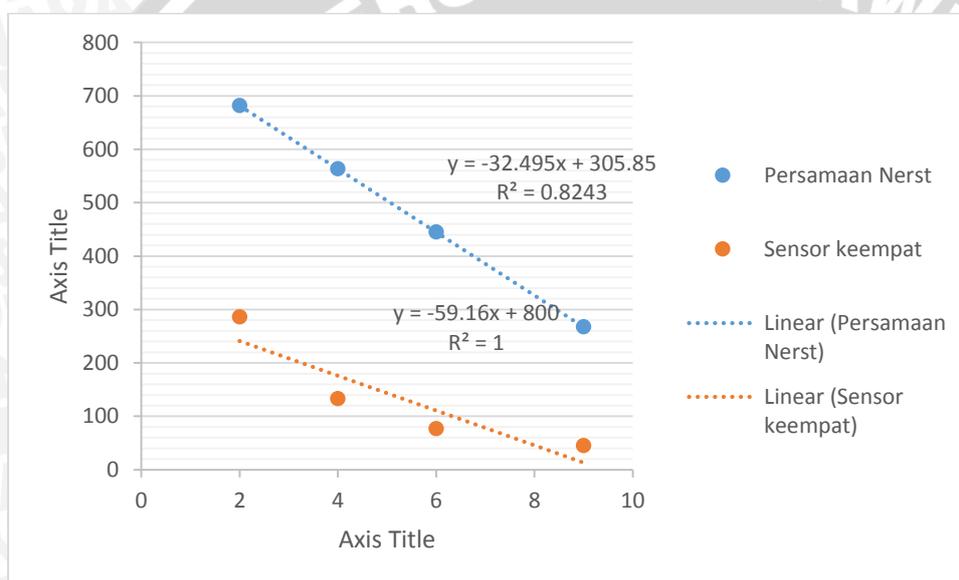
d) Sensor Keempat

Berikut adalah tabel beserta grafik hasil pengujian sensor keempat untuk nilai pH 2, pH 4, pH 6, pH 9.

Tabel 4.15

Nilai Tegangan Sensor Keempat Terhadap Perubahan Nilai pH

Nilai pH	Tegangan (mV)
2	286
4	133
6	77
9	45



Gambar 4.18 Grafik tegangan keluaran sensor keempat dibandingkan dengan persamaan Nerst

Gambar 4.18 menunjukkan grafik Nerst dari sensor pertama terhadap perubahan nilai pH dari larutan uji. Berdasarkan data di atas terlihat bahwa terjadi penurunan tegangan keluaran dari sensor untuk pH 2 sampai pH 9. Pada gambar 4.15 terdapat grafik Sensor keempat, $y = -32,495X + 305,85$ persamaan tersebut merepresentasikan persamaan $E = E^\circ - (x) pH$. Nilai tersebut merupakan gradien persamaan Nerst untuk persamaan $E = E^\circ - (x) pH$ sehingga diperoleh nilai x pada persamaan tersebut yakni $-32,495$. Nilai konstanta pada grafik tersebut merupakan nilai dari E° atau nilai potensial sel elektroda pada keadaan netral yaitu sebesar 305,85 milivolt. Dengan perolehan data grafik tersebut maka persamaan Nerst untuk sensor pH ini adalah $E = 305,85 - 32,495pH$, atau $E = 0,30585 - 0,032495 pH$. Pada persamaan tersebut apabila nilai E adalah nol maka didapatkan nilai pH berdasarkan

persamaan tersebut adalah 9,4. Tingkat akurasi pengukuran E° terhadap ukuran pH netral 7 adalah 65,7%. Untuk keakurasian pengukuran sensitifitas atau kemiringan grafik Nerst terhadap nilai ideal pada suhu 25°C adalah 54,9%. Nilai tersebut diperoleh dari hasil selisih yang diperoleh antara data kemiringan nilai penelitian dengan nilai kemiringan ideal dan dibandingkan dengan keiringan ideal tersebut yaitu 59,16 mV/pH.

$$\text{Tingkat akurasi} = \frac{(32,495 - 59,16)}{59,16} \times 100\% = 45,1\%$$

$$\text{Tingkat akurasi} = (100 - 45,1)\% = 54,9$$

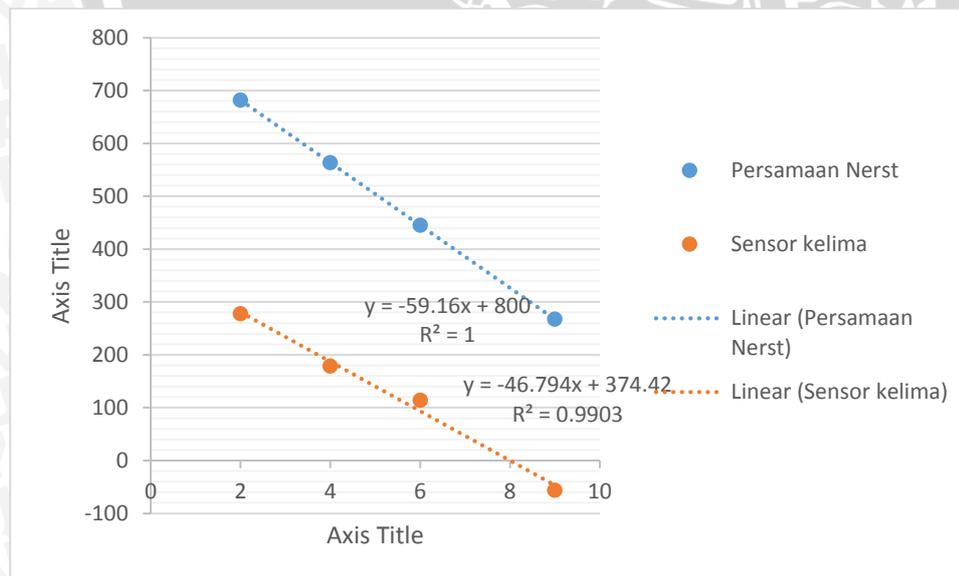
e) Sensor Kelima

Berikut adalah tabel beserta grafik hasil pengujian sensor kelima untuk nilai pH 2, pH 4, pH 6, pH 9

Tabel 4.16

Nilai Tegangan Sensor Kelima Terhadap Perubahan Nilai pH

Nilai pH	Tegangan (mV)
2	278
4	179
6	114
9	-56



Gambar 4.19 Grafik tegangan keluaran sensor kelima dibandingkan dengan persamaan Nerst

Gambar 4.19 menunjukkan grafik Nerst dari sensor pertama terhadap perubahan nilai pH dari larutan uji. Berdasarkan data di atas terlihat bahwa terjadi penurunan tegangan keluaran

dari sensor untuk pH 2 sampai pH 9. Pada gambar 4.16 terdapat grafik Sensor kelima, $y = -46,749 + 374,42$ persamaan tersebut merepresentasikan persamaan $E = E^\circ - (x) pH$. Nilai tersebut merupakan gradien persamaan Nerst untuk persamaan $E = E^\circ - (x) pH$ sehingga diperoleh nilai x pada persamaan tersebut yakni $-46,749$. Nilai konstanta pada grafik tersebut merupakan nilai dari E° atau nilai potensial sel elektroda pada keadaan netral yaitu sebesar 374,42milivolt. Dengan perolehan data grafik tersebut maka persamaan Nerst untuk sensor pH ini adalah $E = 374,42 - 46,749pH$, atau $E = 0,37442 - 0,046749 pH$. Pada persamaan tersebut apabila nilai E adalah nol maka didapatkan nilai pH berdasarkan persamaan tersebut adalah 8. Tingkat akurasi pengukuran E° terhadap ukuran pH netral 7 adalah 85,7%. Untuk keakurasian pengukuran sensitifitas atau kemiringan grafik Nerst terhadap nilai ideal pada suhu 25°C adalah 79,1%. Nilai tersebut diperoleh dari hasil selisih yang diperoleh antara data kemiringan nilai penelitian dengan nilai kemiringan ideal dan dibandingkan dengan kemiringan ideal tersebut yaitu 59,16 mV/pH.

$$\text{Tingkat akurasi} = \frac{(-46,794 - 59,16)}{59,16} \times 100\% = 20,9\%$$

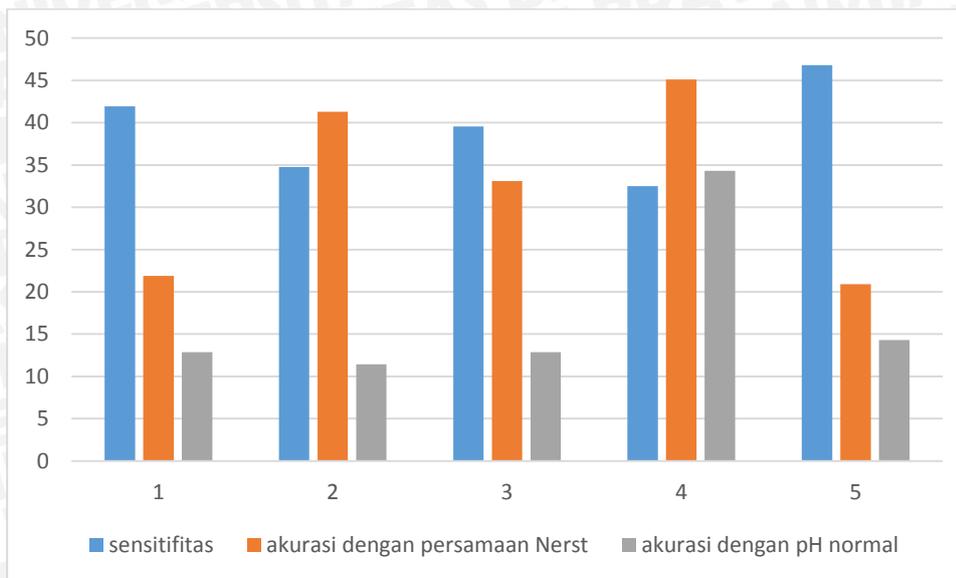
$$\text{Tingkat akurasi} = (100 - 20,9)\% = 79,1\%$$

Tabel 4.12

Data Nilai Sensitifitas dan Akurasi Pengukuran Terhadap Persamaan Nerst dan pH Normal

Sensor ke-	sensitifitas	akurasi pengukuran (%), terhadap :	
		persamaan Nerst	pH normal 7
1	41,935	78,1	87,14
2	34,748	58,7	88,57
3	39,57	66,9	87,14
4	32,495	54,9	65,7
5	46,794	79,1	85,7

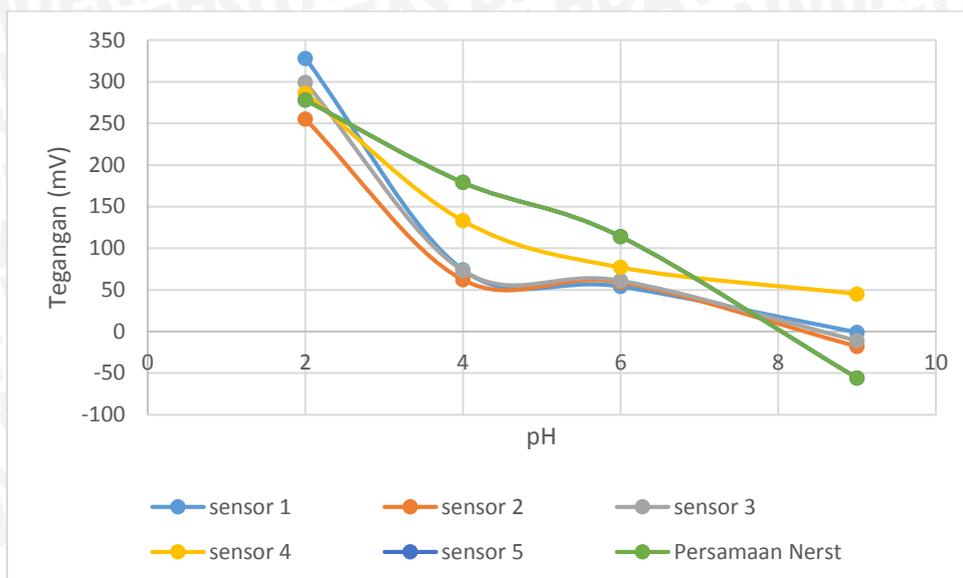
Untuk diagram dari data tersebut dapat dilihat pada gambar 4.17.



Gambar 4.17 Diagram nilai sensitifitas dan persentase akurasi pengukuran terhadap persamaan Nerst dan pH normal dari kelima sensor

Gambar 4.17 merupakan diagram nilai sensitifitas, skurasi dari persamaan Nerst, dan akurasi apabila dibandingkan dengan pH normal. Berdasarkan tabel 4.12 terlihat bahwa setiap sensor memiliki sensitifitas, persentase terhadap persamaan Nerst dan persentase terhadap pH normal yang berbeda-beda. Sensitifitas terbesar dimiliki oleh sensor kelima, dilanjutkan dengan sensor pertama, ketiga, kedua dan sensor keempat.. Hal ini dikarenakan pemuaiian elektroda pada saat pemanggangan, selain itu ketebalan pelapisan pasta Ru tidak sama pada setiap sensor, dikarenakan pelapisan dilakukan satu persatu mengingat *chip* sensor yang digunakan merupakan sensor jadi yang telah dipotong-potong.

Sensitifitas dari sensor mempengaruhi persentase keakuratan terhadap persamaan Nerst dan terhadap pH normal. Semakin tinggi nilai sensitifitas sensor maka nilai presentase terhadap persamaan Nerst juga semakin besar. Untuk kelima sensor tersebut hanya dua sensor yang mempunyai sensitifitas yang cukup baik yaitu sensor kesatu dan sensor kelima.



Gambar 4.18 Respon kelima sensor terhadap perubahan pH dan dibandingkan dengan persamaan Nerst

Gambar 4.18 menunjukkan nilai tegangan keluaran dari kelima sensor dengan nilai pH 2, pH 4, pH 6, dan pH 9 dan nilai dari persamaan Nerst apabila di plot kedalam sebuah grafik. Berdasarkan gambar 4.18 terlihat bahwa setiap sensor memiliki respon yang berbeda. Semakin tinggi nilai pH maka tegangan keluaran semakin kecil, hal ini sesuai dengan persamaan Nerst, sehingga menunjukkan bahwa sensor yang digunakan merupakan pendeteksi nilai pH

4.4 Pengujian Pengaruh Lama Penyimpanan

Pengujian lama penyimpanan sensor bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu terhadap performa sensor, terutama waktu penyimpanan. Pegujian lama penyimpanan terbagi menjadi dua tahap, tahap pertama pengujian pengaruh lama penyimpanan dengan selang waktu satu hari dan tahap kedua adalah pengujian lama penyimpanan dengan selang waktu lima bulan.

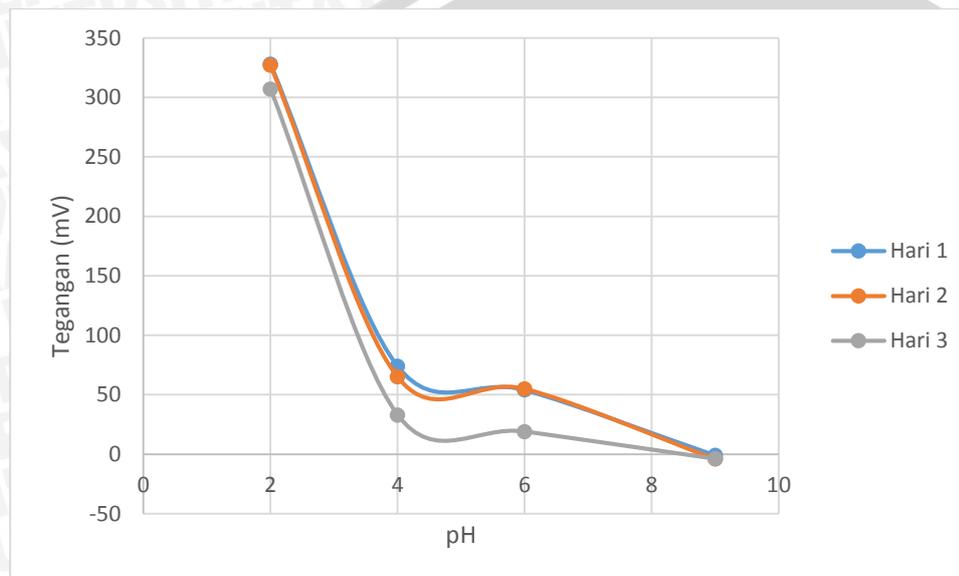
4.4.1 Pengujian Pengaruh Penyimpanan dengan Selang Waktu Satu Hari

Pengujian pengaruh penyimpanan dengan selang waktu satu hari menggunakan kelima sensor yang sama dengan pengujian sebelumnya. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon sensor apabila dilakukan penyimpanan selama satu hari kemudian dilakukan pengukuran nilai tegangan keluaran pada hari berikutnya apakah terjadi perubahan yang signifikan untuk nilai tegangan keluaran dari masing-masing sensor atau tidak. Gambar 4.19 menunjukkan grafik pengukuran tegangan keluaran pada hari pertama, hari kedua, dan hari ketiga pada sensor pertama dengan pengujian menggunakan empat larutan dengan nilai pH yang berbeda.

Tabel 4.13

Data Pengukuran Tegangan Keluaran Sensor Pertama Selama Tiga Hari

Hari ke -	pH 2	pH 4	pH 6	pH 9
1	328	74	54	-1
2	327	65	55	-4
3	307	33	19	-4

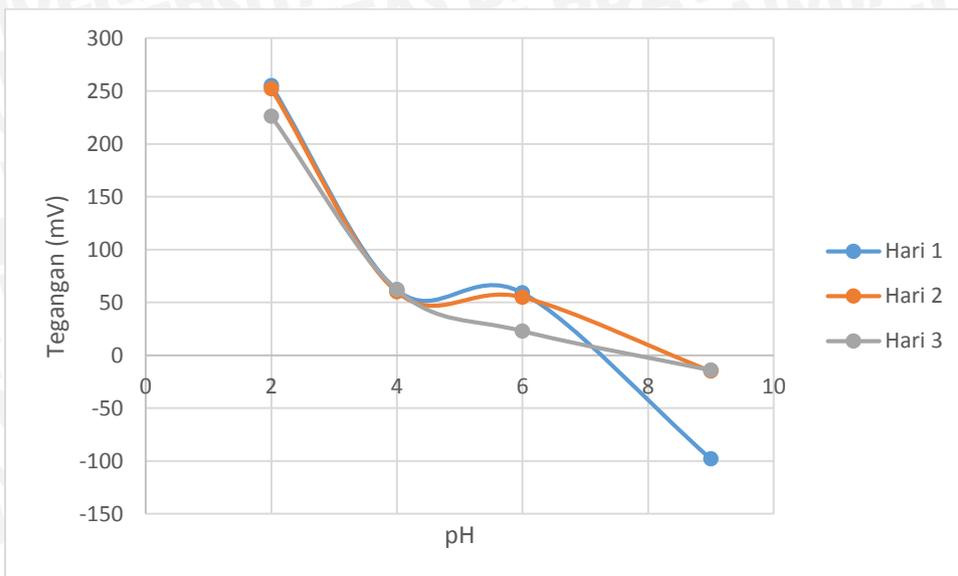


Gambar 4.19 Pengukuran tegangan keluaran sensor pertama selama tiga hari

Tabel 4.14

Data pengukuran tegangan keluaran sensor kedua selama tiga hari

Hari ke -	pH 2	pH 4	pH 6	pH 9
1	255	62	59	-98
2	252	60	55	-15
3	226	62	23	-14



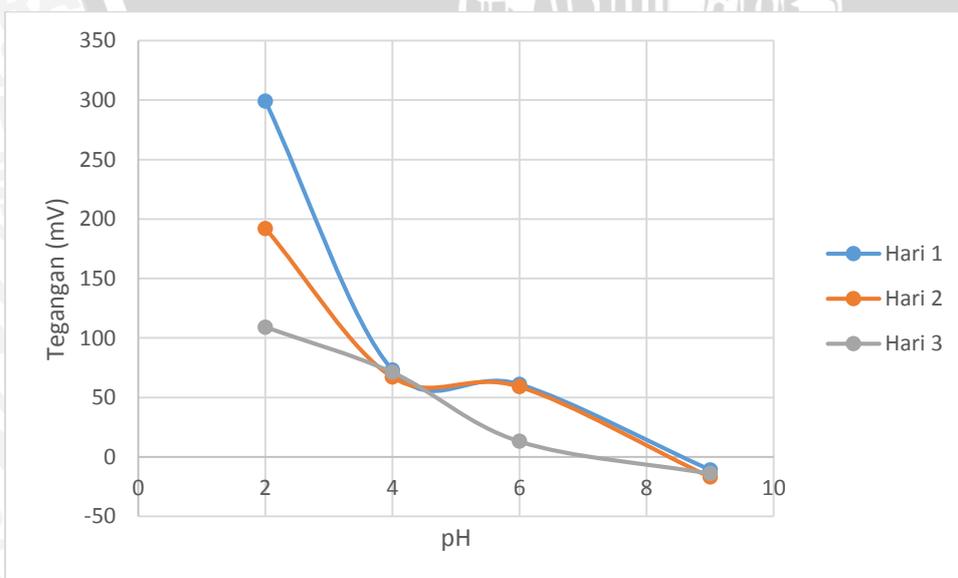
Gambar 4.20 Pengukuran tegangan keluaran sensor kedua selama tiga hari

Gambar 4.20 menunjukkan grafik pengukuran tegangan keluaran pada hari pertama, hari kedua, dan hari ketiga pada sensor kedua dengan pengujian menggunakan empat larutan dengan nilai pH yang berbeda..

Tabel 4.15

Data pengukuran tegangan keluaran sensor ketiga selama tiga hari

Hari ke -	pH 2	pH 4	pH 6	pH 9
1	299	73	61	-11
2	192	67	59	-17
3	109	71	13	-14



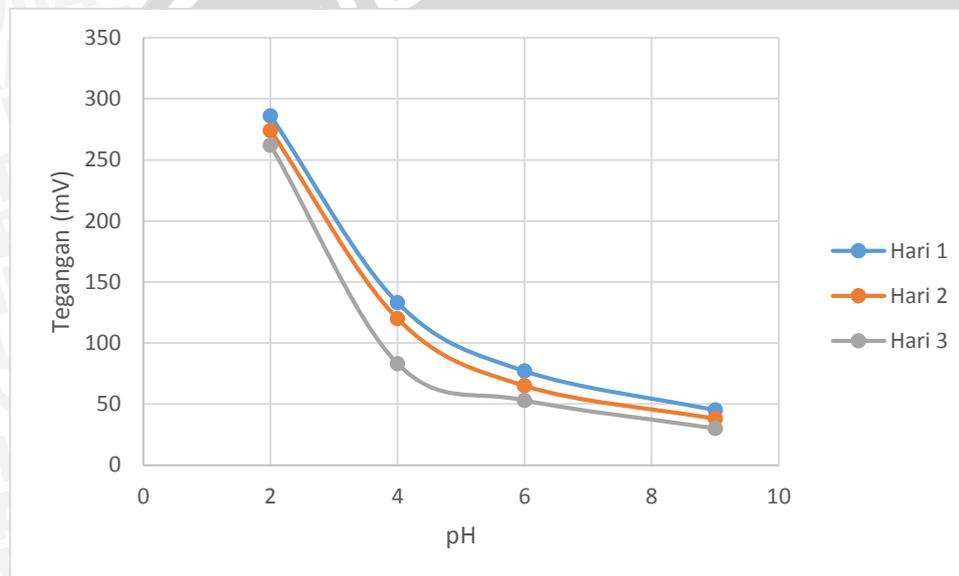
Gambar 4.21 Pengukuran tegangan keluaran sensor ketiga selama tiga hari

Gambar 4.21 menunjukkan grafik pengukuran tegangan keluaran pada hari pertama, hari kedua, dan hari ketiga pada sensor ketiga dengan pengujian menggunakan empat larutan dengan nilai pH yang berbeda..

Tabel 4.16

Data pengukuran tegangan keluaran sensor keempat selama tiga hari

Hari ke-	pH 2	pH 4	pH 6	pH 9
1	286	133	77	45
2	274	120	65	38
3	262	83	53	30



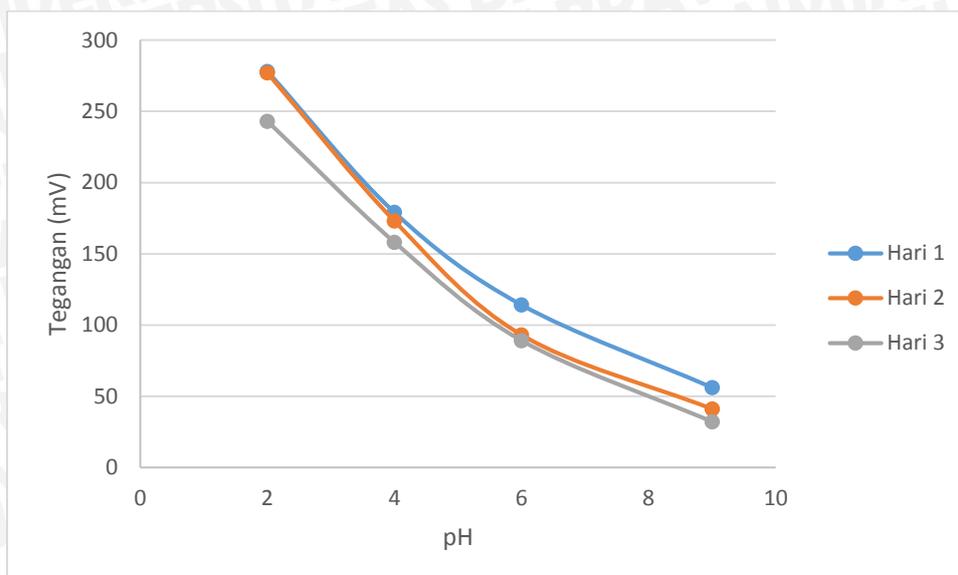
Gambar 4.22 Pengukuran tegangan keluaran sensor keempat selama tiga hari

Gambar 4.22 menunjukkan grafik pengukuran tegangan keluaran pada hari pertama, hari kedua, dan hari ketiga pada sensor keempat dengan pengujian menggunakan empat larutan dengan nilai pH yang berbeda..

Tabel 4.17

Data Pengukuran Tegangan Keluaran Sensor Kelima Selama Tiga Hari

Hari ke -	pH 2	pH4	pH 6	pH 9
1	278	179	114	56
2	277	173	93	41
3	243	158	89	32



Gambar 4.23 Pengukuran tegangan keluaran sensor kelima selama tiga hari

Gambar 4.23 menunjukkan grafik pengukuran tegangan keluaran pada hari pertama, hari kedua, dan hari ketiga pada sensor kedua dengan pengujian menggunakan empat larutan dengan nilai pH yang berbeda..

Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan data untuk kelima sensor selama tiga hari pengujian, beserta grafik nilai tegangan keluaran selama tiga hari yang diplot dalam satu grafik. Untuk pengujian pengaruh penyimpanan dengan selang waktu satu hari, dilakukan pengukuran nilai pH dari larutan uji yang digunakan dengan menggunakan pH meter konvensional, setelah dipastikan bahwa nilai larutan uji tidak mengalami perubahan nilai pH maka pengujian mulai dilakukan. Nilai pH yang ditunjukkan oleh pH meter konvensional digunakan sebagai nilai pembanding dengan nilai yang dihasilkan oleh sensor pH yang digunakan, apakah nilai yang dihasilkan oleh sensor pH stabil atau tidak apabila nilai pH larutan uji yang digunakan tidak berubah.

Didapatkan data bahwa performa sensor menurun untuk hari kedua dan ketiga dibandingkan pada hari pertama sedangkan nilai pH dari larutan uji tidak berubah, tetapi tidak terjadi penurunan tegangan yang terlalu jauh. Hal ini menunjukkan bahwa performa sensor menurun selama penyimpanan dengan selang waktu selama satu hari dengan penurunan tegangan keluaran yang relative sedikit, mengindikasikan bahwa kestabilan sensor kurang baik, sebab lain dari turunnya performa sensor diperkirakan karena lunturnya elektroda kerja dari sensor yang dilapisi dengan pasta Ru, perkiraan tersebut muncul karena bentuk fisik dari elektroda kerja sensor pH yang semakin menipis. Lunturnya pasta Ru disebabkan sensor pH yang digunakan tidak melalui proses *Firing* bersamaan dengan pasta

yang lain sehingga ikatan partikel antara pasta dengan substrat tidak terlalu kuat, untuk pengujian terhadap pengaruh luntornya elektroda kerja terhadap performa sensor belum pernah dilakukan.

4.4.2 Pengujian Pengaruh Penyimpanan dengan Selang Waktu Lima Bulan

Pengujian pengaruh lama penyimpanan dengan selang waktu lima bulan dilakukan dengan menggunakan sensor yang sama dengan pengujian sebelumnya. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah lama dari penyimpanan sensor berpengaruh terhadap performa dari sensor. Sensor pertama kali digunakan pada bulan Agustus 2016, kemudian disimpan sampai Januari 2017. Dalam selang lima bulan tersebut dilakukan pengujian terhadap waktu penyimpanannya. Pada bulan Agustus 2016 dilakukan pengujian keluaran sensor, tetapi larutan uji yang digunakan adalah larutan dengan nilai pH 2,5, pH 5,5 pH 6,5 dan pH 11,5 sedangkan pengujian pada bulan Januari 2017 menggunakan larutan uji dengan nilai pH 2, pH 4, pH 6 dan pH 9, perbedaan nilai pH pada pengujian bulan Agustus 2016 dengan pengujian bulan Januari 2017 dikarenakan sulitnya mendapat larutan dengan nilai pH yang sama karena keterbatasan larutan pH pada toko kimia, dan untuk sensor yang diuji hanya sensor pertama, kedua, dan ketiga. Pengujian lama penyimpanan sensor hanya dapat dilakukan pada sensor pertama, kedua dan ketiga dikarenakan hanya ketiga sensor tersebut yang pernah diukur nilai keluarannya pada bulan Agustus 2016.

a) Sensor pertama

Tabel 4.18
Data Pengujian Sensor Pertama Pada Bulan Agustus

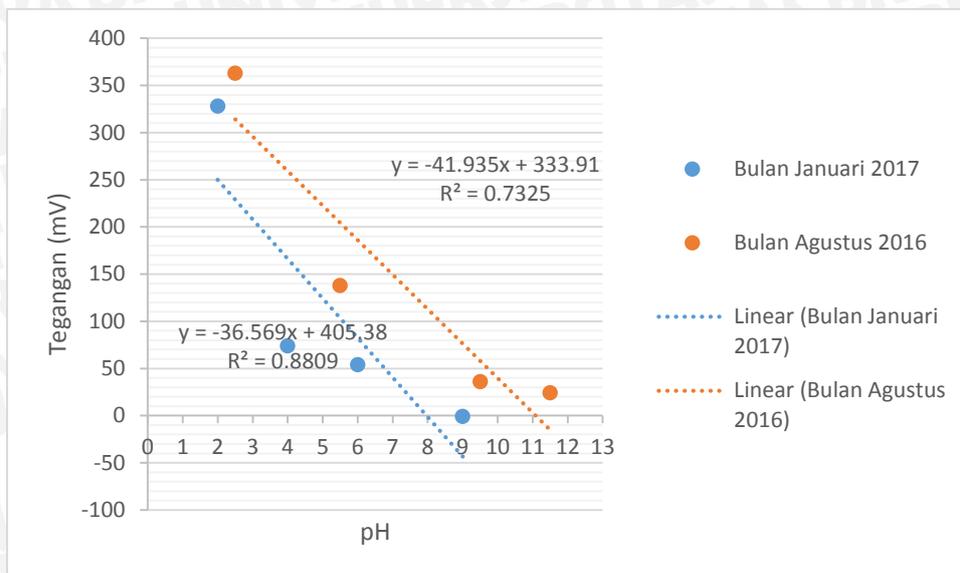
pH	2,5	5,5	9,5	9
Tegangan (mV)	363	138	36	24

Tabel 4.19
Data Pengujian Sensor Pertama Pada Bulan Januari

pH	2	4	6	9
Tegangan (mV)	255	62	59	-98

Pengujian pada bulan Januari menggunakan larutan uji dengan nilai pH 2, pH 4, pH 6 dan pH 9, sedangkan untuk pengujian pada bulan Agustus 2016 menggunakan larutan uji

dengan pH 2,5, pH 5,5, pH 9,5, dan pH 11,5. Dilakukan regresi data pada tabel 4.18 dan tabel 4.19 yang ditampilkan pada gambar 4.24



Gambar 4.24 Grafik Kemiringan data pada pengujian bulan Agustus 2016 dibandingkan bulan Januari 2017 untuk sensor pertama

Gambar 4.24 dapat dilihat grafik perbandingan kemiringan data keluaran untuk pengujian bulan Agustus 2016 dibandingkan dengan bulan Januari 2017 untuk sensor pertama. Dari kedua data pengukuran dibandingkan sensitifitasnya, sensitifitas pengukuran pada bulan Agustus 2016 sebesar -41,935 dan sensitifitas untuk pengukuran pada bulan Januari 2017 sebesar -36,569. Terjadi penurunan sensitifitas sebesar 5,366 atau 12,8%. Penurunan sensitifitas sensor dikarenakan penyimpanan selama lima bulan dengan tanpa dilakukan pemakaian terhadap sensor disebabkan udara luar juga mempengaruhi performa dari sensor, sensor tidak disimpan dalam tempat kedap udara, sehingga akan terjadi oksidasi yang disebabkan reaksi antara elektroda kerja sensor yang terbuat dari bahan logam dengan udara sekitar yang mengandung O_2 .

b) Sensor Kedua

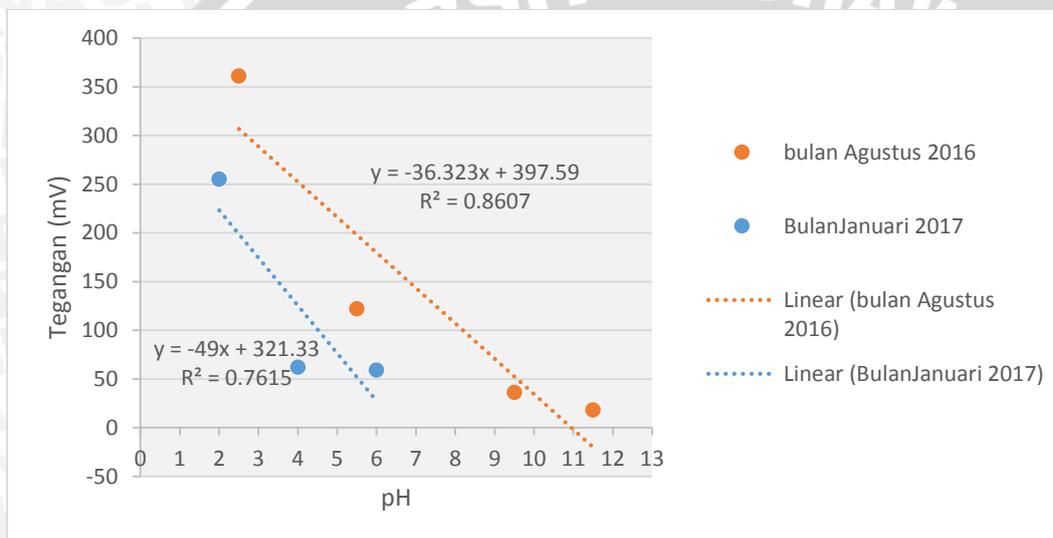
Tabel 4.20
Data Pengujian Sensor Kedua Pada Bulan Agustus

pH	2,5	5,5	9,5	9
Tegangan (mV)	361	58,0035	36	18

Tabel 4.21
Data Pengujian Sensor Kedua Pada Bulan Januari

pH	2	4	6	9
Tegangan (mV)	255	62	59	-98

Pengujian pada bulan Januari menggunakan larutan uji dengan nilai pH 2, pH 4, pH 6 dan pH 9, sedangkan untuk pengujian pada bulan Agustus 2016 menggunakan larutan uji dengan pH 2,5, pH 5,5, pH 9,5, dan pH 11,5. Dilakukan regresi data pada tabel 4.20 dan tabel 4.21 yang ditampilkan pada gambar 4.25



Gambar 4.25 Grafik Kemiringan data pada pengujian bulan Agustus 2016 dibandingkan bulan Januari 2017 untuk sensor kedua

Gambar 4.25 dapat dilihat grafik perbandingan kemiringan data keluaran untuk pengujian bulan Agustus 2016 dibandingkan dengan bulan Januari 2017 untuk sensor kedua. Dari kedua data pengukuran dibandingkan sensitifitasnya, sensitifitas pengukuran pada bulan Agustus 2016 sebesar -36,323 dan sensitifitas untuk pengukuran pada bulan Januari 2017 sebesar -39. Terjadi peningkatan sensitifitas sebesar 2,7 atau 7,4%. Ketidak seragaman sensitifitas pada dua pengukuran tersebut menunjukkan bahwa sensor tidak presisi. Tetapi apabila dilihat dari nilai tegangan yang dihasilkan oleh sensor setelah sensor disimpan selama lima bulan terjadi penurunan tegangan keluaran yang cukup jauh. Penurunan tegangan dikarenakan udara luar juga mempengaruhi performa dari sensor, sensor tidak disimpan dalam tempat kedap udara, sehingga akan terjadi oksidasi yang disebabkan reaksi

antara elektroda kerja sensor yang terbuat dari bahan logam dengan udara sekitar yang mengandung O₂

c) Sensor Ketiga

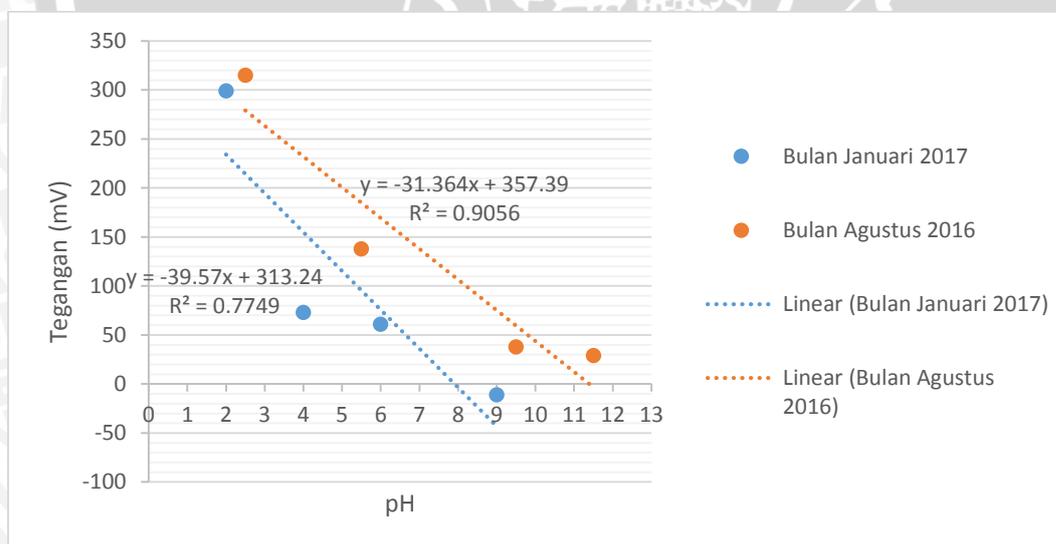
Tabel 4.22
Data Pengujian Sensor Ketiga Pada Bulan Agustus

pH	2,5	5,5	9,5	9
Tegangan (mV)	315	138	38	29

Tabel 4.23
Data Pengujian Sensor Ketiga Pada Bulan Januari

pH	2	4	6	9
Tegangan (mV)	299	73	61	-11

Pengujian pada bulan januari menggunakan larutan uji dengan nilai pH 2, ph 4, pH 6 dan pH 9, sedangkan untuk pengujian pada bulan Agustus 2016 menggunakan larutan uji dengan pH 2,5, pH5,5, pH 9,5, dan pH 11,5. Dilakukan peregresian data pada tabel 4.22 dan tabel 4.23 yang ditampilkan pada gambar 4.26



Gambar 4.26 Grafik Kemiringan data pada pengujian bulan Agustus 2016 dibandingkan bulan Januari 2017 untuk sensor ketiga

Gambar 4.26 dapat dilihat grafik perbandingan kemiringan data keluaran untuk pengujian bulan Agustus 2016 dibandingkan dengan bulan januari 2017 untuk sensor ketiga. Dari kedua data pengukuran dibandingkan sensitifitasnya, sensitifitas pengukuran pada

bulan Agustus 2016 sebesar -31,364 dan sensitifitas untuk pengukuran pada bulan Januari 2017 sebesar -39,57. Terjadi peningkatan sensitifitas sebesar 8,206 atau 26%.

Berdasarkan pengujian pengaruh penyimpanan dengan selang waktu lima bulan diketahui bahwa penurunan tegangan keluaran yang jauh dari ketiga sensor tersebut. Terjadi ketidakseragaman hasil sensitifitas pada pengukuran tersebut, pada sensor pertama terjadi penurunan nilai sensitifitas pada pengukuran di bulan Januari 2017, sedangkan untuk sensor kedua dan ketiga terjadi peningkatan nilai sensitifitas untuk sensor kedua dan ketiga, hal ini menunjukkan bahwa setiap sensor mempunyai karakteristik yang berbeda. Tetapi apabila dilihat dari nilai tegangan yang dihasilkan oleh sensor setelah sensor disimpan selama lima bulan terjadi penurunan tegangan keluaran yang cukup jauh. Penurunan tegangan dikarenakan udara luar juga mempengaruhi performa dari sensor apalagi sensor tidak disimpan dalam tempat kedap udara. Ketidakstabilan sensor dikarenakan penyimpanan yang cukup lama mengartikan bahwa sensor tidak dapat disimpan dalam jangka waktu yang panjang, terutama jika penyimpanan dilakukan pada tempat yang tidak kedap terhadap udara.

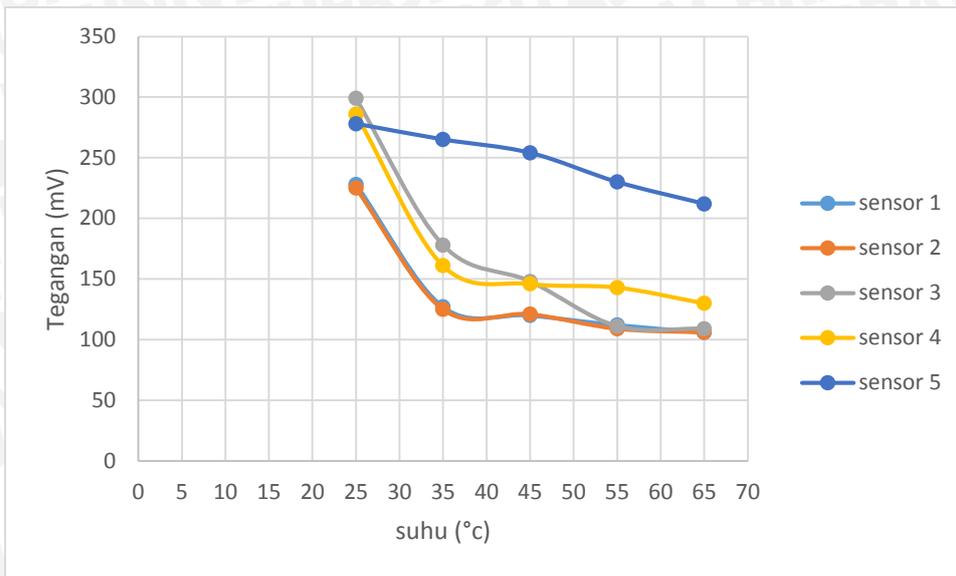
4.5 Pengujian Efek Suhu Pada Sensor pH

Nilai pH suatu larutan dipengaruhi oleh suhu dari larutan tersebut. Bertambahnya suhu dari larutan akan menurunkan viskositas dari larutan, dan meningkatkan aktifitas dari ion dalam larutan. Nilai dari pH bergantung pada aktivitas dari ionnya hidrogen dalam larutan, sehingga suhu sangat berpengaruh terhadap pengukuran pH dan mempengaruhi nilai pH dari suatu larutan.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap 5 buah *chip* sensor yang digunakan pada pengujian-pengujian sebelumnya, ini merupakan pengujian yang kelima, hal ini bertujuan untuk mengetahui daya uji sensor dengan berulang-ulang pemakaian. Pengujian dilakukan dengan menggunakan larutan pH 2, dengan variasi suhu yaitu 35°C, 45°C, 55°C, dan 65°C. Data pengujian untuk kelima sensor akan diperlihatkan dalam tabel dan juga grafik.

Tabel 4.24
Respon Sensor Terhadap Perubahan Suhu

Suhu(°C)	Sensor 1 (mV)	Sensor 2 (mV)	Sensor 3 (mV)	Sensor 4 (mV)	Sensor 5 (mV)
25	328	225	299	286	278
35	127	125	178	161	265
45	120	121	148	146	254
55	112	109	111	143	230
65	106	106	109	130	212



Gambar 4.27 Grafik respon kelima sensor terhadap perubahan suhu untuk larutan dengan pH 2

Gambar 4.27 merupakan grafik respon nilai tegangan keluaran kelima sensor dengan perubahan suhu larutan. Berdasarkan data dan grafik yang sudah ditampilkan terlihat bahwa suhu mempengaruhi potensial dari sensor. Pada suhu normal 25°C sensor pertama pada pengujian dengan larutan pH dua didapatkan nilai potensial sebesar 328 mV sedangkan untuk pengukuran pada suhu 35°C diperoleh potensial sebesar 127 mV. Jadi diperoleh presentase perbandingan pengujian untuk suhu 35°C terhadap suhu normal 25°C sebesar -61,28%. Untuk suhu 45°C, 55°C, 65°C, nilai persentase apabila dibandingkan dengan tegangan keluaran saat suhu ruangan 25°C secara berurutan sebesar -63,41%, -65,85, -67,68. Untuk perhitungan sensor kedua, ketiga, keempat dan kelima ditunjukkan pada perhitungan dibawah.

a) sensor pertama

$$\text{pada suhu } 35^{\circ}\text{C} = \frac{(127 - 328)}{328} \times 100\% = -61,28\%$$

$$\text{pada suhu } 45^{\circ}\text{C} = \frac{(120 - 328)}{328} \times 100\% = -63,41\%$$

$$\text{pada suhu } 55^{\circ}\text{C} = \frac{(112 - 328)}{328} \times 100\% = -65,85\%$$

$$\text{pada suhu } 65^{\circ}\text{C} = \frac{(106 - 328)}{328} \times 100\% = -67,68\%$$

b) Sensor kedua

$$\text{pada suhu } 35^{\circ}\text{C} = \frac{(125 - 255)}{255} \times 100\% = -50,9\%$$

$$\text{pada suhu } 45^{\circ}\text{C} = \frac{(121 - 255)}{255} \times 100\% = -52,53\%$$

$$\text{pada suhu } 55^{\circ}\text{C} = \frac{(109 - 255)}{255} \times 100\% = -57,2\%$$

$$\text{pada suhu } 65^{\circ}\text{C} = \frac{(106 - 255)}{255} \times 100\% = -58,43$$

c) Sensor ketiga :

$$\text{pada suhu } 35^{\circ}\text{C} = \frac{(178 - 299)}{299} \times 100\% = -40,47\%$$

$$\text{pada suhu } 45^{\circ}\text{C} = \frac{(148 - 299)}{299} \times 100\% = -50,5\%$$

$$\text{pada suhu } 55^{\circ} = \frac{(111 - 299)}{299} \times 100\% = 62,88\%$$

$$\text{pada suhu } 65^{\circ}\text{C} = \frac{(109 - 299)}{299} \times 100\% = -63,35\%$$

d) sensor keempat

$$\text{pada suhu } 35^{\circ}\text{C} = \frac{(161 - 286)}{286} \times 100\% = -43,7\%$$

$$\text{pada suhu } 45^{\circ}\text{C} = \frac{(146 - 286)}{286} \times 100\% = -48,95$$

$$\text{pada suhu } 55^{\circ}\text{C} = \frac{(143 - 286)}{286} \times 100\% = -50$$

$$\text{pada suhu } 65^{\circ}\text{C} = \frac{(130 - 286)}{286} \times 100\% = -54,5$$

e) sensor kelima

$$\text{pada suhu } 35^{\circ}\text{C} = \frac{(265 - 278)}{278} \times 100\% = -4,68$$

$$\text{pada suhu } 45^{\circ}\text{C} = \frac{(254 - 278)}{278} \times 100\% = -8,63$$

$$\text{pada suhu } 55^{\circ}\text{C} = \frac{(230 - 278)}{278} \times 100\% = -17,27$$

$$\text{pada suhu } 65^{\circ}\text{C} = \frac{(212 - 278)}{278} \times 100\% = -23,74$$

Perhitungan akurasi terhadap suhu normal 25°C bertujuan untuk mengetahui besar perbandingan persentase pengukuran sensor apabila suhu larutan semakin tinggi. Berdasarkan perhitungan diketahui bahwa nilai persentase perbandingan suhu 35°C , 45°C , 55°C , dan 65°C untuk semua sensor bernilai negatif dan semakin tinggi, hal ini berarti bahwa semakin tinggi nilai suhu maka tegangan yang dikeluarkan oleh sensor semakin rendah, data tersebut sesuai dengan persamaan Nerst.

Dari kelima sensor hanya sensor kelima yang mempunyai persentase penurunan nilai yang rendah, sedangkan untuk keempat sensor yang lain mempunyai persentase yang cukup tinggi. Sensor kelima mempunyai persentase yang rendah dikarenakan elektroda kerja dari sensor tersebut yang merupakan Ru masih berbentuk cukup baik, sedangkan elektroda kerja untuk keempat sensor yang lain sudah mulai rusak.

Terlihat juga bahwa nilai yang dihasilkan pada pengukuran potensial dari larutan dengan pH 2 oleh keempat sensor tersebut pada suhu 35°C , 45°C , 55°C , dan 65°C mempunyai nilai yang lebih rendah dibandingkan pengukuran yang dilakukan diawal pada suhu normal 25°C . Hal ini juga berkaitan dengan mulai rusaknya elektroda sensor. Untuk pengujian pada larutan dengan pH 4, pH 6, dan pH 9 tidak dilakukan, hal ini juga dikarenakan elektroda kerja dari sensor yang sudah mulai rusak, sehingga pengujian hanya dilakukan sekali dan diamati bagaimana efek bertambahnya suhu terhadap potensial dari sensor.





BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan ketiga pengujian yang telah dilakukan yaitu pengujian kestabilan sensor terhadap perubahan nilai pH, pengujian respon dan kestabilan sensor terhadap waktu dan pengujian efek suhu pada potensial sensor diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perubahan nilai pH berpengaruh terhadap keluaran sensor, semakin tinggi nilai pH maka tegangan keluaran yang dihasilkan oleh sensor pH semakin kecil, dengan karakter tersebut menunjukkan bahwa pengembangan elektroda sensor asam urat berhasil untuk mendeteksi nilai pH larutan.

2. Lama waktu respon dari kelima sensor tidak sama, sehingga untuk mengambil nilai potensial harus menunggu sampai waktu respon dari setiap sensor pH tersebut. Pengamatan potensial nilai sensor dilakukan setelah detik ke 120 atau setelah dua menit, dikarenakan setelah dua menit potensial sensor baru mengeluarkan nilai yang relatif stabil. Penyimpanan sensor juga mempengaruhi performa sensor, penyimpanann dengan selang waktu satu hari menurunkan performa tetapi hanya sedikit, sedangkan penyimpanan dengan selang waktu yang lama membuat performa sensor menurun cukup jauh.

3. Semakin bertambah suhu dari larutan maka nilai potensial yang dihasilkan oleh sensor semakin menurun, hal ini sesuai dengan persamaan Nerst. Bertambahnya suhu dari larutan akan menurunkan viskositas dari larutan, dan meningkatkan aktifitas dari ion didalam larutan. Nilai dari pH bergantung pada aktivitas dari ionnya hidrogen dalam larutan, sehingga suhu sangat berpengaruh terhadap pengukuran pH dan mempengaruhi nilai pH dari suatu larutan.

4. Performa sensor menurun dikarenakan lunturnya elektroda kerja dari sensor yang dilapisi dengan pasta Ru, hal ini dapat dilihat dari keadaan fisik sensor dengan elektroda kerja yang semakin menipis, lunturnya pasta dikarenakan sensor pH yang dibuat tidak melalui proses *Firing* bersamaan dengan pasta yang lain. Pasta Ru yang di drying dengan menggunakan oven belum mempunyai daya rekat yang sangat kuat dengan substrat. Sensor asam urat dapat digunakan sebagai sensor pH dengan hasil keluaran sensor berupa tegangan dalam orde milivolt dengan penambahan pasta *Ruthenium* yang merupakan bahan untuk pembuatan elektrodakerja sensor pH berbasis *thick film* namun memiliki performa yang tidak begitu stabil apabila dibandingkan dengan sensor pH yang difabrikasi mulai dari

tahap awal. Pengaruh perubahan suhu, lama penyimpanan sensor, banyaknya penggunaan juga termasuk faktor-faktor yang mempengaruhi performa dari sensor pH tersebut.

5.2 Saran

Dalam proses fabrikasi menggunakan teknologi film tebal penting dilakukan persiapan yang mulai dari perancangan sampai penyiapan material yang akan digunakan. Pembuatan sensor pH seharusnya dilakukan mulai dari tahapan paling awal yaitu pendesainan elektroda sensor, pencetakan film, *pen-screen-an* setiap elektroda kerjanya, *drying*, dan *Firing*.

Sensor dalam penelitian ini memiliki kestabilan yang kurang, untuk mengatasi hal tersebut sebaiknya seluruh elektroda dari sensor di *Firing* secara bersamaan, sehingga ikatan partikel antara substrat dengan pasta sangat kuat. Ikatan yang kuat antara partikel dengan sensor membuat sensor stabil pada berbagai keadaan, baik digunakan berulang kali dan pada suhu yang berubah-ubah, bahkan sampai suhu yang lumayan tinggi.

Penyimpanan sensor selama tidak digunakan juga perlu diperhatikan, sensor akan terjaga apabila disimpan pada tempat penyimpanan yang tertutup (kedap udara) sehingga sensor tidak berhubungan langsung dengan udara sekitar. Pasta sensor yang berbahan logam akan mengalami oksidasi apabila dibiarkan di tempat yang terbuka. Dan diusahakan sensor disimpan pada suhu normal yaitu 25°C.

Larutan pengujian sebaiknya sering-sering diukur dengan menggunakan pH meter untuk mengetahui apakah pH larutan uji berubah atau tidak, sehingga dapat dipastikan bahwa nilai potensial yang dihasilkan sesuai dengan nilai pH larutan. Selain itu larutan uji juga harus disimpan pada ruangan dengan suhu normal 25°C akan nilai pH tidak berubah.

DAFTAR PUSTAKA

- Atkinson, J., Glanc, M., Sophocleus , M., Sion, R., & Garcia-Breijo, E. (2013). *Thick Film Printed Environmental and Chemical Sensor Array Reference Electrodes Suitable for Subterranean and Subaqueous Deployment*.
- Baron, J. J., Ashton, C., & Geary , L. (2006). *The Effect of Temperature on pH Measurement*. International Society of Electrochemistry.
- Charles, H. A., & Sampson, R. M. (1993). *Electronic material and Processes Hansbook*, Singapore : McGraw –Hill Book co.
- Bi, Y., & Ye, J. (2009). *In-situ oxidation Synthetis of Ag/AgCl Core-Shell Nanowires and their photocatalitic Propeties*. The Royal Society of Chemistry.
- Buck, R ., Rondinini, S., Covington, A., Baukce, F., Brett, C., Camoes, M., et all. (2002). *Measurement of pH, Definition, Standart, and Procedures*. Pure Application Chemistry Vol. 74 No 11 IUPAC, 2169-2200.
- Daud, N., Ven Chan, C., Tuhaim, N. A., Beng Ti, T ., Rais, N.A., & Marzuki, Z. S. (2013). *Characterization of Electrolyte Layer for Dissolved Oxygen Sensor*. International Conference on Chemical, Agricultural and Medical Sciences (CAMS-2013). Kuala Lumpur.
- Debataraja, A., & Manurung , R. V. (2011). *Mikrofabrikasi Elektroda Untuk Aplikasi Deteksi Konsntrasi H⁺ dengan Teknologi Lapisan Tebal*. Jurnal Ilmiah Elite Elektro Volume 2 No 1.
- Extech Instrument. 2006. *Product Data Sheet Waterproof Exstik pH Meter*. USA
- Gill, E., Arshak , A., Arshak, K., & Korostynska, O. (2007). *pH Sensitifity of Novel PANI/PVB/PS3 Composite Film*. Sensors, 3329-3346.
- Hartas, H. (2008). *Pendeteksian Keasaman dan Kebasaan Pada Pembuburan Kertas dengan Menggunakan pH Meter Pada Proses Bleaching*. Teknologi Instrumentasi Pabrik Universitas Sumatera Utara.
- <http://complex.gmu.edu/people/peixoto/subpages/ece590s08/Pourbaix.pdf> (diakses pada 3 November 2016)
- Khopkar, S. M. (1990). *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Ma, B., Guo, J., Dai, W-L., & Fan, K. (2013). *Highly Stable and Efficient Ag/AgCl core-shell sphere: Contollable Synthesis, characterization, and photocatalitic application*. Application. Applied Catalysis: Enviromental, 257-263.
- Manurung dkk, R. (2012). *Desain dan Fabrikasi Elektroda Biosensor: Metode Teknologi Film Tebal*. Jurnal Ilmiah Elite Elektro, 65-70.

- Sardarinedjat, A., Devendra, K.M & Kamal, A. 2015. The pH Sensing Properties of RF Sputtered RuO₂ Thin-Film Prepared Using Different Ar/O₂ Flow Ratio. Artikel
- Simonis, A., Krings, T., Luth, H., Wang, J., & Schoning, M. J. (2001). *A Hybrid Thin-Film pH Sensor with Integrated Thick-Film Reference*. Sensors, 183-192.
- Singer, M.J., George, H.A., Childers, C. D., & Merrill-Davies, M.L. (October 2012). *What is pH and Why Do We Care? Publication 8488*. Agriculture and Natural Resource University of California.
- Sumar Handayana, D. (1994). *Kimia Analitik Instrument*. Semarang : IKIP Semarang Pres
- Syam rafiuddin. 2013. *Seri Buku Ajar Dasar Teknik Sensor*. Makassar: Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

