



TESIS - TE142599

**PENINGKATAN SENSITIVITAS SENSOR GAS  
MENGUNAKAN INTERFEROMETER SERAT  
OPTIK TERLAPIS POLIMER UNTUK KLASIFIKASI  
GAS SENYAWA ORGANIK**

DWI SASMITA AJI PAMBUDI  
07111550040003

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.  
Achmad Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018





TESIS - TE142599

**PENINGKATAN SENSITIVITAS SENSOR GAS  
MENGUNAKAN INTERFEROMETER SERAT  
OPTIK TERLAPIS POLIMER UNTUK KLASIFIKASI  
GAS SENYAWA ORGANIK**

DWI SASMITA AJI PAMBUDI  
07111550040003

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.  
Achmad Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018



## LEMBAR PENGESAHAN

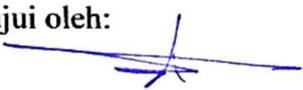
Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Dwi Sasmita Aji Pambudi  
NRP. 07111550040003

Tanggal Ujian : 19 Desember 2017  
Periode Wisuda : Maret 2018

Disetujui oleh:

- 
1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T. (Pembimbing I)  
NIP: 196904261994031003
  2. Achmad Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing II)  
NIP: 197103141997021001
  3. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D. (Penguji)  
NIP: 196512111990021002
  4. Ir. Totok Mujiono, M.Ikom, Ph.D. (Penguji)  
NIP: 196504221989031001
  5. Muhammad Attamimi, B.Eng., M.Eng., Ph.D. (Penguji)  
NPP: 1985201711039

Dekan Fakultas Teknologi Elektro



Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.  
NIP. 197002121995121001

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **PERNYATAAN KEASLIAN TESIS**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“PENINGKATAN SENSITIVITAS SENSOR GAS MENGGUNAKAN INTERFEROMETER SERAT OPTIK TERLAPIS POLIMER UNTUK KLASIFIKASI GAS SENYAWA ORGANIK”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2018



Dwi Sasmita Aji Pambudi

NRP. 07111550040003

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **PENINGKATAN SENSITIVITAS SENSOR GAS MENGUNAKAN INTERFEROMETER SERAT OPTIK TERLAPIS POLIMER UNTUK KLASIFIKASI GAS SENYAWA ORGANIK**

Nama mahasiswa : Dwi Sasmita Aji Pambudi  
NRP : 0711150040003  
Pembimbing : 1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.  
2. Achmad Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.

## **ABSTRAK**

Sensor gas dengan sensitivitas dan selektivitas yang tinggi diperlukan dalam pendeteksian dan pengidentifikasian gas pada konsentrasi rendah. Pendeteksian dan pengidentifikasian gas pada konsentrasi rendah tidak dapat dilakukan oleh sensor gas komersil, seperti semikonduktor metal oksida, karena sensitivitasnya yang rendah. Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan sensitivitas sensor gas dan mengidentifikasi gas terhadap uap dari senyawa organik. Uap senyawa organik tersebut digunakan sebagai gas uji karena banyak ditemui di lingkungan industri sebagai gas atau uap yang mudah menyala, mudah terbakar, beracun, dan dapat meledak. Selain itu, beberapa gas uji tersebut juga dapat ditemui pada gas hembus manusia yang dapat digunakan untuk identifikasi penyakit. Pengembangan terbaru sensor gas dilakukan di bidang optik dengan mengaplikasikan interferometer Fabry-Perot pada serat optik untuk meningkatkan sensitivitas sensor gas. Sensor gas dirancang dengan melapiskan polimer pada ujung serat optik untuk meningkatkan sensitivitas dan selektivitas sensor. Tiga jenis polimer dengan tingkat kepolaran berbeda (OV-101, OV-17, dan PEG-1540) dilapiskan pada tiga buah serat optik dan diletakkan dalam wadah sensor. Pengujian sensor serat optik dilakukan dengan cara mengalirkan gas ke dalam wadah sensor dan membiarkan sensor serat optik berinteraksi dengan gas. Jenis uap pelarut organik yang digunakan adalah benzena ( $C_6H_6$ ), metana ( $CH_4$ ), n-heksana ( $C_6H_{14}$ ), amonia ( $NH_3$ ), etil asetat ( $C_4H_8O_2$ ), dan aseton ( $C_3H_6O$ ). Cahaya hasil interferensi pada ujung serat optik terlapis polimer, yang bersumber dari *Light Emitting Diode* putih, diterima oleh fotodioda untuk menghasilkan data tegangan. Nilai tegangan tiap sensor serat optik didasarkan pada perubahan intensitas cahaya yang diterima akibat proses *swelling* polimer saat terjadi penyerapan molekul gas. Data perubahan tegangan selanjutnya diolah dengan metode Jaringan Syaraf Tiruan untuk proses klasifikasi jenis gas. Hasil pengujian sensor menunjukkan bahwa pelapisan polimer pada ujung serat optik dapat meningkatkan sensitivitas sensor sebesar 32.74%. Sedangkan hasil pengujian klasifikasi gas menunjukkan bahwa deret sensor serat optik yang terlapis polimer berbeda dapat mengklasifikasikan jenis gas dengan tingkat keberhasilan 100%. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan sensitivitas pada sensor serat optik mampu menghasilkan tingkat sensitivitas dan selektivitas yang baik dalam mengklasifikasikan jenis gas uji. Sistem sensor ini diharapkan dapat digunakan untuk memonitoring kondisi polutan uap pelarut organik di lingkungan.

**Kata kunci :** Interferometer Fabry-Perot, jaringan saraf tiruan, polimer, serat optik, uap pelarut organik

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **SENSITIVITY ENHANCEMENT OF GAS SENSOR USING POLYMER-COATED OPTICAL FIBER INTERFEROMETER FOR GAS CLASSIFICATION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS**

By : Dwi Sasmita Aji Pambudi  
Student Identity Number : 0711150040003  
Supervisor(s) : 1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.  
2. Achmad Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.

## **ABSTRACT**

Gas sensors with high sensitivity and selectivity are required in the detection and identification of gases at low concentrations. Detection and identification of gases at low concentrations cannot be performed by commercial gas sensors, such as metal oxide semiconductors, because of their low sensitivity. This study was carried out to increase the sensitivity of gas sensors and to identify the gases on the vapors of organic compounds. The vapors of organic compounds are used as sample gases because they are widely found in industrial environments as gases or vapors, which are flammable, toxic, and explosive. Moreover, some sample gases can also be found in human breath gases that can be used for disease identification. The latest development of gas sensors is carried out in the optical field by applying Fabry-Perot interferometer on fiber optics to increase the sensitivity of gas sensors. The gas sensor is designed by coating the polymer on the optical fiber tip to increase the sensor selectivity. Three different polymer types (OV-101, OV-17, and PEG-1540) are coated on three optical fibers and placed in the sensor chamber. Testing of optical fiber sensors is carried out by flowing the gas into the sensor chamber and the optical fiber will interact with the gas. The types of organic solvent vapor used are benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), methane (CH<sub>4</sub>), n-hexane (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>), ammonia (NH<sub>3</sub>), ethyl acetate (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>), and acetone (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O). The light from interference results at the polymer-coated optical fiber tip, which is sourced from the white Light Emitting Diode, is received by the photodiode to produce the voltage data. The voltage value of each optical fiber sensor is based on the change of light intensity received due to the swelling process of the polymer during absorption of the gas molecule. Voltage change data then processed by Artificial Neural Network method for the classification of gas types. The results of the sensor testing show that the polymer coated on the optical fiber tip was able to increase sensor sensitivity of 32.74%. While the test results of gas classification show that the optical fiber sensor array, which is coated with different polymers, can identify the type of gas with a 100% success rate. These results indicate that increased sensitivity in optical fiber sensors can result in good sensitivity and selectivity in classifying the type of sample gases. This sensor system is expected to be used to monitor the condition of organic solvent vapor in the environment.

**Keywords:** Fabry-Perot interferometer, neural network, optical fiber, organic solvent vapor, polymer

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala nikmat-Nya lah tesis ini dapat diselesaikan. Tesis berjudul **“Peningkatan Sensitivitas Sensor Gas Menggunakan Interferometer Serat Optik Terlapis Polimer untuk Klasifikasi Gas Senyawa Organik”** ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

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

1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT. dan Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan saran, bantuan, serta sabar dalam membimbing penulis.
2. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D., Ir. Totok Mujiono, M.Ikom, Ph.D., dan Muhammad Attamimi, B.Eng., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Penguji Ujian Sidang Tesis atas saran dan masukannya.
3. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng. selaku ketua Jurusan Teknik Elektro.
4. Ibu dan Ayah tercinta, atas segala dukungan dan doanya hingga terselesaikannya tesis ini.
5. Pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

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

Surabaya, 11 Januari 2018

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	7
1.3 Maksud dan Tujuan.....	8
1.4 Manfaat Penelitian .....	8
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	9
2.1 Interferometer Fabry Perot.....	9
2.2 Serat Optik .....	13
2.2.1 <i>Coupler</i> Serat Optik .....	17
2.3 Polimer.....	19
2.3.1 Proses <i>Swelling</i> .....	20
2.4 <i>Neural Network</i> .....	21
2.4.1 <i>Backpropagation</i> .....	22
2.4.2 Tahap <i>Feed Forward</i> .....	22
2.4.3 Tahap <i>Feed Backward</i> .....	24
2.5 Cahaya.....	26
2.6 Gas .....	27
2.7 <i>Analog to Digital Conversion</i> ADS1115 .....	29
2.8 <i>Low Pass Filter</i> .....	30
2.9 Penguat <i>Non-Inverting</i> .....	32
2.10 Kontrol Proporsional Integral Derivatif (PID).....	32

2.11	Interferometer Fabry Perot dengan Modifikasi <i>Cladding</i> Serat Optik....	34
2.12	Interferometer Fabry Perot dengan Modifikasi <i>Cladding</i> Serat Optik....	36
2.13	Metode Pelapisan ALD ( <i>Atomic Layer Deposition</i> ) pada Interferometer Serat Optik Fabry Perot.....	38
2.14	Pengaruh Matriks Polimer pada Serat Optik dan Karakteristik Respon Waktu .....	40
2.15	Diagram <i>Fishbone</i> .....	41
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....		43
3.1	Deskripsi Sistem.....	43
3.2	Sensor Interferometer Serat Optik.....	49
3.3	Pengolahan Data.....	50
3.3.1	<i>Moving Average</i> .....	51
3.3.2	<i>Baseline</i> .....	51
3.3.3	Pemilihan Data .....	52
3.3.4	Normalisasi.....	52
3.4	<i>Neural Network</i> .....	52
3.4.1	<i>Backpropagation</i> .....	54
3.5	Proses Akuisisi Data Sensor Serat Optik .....	57
3.5.1	<i>Coupler</i> Serat Optik.....	57
3.5.2	Rangkaian Sensor .....	57
3.5.3	Rangkaian Pengkondisi Sinyal.....	58
3.5.4	Pembacaan Nilai Tegangan Sensor Serat Optik .....	60
3.6	Uap Pelarut Organik.....	60
3.7	Sistem Aliran Udara .....	61
3.7.1	Pompa Udara .....	62
3.7.2	Silika Gel .....	62
3.7.3	Sistem Katup .....	63
3.8	Wadah Sensor.....	64
3.9	Sistem Pemanas.....	64
3.9.1	Kontrol PID .....	64
3.9.2	Sensor suhu dan kelembaban.....	66
3.9.3	Rangkaian Pemanas dan Kipas Pendingin.....	67

3.10	Desain <i>User Interface</i> .....	69
3.11	Prosedur Pengambilan Data .....	74
3.11.1	Pengambilan Data Pembelajaran <i>Neural Network</i> .....	74
3.11.2	Prosedur Pembelajaran <i>Neural Network</i> .....	75
3.11.3	Prosedur Klasifikasi Gas .....	76
3.11.4	Pengambilan Data Perubahan Suhu dan Kelembaban .....	76
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		77
4.1	Pengujian Sensitivitas Sensor Serat Optik.....	78
4.1.1	Tujuan Pengujian .....	78
4.1.2	Prosedur Pengujian .....	78
4.1.3	Hasil Pengujian dan Analisis .....	78
4.2	Pengujian Sistem Klasifikasi Gas .....	80
4.2.1	Tujuan Pengujian .....	80
4.2.2	Prosedur Pengujian .....	80
4.2.3	Hasil Pengujian dan Analisis .....	80
4.3	Pengujian Hasil Pembuatan Deret Sensor Serat Optik .....	82
4.3.1	Tujuan Pengujian .....	82
4.3.2	Prosedur Pengujian .....	82
4.3.3	Hasil Pengujian dan Analisis .....	82
4.4	Pengujian Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas .....	83
4.4.1	Tujuan Pengujian .....	83
4.4.2	Prosedur Pengujian .....	84
4.4.3	Hasil Pengujian dan Analisis terhadap Gas Benzena.....	84
4.4.4	Hasil Pengujian dan Analisis terhadap Gas Metana .....	85
4.4.5	Hasil Pengujian dan Analisis terhadap Gas N-Heksana .....	86
4.4.6	Hasil Pengujian dan Analisis terhadap Gas Amonia.....	87
4.4.7	Hasil Pengujian dan Analisis terhadap Gas Etil Asetat .....	89
4.4.8	Hasil Pengujian dan Analisis terhadap Gas Aseton .....	90
4.5	Perbandingan Keenam Sampel Gas .....	91
4.5.1	Tujuan Pengujian .....	91
4.5.2	Hasil Pengujian dan Analisis .....	91

4.6	Pengujian Pembelajaran <i>Neural Network</i> .....	92
4.6.1	Tujuan Pengujian.....	92
4.6.2	Prosedur Pengujian.....	92
4.6.3	Hasil Pengujian dan Analisis.....	92
4.7	Pengujian Sistem Aliran Udara.....	93
4.7.1	Tujuan Pengujian.....	93
4.7.2	Tujuan Pengujian.....	93
4.7.3	Hasil Pengujian dan Analisis.....	93
4.8	Pengujian Kontrol Suhu.....	94
4.8.1	Tujuan Pengujian.....	94
4.8.2	Prosedur Pengujian.....	95
4.8.3	Hasil Pengujian dan Analisis.....	95
4.9	Pengujian sensitivitas sensor serat optik terhadap perubahan suhu dengan kelembaban tetap.....	97
4.9.1	Tujuan Pengujian.....	97
4.9.2	Prosedur Pengujian.....	97
4.9.3	Hasil Pengujian dan Analisis.....	97
4.10	Pengujian sensitivitas sensor serat optik terhadap perubahan kelembaban dengan suhu tetap.....	102
4.10.1	Tujuan Pengujian.....	102
4.10.2	Prosedur Pengujian.....	103
4.10.3	Hasil Pengujian dan Analisis.....	103
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		109
5.1	Kesimpulan.....	109
5.2	Saran.....	110
DAFTAR PUSTAKA.....		111
LAMPIRAN.....		115
RIWAYAT HIDUP PENULIS.....		131

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja Interferometer Fabry Perot.....	10
Gambar 2.2 Struktur Susunan Serat Optik.....	13
Gambar 2.3 Konsentrasi Material Penyusun Serat Optik pada Inti ( <i>Core</i> ) dan <i>Cladding</i> .....	13
Gambar 2.4 Pola Lintasan Cahaya pada Inti ( <i>Core</i> ) Serat Optik.....	14
Gambar 2.5 Sinar Cahaya Datang pada Bidang Batas.....	15
Gambar 2.6 <i>Numerical Aperture</i> pada Serat Optik.....	16
Gambar 2.7 Bentuk dari <i>Y-coupler Splitter</i> dan <i>Combiner</i> .....	17
Gambar 2.8 Proses Penyerapan Molekul Uap Gas ( <i>Swelling</i> ) pada Polimer.....	20
Gambar 2.9 Ilustrasi Arah Sinyal pada Jaringan <i>Neuron</i> .....	21
Gambar 2.10 Struktur Jaringan Syaraf Tiruan.....	23
Gambar 2.11 Blok Diagram Algoritma <i>Error Backpropagation</i> .....	24
Gambar 2.12 Spektrum Gelombang Cahaya.....	27
Gambar 2.13 Perbandingan Susunan Atom pada Zat Padat, Cair dan Gas.....	28
Gambar 2.14 Perubahan Wujud dari Zat Padat, Cair dan Gas.....	28
Gambar 2.15 Modul ADS1115.....	30
Gambar 2.16 Rangkaian <i>Low Pass Filter</i> .....	31
Gambar 2.17 Respon Frekuensi <i>Low Pass Filter</i> .....	31
Gambar 2.18 Rangkaian penguat <i>non-inverting</i> .....	32
Gambar 2.19 Diagram Blok Sistem Kontrol PID.....	33
Gambar 2.20 (a) Bentuk Skema dari <i>Deformable Interferometer Sensor</i> . (b) Prinsip Kerja Sensor: Polimer Mengembang Setelah Terjadi Penyerapan dan Mendorong Terjadinya Pergeseran Panjang Gelombang Resonansi.....	35
Gambar 2.21 Respon Hasil Pengujian Empat Kombinasi <i>Analyte</i> -Polimer dari <i>M-xylene</i> (XYL), <i>Cyclohexane</i> (CY), PDMS, dan <i>Phenyl-doped Copolymer</i> (PDMS–PDPS). <i>Linear Fits</i> Digambarkan pada Tiap Sensitivitasnya.....	36
Gambar 2.22 Skema Diagram Interferometer Fabry Perot Sebagai Sensor Hidrogen yang Dirancang pada Penelitian.....	37

Gambar 2.23 Performansi Pengukuran dari Sensor Hidrogen Interferometer Fabry Perot .....	37
Gambar 2.24 Interferometer Fabry Perot dengan Rongga yang Terisi Lapisan ZnO: (a) Konfigurasi Simetris, (b) Konfigurasi Asimetris; $h$ merupakan ketebalan rongga, $M_1$ , $M_2$ merupakan <i>cavity mirror</i> .....	38
Gambar 2.25 Spektrum Sinyal yang Diukur Selama Pemanasan: (a) Rentang Pengukuran 910-980 nm, (b) Rentang Pengukuran 920-950 nm .....	39
Gambar 2.26 Spektrum Sinyal yang Diukur Selama Pendinginan: (a) Rentang Pengukuran 910-980 nm, (b) Rentang Pengukuran 920-950 nm .....	39
Gambar 2.27 Skema Ilustrasi Desain Ujung yang Meruncing .....	40
Gambar 2.28 Plot Grafik PO <sub>2</sub> terhadap Waktu untuk Sensor Oksigen Serat Optik yang Dibuat dari Tiga Matriks Polimer yang Berbeda dengan Perubahan <i>Step</i> PO <sub>2</sub> dari 3 kPa sampai 21 kPa.....	41
Gambar 2.29 Diagram <i>Fishbone</i> Penelitian .....	42
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Keseluruhan.....	43
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem Perangkat Keras .....	44
Gambar 3.3 Perancangan Sistem Klasifikasi Uap Pelarut Organik.....	46
Gambar 3.4 Diagram Blok Sistem Klasifikasi Uap Pelarut Organik (a) Proses Pembelajaran, (b) Proses Klasifikasi.....	47
Gambar 3.5 Proses Pelapisan Polimer pada Ujung Serat Optik.....	49
Gambar 3.6 Ilustrasi Pemilihan Data Pembelajaran dan Klasifikasi.....	51
Gambar 3.7 Arsitektur Jaringan <i>Neural Network</i> .....	53
Gambar 3.8 Diagram Alir Pelatihan <i>Neural Network</i> dengan Banyak Pola .....	56
Gambar 3.9 <i>Coupler</i> Serat Optik 1x2.....	57
Gambar 3.10 Sensor Interferometer Optik (a) Prinsip Kerja Sensor (b) Rangkaian Sensor .....	58
Gambar 3.11 Skematik Rangkaian Pengkondisi Sinyal Terdiri dari LPF dan Penguat <i>Non-inverting</i> .....	59
Gambar 3.12 Skematik Rangkaian ADS1115 .....	60
Gambar 3.13 Sistem Pompa Udara.....	62
Gambar 3.14 Silika Gel Saat Kondisi Jenuh dan Kondisi Baik .....	63

Gambar 3.15 Tabung Silika Gel .....	63
Gambar 3.16 Wadah Sensor Serat Optik .....	64
Gambar 3.17 Diagram Blok Kontrol Suhu dengan Kontrol PID .....	65
Gambar 3.18 Sensor Suhu dan Kelembaban SHT11 .....	66
Gambar 3.19 Skematik Rangkaian SHT11 .....	67
Gambar 3.20 Skematik Rangkaian <i>Driver</i> Pemanas.....	67
Gambar 3.21 Elemen <i>Heater</i> 12Vdc 50W .....	68
Gambar 3.22 Kipas Pendingin 5Vdc.....	68
Gambar 3.23 Rangkaian <i>Driver</i> Kipas Pendingin .....	68
Gambar 3.24 Desain Antarmuka Perangkat Lunak (a) <i>Sensor Output</i> (b) <i>Change Output Voltage</i> .....	71
Gambar 3.25 Susunan Data Pembelajaran pada <i>data sensor.xls</i> .....	75
Gambar 3.26 Susunan Data Target Keluaran pada <i>data target.xls</i> .....	75
Gambar 4.1 Hasil Normalisasi Sensor Serat Optik dengan Tidak Terlapis Polimer dan Terlapis Polimer .....	79
Gambar 4.2 Grafik Nilai Tegangan Pengujian Awal.....	82
Gambar 4.3 Respon Tegangan Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Benzena .....	84
Gambar 4.4 Hasil Normalisasi Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Benzena .....	85
Gambar 4.5 Respon Tegangan Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Metana .....	86
Gambar 4.6 Hasil Normalisasi Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Metana .....	86
Gambar 4.7 Respon Tegangan Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas N-Heksana .....	87
Gambar 4.8 Hasil Normalisasi Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas N-Heksana .....	87
Gambar 4.9 Respon Tegangan Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Amonia .....	88
Gambar 4.10 Hasil Normalisasi Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Amonia .....	88

Gambar 4.11 Respon Tegangan Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Etil Asetat.....	89
Gambar 4.12 Hasil Normalisasi Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Etil Asetat.....	89
Gambar 4.13 Respon Tegangan Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Aseton .....	90
Gambar 4.14 Hasil Normalisasi Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Aseton .....	90
Gambar 4.15 Hasil Normalisasi dari Tiap-tiap Sensor Serat Optik terhadap Berbagai Sampel Gas Uji .....	91
Gambar 4.16 Pengecekan Sistem Aliran Udara .....	94
Gambar 4.17 Skema Pengujian Kontrol Suhu.....	95
Gambar 4.18 Grafik Respon Suhu, (a) <i>Set Point</i> 30°C; (b) <i>Set Point</i> 35°C; (c) <i>Set Point</i> 40°C; (d) <i>Set Point</i> 45°C.....	95
Gambar 4.19 Grafik Pengujian Sensor Serat Optik pada RH 30% .....	98
Gambar 4.20 Grafik Pengujian Sensor Serat Optik pada RH 40% .....	99
Gambar 4.21 Grafik Pengujian Sensor Serat Optik pada RH 50% .....	100
Gambar 4.22 Grafik Pengujian Sensor Serat Optik pada RH 60% .....	102
Gambar 4.23 Grafik Pengujian Sensor Serat Optik pada Suhu 30°C.....	103
Gambar 4.24 Grafik Pengujian Sensor Serat Optik pada Suhu 35°C.....	105
Gambar 4.25 Grafik Pengujian Sensor Serat Optik pada Suhu 40°C.....	106
Gambar 4.26 Grafik Pengujian Sensor Serat Optik pada Suhu 45°C.....	107

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis-jenis Bahan Polimer.....	19
Tabel 2.2 Penguatan dan Tingkat Resolusi pada ADS1115 .....	30
Tabel 2.3 Pengaruh Perubahan Parameter $K_p$ , $K_i$ , dan $K_d$ terhadap Respon Sistem .....	34
Tabel 3.1 Jenis Polimer yang Dilapiskan pada Sensor Serat Optik.....	49
Tabel 3.2 Nilai Target pada Proses Pembelajaran .....	53
Tabel 3.3 Jenis Senyawa Organik yang Diujikan .....	61
Tabel 3.4 Konfigurasi Sistem Katup Aliran Udara.....	63
Tabel 4.1 Hasil Pengujian <i>Neural Network</i> untuk Klasifikasi.....	81
Tabel 4.2 Nilai Tegangan Pengujian Awal Sensor Serat Optik.....	83
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Pembelajaran <i>Neural Network</i> .....	93
Tabel 4.4 Hasil Pengecekan Sistem Aliran Udara .....	94
Tabel 4.5 Regresi Linier Perubahan Suhu pada RH 30% .....	98
Tabel 4.6 Regresi Linier Perubahan Suhu pada RH 40% .....	100
Tabel 4.7 Regresi Linier Perubahan Suhu pada RH 50% .....	101
Tabel 4.8 Regresi Linier Perubahan Suhu pada RH 60% .....	102
Tabel 4.9 Regresi Linier Perubahan Kelembaban pada Suhu 30°C.....	104
Tabel 4.10 Regresi Linier Perubahan Kelembaban pada Suhu 35°C.....	105
Tabel 4.11 Regresi Linier Perubahan Kelembaban pada Suhu 40°C.....	106
Tabel 4.12 Regresi Linier Perubahan Kelembaban pada Suhu 45°C.....	107

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Gas menjadi faktor penting dalam kehidupan karena pengaruhnya yang besar terhadap keberlangsungan kehidupan di bumi. Wujud gas dapat dihasilkan dari zat padat atau cair melalui proses pemanasan dan penguapan. Gas dapat dihasilkan dari terjadinya proses pencampuran beberapa senyawa, baik yang dihasilkan oleh proses siklus di alam, proses pengolahan industri, maupun proses biologi yang dihasilkan oleh makhluk hidup. Salah satu contohnya adalah gas yang berasal dari uap yang dihasilkan oleh senyawa organik. Senyawa organik cenderung beralih dari kondisi cair ke kondisi gas pada temperatur ruang. Uap yang dihasilkan dari senyawa organik dapat berakumulasi dalam satu ruangan. Pengidentifikasian gas perlu dilakukan agar dapat diketahui kandungan senyawa yang terdapat di dalamnya. Terkadang, gas yang dihasilkan berada dalam jumlah konsentrasi yang rendah, sehingga akan sangat sulit untuk dideteksi oleh indera penciuman manusia.

Pentingnya pengidentifikasian gas dalam konsentrasi yang rendah, memunculkan berbagai penelitian yang terkait dengan usaha dalam pengembangan dan peningkatan sensitivitas sensor gas. Pengidentifikasian dalam jumlah konsentrasi gas yang rendah dapat diaplikasikan pada beberapa bidang. Pada bidang militer, pengidentifikasian gas dilakukan terhadap gas eksplosif yang mudah meledak dan terbakar (Bae dkk, 2013). Sedangkan pada bidang industri, pengidentifikasian gas dilakukan untuk mengontrol tingkat kualitas udara dengan mengukur tingkat polutan yang dihasilkan oleh proses industri (Nebath dkk, 2014). Pada bidang biomedis, pengidentifikasian gas dilakukan terhadap gas hembus nafas dan urin yang dihasilkan manusia untuk mendiagnosis suatu penyakit (Kaushal, 2014).

Di bidang industri, instansi pemerintah dan organisasi profesional telah menetapkan batas paparan yang dibawa melalui udara untuk beragam bahan kimia. Batas ini dimaksudkan untuk mendefinisikan kondisi tempat kerja dimana dianggap

hampir semua pekerja dapat terpapar secara rutin tanpa menimbulkan dampak merugikan bagi kesehatan (Nebath dkk, 2014). Lingkungan industri merupakan daerah yang rentan terkena dampak dari paparan uap dan gas yang dihasilkan oleh senyawa organik secara kontinyu. Aseton ( $C_3H_6O$ ), benzena ( $C_6H_6$ ), dan n-heksana ( $C_6H_{14}$ ) tergolong senyawa organik beracun yang mudah terbakar dan mudah menyala. Senyawa organik tersebut banyak digunakan sebagai bahan aditif dalam berbagai produk seperti cat kuku, rokok, bensin, pewarna, parfum, bahan peledak, cat dan tiner, perekat, dan lainnya. Paparan atau kontak dengan senyawa tersebut untuk waktu yang lama atau secara berlebihan dapat menimbulkan gejala yang merugikan terhadap kesehatan. Beberapa dampak kesehatan yang dapat ditimbulkan adalah iritasi saluran pernafasan atas, gangguan sistem saraf dan menyebabkan sakit kepala. Bila uap senyawa masuk ke dalam paru-paru, maka dapat menimbulkan luka dan merangsang sel-sel kanker.

Senyawa organik lain yang banyak digunakan di lingkungan industri adalah Etil asetat ( $C_4H_8O_2$ ). Senyawa ini tergolong berbahaya karena sifatnya yang mudah terbakar dan menimbulkan bahaya iritasi pada kulit, mata, hidung, dan tenggorokan. Etil asetat juga bersifat seperti narkotik, merusak hati, dan menyebabkan anemia. Etil asetat banyak digunakan sebagai bahan pelarut cat, bahan baku pembuatan plastik, bahan baku industri tinta cetak, bahan baku bagi pabrik parfum, flavor, kosmetik, dan bahan pengeras cat kuku. Penggunaan cat kuku maupun kosmetik terlalu sering berbahaya bagi kehamilan karena dapat menembus barier plasenta dan merusak janin. Uap gas senyawa yang terhirup dapat masuk ke paru-paru dan meracuni tubuh. Bagi sebagian orang yang peka, uap gas yang terhirup dapat membuat pusing, sedangkan sebagian yang lain tidak merasakannya. Meski tidak merasakannya, zat-zat kimia tersebut tetap membahayakan jika digunakan dalam jangka panjang. Dalam bidang entomologi, penggunaan etil asetat yang paling efektif adalah menyebabkan sesak nafas yang digunakan untuk mengumpulkan atau membunuh serangga.

Gas senyawa lain yang sering digunakan di industri adalah amonia ( $NH_3$ ) dan metana ( $CH_4$ ) yang berbentuk gas pada suhu kamar. Pada umumnya, amonia ( $NH_3$ ) digunakan untuk pupuk serta fabrikasi serat dan plastik. Administrasi

Keselamatan dan Kesehatan Pekerjaan Amerika Serikat memberikan batas kontak 15 menit untuk gas amonia berkonsentrasi 35 ppm, atau kontak selama 8 jam untuk gas berkonsentrasi 25 ppm (Nebath dkk, 2014). Gas amonia ( $\text{NH}_3$ ) dapat menyebabkan gangguan sistem pernapasan, bronkitis, dan merusak indera penciuman. Gas metana ( $\text{CH}_4$ ) merupakan gas alam yang menjadi bahan bakar utama dalam proses industri. Metana tidak beracun, tapi sangat mudah terbakar dan dapat menimbulkan ledakan apabila bercampur dengan udara. Metana mudah terbakar bila konsentrasinya mencapai 5-15% di udara. Gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dapat masuk ke dalam interior sebuah gedung yang dekat dengan tempat pembuangan akhir dan menyebabkan orang didalamnya terpapar metana.

Terdapat beberapa kasus di industri kimia yang berkenaan dengan peristiwa keracunan dan ledakan akibat gas senyawa organik. Peristiwa keracunan gas amonia ( $\text{NH}_3$ ) terjadi sebanyak empat kali selama rentang tahun 2010 sampai 2011 dan pada tahun 2015 di PT. Pupuk Iskandar Muda (PIM), Aceh Utara. Ratusan orang penduduk desa Tambon Buroh dan Tambon Kunong di sekitar lokasi pabrik harus dilarikan ke rumah sakit karena mengalami mual, pusing, sakit tenggorokan, gangguan pernapasan akut dan beberapa diantaranya pingsan akibat peristiwa keracunan gas amonia (Afif, 2015). Keracunan gas amonia ( $\text{NH}_3$ ) disebabkan oleh kebocoran gas akibat kerusakan alat instrumen kontrol pada pabrik urea tersebut. Sedangkan pada awal tahun 2016 terjadi ledakan gas di industri pertambangan Rusia yang telah menewaskan 36 orang (Haryono, 2016). Tiga kali ledakan gas yang terjadi di tambang batubara Severnaya, Vorkuta diakibatkan oleh kebocoran gas metana ( $\text{CH}_4$ ). Kecelakaan dipicu oleh fenomena alam dan peristiwa geologi. Selain itu, pada tahun 2016 juga terjadi peristiwa keracunan gas yang berdampak pada ratusan murid di sekolah dekat dengan pabrik kimia di provinsi Jiangsu, Cina (Jing, 2016). Sekitar 500 murid mengalami gangguan kesehatan selama berbulan-bulan di sekolah tersebut, seperti kelainan darah, bronchitis, dan beberapa diantaranya mengalami kanker. Berdasarkan hasil tes kesehatan yang dilakukan pada tiap murid, ditemukan kandungan polutan kimia yang bersifat karsinogenik berupa aseton ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ), n-heksana ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ ), dan benzena ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) di udara. Satu tahun sebelumnya, terjadi kebakaran yang dimulai oleh dua ledakan besar di kota Tianjin,

Cina. Ledakan terjadi di daerah pelabuhan yang menghancurkan sebuah gudang industri. Sedikitnya 50 orang tewas dan 700 terluka. Ledakan berasal dari container pengiriman milik Ruihai International Logistics, perusahaan yang menangani bahan kimia mulai gas dan cairan yang mudah terbakar seperti gas alam terkompresi dan etil asetat ( $C_4H_8O_2$ ), hingga bahan kimia beracun termasuk natrium sianida dan toluene diisosiyanat. Menurut sebuah laporan dari situs pemerintah setempat, dari 4.235 kontainer yang diperiksa, lima gagal dalam inspeksi karena kemasannya tidak sesuai standar (Dearden, 2015).

Pada bidang biomedis, analisis pada gas hembus nafas manusia dapat digunakan untuk melakukan diagnosis terhadap suatu penyakit yang bersifat *non invasive*. Gas hembus nafas manusia terdiri dari gas nitrogen, oksigen, uap air ( $H_2O$ ) dan karbon dioksida ( $CO_2$ ). Sedangkan sebagian besar lainnya terdiri dari senyawa organik yang mudah menguap yang berada pada konsentrasi ppb (*part per billion* =  $10^{-9}$  atm) sampai ppt (*part per trillion* =  $10^{-12}$  atm). Sampai saat ini, dalam pernapasan manusia normal telah teridentifikasi lebih dari 3500 jenis senyawa organik yang mudah menguap dan terus bertambah jenisnya. Sekitar 35 jenis senyawa diantaranya telah ditetapkan sebagai gas *biomarker* (penanda biologis) yang berhubungan dengan metabolisme patologi tertentu untuk membedakan beberapa macam penyakit tertentu. Beberapa jenis gas penanda biologis pada sampel napas manusia diantaranya gas aseton ( $C_3H_6O$ ) dan metanol sebagai penanda biologis penyakit diabetes mellitus (DM), gas benzena untuk kanker paru-paru, gas amonia ( $NH_3$ ) untuk gagal ginjal (Kaushal, 2014). Dengan adanya metode analisis pada gas hembus manusia, dimungkinkan untuk dapat melakukan diagnosis penyakit tertentu dan menentukan cara tepat melakukan pengobatan/perawatan yang dapat dilakukan pada semua orang dan segala usia tanpa menimbulkan resiko dan efek samping pada pasien. Metode analisis gas hembus manusia dilakukan pada jumlah konsentrasi gas yang rendah, sehingga dibutuhkan sensor gas yang memiliki sensitivitas dan selektivitas yang tinggi dalam melakukan pengidentifikasian gas.

Sensor gas diperlukan dalam proses pengukuran konsentrasi dan identifikasi gas. Saat ini telah banyak terdapat berbagai jenis sensor gas, diantaranya menggunakan semikonduktor metal oksida, yang secara komersil

memiliki tingkat sensitivitas yang rendah, yaitu hanya dapat melakukan pengukuran konsentrasi gas pada rentang 10-10000 ppm. Sedangkan manusia hanya memiliki kemampuan untuk membau gas pada konsentrasi minimal 10 ppm. Sensor semikonduktor metal oksida telah dikembangkan dengan teknologi *thick film* (Widodo, 2014) yang digunakan untuk mengukur konsentrasi gas nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan didapatkan hasil bahwa sensor sensitif terhadap perubahan konsentrasi yang hanya mencapai 10 ppm. Selain itu, sensor juga harus membutuhkan pemanas dengan suhu mencapai  $350^\circ\text{C}$  untuk pengaktifannya dan konsumsi daya sensor yang lebih besar hingga 12,5 watt. Sensor juga menjadi kurang sensitif karena mudah terpengaruh oleh interferensi medan listrik, karena sensor bekerja menggunakan arus listrik.

Pada penelitian yang dilakukan Shang dkk, sensor gas dirancang dengan melapiskan Si dan lapisan tipis *chitosan* yang digabungkan dengan polimer *glycidoxypropyltrimethoxysilane* (GPTMS) untuk mendeteksi gas amonia ( $\text{NH}_3$ ). Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sensor memiliki respon yang linier pada rentang konsentrasi gas  $\text{NH}_3$  dari 0 ppm sampai 120 ppm. Tetapi, respon sensor menjadi tidak linier ketika berada pada level konsentrasi yang tinggi. Selain itu, sensor gas  $\text{NH}_3$  yang dirancang hanya dapat mengukur konsentrasi gas sampai 0.5 ppm. Sensor gas yang dirancang mudah terpengaruh oleh perubahan kelembaban dan perubahan suhu, sehingga menyebabkan sensitivitas sensor menjadi berkurang.

Sebagai suatu pengembangan sensor di bidang optik, metode interferometri optik digunakan untuk meningkatkan sensitivitas sensor dalam melakukan pengidentifikasian gas karena memiliki beberapa kelebihan, yaitu memiliki sensitivitas tinggi, respon cepat, konsumsi daya rendah, stabil pada suhu panas, dan tahan terhadap interferensi medan listrik maupun medan magnet (Lee dkk, 2012). Interferometer optik terdiri dari beberapa jenis, yang umumnya digunakan adalah interferometer Mach-Zehnder, interferometer Michelson, interferometer Fabry-Perot. Namun pada penelitian ini digunakan interferometer Fabry Perot sebagai sensor untuk mengklasifikasi jenis gas. Interferometer Fabry Perot dipilih karena kelebihannya yaitu konfigurasi yang relatif sederhana dan lebih

mudah diaplikasikan pada serat optik sebagai sensor, biaya yang lebih murah, ukurannya yang kecil dan memiliki resolusi yang tinggi (Zhang dkk, 2014).

Penelitian yang akan dilakukan bertujuan untuk melakukan pengklasifikasian gas terhadap beberapa jenis gas dari senyawa organik yang mudah menguap, seperti benzena ( $C_6H_6$ ), metana ( $CH_4$ ), n-heksana ( $C_6H_{14}$ ), amonia ( $NH_3$ ), etil asetat ( $C_4H_8O_2$ ), dan aseton ( $C_3H_6O$ ). Pada penelitian ini dirancang sensor gas yang memiliki sensitivitas yang tinggi dengan mengaplikasikan interferometer Fabry Perot pada serat optik yang dilapisi dengan polimer tertentu pada ujung serat optik. Interferometer Fabry perot digunakan untuk meningkatkan kemampuan dan sensitivitas sensor terhadap perubahan yang sangat kecil. Dengan adanya sedikit perubahan ketebalan polimer, maka telah dapat dihasilkan perubahan intensitas cahaya akibat hasil dari interferensi cahaya. Sedangkan penggunaan polimer dimaksudkan untuk meningkatkan sensitivitas dan selektivitas terhadap jenis gas uji tertentu. Dengan digunakannya polimer, maka jumlah molekul gas yang diserap polimer juga semakin banyak dan meningkatkan sensitivitas sensor terhadap konsentrasi gas yang rendah. Untuk melakukan proses klasifikasi jenis gas pada lebih dari empat buah sampel gas uji berbeda, diperlukan minimal tiga buah sensor agar diperoleh jenis gas tertentu sesuai pola karakteristik dari gas yang diuji. Jika hanya digunakan satu atau dua sensor saja, maka kemampuan sensor dalam melakukan klasifikasi menjadi kurang akurat (Gunawan dan Azhari, 2011).

Tiga jenis polimer yang berbeda dilapiskan pada tiga buah serat optik yang sama dan diletakkan di dalam sebuah wadah (*chamber*) sensor. Ketiga jenis polimer yang digunakan pada penelitian antara lain OV-101, OV-17, dan PEG-1540. Ketiga jenis polimer tersebut digunakan karena bahan-bahan tersebut merupakan jenis polimer yang biasa digunakan sebagai bahan pelapis pada sensor gas. Selain itu, bahan-bahan tersebut juga mempunyai nilai konduktivitas dan sensitivitas yang berbeda untuk setiap gas. Semakin besar nilai konduktivitas, maka semakin baik bila digunakan sebagai bahan pelapis sensor (Gunawan dan Azhari, 2011). Polimer tersebut akan mengalami efek *swelling* atau efek mengembang jika terpapar gas.

Polimer akan berinteraksi dengan gas uji tertentu berdasarkan kesamaan tingkat *polar* antara gas uji dengan polimer. Polimer *polar* akan berikatan secara kuat dengan senyawa gas uji yang *polar* sedangkan polimer *non-polar* akan cenderung berikatan secara kuat dengan senyawa gas uji yang *non-polar*. Polimer OV-101 digunakan karena merupakan jenis polimer *non-polar* dan menghasilkan respon cepat ketika berikatan dengan senyawa gas uji *non-polar* seperti benzena, metana, dan lainnya. Sedangkan OV-17 bersifat *mid-polar* dan cenderung berikatan dengan senyawa *non-polar* maupun *polar*. Sedangkan PEG-1540 merupakan polimer poli etilen glikol yang bersifat *polar* sehingga cenderung memberi respon naik untuk kepolaran senyawa gas yang tinggi, seperti aseton, amonia, dan lainnya. Jika beda polaritas antara gas dan polimer semakin kecil, maka akan menyebabkan ikatan yang lebih kuat di antara molekulnya (Mulyadi dan Rivai, 2011).

Perbedaan nilai perubahan tegangan yang dihasilkan dari tiap jenis polimer pada interferometer optik digunakan untuk melakukan proses klasifikasi jenis gas tertentu. Proses pengklasifikasian jenis gas dilakukan dengan menggunakan algoritma Jaringan Syaraf Tiruan *Error Backpropagation* karena kemampuan dalam generalisasi dari suatu pola tertentu sehingga kebal terhadap adanya kesalahan data akibat *noise*. Algoritma jaringan syaraf tiruan memiliki kemampuan untuk belajar secara adaptif, proses perhitungan yang lebih singkat, dan memiliki akurasi perhitungan yang lebih baik dalam melakukan proses identifikasi dan klasifikasi sehingga selektif terhadap gas tertentu (Rivai dkk, 2012).

## 1.2 Rumusan Masalah

Secara umum perumusan masalah pada penelitian ini adalah untuk mengetahui metode yang digunakan dalam meningkatkan sensitivitas sensor gas di bidang optik pada proses identifikasi dan klasifikasi gas tertentu. Adapun permasalahan dalam penelitian ini secara terperinci dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana meningkatkan sensitivitas sensor gas dalam proses pengklasifikasian jenis gas.
2. Bagaimana menentukan tingkat sensitivitas sensor gas terhadap gas uji yang diberikan.

3. Bagaimana pengaruh suhu dan kelembaban terhadap perubahan sensitivitas sensor gas.
4. Bagaimana pengaruh berbagai jenis gas yang diuji terhadap sensor gas yang dirancang.
5. Bagaimana merancang deret sensor gas yang digunakan untuk mengklasifikasi berbagai jenis gas.
6. Bagaimana melakukan proses klasifikasi gas dalam mengetahui performansi sensor gas.

### **1.3 Maksud dan Tujuan**

Secara umum tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan sensitivitas sensor gas dalam melakukan proses identifikasi dan klasifikasi jenis gas tertentu. Tujuan dari penelitian ini secara lebih spesifik adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh interferometer Fabry Perot untuk diaplikasikan pada serat optik yang terlapis polimer untuk meningkatkan sensitivitas sensor gas dalam pengklasifikasian jenis gas.
2. Memperoleh tingkat sensitivitas sensor gas terhadap pola serapan gas yang dihasilkan oleh polimer pada interferometer optik.
3. Menghasilkan proses pengidentifikasian gas yang lebih akurat dan kondisi sistem klasifikasi yang lebih stabil.
4. Memperoleh pola serapan gas yang dihasilkan dari polimer yang digunakan pada interferometer optik.
5. Memperoleh deret sensor serat optik yang terlapis polimer berbeda yang digunakan untuk proses pengklasifikasian gas.
6. Mengaplikasikan algoritma jaringan syaraf tiruan *Neural Network* untuk melakukan proses identifikasi dan klasifikasi jenis gas.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Dari hasil penelitian ini akan diperoleh manfaat antara lain untuk menghasilkan sensor gas yang memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi sehingga dapat digunakan dalam pengidentifikasian dan klasifikasi berbagai jenis gas untuk diaplikasikan dalam monitoring dan analisis gas, baik dalam bidang militer, industri, maupun biomedis.

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

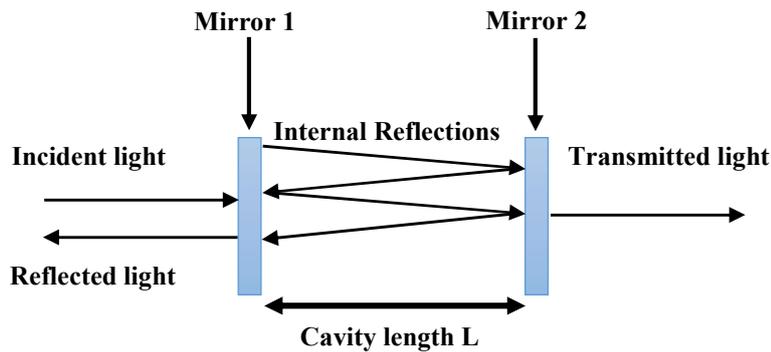
Bab ini membahas tentang kajian pustaka dan dasar teori yang digunakan pada penelitian ini. Untuk melakukan proses identifikasi dan klasifikasi gas menggunakan interferometer Fabry Perot ada beberapa konsep dasar yang akan dibahas, berikut adalah teori pendukung dari penelitian tersebut.

#### **2.1 Interferometer Fabry Perot**

Interferensi merupakan perpaduan dari dua atau lebih gelombang menjadi satu gelombang baru sebagai akibat dari berlakunya prinsip superposisi. Jika kedua gelombang yang terpadu sefase, maka terjadi interferensi konstruktif (saling menguatkan) dan gelombang resultan memiliki amplitudo maksimum. Jika kedua gelombang yang terpadu berlawanan fase, maka terjadi interferensi destruktif (saling melemahkan) dan gelombang resultan memiliki amplitudo nol. Terjadinya interferensi dapat menimbulkan pola gelap terang (monokromatik) dan pelangi (polikromatik).

Beda fase dua gelombang yang bersuperposisi dapat terjadi karena perbedaan jarak tempuhnya meskipun pada sumbernya keduanya sefase. Agar interferensi konstruktif atau destruktif dapat terjadi terus menerus, maka sumber-sumber gelombangnya harus menghasilkan gelombang yang koheren. Dua gelombang dikatakan koheren jika beda fasenya tetap. Perbedaan fase disebabkan oleh adanya perbedaan panjang lintasan dan juga karena pembalikan fase saat gelombang dipantulkan oleh medium yang lebih rapat.

Interferometer merupakan alat yang digunakan untuk menghasilkan gelombang yang koheren sehingga interferensi bias terjadi. Interferometer Fabry Perot adalah piranti optik untuk menghasilkan satu frekuensi atau panjang gelombang tertentu (monokromatik). Interferometer ini memanfaatkan efek pemantulan jamak (*multiple reflection*) sebagai mekanisme pembelahan intensitas gelombang. Fabry Perot banyak digunakan sebagai resonator dalam laser.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Interferometer Fabry Perot (Lee, 2013)

Interferometer Fabry Perot terdiri dari dua cermin dielektrik yang dipasang sangat dekat, dimana gelombang / cahaya mengalami multi pemantulan dan transmisi, seperti pada sistem interferensi multi-berkas. Intensitas pantul maupun intensitas yang diteruskan oleh interferometer ini merupakan fungsi dari beda fase antara berkas cahaya pantul yang berurutan. Karena beda fase merupakan fungsi dari tebal lapisan dielektrik, sudut datang sinar dan faktor refleksi permukaan dielektrik, maka perubahan terhadap ketiga besaran tersebut akan mengubah intensitas pantul interferometer.

Untuk mendapatkan interferensi cahaya dibutuhkan minimal dua cahaya. Interferometer Fabry Perot merupakan alat yang dapat menampilkan interferensi berganda. Sumber cahaya pada interferometer ini adalah tak terbatas. Interferometer Fabry Perot menggunakan dua cermin yang dipasang paralel sangat dekat (disebut *etalon*), dimana koefisien refleksi dari kedua cermin bernilai hampir sama dengan 1.

Saat sinar datang memasuki dua buah cermin transparan, sebagian sinar ada yang keluar dari cermin (terabsorpsi sebagian) dan sebagian lainnya mengalami pemantulan yang berulang yang terjadi diantara kedua cermin transparan. Sinar yang keluar dari cermin 2 merupakan sinar yang diteruskan keluar (tidak mengalami pemantulan). Sedangkan pada sisi cermin 1, sinar yang keluar dari rongga kedua cermin merupakan sinar refleksi yang mengalami pemantulan. Besar antara sudut fase dari sinar datang pertama dan kedua mempengaruhi interferensi dalam 2 cermin transparan itu. Apabila sudut fase antar 2 sinar itu berjauhan, maka

akan terjadi interferensi destruktif. Apabila sudut fase antara 2 sinar itu berdekatan bahkan berimpit maka terjadi interferensi konstruktif. Pada interferensi konstruktif terjadi pola terang sedangkan pada interferensi destruktif terjadi pola gelap.

Variasi fungsi transmisi dari Interferometer Fabry Perot disebabkan oleh interferensi antara pemantulan cahaya banyak yang terletak di tengah permukaan pantulan. Interferensi konstruksi terjadi ketika sinar yang ditransmisikan sefase dan ini berhubungan dengan puncak transmisi tinggi dari *etalon*. Jika sinar hasil transmisi memiliki beda fase setengah, maka terjadi interferensi destruktif dan berhubungan dengan transmisi minimum. Dimana sinar yang dipantulkan berulang-ulang sefase dan tergantung pada panjang gelombang ( $\lambda$ ), sudut datang yang menuju *etalon* ( $\theta$ ), ketebalan *etalon* ( $L$ ), dan indeks bias material diantara permukaan pantul ( $n$ ). Sehingga beda fase ( $\delta$ ) di antara pemantulan yang terjadi dapat dihitung sesuai dengan Persamaan 2.1,

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} 2nL \cos \theta \quad (2.1)$$

Sedangkan besarnya daya intensitas cahaya yang dihasilkan dari interferensi dapat dinyatakan dalam Persamaan 2.2,

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos\left(\frac{4\pi L}{\lambda}\right) \quad (2.2)$$

dimana  $I_1$  dan  $I_2$  adalah nilai intensitas pemantulan cahaya dari sinar cahaya yang dipantulkan. Jika kedua permukaan memiliki faktor refleksi  $R$ , maka didapatkan fungsi transmisi *etalon* ( $Te$ ) sesuai dengan Persamaan 2.3,

$$Te = \frac{(1-R)^2}{1+R^2} - 2R \cos(\delta) = \frac{1}{L} F \sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right) \quad (2.3)$$

dimana  $F$  merupakan nilai koefisien *finesse* yang dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.4,

$$F = \frac{4R}{(1-R)^2} \quad (2.4)$$

Transmisi maksimum ( $T_e = 1$ ) terjadi ketika  $2nL \cos \theta$  antar tiap sinar yang ditransmisikan merupakan bilangan kelipatan dari panjang gelombang ( $\lambda$ ). Dengan adanya absorpsi, pemantulan interferometer Fabry Perot merupakan komplemen dari transmisi dan refleksi ( $T_e + R_e = 1$ ). Pemantulan maksimum ( $R_{max}$ ) dinyatakan dengan Persamaan 2.5,

$$R_{max} = \frac{(1-L)^2}{1+F} = \frac{4}{(1+R)^2} \quad (2.5)$$

Pemantulan terjadi ketika beda perbedaan panjang sama dengan setengah dari kelipatan panjang gelombang ganjil. Jarak dari panjang gelombang ( $\Delta\lambda$ ) antara puncak transmisi yang berdekatan pada etalon disebut *free spectral range* (FSR), yang dinyatakan dengan Persamaan 2.6,

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_0^2}{2nL \cos \theta} + \lambda_0 \approx \frac{\lambda_0^2}{2nL \cos \theta} \quad (2.6)$$

dimana  $\lambda_0$  adalah nilai tengah panjang gelombang dari transmisi puncak terdekat,  $n$  adalah indeks bias medium pada rongga,  $L$  adalah ketebalan rongga *etalon* dan  $\theta$  adalah besarnya sudut datang. FSR ( $\Delta\lambda$ ) berhubungan dengan *bandwidth* panjang gelombang setengah maksimum ( $\delta\lambda$ ) dari tiap pita transmisi dengan jumlah yang dikenal dengan *finesse* ( $F$ ), sesuai dengan Persamaan 2.7,

$$F = \frac{\Delta\lambda}{\delta\lambda} = \frac{\pi}{2} \arcsin\left(\frac{1}{\sqrt{F}}\right) \quad (2.7)$$

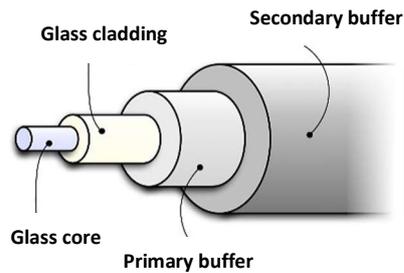
dimana  $F$  merupakan nilai koefisien *finesse*. Pada umumnya dilakukan pendekatan nilai *finesse* ( $F$ ) (untuk nilai faktor refleksi  $R > 0.5$ ) yang dinyatakan dengan Persamaan 2.8,

$$F \approx \frac{\pi\sqrt{F}}{2} = \frac{\pi R^{\frac{1}{2}}}{1-R} \quad (2.8)$$

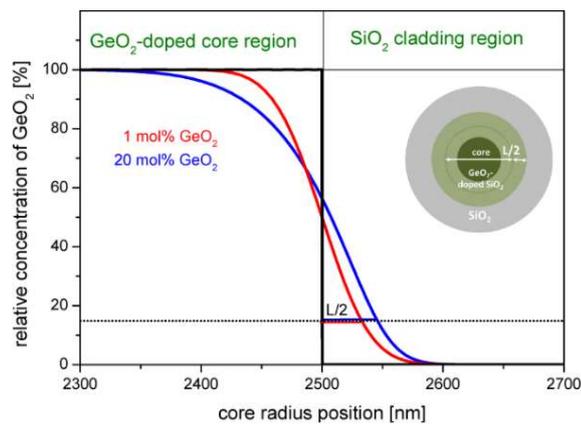
*Etalon* dengan *finesse* ( $F$ ) tinggi memperlihatkan puncak transmisi yang lebih tajam dengan koefisien transmisi ( $T_e$ ) minimum yang lebih rendah.

## 2.2 Serat Optik

Serat optik merupakan sebuah saluran transmisi atau sejenis kabel yang terbuat dari kaca (*silica*) atau plastik yang sangat halus dan berdiameter kurang lebih 125 mikrometer. Serat optik tersusun dari *core*, *cladding*, dan *buffer coating*. *Core* atau inti merupakan serat kaca tipis yang menjadi media cahaya berjalan. Diameternya adalah  $10\ \mu\text{m} - 50\ \mu\text{m}$  dan ukuran *core* sangat mempengaruhi serat optik. *Core* merupakan bagian utama dari serat optik karena perambatan cahaya terjadi disini. *Cladding* merupakan lapisan luar yang melindungi inti dan memantulkan kembali cahaya yang terpancar keluar kembali ke dalam inti. Sedangkan *buffer coating* adalah selubung plastik yang bertujuan melindungi serat dari kerusakan akibat lengkungan kabel dan gangguan luar, seperti kelembaban.



Gambar 2.2 Struktur Susunan Serat Optik (Shah, 2011)



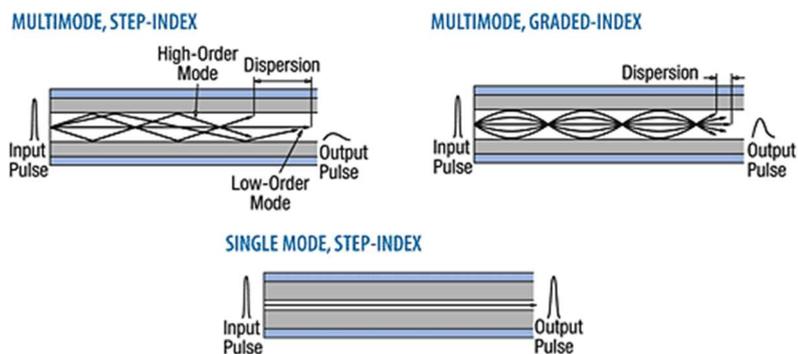
Gambar 2.3 Konsentrasi Material Penyusun Serat Optik pada Inti (*Core*) dan *Cladding* (Shah, 2011)

*Core* tersusun dari campuran SiO<sub>2</sub> dengan GeO<sub>2</sub> dan *cladding* tersusun dari *silica* (SiO<sub>2</sub>), yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3. Penggunaan material yang berbeda menghasilkan indeks bias berbeda antara *core* dengan indeks bias  $n_1$  dan *cladding* dengan indeks bias  $n_2$ , serta lebih besar dari indeks bias di udara. Sehingga serat optik dapat mengisolasi dan menghantarkan cahaya sepanjang jalur intinya.

Serat optik dapat dibedakan berdasarkan bentuk struktur penyusunnya, yaitu *multimode*, *graded index multimode*, dan *singlemode*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Sedangkan berdasarkan susunan indeks biasnya, serat optik *multimode* memiliki dua jenis yaitu *step index* dan *graded index*. Pada jenis serat optik *multimode*, penjaralan cahaya dari satu ujung ke ujung lainnya terjadi dengan melalui beberapa lintasan cahaya pada *core* secara bersamaan, oleh karena itu disebut sebagai *multimode*.

Serat optik *multimode* memiliki karakteristik yaitu indeks bias *core* yang sama dan merata, dilapisi *cladding* yang sangat tipis, terjadi dispersi (pelebaran pulsa akibat perbedaan lintasan sinar antara sinar yang mengalami pemantulan pada dinding serat optik dan yang melewati sumbu *core*).

Pada serat optik jenis *graded index multimode*, indeks bias menurun secara bertahap dari pusat, hingga akhirnya jatuh ke nilai yang sama dengan *cladding* pada tepi dari *core*. Perubahan dari indeks bias menghasilkan *refraction* (pembelokan cahaya) sebagai pengganti dari total *internal reflection*. Semakin jauh cahaya berjalan dari sumbu *core*, kecepatannya semakin cepat. Sehingga dengan adanya



Gambar 2.4 Pola Lintasan Cahaya pada Inti (*Core*) Serat Optik (Shah, 2011)

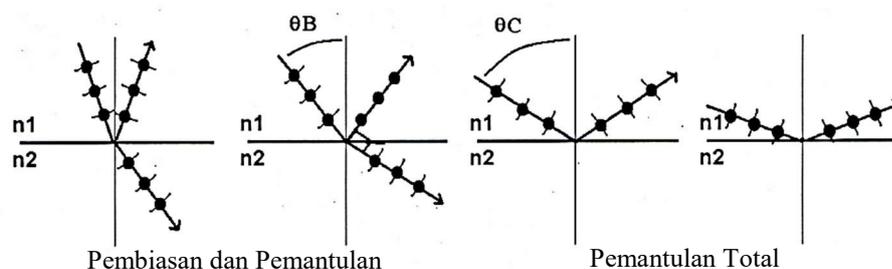
perbedaan kecepatan, mampu mengimbangi untuk lintasan yang lebih jauh dan menyamakan waktu pemancaran dari *mode* yang berbeda serta mengurangi pengaruh dispersi.

Serat optik jenis *singlemode* merupakan serat optik yang didesain untuk membawa hanya satu pancaran cahaya saja (*mode*), dimana sinar yang dipancarkan adalah sinyal tunggal. Pada serat optik *singlemode*, gelombang yang dipancarkan melintasi serat optik dapat memiliki frekuensi yang berbeda. Serat optik *single mode* lebih baik dalam mempertahankan keutuhan dari cahaya karena memiliki modal dispersi yang sempit, sehingga dapat memiliki *bandwidth* yang lebih tinggi.

Terdapat beberapa kelebihan dari serat optik yaitu ukurannya kecil, ringan, lebih tipis dan fleksibel. Selain itu serat tidak terpengaruh oleh gelombang elektromagnetik dan frekuensi radio, karena material penyusunnya yang terbuat dari kaca dan plastik murni. Serat optik juga lebih aman dari gangguan elektrik karena tidak mengalirkan listrik dan tidak menyebabkan kebakaran. Serat optik tahan diberbagai kondisi karena material penyusunnya yang tidak bisa berkarat.

Beberapa karakteristik dari serat optik diantaranya adalah kecepatan propagasi, *numerical aperture (NA)*, dan terjadinya dispersi. *Propagasi* dalam serat optik disebabkan oleh adanya suatu refleksi (pantulan), sedangkan refleksi terjadi akibatnya adanya perbedaan indeks bias antara *core* dengan *cladding*.

Bila berkas cahaya datang dari suatu media yang lebih padat ( $n_1$ ) ke media yang kurang padat ( $n_2$ ) dimana  $n_1 > n_2$  maka pada bidang batas antara kedua media terjadi pantulan. Bila sudut datang melebihi sudut kritis ( $\theta_c$ ) maka diperoleh pantulan total dan bila sudut datang lebih kecil dari sudut kritis akan terjadi pembiasan dan pemantulan sebagian, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Sinar Cahaya Datang pada Bidang Batas (Rivai, 2015)

Kecepatan perambatan cahaya pada medium memiliki kecepatan rambat yang lebih kecil dari kecepatan rambat cahaya pada ruang hampa, seperti yang dinyatakan dengan Persamaan 2.9,

$$v = \frac{c}{n} \quad (2.9)$$

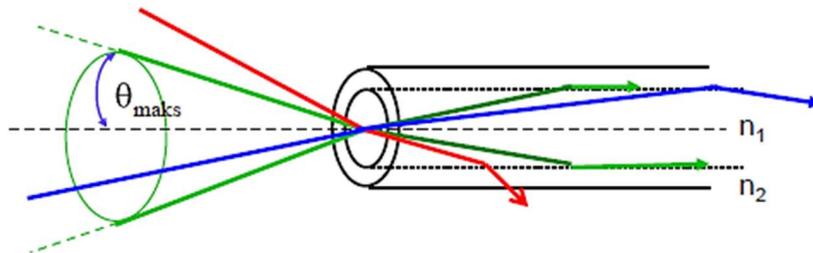
dimana  $v$  adalah kecepatan rambat cahaya pada media,  $c$  adalah kecepatan rambat cahaya pada ruang hampa, dan  $n$  adalah indeks bias media yang dilalui cahaya.

*Numerical aperture (NA)* adalah ukuran kemampuan sebuah serat optik untuk menangkap cahaya, juga dipakai untuk mendefinisikan *acceptance cone* dari sebuah serat optik. Jika medium dimana tempat cahaya memasuki serat optik umumnya adalah udara, maka  $n = 1$  sehingga  $NA = \sin \theta_a$ .

Nilai  $NA$  biasanya sekitar 0.20 sampai 0.29 untuk serat gelas (*glass*), sedangkan serat plastik memiliki  $NA$  yang lebih tinggi dapat melebihi 0.5. Besarnya nilai *Numerical Aperture (NA)* dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.10,

$$NA = \sin \theta_{maks} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.10)$$

dimana  $\theta_{maks}$  adalah sudut cahaya maksimum yang dapat masuk dalam serat optik,  $n_1$  adalah indeks bias *core*, dan  $n_2$  adalah indeks bias *cladding*. *Numerical aperture* dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 2.6. Ketika cahaya datang masuk dengan sudut  $\theta_0$  yang kurang dari  $\theta_{maks}$  maka akan terjadi *totally internally reflected* pada bidang batas *core-cladding*.

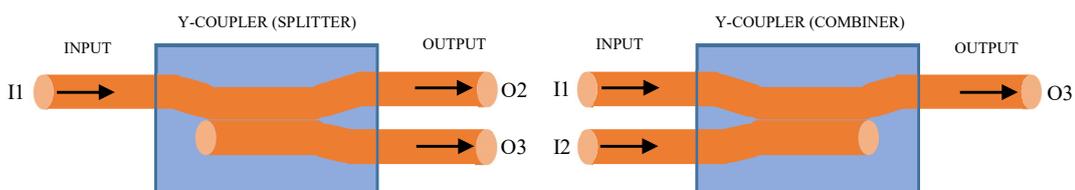


Gambar 2.6 *Numerical Aperture* pada Serat Optik (Rivai, 2015)

*Dispersi* merupakan pelebaran pulsa yang terjadi ketika sinyal merambat melalui sepanjang serat optik yang disebabkan oleh keterbatasan material dan efek linear seperti polarisasi, material dan lainnya. Faktor dispersi ini akan mempengaruhi kualitas sinyal yang akan ditransmisikan dalam jaringan. *Dispersi* akan menyebabkan pulsa-pulsa cahaya memuai dan menjadi lebih lebar, sehingga pada akhirnya mengakibatkan pulsa-pulsa tersebut saling tumpang tindih dengan satu sama lain.

### 2.2.1 Coupler Serat Optik

*Coupler* serat optik merupakan komponen optik yang dapat menggabungkan ataupun memisahkan sinyal optik dari satu atau beberapa serat optik pada jalur masukan ke satu atau beberapa serat optik pada jalur keluaran. Pada *coupler* serat optik terjadi pelemahan sinyal yang lebih besar daripada jenis konektor lainnya. Hal tersebut dikarenakan oleh pembagian sinyal masukan menjadi beberapa sinyal keluaran (pada proses pembagian daya). Pada *coupler* 1x2, setiap sinyal keluaran akan memiliki daya yang lebih kecil dari setengah daya sinyal masukan dan terjadi pelemahan daya optik sebesar 3dB. *Coupler* serat optik dapat difungsikan sebagai pemecah berkas cahaya (*splitter*), pensaklaran optik (*optical switching*), perangkat multipleksing optik WDM dan pembagi daya (*power divider*). Komponen *coupler* serat optik dapat dibuat dengan menggunakan serat optik multimode, yaitu dengan menggabungkan dua buah serat optik multimode dengan panjang interaksi tertentu dengan menggunakan teknik FBT (*Fused Biconical Taper*). *Coupler* serat optik dapat berupa komponen pasif maupun komponen aktif. Pada *coupler* pasif, sinyal optik ditransmisikan tanpa dirubah terlebih dahulu menjadi sinyal listrik. Sedangkan pada *coupler* aktif, sinyal optik dirubah menjadi sinyal listrik terlebih dahulu, dan kemudian dilakukan penggabungan ataupun pemisahan antara satu dengan lainnya.



Gambar 2.7 Bentuk dari *Y-coupler Splitter* dan *Combiner* (Rivai, 2015)

*Y-coupler* merupakan sebuah *coupler* pasif yang memiliki tiga buah jalur, terdiri dari satu jalur masukan dan dua jalur keluaran, yang dinamakan sebagai *coupler* serat optik struktur simetri 1x2. Bentuk dari *coupler* serat optik 1x2 dapat ditunjukkan pada Gambar 2.7. *Y-coupler* dapat membagi daya dari satu jalur masukan serat optik menjadi dua jalur keluaran serat optik. Daya masukan dibagi menjadi dua keluaran. Sebuah pemisah sinyal optik (*optical splitter*) dapat mendistribusikan daya optik pada jumlah output yang tidak genap. Sedangkan sebuah penggabung sinyal optik (*optical combiner*) dapat menggabungkan daya dari beberapa jalur masukan menjadi satu jalur keluaran, dimana daya yang keluar pada jalur masukan hanya 50% dari daya yang masuk pada jalur keluaran.

Performansi dari *coupler* serat optik dapat ditentukan dari beberapa parameter karakteristik penting, yaitu *return loss*, *insertion loss*, *excess loss*, *coupling ratio*, dan *crosstalk*. *Return loss* merupakan perbandingan antara daya yang dipantulkan dengan daya yang ditransmisikan pada proses transmisi. Pada kebanyakan perangkat optik, *return loss* terjadi disebabkan oleh adanya sinyal optik yang akan dipantulkan kembali ke transmitter. Sedangkan *insertion loss* adalah banyaknya daya yang hilang pada proses transmisi. Beberapa hal yang menyebabkan terjadinya *insertion loss* diantaranya adalah adanya penyerapan pada material pembangun serat optik, adanya daya yang bocor dan lain sebagainya. *Insertion loss* ( $L_{ins}$ ) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.11,

$$L_{ins} = 10 \log \left( \frac{P_{keluaran}}{P_{masukan}} \right) dB \quad (2.11)$$

dimana  $P_{keluaran}$  adalah daya pada jalur keluaran dan  $P_{masukan}$  adalah daya pada jalur masukan. *Excess loss* merupakan perbandingan antara hasil fabrikasi berdasarkan praktik yang dilakukan dan hasil fabrikasi berdasarkan teori yang ada. Sedangkan *coupling ratio* adalah perbandingan antara daya yang diterima pada salah satu jalur keluaran serat optik dengan total daya yang diterima oleh semua jalur keluaran transmisi, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.12,

$$CR = \frac{P_{O1}}{P_{O1} + P_{O2}} \quad (2.12)$$

dimana  $CR$  adalah nilai *coupling ratio*,  $P_{O1}$  adalah nilai daya yang diterima pada salah satu jalur keluaran dan  $P_{O2}$  adalah nilai daya yang diterima pada jalur keluaran lainnya. Adapun, *cross talk* merupakan jumlah daya yang dipantulkan kembali ke arah yang berdekatan dengan jalur transmisi. Terjadinya *cross talk* akan menyebabkan kebocoran daya optik pada proses transmisi.

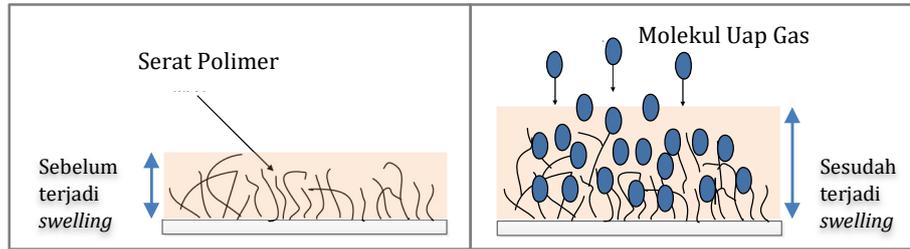
### 2.3 Polimer

Polimer berfungsi untuk mengendalikan selektivitas kimiawi bahan yang diuji, kerana materi yang terkandung dalam sensor dapat menyerap gas. Polimer *non-polar* cenderung berinteraksi secara kuat dengan gas pelarut organik *non-polar*, dan polimer *polar* cenderung berinteraksi secara kuat dengan gas pelarut organik *polar*. Setiap jenis gas dapat memberikan gambaran yang khusus berupa pola interaksi. Pola yang dihasilkan ketika berinteraksi dengan gas adalah tanggapan dari setiap materi penyusunnya.

Tabel 2.1 merupakan jenis-jenis bahan polimer yang digunakan sebagai melapisi cermin pada interferometer. Setiap jenis polimer mempunyai konstanta berbeda, konstanta Mc Reynolds menunjukkan ada tiga golongan, yaitu *non-polar*, *mid-polar* dan *polar*.

Tabel 2.1 Jenis-jenis Bahan Polimer

No	<i>GC Stationary Phase</i>	Kosntanta Mc Reynold
1	Apiezon L	Non-Polar
2	Dimethylpolysiloxane Oil (Silicon OV-101)	229 non-polar
3	Phenyl Methyl-dimethylpolysiloxane	884 Mid-Polar
4	75% Phenyl Methyl Silicone	Mid-Polar
5	25% Phenyl-25% Cyanopropylmethyilsiloxane (Silicone OV-225)	1813 Mid-Polar
6	Dicyano Ally Silicone (OV-275)	Polar
7	Polyethyleneglycol (PEG-6000)	Polar



Gambar 2.8 Proses Penyerapan Molekul Uap Gas (*Swelling*) pada Polimer

### 2.3.1 Proses *Swelling*

Prinsip perubahan struktur polimer apabila terkena partikel dari molekul uap gas yaitu terjadi proses *swelling* pada permukaannya yang terjadi tanpa melarutkan partikel tersebut dan berada pada suhu kamar. Saat terjadi proses *swelling*, polimer akan menyerap uap gas dan mengakibatkan terjadinya penebalan pada lapisan polimer. Gambar 2.8 merupakan proses *swelling* pada polimer akibat pengaruh molekul uap dan kelembaban. Partikel uap akan membuat polimer mengalami *swelling*, sehingga mempengaruhi indeks bias polimer yang dilapisi pada cermin.

Hubungan antara indeks bias dari polimer yang terjadi pembengkakan dengan kelembaban diperoleh dari hubungan Lorentz sebagai Persamaan 2.13,

$$\frac{d_n}{d_H} = \frac{(n^2 + 2)^2}{6} k_m S \left( 1 - \frac{f}{f_c} \right) \quad (2.13)$$

dimana  $d_n$  adalah indeks bias polimer saat pembengkakan, dan  $d_H$  adalah indeks bias saat terjadi ikatan hidrogen (kelembaban),  $n$  adalah indeks bias polimer,  $k_m$  adalah tingkat bias molar yang dibagi dengan berat molekul air,  $S$  adalah kelembaban terlarut dari polimer,  $f$  adalah fraksi dari kelembaban yang diserap, yang memberikan kontribusi pada peningkatan volume polimer. Sedangkan  $f_c$  adalah fraksi polimer tanpa kelembaban, sesuai dengan Persamaan 2.14,

$$f_c = k_m \rho_m \frac{n_p^2 + 2}{n_p^2 - 1} \quad (2.14)$$

dimana  $n_p$  adalah indeks bias polimer tanpa kelembaban,  $\rho_m$  adalah massa jenis air.

## 2.4 Neural Network

Metode jaringan syaraf tiruan (*Artificial Neural Network*) merupakan suatu algoritma yang digunakan dalam komputasi yang meniru sistem jaringan syaraf biologis. Algoritma ini melakukan perhitungan dengan mengorganisasikan neuron-neuron yang saling terhubung satu sama lain seperti dalam jaringan syaraf manusia. Jaringan syaraf tiruan sering digunakan untuk memecahkan persoalan yang berhubungan dengan pengenalan pola atau klasifikasi (*classification*).

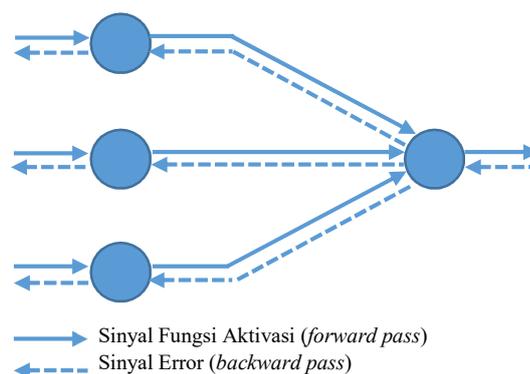
Dalam algoritma jaringan syaraf tiruan, terdapat dua macam sistem cara pembelajaran yang dapat digunakan dalam melakukan fungsinya, yaitu:

### 1. *Supervised* (terbimbing)

Dalam metode ini jaringan syaraf dilatih untuk mengenali pola dengan melakukan penyesuaian bobot, dimana suatu pola diharuskan memenuhi suatu target keluaran. Umumnya *backpropagation* menerapkan metode ini.

### 2. *Unsupervised* (tak terbimbing)

Dalam metode belajar tak terbimbing, jaringan syaraf tidak memiliki suatu target keluaran tertentu. Jaringan syaraf akan mengelompokkan vektor masukan bersama tanpa menggunakan data latihan untuk mencirikan ke kelompok masukan. Sehingga yang disediakan hanyalah suatu deret vektor-vektor masukan, tanpa adanya vektor keluaran target.



Gambar 2.9 Ilustrasi Arah Sinyal pada Jaringan *Neuron* (Haykin, 2009)

### 2.4.1 *Backpropagation*

Algoritma *Backpropagation* merupakan salah satu metode pembelajaran yang dapat diterapkan dalam *Artificial Neural Network* (ANN). Pada Gambar 2.9, algoritma *Backpropagation* terdiri atas dua lintasan jalur (*pass*) di lapisan yang berbeda pada tiap jaringan, yaitu *forward pass* dan *backward pass*. *Forward pass* yaitu sebuah proses aktivasi yang diterapkan pada *sensory nodes* jaringan, dan kemudian bertransmisi melalui lapisan demi lapisan pada jaringan. Selanjutnya, sebuah set nilai keluaran dihasilkan sebagai respon aktual dari jaringan. Selama proses *forward pass* berlangsung, bobot sinaptik pada jaringan telah ditentukan.

Pada proses *backward pass*, sebaliknya, bobot sinaptik tersebut disesuaikan kembali sesuai aturan *error-correction* dengan perhitungan *Mean Square Error* (MSE) yaitu dengan cara mengurangi respon target dengan respon aktual jaringan sehingga didapatkan nilai *error*. Nilai *error* ini kemudian ditransmisikan kembali melalui jaringan, berlawanan dengan arah koneksi sinaptik. Bobot sinaptik kemudian akan disesuaikan atau diubah untuk mendapatkan nilai respon aktual yang lebih mendekati nilai respon target yang diinginkan.

### 2.4.2 Tahap *Feed Forward*

Pada lintasan jalur *forward pass* dilakukan tahap *feed forward* untuk menentukan set nilai keluaran neuron pada jaringan. Adapun algoritma pada tahap *feed forward* adalah sebagai berikut.

1. Menentukan banyaknya masukan  $x$  pada lapisan *input* ( $n$  neuron *input*), banyaknya neuron pada lapisan tersembunyi ( $h$  neuron), dan banyaknya keluaran  $y$  pada lapisan *output* ( $p$  neuron *output*).
2. Menentukan nilai parameter pada *neural network*, yang terdiri dari nilai target *error* ( $E_{target}$ ) yang diinginkan, nilai keluaran target ( $d$ ) yang diinginkan, *slope* dari fungsi aktivasi ( $\alpha$ ), dan nilai laju pelatihan ( $\mu$ ).
3. Pada proses pelatihan, ditentukan nilai bobot (*weight*)  $w_{ji}^{(s)}$  pada keseluruhan lapisan, yang menghubungkan antara neuron ke- $j$  pada lapisan  $s$  dengan neuron ke- $i$  pada lapisan  $s-1$ , dan nilai bias (*threshold*)  $b_j^{(s)}$  pada tiap neuron lapisan  $s$  secara *random* dengan menggunakan nilai *random* terkecil (*random*

terdistribusi *gaussian*) pada iterasi pertama ( $k=1$ ), sedangkan untuk iterasi berikutnya menggunakan hasil perbaikan bobot dan bias (*weight & bias updating*) pada tahap *backpropagation*. Pada proses pengujian, digunakan nilai bobot dan bias dari hasil akhir proses *updating* pada tahap *backpropagation*.

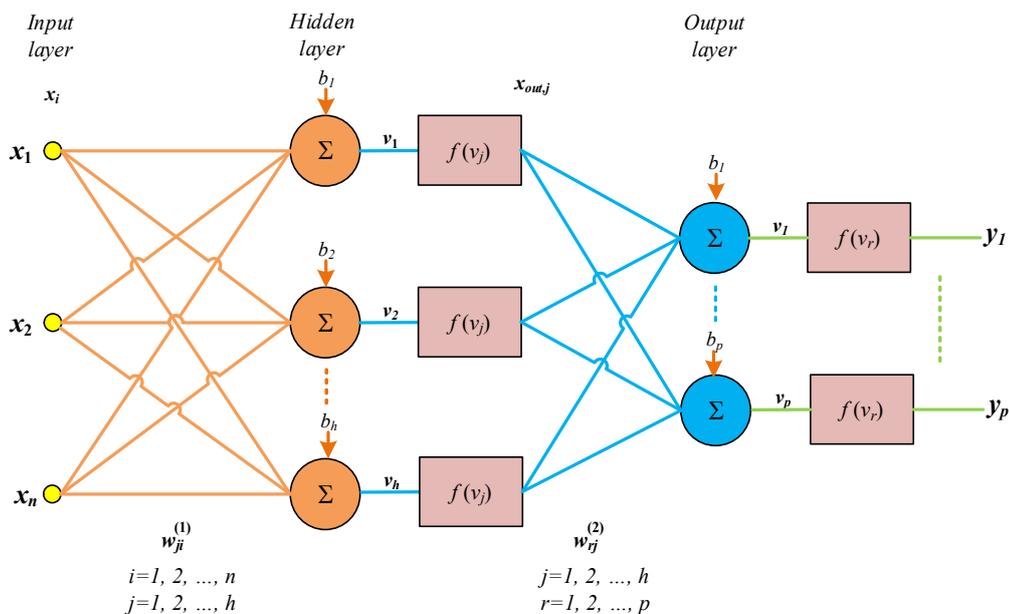
- Masing-masing nilai pada neuron input ( $x_i, i=1, 2, \dots, n$ ) digunakan pada perhitungan nilai di tiap-tiap neuron pada lapisan tersembunyi.
- Menghitung nilai potensial aktivasi dari neuron ke- $j$   $v_j^{(s)}$  pada lapisan tersembunyi ( $s=1$ ), seperti pada Persamaan 2.15,

$$v_j^{(1)} = \sum_{i=1}^n x_i w_{ji}^{(1)} + b_j^{(1)}, \quad j = 1, 2, \dots, h \quad (2.15)$$

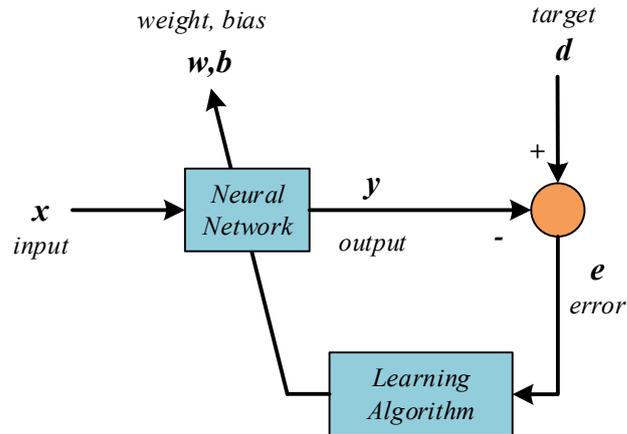
- Menghitung nilai keluaran dari neuron ke- $j$  pada lapisan tersembunyi  $x_{out,j}^{(1)} = f(v_j^{(1)})$ , dimana  $f(v_j^{(1)})$  merupakan fungsi aktivasi pada lapisan tersembunyi, dengan menggunakan fungsi aktivasi sigmoid biner, seperti pada Persamaan 2.16,

$$f(v_j^{(1)}) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha v_j^{(1)}}} \quad (2.16)$$

Fungsi aktivasi sigmoid biner memiliki nilai keluaran pada interval 0 sampai 1.



Gambar 2.10 Struktur Jaringan Syaraf Tiruan



Gambar 2.11 Blok Diagram Algoritma *Error Backpropagation*.

7. Menghitung nilai potensial aktivasi dari neuron ke- $r$   $v_r^{(s)}$  pada lapisan *output* ( $s=2$ ), seperti pada Persamaan 2.17,

$$v_r^{(2)} = \sum_{j=1}^h x_{out,j} w_{rj}^{(2)} + b_r^{(2)}, \quad r = 1, 2, \dots, p \quad (2.17)$$

8. Menghitung nilai keluaran dari neuron ke- $r$  pada lapisan *output* ( $y_r$ ), seperti pada Persamaan 2.18,

$$y_r = f(v_r^{(2)}) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha v_r^{(2)}}} \quad (2.18)$$

### 2.4.3 Tahap *Feed Backward*

Pada lintasan jalur *backward pass* dilakukan tahap *feed backward* untuk memperbaiki nilai bobot dan bias pada tiap lapisan jaringan sesuai aturan *error-correction*. Adapun algoritma pada tahap *feed backward* adalah sebagai berikut.

1. Menghitung nilai *error* ( $E$ ), seperti pada Persamaan 2.19,

$$E = \frac{1}{2} \sum_{r=1}^p (d_r - y_r)^2 \quad (2.19)$$

2. Jika nilai *error*  $E > E_{target}$ , maka dilakukan perbaikan bobot dan bias (*weight & bias updating*) pada tiap lapisan jaringan, dan dilakukan tahap *feed forward* kembali mulai dari langkah ke-5. Jika telah konvergen, maka proses perhitungan pada algoritma *backpropagation* dihentikan.

3. Nilai laju perubahan  $\mu$  dapat diperbarui dengan menggunakan algoritma LMS (*Least Mean Square*), dimana  $\mu_0 > 0$  dan  $\tau \gg 1$ , seperti pada Persamaan 2.20,

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + \frac{k}{\tau}} \quad (2.20)$$

4. Memperbarui nilai bobot dan bias pada lapisan keluaran, sesuai dengan Persamaan 2.21 dan Persamaan 2.22,

$$w_{rj}^{(2)}(k+1) = w_{rj}^{(2)}(k) + \mu \delta_r^{(2)} x_{xout,j}^{(1)} \quad (2.21)$$

$$b_r^{(2)}(k+1) = b_r^{(2)}(k) + \mu \delta_r^{(2)} \quad (2.22)$$

dimana nilai *portion of error correction weight adjustment* ( $\delta_r^{(2)}$ ) dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.23,

$$\delta_r^{(2)} = (d_r - y_r) g(v_r^{(2)}) \quad (2.23)$$

dimana  $g(v_r^{(2)})$  merupakan nilai *derivative*  $\frac{df(v_r)}{dv_r}$  dari nilai fungsi aktivasi, sesuai dengan Persamaan 2.24,

$$g(v_r^{(2)}) = \alpha(v_r^{(2)}) [1 - f(v_r^{(2)})] \quad (2.24)$$

5. Memperbarui nilai bobot dan bias pada lapisan tersembunyi sesuai dengan Persamaan 2.25 dan Persamaan 2.26,

$$w_{ji}^{(1)}(k+1) = w_{ji}^{(1)}(k) + \mu \delta_j^{(1)} x_i \quad (2.25)$$

$$b_j^{(1)}(k+1) = b_j^{(1)}(k) + \mu \delta_j^{(1)} \quad (2.26)$$

dimana nilai *portion of error correction weight adjustment* ( $\delta_j^{(1)}$ ) dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.27,

$$\delta_j^{(1)} = \left( \sum_{r=1}^p \delta_r^{(2)} w_{rj}^{(2)} \right) g(v_j^{(1)}) \quad (2.27)$$

dimana  $g(v_j^{(1)})$  merupakan nilai *derivative*  $\frac{df(v_j)}{dv_j}$  dari nilai fungsi aktivasi, sesuai dengan Persamaan 2.28,

$$g(v_j^{(1)}) = \alpha(v_j^{(1)}) [1 - f(v_j^{(1)})] \quad (2.28)$$

## 2.5 Cahaya

Cahaya merupakan radiasi dari pancaran energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang dapat terlihat oleh mata manusia, dengan panjang gelombang sekitar 380 – 750 nm, ataupun tidak. Sedangkan, sumber cahaya merupakan benda yang dapat memancarkan cahaya. Berdasarkan teori kuantum, cahaya tidak hanya dianggap sebagai gelombang elektromagnetik, tetapi dianggap juga sebagai pergerakan partikel yang disebut sebagai foton. Dimana setiap partikel membawa satu energi kuantum. Sedangkan besarnya energi cahaya yang dipancarkan dalam kelipatan unit energi minimum tertentu, dapat ditunjukkan pada Persamaan 2.29,

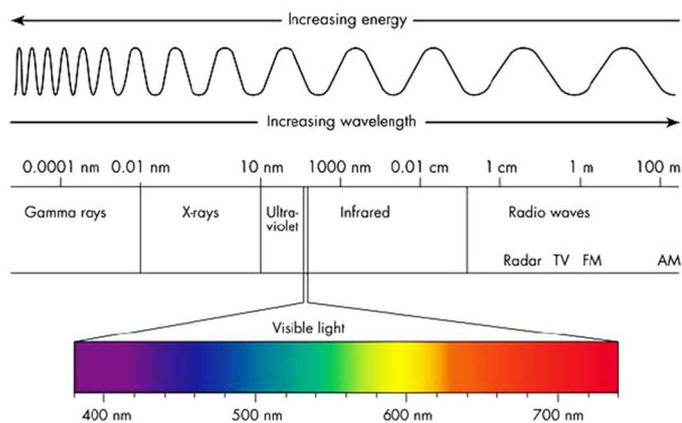
$$E = h\nu \quad (2.29)$$

dimana  $E$  adalah besarnya energi yang dipancarkan,  $h$  adalah konstanta plank, dan  $\nu$  adalah kecepatan rambat cahaya dalam suatu medium. Sedangkan besarnya kecepatan cahaya ( $\nu$ ) dalam suatu medium, dapat ditunjukkan pada Persamaan 2.30,

$$\nu = \frac{c}{n} = \nu \lambda_n \quad (2.30)$$

dimana  $c$  adalah kecepatan cahaya atau kecepatan gelombang elektromagnetik pada ruang bebas ( $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ),  $n$  adalah indeks bias medium, dan  $\lambda_n$  adalah panjang gelombang pada medium.

Spektrum gelombang cahaya ditunjukkan pada Gambar 2.12. Spektrum cahaya tampak dipersepsikan secara visual oleh indera penglihatan sebagai warna, dengan panjang gelombang 380 - 750nm. Sedangkan cahaya putih (polikromatik) merupakan perpaduan dari berbagai cahaya warna dengan panjang gelombang yang berbeda-beda (monokromatik), seperti merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, ungu. Semakin jauh panjang gelombang cahaya dari panjang gelombang cahaya tampak, maka gelombang cahaya tersebut tidak terlihat oleh mata.

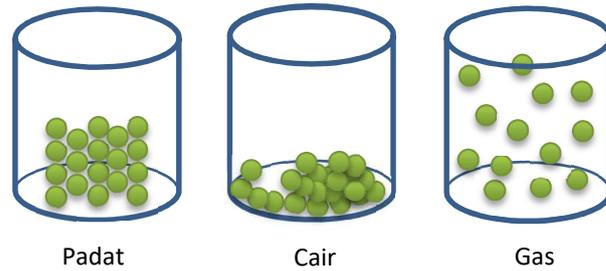


Gambar 2.12 Spektrum Gelombang Cahaya

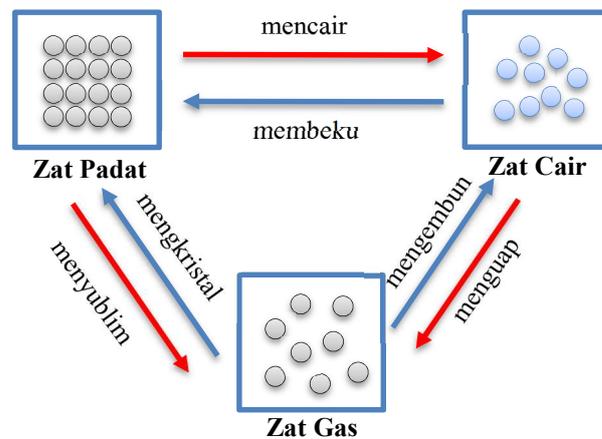
## 2.6 Gas

Gas merupakan suatu fase benda dalam ikatan molekul yang sangat renggang pada suhu tertentu, biasanya titik uap suatu zat. Gas adalah zat tidak terlihat, tidak berbau pada konsentrasi rendah, dengan perubahan suhu dan tekanan dapat berubah menjadi cair atau padat. Yang menjadi ciri khas suatu zat sehingga dapat membedakan dari satu zat dengan zat lain adalah massa jenis dan zat gas memiliki massa jenis yang lebih ringan dari bentuk zat lain. Lemahnya gaya tarik menarik antar partikel pada zat gas menyebabkan bentuk dan volume zat gas selalu berubah sesuai dengan ruang yang ditempatinya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13. Gas mempunyai kemampuan untuk mengalir dan merupakan wujud materi yang paling mudah dimampatkan. Namun berbeda dari cairan yang mengisi pada besaran volume tertentu, gas selalu mengisi suatu volume ruang, mereka mengembang dan mengisi ruang di manapun mereka berada.

Wujud gas dapat dihasilkan dari zat padat atau cair, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14. Uap dihasilkan bila cairan atau padatan dikonversikan dengan pemanasan menjadi wujud gas melalui proses penguapan. Zat-zat yang berwujud gas merupakan kumpulan zat yang berada dalam kondisi bukan cairan dan padatan. Atmosfer udara di bumi mempunyai komposisi volume secara umum adalah 68%  $N_2$ , 21%  $O_2$ , dan 1% gas lainnya termasuk  $CO_2$ . Suatu senyawa dari campuran gas-gas menjadi pusat perhatian, terutama pada perilaku zat-zat yang berwujud gas di bawah kondisi atmosfer normal, yang didefinisikan pada suhu  $25^\circ C$ , tekanan 1 atmosfer (atm).



Gambar 2.13 Perbandingan Susunan Atom pada Zat Padat, Cair dan Gas



Gambar 2.14 Perubahan Wujud dari Zat Padat, Cair dan Gas

Hanya terdapat 11 unsur saja yang pada kondisi atmosfer normal berwujud gas yaitu hydrogen ( $H_2$ ), nitrogen ( $N_2$ ), oksigen ( $O_2$ ), ozon ( $O_3$ ), fluorin ( $F_2$ ), klorin ( $Cl_2$ ), helium ( $He$ ), neon ( $Ne$ ), argon ( $Ar$ ), krypton ( $Kr$ ), xenon ( $Xe$ ), radon ( $Rn$ ). Unsur hidrogen, nitrogen, oksigen, fluorin dan klorin berbentuk molekul gas diatomik. Bentuk lain dari oksigen adalah ozon yang juga berwujud gas pada suhu kamar. Seluruh unsur golongan 8A yaitu gas mulia merupakan gas monoatomik:  $He$ ,  $Ne$ ,  $Ar$ ,  $Kr$ ,  $Xe$ , dan  $Rn$ . Dari gas-gas yang tercantum di atas, hanya  $O_2$  yang penting bagi kehidupan. Gas  $He$  dan  $Ne$  secara bersifat lembam (*inert*), artinya tidak bereaksi dengan zat apa pun.

Beberapa senyawa yang dapat dihasilkan dari campuran gas-gas adalah hidrogen fluorida ( $HF$ ), hidrogen klorida ( $HCl$ ), hidrogen bromida ( $HBr$ ), hidrogen iodida ( $HI$ ), karbon monoksida ( $CO$ ), karbon dioksida ( $CO_2$ ), amonia ( $NH_3$ ), oksida nitrat ( $NO$ ), nitrogen dioksida ( $NO_2$ ), oksida nitrit ( $N_2O$ ), belerang dioksida ( $SO_2$ ), hidrogen sulfida ( $H_2S$ ). Hidrogen sianida ( $HCN$ ) merupakan racun yang

mematikan. Karbon monoksida (CO), hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S), nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), dan belerang dioksida (SO<sub>2</sub>) merupakan gas beracun dalam konsentrasi yang tinggi. Sebagian besar gas tidak berwarna, dengan pengecualian gas F<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, dan NO<sub>2</sub>. Warna coklat gelap pada NO<sub>2</sub> terkadang terlihat dalam udara yang terpolusi.

## **2.7 Analog to Digital Conversion ADS1115**

*Analog to Digital Conversion* (ADC) merupakan antarmuka yang digunakan untuk mengubah data masukan sensor dalam besaran analog ke dalam besaran digital agar dapat diolah oleh mikrokontroler maupun komputer. ADC memiliki dua karakteristik utama, yaitu kecepatan sampling dan resolusi. Kecepatan sampling merupakan banyaknya proses konversi sinyal analog ke dalam sinyal digital pada selang waktu tertentu, yang dinyatakan dalam satuan *sample per second* (SPS). Sedangkan resolusi ADC menentukan tingkat akurasi perhitungan nilai hasil konversi ADC.

Salah satu modul ADC dalam bentuk IC yang banyak digunakan adalah ADS1115. ADS1115 merupakan modul ADC yang memiliki tingkat resolusi 16 bit dengan kecepatan sampling mencapai 860 SPS dan transfer data menggunakan protokol I<sup>2</sup>C, dengan 7 bit pengalamatan (0x48 sampai 0x4B) untuk penggunaan maksimal empat modul ADC secara paralel. ADS1115 memiliki empat kanal masukan analog yaitu A0 – A3, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15.

ADS1115 memiliki kemampuan untuk melakukan pengukuran pada mode *single-ended* atau *differential channels*. Pada mode *single-ended*, ADS1115 melakukan pengukuran tegangan pada satu kanal masukan analog terhadap pin GND. Pada mode *single-ended*, ADS1115 hanya mengukur tegangan positif saja. Sehingga tanpa menggunakan bit ke-16 (*sign bit*) akan didapatkan resolusi efektif sebesar 15 bit. Sedangkan pada mode *differential channels*, ADS1115 melakukan pengukuran tegangan antara dua kanal masukan analog (A0-A1 atau A2-A3). Pada mode *differential channels*, ADS1115 mampu mengukur tegangan baik positif maupun negatif dengan resolusi penuh sebesar 16 bit. Mode *differential channels* lebih tahan terhadap adanya pengaruh noise elektromagnetik, tidak terpengaruh penggunaan kabel panjang, dan dapat digunakan pada pengukuran sinyal kecil.



Gambar 2.15 Modul ADS1115

Tabel 2.2 Penguatan dan Tingkat Resolusi pada ADS1115

Penguatan (kali)	Referensi Tegangan ( $\pm V$ )	Resolusi per bit (mV)
2/3	6.144	0.1875
1	4.096	0.1250
2	2.048	0.0625
4	1.024	0.0313
8	0.512	0.0156
16	0.256	0.0078

ADS1115 memiliki *Programmable Gain Amplifier* (PGA) yang digunakan untuk mengatur rentang skala pengukuran analog dan tingkat resolusi bit, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2. Pada penguatan satu kali, rentang pengukuran analog sebesar  $\pm 4.096V$  dengan tingkat resolusi per bit adalah  $\pm 4.096V / 2^{15} = 0.125mV$ , dimana bit ke-16 digunakan sebagai *sign bit* yang menandakan tegangan positif atau negatif. Untuk operasi normal, ADS1115 menggunakan tegangan suplai  $V_{cc}$  sebesar 5V sebagai tegangan referensi.

## 2.8 Low Pass Filter

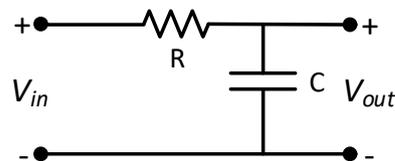
*Low pass filter* merupakan rangkaian filter yang hanya memperbolehkan frekuensi di bawah frekuensi cut-off (-3dB) agar dapat melewatinya dan meredam frekuensi tinggi. Sebuah *Low Pass Filter* merupakan kombinasi dari kapasitansi, induktansi atau resistansi yang dimaksudkan agar dihasilkan peredaman (atenuasi) tinggi di atas frekuensi cut-off yang ditentukan dan sedikit atau tidak ada pelemahan di bawah frekuensi tersebut. Rangkaian *Low Pass Filter* sederhana dapat dibentuk dari resistor dan kapasitor. Akan tetapi, untuk rangkaian *Low Pass Filter* yang lebih kompleks dapat terdiri dari kombinasi induktor seri dan kapasitor paralel.

Sedangkan besarnya nilai frekuensi cut-off ( $f_c$ ) dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 2.31,

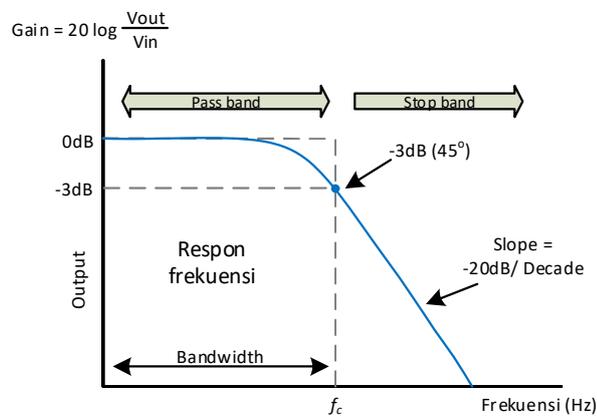
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.31)$$

dimana  $R$  merupakan besarnya nilai resistor yang digunakan, dan  $C$  merupakan besarnya nilai kapasitor yang digunakan.

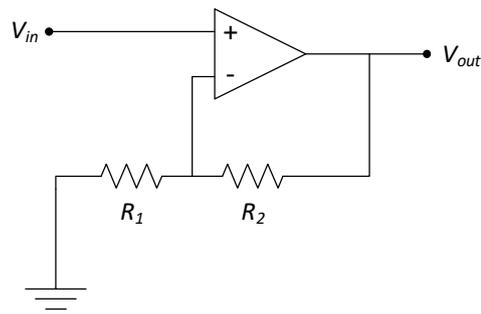
Sebuah rangkaian *Low Pass Filter* RC pasif sederhana dibentuk dengan menghubungkan secara seri resistor tunggal dengan kapasitor tunggal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16. Dalam jenis pengaturan filter ini, sinyal masukan ( $V_{in}$ ) diterapkan pada kombinasi seri resistor dan kapasitor. Sedangkan sinyal keluaran ( $V_{out}$ ) diukur pada kapasitor. Filter ini juga dikenal sebagai filter orde satu, sebab hanya memiliki satu komponen reaktif (kapasitor) pada rangkaian. *Low Pass Filter* memiliki tegangan keluaran yang konstan dari tegangan DC pada frekuensi 0Hz sampai frekuensi cut-off yang telah ditentukan. Titik frekuensi cut-off berada pada nilai 0.707 atau -3dB dari nilai penguatan sinyal yang dilewatkan. Bentuk respon frekuensi dari *Low Pass Filter* dapat ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.16 Rangkaian *Low Pass Filter*



Gambar 2.17 Respon Frekuensi *Low Pass Filter*



Gambar 2.18 Rangkaian penguat *non-inverting*

## 2.9 Penguat *Non-Inverting*

Penguat *Non-Inverting* merupakan suatu rangkaian OpAmp yang bekerja sebagai penguat tegangan pada pin masukan positif ( $V+$ ) tanpa membalik polaritas dari tegangan masukan. Pada dasarnya, penguat operasional (OpAmp) merupakan suatu rangkaian terintegrasi (IC) yang berfungsi sebagai penguat sinyal masukan. Rangkaian penguat *non-inverting* ditunjukkan pada Gambar 2.18.

Secara ideal, OpAmp memiliki impedansi masukan dan penguatan yang tak berhingga serta impedansi keluaran sama dengan nol. Akan tetapi, dalam prakteknya, OpAmp memiliki impedansi masukan dan penguatan yang besar serta impedansi keluaran yang kecil. Hasil penguatan *non-inverting* pada pin keluaran OpAmp akan sefase dengan tegangan masukannya. Besarnya tegangan keluaran dari penguatan *non-inverting*, dapat dihitung dengan Persamaan 2.32,

$$V_{out} = \left( \frac{R_2}{R_1} + 1 \right) V_{in} \quad (2.32)$$

dimana  $V_{out}$  merupakan nilai tegangan keluaran,  $V_{in}$  merupakan nilai tegangan masukan,  $R_1$  dan  $R_2$  merupakan besarnya nilai resistor yang digunakan. Jika sinyal tegangan masukan positif, maka akan dihasilkan sinyal tegangan keluaran positif juga, dan begitupun untuk tegangan masukan negatif.

## 2.10 Kontrol Proporsional Integral Derivatif (PID)

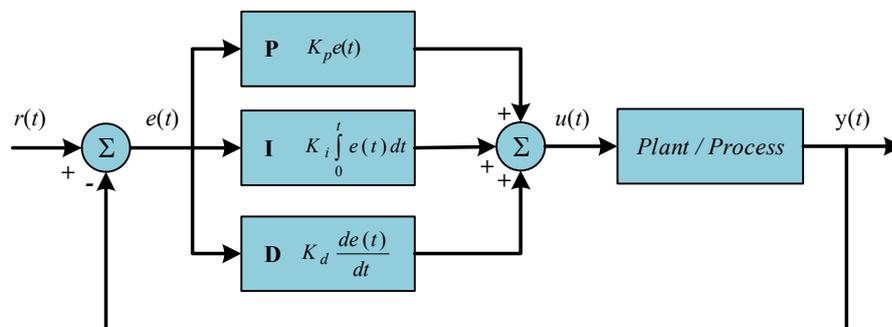
Pada sistem kontrol, terdapat beberapa metode dan jenis kontrol, diantaranya adalah kontrol proporsional, kontrol integral dan kontrol derivatif. Setiap jenis kontrol memiliki kelebihan masing-masing. Kontrol proporsional mampu menghasilkan waktu naik (*rise time*) yang cepat. Sedangkan kontrol

integral dapat memperkecil nilai error. Kontrol derivatif juga dapat memperkecil nilai *error* atau meredam adanya *overshoot/undershoot* (ketika respon sistem melampaui nilai *steady state*). Gabungan dari ketiga kontrol menjadi kontrol PID, akan menghasilkan keluaran dari respon sistem dengan *rise time* yang cepat dan *error* yang kecil. Kontrol PID merupakan mekanisme kontrol dengan *loop* umpan balik yang digunakan secara luas dalam sistem kontrol industri. Diagram blok dari kontrol PID dapat ditunjukkan pada Gambar 2.19.

Kontrol PID bertujuan untuk memperbaiki nilai *error* antara nilai variabel terukur  $y(t)$  dengan nilai *set point*  $r(t)$  yang diinginkan dengan cara mengkalkulasi dan mengeluarkan aksi korektif pada sistem dari obyek yang dikontrol (*plant/process*), baik sistem fisis / peralatan maupun proses tertentu. Perhitungan pada kontrol PID terdiri dari tiga parameter yaitu nilai proporsional, integral, dan derivatif. Nilai proporsional mempengaruhi reaksi *error* yang sedang berlangsung, integral mempengaruhi reaksi atas penjumlahan *error* terbaru sedangkan derivatif menentukan reaksi kecepatan perubahan *error*. Bobot penjumlahan dari tiga aksi ini digunakan untuk mengatur proses melalui elemen kontrol. Keluaran kontrol PID merupakan penjumlahan dari nilai proporsional, integral, dan derivatif. Dengan mendefinisikan  $u(t)$  sebagai keluaran kontrol PID, maka bentuk algoritma PID dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.33,

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.33)$$

dimana  $K_p$  adalah *gain* proporsional,  $K_i$  adalah *gain* integral,  $K_d$  adalah *gain* derivatif, dan  $e$  adalah *error*.



Gambar 2.19 Diagram Blok Sistem Kontrol PID

Tabel 2.3 Pengaruh Perubahan Parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  terhadap Respon Sistem

Parameter	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Steady State Error</i>
$K_p$	Turun	Naik	Perubahan kecil	Turun
$K_i$	Turun	Naik	Naik	Mengeliminasi
$K_d$	Perubahan kecil	Turun	Turun	Tidak ada pengaruh

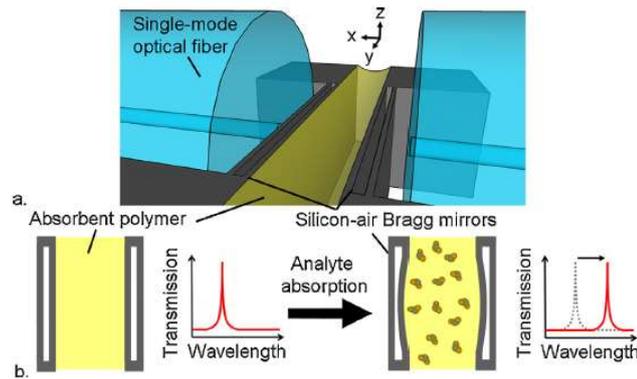
Parameter pada kontrol PID, didasarkan pada peninjauan terhadap karakteristik sistem yang dikontrol. Dengan demikian, bagaimanapun rumitnya suatu *plant*, perilaku suatu *plant* harus diketahui terlebih dahulu sebelum pencarian parameter PID dilakukan. Setiap kekurangan dan kelebihan pada tiap-tiap pengontrol P, I, dan D dapat saling melengkapi dengan menggabungkan ketiga kontrol secara paralel menjadi pengontrol proporsional plus integral plus derivatif (pengontrol PID).

Secara keseluruhan, setiap elemen pengontrol P, I, dan D bertujuan untuk mempercepat reaksi dari sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar. Pengaruh perubahan parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  terhadap keluaran dari respon sistem, dapat ditunjukkan pada Tabel 2.3.

### 2.11 Interferometer Fabry Perot dengan Modifikasi *Cladding* Serat Optik

Pada penelitian ini, sensor yang dikembangkan mengacu pada perubahan bentuk lapisan *sensing* pada interferometer Fabry Perot. Interferometer Fabry Perot dibentuk oleh suatu substrat dengan pelapisan plasma secara vertikal melintang yang membentuk *silicon air Bagg reflectors* (St-Gelais dkk, 2013), seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.20.

Pendeteksian uap senyawa oleh sensor didasarkan pada proses *polymer swelling* akibat penyerapan uap oleh polimer untuk proses deformasi pada interferometer Fabry Perot silikon. Besarnya deformasi yang terjadi, diamati melalui adanya pergeseran panjang gelombang resonansi yang sebanding dengan besarnya konsentrasi gas yang dideteksi.



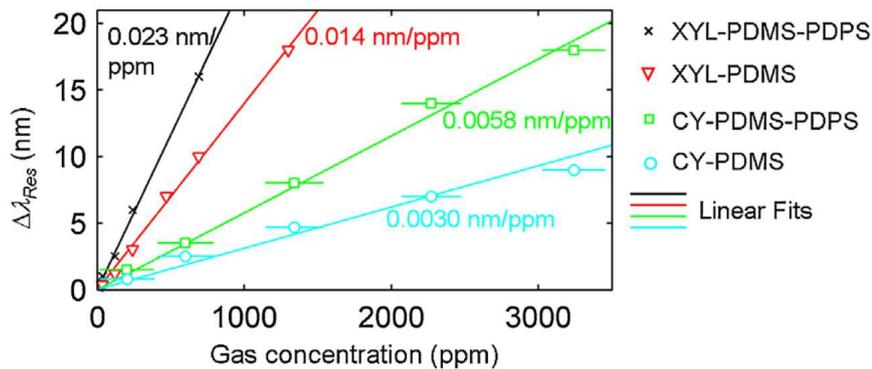
Gambar 2.20 (a) Bentuk Skema dari *Deformable Interferometer Sensor*. (b) Prinsip Kerja Sensor: Polimer Mengembang Setelah Terjadi Penyerapan dan Mendorong Terjadinya Pergeseran Panjang Gelombang Resonansi (St-Gelais dkk, 2013)

Perubahan indeks bias polimer pada proses penyerapan, juga berkontribusi pada pergeseran panjang gelombang resonansi. Polimer PDMS (*Phenyl-doped Polydimethylsiloxane*) dengan jenis berbeda digunakan pada interferometer, dan diuji untuk mendeteksi dua jenis uap pelarut organik yaitu *m-xylene* dan *cyclohexane*.

Setelah terjadinya penyerapan uap pada polimer, terdapat tiga faktor yang menyebabkan pergeseran pada panjang gelombang resonansi ( $\lambda_{Res}$ ). Yang pertama adalah perubahan bentuk oleh proses *polymer swelling* pada interferometer, yang mengakibatkan penambahan panjang ( $\Delta L$ ) pada jarak pemisah antar *mirror* ( $L$ ). Yang kedua, jika indeks bias dari sampel *analyte* ( $n_a$ ) dan polimer ( $n_p$ ) berbeda, indeks bias campuran dari *analyte*-polimer ( $n$ ) akan berubah dengan faktor  $\Delta n_{mix}$  selama proses penyerapan. Yang ketiga, jika proses ekspansi polimer mencapai batas *mirror*, maka akan terjadi pemadatan polimer dengan variasi perubahan indeks bias  $\Delta n_\sigma$  (St-Gelais dkk, 2013). Ketiga faktor tersebut akan merubah *interferometer optical pathlength* ( $nL$ ), dan digunakan pada pengukuran pergeseran panjang gelombang resonansi ( $\Delta \lambda_{Res}$ ), sesuai dengan Persamaan 2.34,

$$\frac{\Delta \lambda_{res}}{\lambda_{res}} = \alpha \frac{\Delta L}{L} + \beta \frac{(\Delta n_{mix} + \Delta n_\sigma)}{n} \quad (2.34)$$

dimana  $\alpha = 0.75$  dan  $\beta = 0.93$  adalah faktor reduksi pada sensor ( $\leq 1$ ).



Gambar 2.21 Respon Hasil Pengujian Empat Kombinasi *Analyte*-Polimer dari *M-xylene* (XYL), *Cyclohexane* (CY), PDMS, dan *Phenyl-doped Copolymer* (PDMS–PDPS). *Linear Fits* Digambarkan pada Tiap Sensitivitasnya (St-Gelais dkk, 2013)

Faktor  $\alpha$  menunjukkan bahwa hanya satu lapisan di setiap cermin Bragg yang bergeser pada proses penyerapan analit, seperti pada Gambar 2.20b. Faktor  $\beta$  menunjukkan bahwa mode resonansi di dalam rongga tidak sepenuhnya terjadi di dalam polimer, tetapi juga sebagian di dalam cermin.

Interferometer Fabry-Perot, yang difungsikan dengan dua jenis polimer yang berbeda (PDMS dan PDMS-PDPS), digunakan untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi gas dari dua jenis uap pelarut organik (*m-xylene* dan *cyclohexane*).

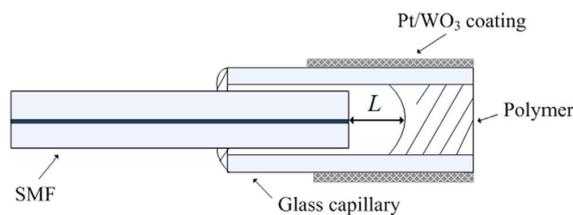
Dari pengujian yang dilakukan, dapat diketahui bahwa interferometer dengan polimer PDMS-PDPS lebih sensitif 64% untuk *m-xylene* dan interferometer dengan polimer PDMS lebih sensitif 93% terhadap *cyclohexane*. Pada pengujian, pengukuran konsentrasi uap pelarut organik *m-xylene* hanya dapat dilakukan untuk konsentrasi paling rendah 34 ppm karena keterbatasan konfigurasi *flow meter*.

## 2.12 Interferometer Fabry Perot dengan Modifikasi *Cladding* Serat Optik

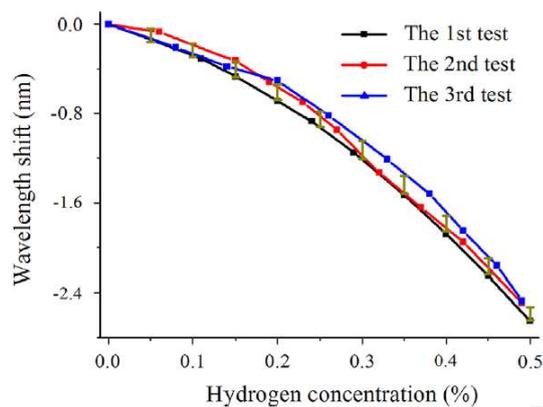
Penelitian ini menggunakan Interferometer Fabry Perot, dengan serat optik yang dilapisi lapisan tipis Pt/WO<sub>3</sub> sebagai sensor gas hidrogen. Serat optik yang digunakan merupakan serat mode tunggal (*single mode fiber*) dengan serat kaca (*core*) yang dilapisi oleh polimer yang sangat sensitif terhadap perubahan suhu.

Lapisan tipis Pt/WO<sub>3</sub> pada interferometer Fabry Perot akan bereaksi saat terpapar gas hidrogen, dimana gas hidrogen mengalami reaksi eksotermis. Reaksi panas yang terjadi dapat meningkatkan suhu pada interferometer dan mengakibatkan panjang dari rongga udara udara berkurang karena ekspansi volume dari polimer.

Perubahan volume polimer mengakibatkan pergeseran panjang gelombang pada spektrum interferensi. Hasil pengujian menunjukkan sensitivitas yang tinggi sebesar -5.1 nm/% pada tingkat konsentrasi rendah gas hidrogen dari 0% sampai 0.5%. Akan tetapi, penggunaan polimer yang sangat sensitif terhadap perubahan suhu akan mudah terpengaruh dengan suhu lingkungan sekitar yang lebih tinggi, sehingga sensor mengalami penurunan sensitivitas.



Gambar 2.22 Skema Diagram Interferometer Fabry Perot Sebagai Sensor Hidrogen yang Dirancang pada Penelitian (Zhang dkk, 2014)

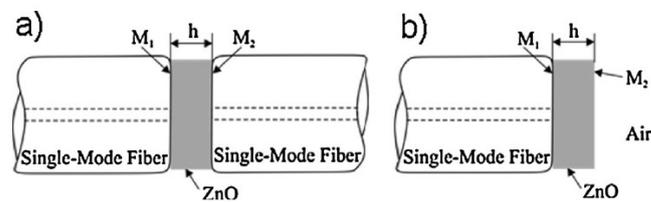


Gambar 2.23 Performansi Pengukuran dari Sensor Hidrogen Interferometer Fabry Perot (Zhang dkk, 2014)

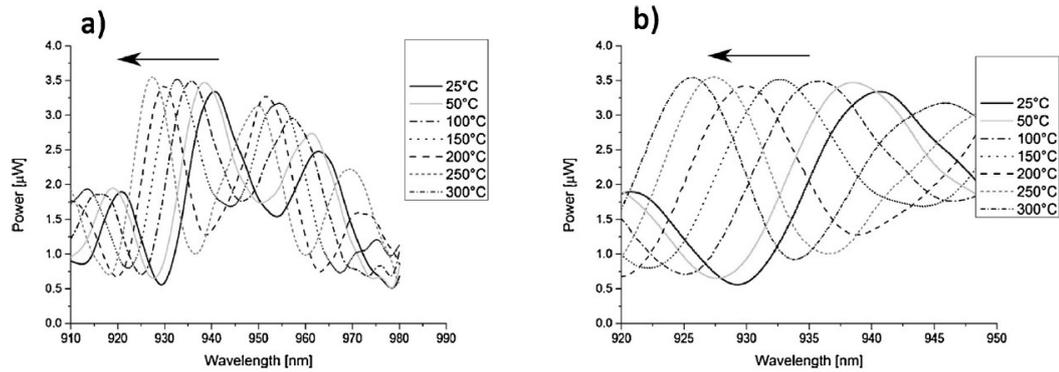
### 2.13 Metode Pelapisan ALD (*Atomic Layer Deposition*) pada Interferometer Serat Optik Fabry Perot

Penelitian dilakukan untuk melakukan pengukuran terhadap suhu dengan menggunakan interferometer Fabry Perot. Sensor bekerja dengan teknik interferometri kohorensi rendah yaitu dengan interferometer Fabry Perot yang dilapisi dengan lapisan film tipis ZnO dengan metode pelapisan *Atomic Layer Deposition* (ALD) pada permukaan ujung serat optik standar *single mode* (SMF-28) dengan ketebalan lapisan 310 nm. Film tipis *Zinc Oxide* dapat digunakan pada dua konfigurasi dasar Interferometer Serat Optik Fabry Perot, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.24. *Cavity mirror* M1 dan M2 menggunakan *Fresnel Reflection* pada batas antara lapisan ZnO dan medium lainnya (yaitu serat optik atau udara) (Jędrzejewska-Szczerska dkk, 2015).

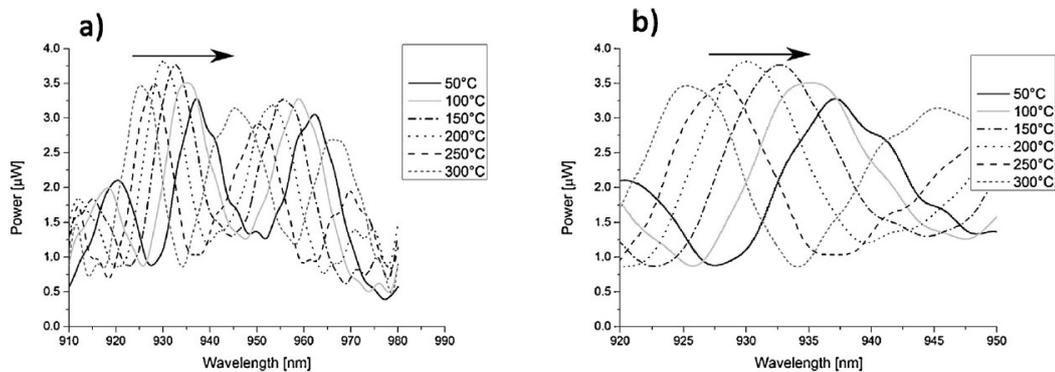
Interferometer Fabry-Perot interferometer dalam konfigurasi simetris, Gambar 2.24a, dapat bekerja baik dalam mode transmisi maupun refleksi, sedangkan konfigurasi asimetris, Gambar 2.24b, hanya dapat digunakan dalam mode refleksi. Konfigurasi sistem pengujian dan pengukuran untuk mengamati perubahan bentuk lapisan tipis ZnO pada permukaan penampang serat optik sebagai sensor suhu Fabry Perot terdiri dari *superluminescent diode* (Superlum Broadlighter S930, *Gaussian spectral density*,  $\lambda_{MAX} = 932.4$  nm,  $\Delta\lambda_{FWHM} = 66.1$  nm) berfungsi sebagai sumber cahaya yang dihubungkan ke sistem pengujian dengan *single-mode fiber*, *optical spectrum analyzer* Ando AQ6319 dengan resolusi *bandwidth* diatur pada 1 nm yang berfungsi sebagai alat deteksi, dan alat kalibrator suhu Ametek ETC-400A (Jędrzejewska-Szczerska dkk, 2015).



Gambar 2.24 Interferometer Fabry Perot dengan Rongga yang Terisi Lapisan ZnO: (a) Konfigurasi Simetris, (b) Konfigurasi Asimetris;  $h$  merupakan ketebalan rongga,  $M_1$ ,  $M_2$  merupakan *cavity mirror* (Jędrzejewska-Szczerska dkk, 2015)



Gambar 2.25 Spektrum Sinyal yang Diukur Selama Pemanasan: (a) Rentang Pengukuran 910-980 nm, (b) Rentang Pengukuran 920-950 nm (Jędrzejewska-Szczerska dkk, 2015).



Gambar 2.26 Spektrum Sinyal yang Diukur Selama Pendinginan: (a) Rentang Pengukuran 910-980 nm, (b) Rentang Pengukuran 920-950 nm (Jędrzejewska-Szczerska dkk, 2015)

Serat optik SMF-28 yang bekerja pada panjang gelombang  $\lambda = 932.4$  nm menyebabkannya mudah terjadi propagasi dari dua moda, sehingga mengakibatkan terjadinya interferensi dari dua moda pada detektor.

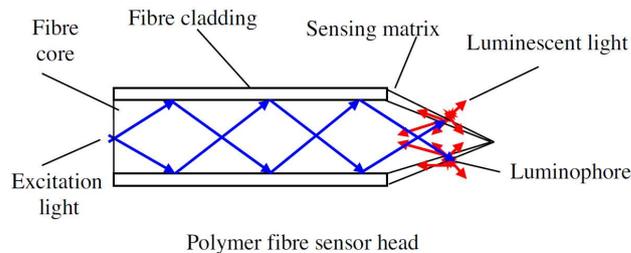
Bentuk spektrum sinyal dari hasil pengukuran pada interferometer dengan suhu berkisar 50-300 °C ditunjukkan oleh Gambar 2.25a dan Gambar 2.25b. Posisi maxima pada pola spektral mengalami pergeseran ke panjang gelombang yang lebih pendek selama pemanasan. Demikian pula, spektrum dari sinyal yang diukur juga didapat selama pendinginan (300-50 °C), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.26. Posisi maxima dari pola spectral bergeser ke panjang gelombang yang lebih panjang selama pendinginan.

## 2.14 Pengaruh Matriks Polimer pada Serat Optik dan Karakteristik Respon Waktu

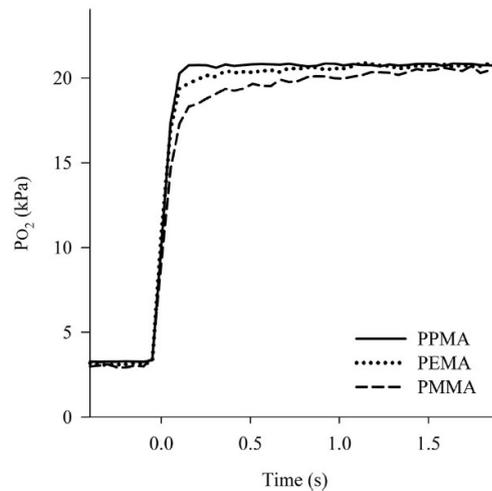
Pada penelitian ini, dirancang suatu sensor oksigen yang menggunakan serat optik terlapis polimer untuk melacak perubahan tekanan parsial oksigen ( $PO_2$ ) dalam gas yang cepat. Sensor oksigen dengan serat optik, dua kali lipat lebih cepat dari sensor oksigen konvensional *electrochemical* (Chen dkk, 2016). Sensor tersebut dibuat dengan bahan polimer biologis yang cukup kecil dan kuat untuk dimasukkan secara langsung ke arteri manusia.

Pada prinsipnya, sensor serat optik dibentuk dengan melarutkan sebuah *luminophore* (cairan pereaksi) ke dalam sebuah matriks polimer dan dilapiskan ke ujung serat optik. *Luminophore* akan tereksitasi oleh sumber cahaya LED dengan panjang gelombang tetap yang ditransmisikan melalui serat optik ke ujung sensor. Cahaya yang terpengaruh oleh hasil eksitasi dari emisi gas oksigen pada ujung serat optik tersebut kemudian ditransmisikan kembali melalui serat optik yang sama dan diukur dengan fotodetektor yang sensitif. Perubahan cahaya yang dipantulkan pada lapisan polimer bergantung pada jumlah konsentrasi gas oksigen dan dapat dihitung dengan persamaan Stern-Volmer (Chen dkk, 2016).

Sensor oksigen dengan ujung serat optik terlapis polimer yang runcing digunakan untuk meningkatkan intensitas dari cahaya pantul dan meningkatkan performansi S/N (*signal to noise ratio*) dari sistem sensor. Namun, pada penelitian ini, sensor hanya diuji dalam lingkungan dengan beragam gas yang dan menunjukkan hasil bahwa sensor menjadi relatif tidak sensitif dengan waktu respons yang lambat terhadap perubahan  $PO_2$ .



Gambar 2.27 Skema Ilustrasi Desain Ujung yang Meruncing (Chen dkk, 2016)



Gambar 2.28 Plot Grafik  $PO_2$  terhadap Waktu untuk Sensor Oksigen Serat Optik yang Dibuat dari Tiga Matriks Polimer yang Berbeda dengan Perubahan *Step*  $PO_2$  dari 3 kPa sampai 21 kPa (Chen dkk, 2016)

Pengujian dilakukan terhadap tiga bahan polimer yang berbeda, yaitu *poly(methyl methacrylate)* (PMMA), *poly(ethylmethacrylate)* (PEMA) dan *poly(propyl methacrylate)* (PPMA), untuk mengamati pengaruh penggunaan bahan matriks polimer yang berbeda terhadap sensitivitas  $PO_2$  dan waktu respon  $T_{90}$  dalam serangkaian tes sensor.

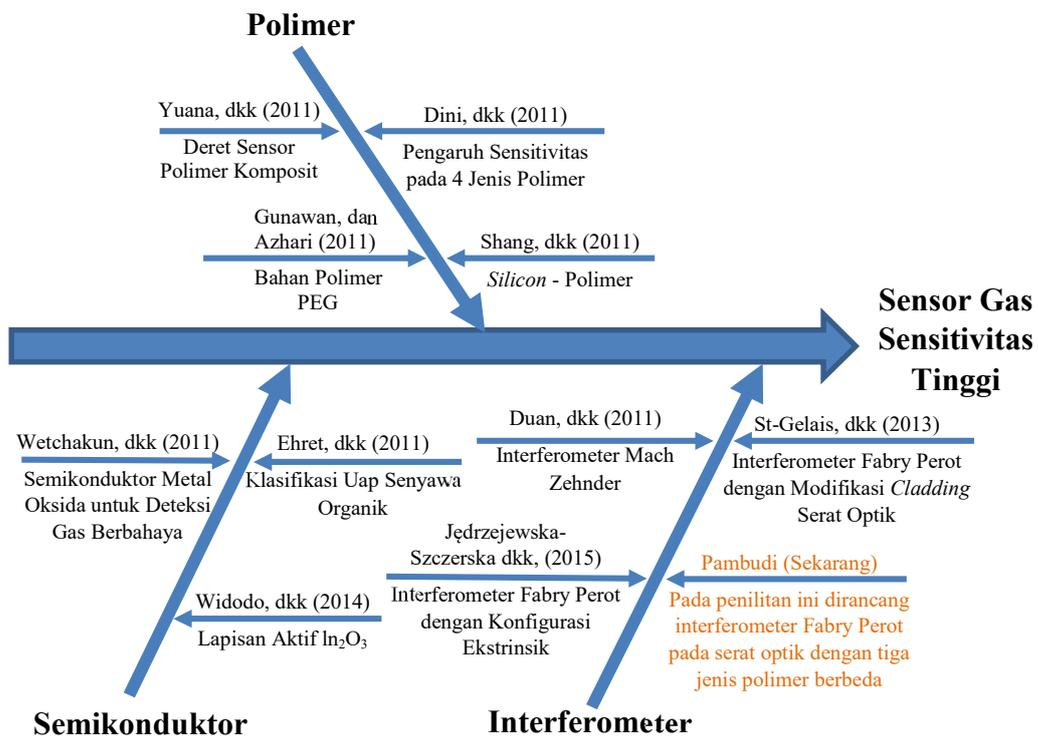
Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor oksigen dengan matriks *luminophore* PPMA menghasilkan sensitivitas yang lebih tinggi dan respon waktu lebih cepat dibandingkan dengan polimer PMMA atau PEMA pada rentang  $PO_2$  sekitar 5-30 kPa.

### 2.15 Diagram *Fishbone*

Pada penelitian ini dibuat diagram *fishbone* untuk menggambarkan sebab-sebab dari suatu masalah, kemudian menganalisis masalah tersebut dan menggambarkannya ke dalam sebuah bagan.

Diagram kerangka dari penelitian tentang sensor gas dengan interferometer optik ditunjukkan oleh gambar diagram *fishbone* seperti yang terlihat pada Gambar 2.29.

Bagian-bagian *fishbone* pada penelitian ini terdiri dari tiga bagian yang mendukung sebagai proses awal peningkatan sensitivitas sensor gas, yaitu Semikonduktor, Polimer, dan Interferometer. Dari setiap bagian terdiri dari sub bagian pendukung atau *paper* penunjang untuk dilakukan penelitian ini. *Paper* tersebut dikaji, sehingga diperoleh suatu permasalahan yang akan dilakukan pada penelitian.



Gambar 2.29 Diagram *Fishbone* Penelitian

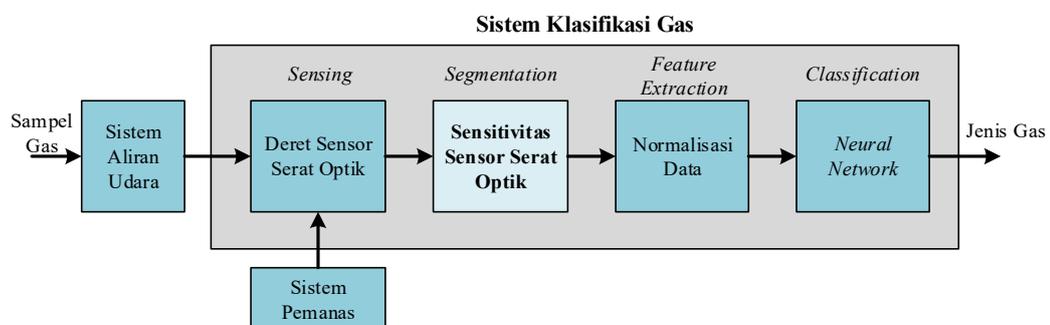
## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan diuraikan mengenai diagram blok sistem, perancangan dan pembuatan sensor serat optik untuk meningkatkan sensitivitas sensor, perancangan dan pembuatan sistem klasifikasi gas menggunakan deret sensor serat optik baik perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*), prosedur pengambilan dan analisis data, dan proses klasifikasi gas.

#### 3.1 Deskripsi Sistem

Peningkatan sensitivitas sensor gas menjadi bagian dari perancangan dan pembuatan sistem secara keseluruhan. Adanya peningkatan sensitivitas pada sensor serat optik, dapat memperbesar respon sensor serat optik terhadap sampel gas yang diujikan. Diagram blok sistem secara keseluruhan dapat ditunjukkan pada Gambar 3.1. Secara umum, sistem klasifikasi gas terbagi ke dalam empat bagian sub sistem. Pada tahap awal, pendeteksian dilakukan terhadap sampel gas dengan menggunakan deret sensor serat optik yang terlapis polimer berbeda. Kemudian, pembacaan data dilakukan pada setiap sensor serat optik yang menghasilkan respon dan tingkat sensitivitas yang berbeda terhadap sampel gas yang diujikan. Pada tahap selanjutnya, normalisasi data dilakukan terhadap respon perubahan dari setiap sensor serat optik. Hasil normalisasi dari setiap sensor serat optik digunakan sebagai masukan data untuk proses pelatihan dan klasifikasi dengan menggunakan *neural network*. Hasil keluaran dari sistem klasifikasi gas menunjukkan sampel gas yang dikenali.

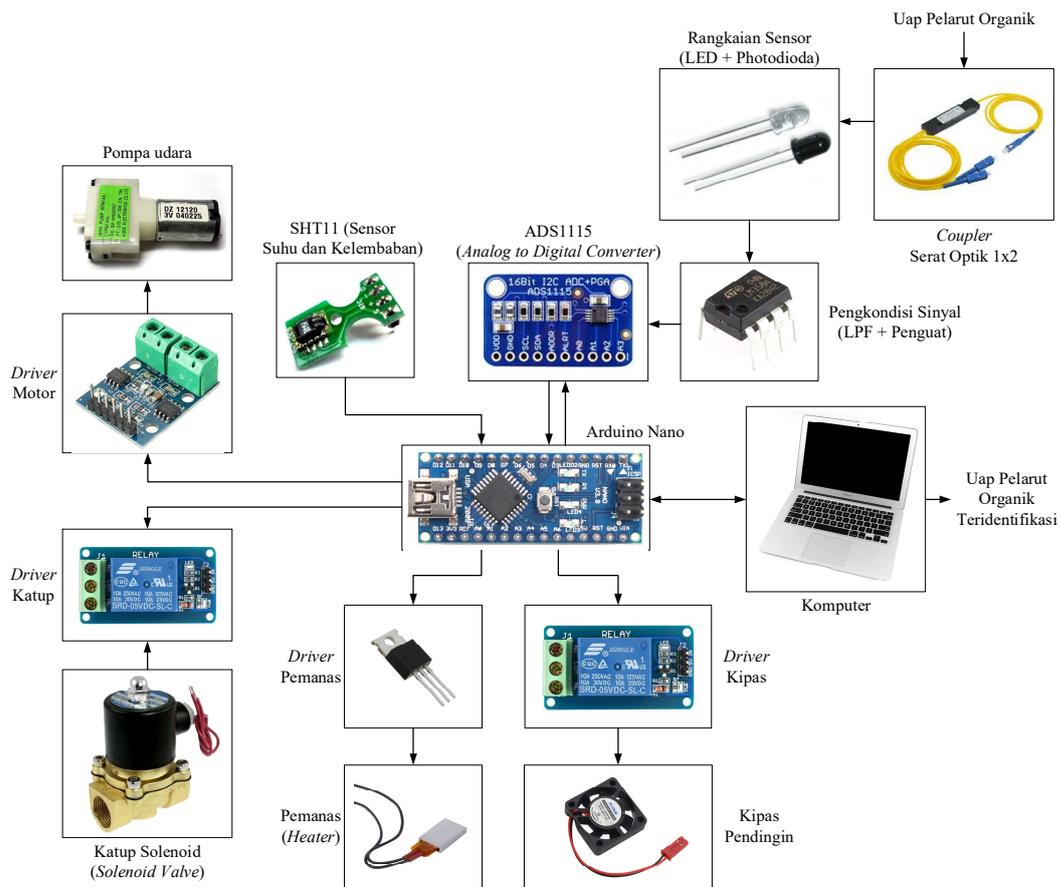


Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Keseluruhan

Proses yang mendukung sistem klasifikasi gas yaitu sistem aliran gas untuk mengalirkan udara kering maupun sampel gas dan kontrol suhu untuk mengamati tingkat sensitivitas sensor serat optik terhadap perubahan suhu dan kelembaban.

Perancangan dan pembuatan sistem sangat diperlukan agar penelitian ini dapat direalisasikan. Diagram blok sistem dari perangkat keras dan perangkat lunak diperlukan agar mempermudah dalam proses perancangan dan implementasi pembuatan sistem, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.

Perancangan sistem perangkat keras terdiri dari beberapa bagian, yaitu pengontrolan sistem aliran gas, pengontrolan suhu, pembacaan sensor, dan pengolahan data. Keseluruhan sistem dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Nano.



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem Perangkat Keras

Pengontrolan sistem aliran gas dilakukan oleh katup udara solenoid dan pompa udara, yang digerakkan menggunakan modul relay. Sedangkan pengontrolan suhu dilakukan dengan menggunakan pemanas dan kipas pendingin yang dikontrol oleh rangkaian modul kontrol suhu. Proses pembacaan data dilakukan oleh sensor SHT11 untuk pembacaan nilai suhu dan kelembaban, dan sensor interferometer serat optik untuk pembacaan nilai perubahan tegangan terhadap perubahan intensitas cahaya yang terdiri dari *coupler* serat optik, rangkaian sensor (LED dan fotodiode), rangkaian pengkondisi sinyal, dan ADC eksternal. Sedangkan proses pengolahan data dilakukan menggunakan komputer melalui komunikasi data serial.

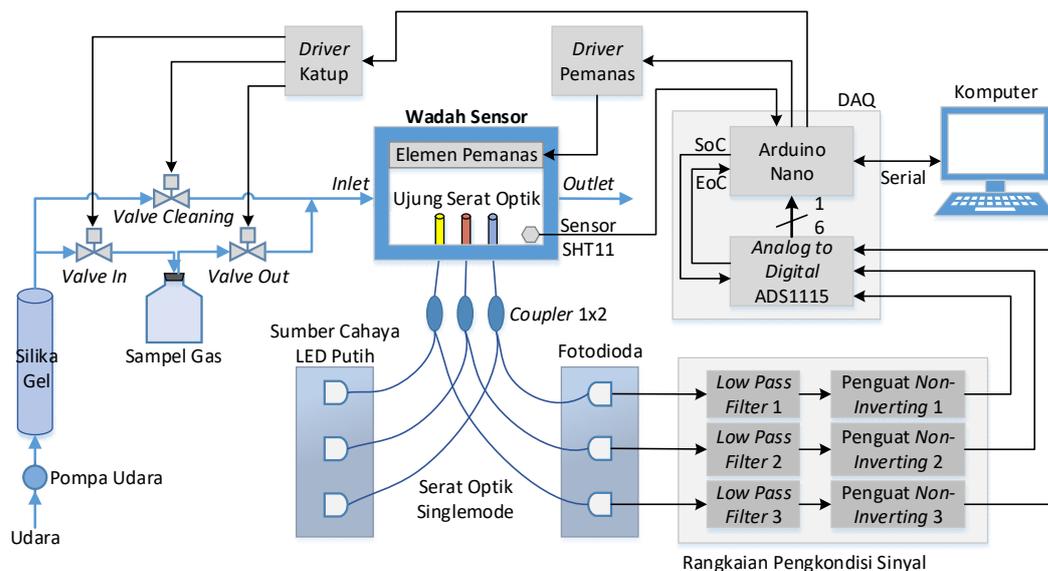
Proses pembacaan nilai tegangan dari sensor serat optik dilakukan oleh Arduino Nano dan pengolahan data dari tiap sensor dilakukan pada komputer. Berdasarkan Gambar 3.2, prinsip kerja dari sistem perangkat keras yaitu mengalirkan udara yang berasal dari pompa udara yang berfungsi sebagai fasa gerak untuk mendorong udara kering melalui silika untuk membersihkan wadah sensor atau mengalirkan sampel gas. Silika gel berfungsi untuk meminimalisir adanya kandungan uap air di udara yang dimasukkan ke wadah sensor serat optik. Kecepatan aliran udara dari pompa diatur sebesar 0.1 *liter per minute* (LPM). Pengaturan aliran udara kering atau sampel gas dilakukan oleh sistem katup. Ketika uap sampel gas dialirkan masuk ke dalam wadah sensor serat optik, maka akan merubah nilai tegangan pada tiap rangkaian sensor.

Sinyal keluaran dari tiap sensor dilewatkan pada rangkaian pengkondisi sinyal, yang terdiri dari *low pass filter* dan penguat *non-inverting*. Nilai tegangan keluaran, yang telah dikuatkan, dibaca oleh ADC eksternal ADS1115 untuk mengubah nilai tegangan menjadi nilai digital. Arduino Nano mengontrol alur proses konversi sinyal pada ADC eksternal dengan memberikan perintah ke ADS1115 untuk melakukan konversi sinyal analog menjadi digital. Jika proses konversi telah selesai, maka ADS1115 akan mengirimkan sinyal balik yang menandakan akhir dari proses konversi, untuk kemudian mengirimkan data digital ke Arduino Nano. Data digital yang telah dibaca oleh Arduino Nano, kemudian dikirimkan ke komputer untuk dilakukan proses pengolahan data untuk klasifikasi

uap pelarut organik. Pada penelitian ini, dilakukan juga karakterisasi sensor terhadap perubahan suhu dan kelembaban dengan menggunakan sistem pemanas, (pemanas, sensor suhu, dan kipas pendingin), dan sensor kelembaban.

Sistem klasifikasi uap pelarut organik yang dirancang terdiri dari pemrosesan data sinyal sensor dan sistem aliran gas. Pada Gambar 3.3, udara dialirkan ke ruang sensor dengan menggunakan pompa udara 3.3Vdc. Udara kering untuk proses pembersihan ruang sensor diperoleh dengan mengalirkan udara ke dalam silika gel untuk mengurangi tingkat kelembaban udara pada suhu ruangan. Proses membersihkan dan mengalirkan sampel gas ke dalam wadah sensor dikendalikan oleh antarmuka perangkat lunak pada komputer melalui mikrokontroler Arduino Nano dengan membuka dan menutup katup menggunakan katup solenoid yang diaktifkan oleh *driver* katup (modul relay). Saat proses pembersihan, katup 1 (*valve cleaning*) dibuka, sedangkan katup 2 (*valve in*) dan katup 3 (*valve out*) ditutup. Sebaliknya, bila gas sampel dialirkan, katup 2 (*valve in*) dan katup 3 (*valve out*) dibuka dan katup 1 (*valve cleaning*) ditutup.

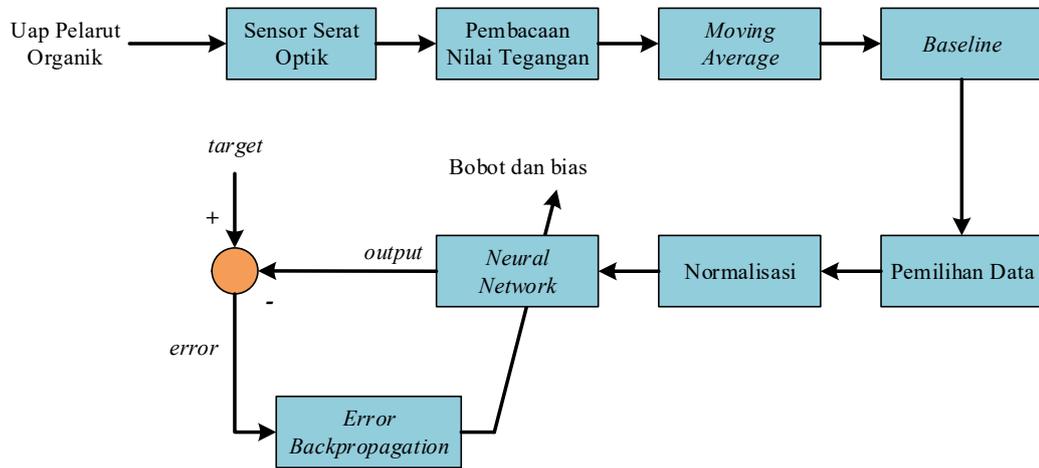
Blok sensor disusun oleh ujung serat optik berlapis polimer, *coupler* serat optik 1x2, sumber cahaya LED putih, dan fotodioda untuk mengukur intensitas cahaya yang diterima dari ujung serat optik berlapis polimer, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



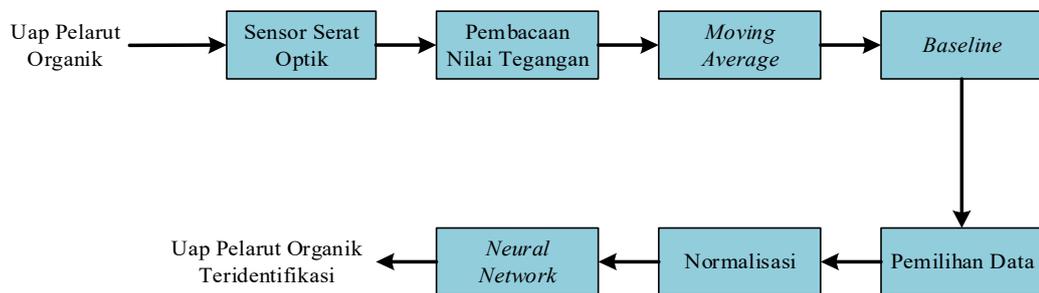
Gambar 3.3 Perancangan Sistem Klasifikasi Uap Pelarut Organik

Sinyal tegangan yang diterima oleh fotodiode kemudian dilewatkan melalui *Low Pass Filter* (LPF) dan diperkuat 100-200 kali dengan penguat *non-inverting*. Sinyal keluaran penguat kemudian diubah menjadi data digital melalui *analog to digital converter* (ADC). ADC eksternal ADS1115, dengan resolusi 16 bit digunakan untuk mengukur perubahan tegangan dalam satuan millivolt (mV).

Pada Gambar 3.4, prinsip kerja dari diagram blok sistem klasifikasi uap pelarut organik terbagi menjadi dua proses, yaitu proses pembelajaran *neural network* dan proses klasifikasi sampel gas. Pada proses pembelajaran *neural network* dilakukan pembaruan nilai bobot dan bias yang digunakan untuk proses klasifikasi.



(a)



(b)

Gambar 3.4 Diagram Blok Sistem Klasifikasi Uap Pelarut Organik (a) Proses Pembelajaran, (b) Proses Klasifikasi

Proses pengambilan data dilakukan pada tiga tahap yang dimulai dengan mengalirkan udara kering selama beberapa detik untuk mengetahui kondisi awal, kemudian mengalirkan uap sampel selama beberapa detik, dan selanjutnya mengalirkan udara kering kembali untuk mengembalikan kondisi sensor ke dalam kondisi semula.

Proses pengolahan data dilakukan pada komputer. Sinyal keluaran sensor yang telah diubah menjadi data digital, kemudian difilter dengan menggunakan *moving average*, yang bertujuan untuk memperhalus keluaran data digital yang dilakukan oleh Arduino Nano. *Moving average* dilakukan dengan merata-rata nilai keluaran sensor pada setiap waktu sampling data. Hasil *moving average* dikirim ke komputer. Proses *baseline* bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai tegangan yang terjadi pada setiap sensor serat optik dan menghilangkan ketidaksamaan nilai tegangan keluaran dari setiap sensor saat awal pembacaan. Proses *baseline* dilakukan dengan mengurangkan seluruh data awal sampai akhir dengan nilai referensi untuk setiap sensor, dimana nilai referensi merupakan nilai rata-rata sensor sebelum dilakukan pengambilan data. Proses pemilihan data dilakukan untuk mendapatkan nilai perubahan nilai tegangan yang mewakili setiap sensor serat optik saat dialiri sampel gas. Proses normalisasi dilakukan pada data terpilih yang mewakili tiap-tiap sensor untuk menghilangkan pengaruh konsentrasi dari sampel gas yang dapat merubah nilai perubahan tegangan. Data hasil normalisasi dari tiap sensor digunakan dalam proses pembelajaran *neural network* agar didapatkan nilai bobot dan bias. Nilai bobot dan bias dari hasil pembelajaran dan data normalisasi digunakan pada proses klasifikasi.

Proses klasifikasi uap pelarut organik dilakukan dengan melakukan pengambilan data sensor terlebih dahulu oleh sensor serat optik terhadap uap pelarut organik yang diujikan. Pembacaan nilai tegangan dilakukan terhadap sensor serat optik. Sinyal keluaran sensor dalam bentuk data digital, kemudian difilter dengan menggunakan *moving average* yang dilakukan oleh Arduino Nano. Hasil *moving average* yang telah didapat dikirim ke komputer. Kemudian, proses *baseline* dilakukan untuk mendapatkan nilai perubahan nilai tegangan pada setiap sensor serat optik. Setelah dilakukan proses *baseline*, proses pemilihan data

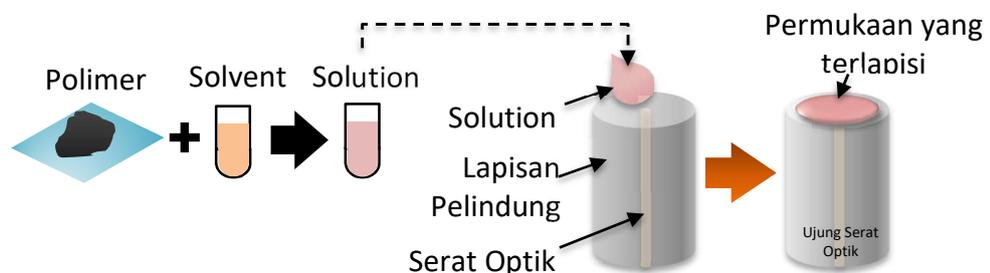
dilakukan untuk mendapatkan nilai perubahan tegangan pada tiap sensor serat optik. Kemudian, proses normalisasi dilakukan pada data terpilih yang mewakili tiap-tiap sensor. Data hasil normalisasi dari tiap sensor digunakan sebagai nilai masukan dalam proses klasifikasi menggunakan *neural network*. Nilai hasil keluaran dari proses *neural network* digunakan untuk menentukan jenis uap pelarut organik yang diujikan.

### 3.2 Sensor Interferometer Serat Optik

Sensor interferometer serat optik dirancang dengan menggunakan tiga buah kabel serat optik yang dipotong di salah satu ujungnya dan dilapisi polimer dengan jenis yang berbeda di atas permukaan serat optik, yaitu jenis non-polar, mid-polar dan polar. Hal ini berfungsi untuk melihat karakter dari masing-masing polimer ketika diberikan konsentrasi yang sama. Pada Tabel 3.1, tiga jenis polimer yang dilapiskan pada ujung serat optik yaitu *dimethylpolysiloxane* (OV-101), *phenylmethyl-dimethylpolysiloxane* (OV-17), dan *polyethylene glycol* (PEG-1540).

Tabel 3.1 Jenis Polimer yang Dilapiskan pada Sensor Serat Optik

Polimer	Tingkat Kepolaran
Dimethylpolysiloxane Oil (Silicon OV-101)	Non-polar
50% methyl-50% phenylsilicone (OV-17)	Mid-Polar
Polyethyleneglycol (PEG-1540)	Polar



Gambar 3.5 Proses Pelapisan Polimer pada Ujung Serat Optik.

Pelapisan polimer pada serat optik dilakukan sebagai media melekatnya molekul gas sehingga terjadi proses *swelling*. Proses pelapisan polimer pada ujung serat optik ditunjukkan pada Gambar 3.5. Sebelum dilapiskan dengan polimer, ujung serat optik tersebut dibersihkan dengan etanol dan aseton. Setelah ujung serat optik dibersihkan, kemudian polimer dilapiskan pada ujung serat optik tersebut dengan mencampurkannya dengan pelarut (*solvent*). Pelarut digunakan untuk melarutkan polimer agar dapat dilapiskan pada serat optik. Pelarut yang dapat digunakan antara lain, kloroform, diklorometana (DCM), dimetilformamida (DMF). Kemudian, ujung serat optik tersebut dipanaskan pada 80°C selama dua jam untuk menghilangkan pelarut yang masih bercampur dengan polimer. Setelah proses pemanasan, serat optik didiamkan selama empat jam agar terbentuk morfologi permukaan kaca optis pada lapisan polimer. Sumber cahaya yang digunakan dalam pengujian adalah sumber cahaya yang memiliki spektrum panjang gelombang yang lebar dengan berbagai nilai panjang gelombang. Pada pengujian ini digunakan led putih yang memiliki rentang panjang gelombang yang lebar.

Deret sensor interferometer serat optik digunakan untuk mengidentifikasi sampel gas berdasarkan pola karakteristik berbeda yang dihasilkan dari setiap sensor. Perubahan intensitas cahaya yang diakibatkan oleh perubahan ketebalan atau proses *swelling* polimer ketika dialirkan gas sampel pada wadah sensor, ditangkap oleh fotodiode kemudian diolah oleh rangkaian pengkondisi sinyal dan diteruskan ke Arduino Nano, melalui pembacaan nilai ADC, dan dikirimkan ke komputer untuk proses pengolahan data dan sistem klasifikasi.

### **3.3 Pengolahan Data**

Pengolahan data dilakukan pada data keluaran dari ketiga sensor fotodiode, data sensor suhu dan kelembaban. Data yang telah dikumpulkan pada Arduino Nano dikirimkan ke komputer melalui komunikasi serial. Oleh karena banyaknya data yang dikirimkan ke komputer, maka digunakan metode parsing data atau pemecahan data. Parsing data menggunakan penanda (*header*) agar data tidak saling tertukar dengan data dari sensor lain.

### 3.3.1 Moving Average

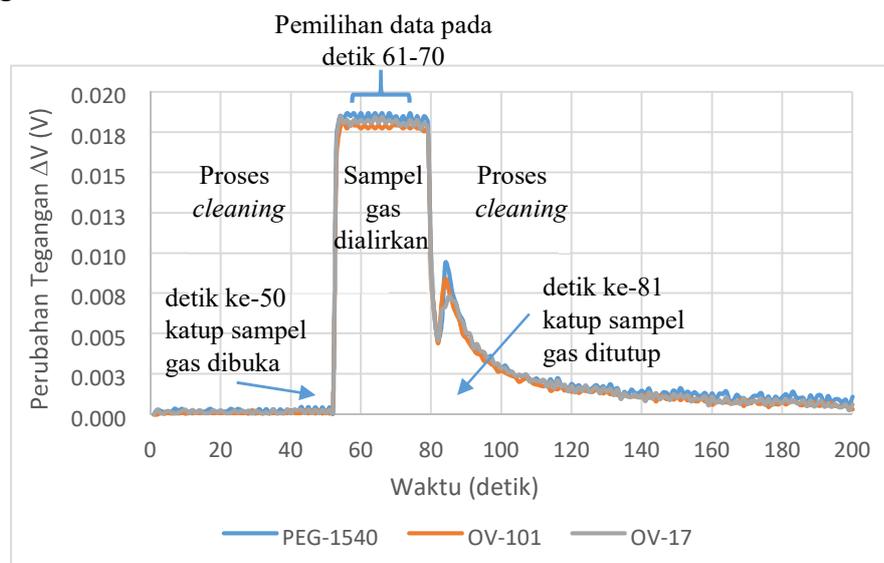
Khusus untuk pembacaan sensor fotodiode digunakan filter *moving average* (MAV). Filter *moving average* digunakan untuk menghasilkan keluaran yang stabil atau memperhalus data keluaran. Proses MAV dilakukan pada komputer. Persamaan filter *moving average* ditunjukkan pada Persamaan 3.1,

$$F\_MAV[n] = \frac{x[n] + x[n-1] + x[n-2] + x[n-3] + \dots + x[n-9]}{10} \quad (3.1)$$

dimana  $F\_MAV$  merupakan nilai keluaran dari *moving average* untuk data ke- $n$ . Hasil keluaran *moving average* untuk  $n = 10$ , maka nilai  $F\_MAV$  adalah nilai rata-rata dari 10 data sebelumnya.

### 3.3.2 Baseline

Proses *baseline* dimaksudkan untuk mengeliminasi nilai tegangan dari setiap sensor serat optik yang berbeda-beda. *Baseline* didapatkan dengan cara mengurangkan seluruh data awal sampai akhir dengan nilai referensi untuk masing-masing sensor, dimana nilai referensi adalah nilai rata-rata dari 10 data pembacaan awal sebelum katup sampel gas uji dibuka. Proses ini dilakukan ketika proses pengambilan data telah selesai dilakukan. Berdasarkan proses *baseline* diharapkan ketika sensor tidak berinteraksi dengan uap pelarut organik nilai dari semua sensor mendekati nilai 0. Sehingga hasil dari proses *baseline* adalah data perubahan nilai tegangan.



Gambar 3.6 Ilustrasi Pemilihan Data Pembelajaran dan Klasifikasi

### 3.3.3 Pemilihan Data

Proses pemilihan data bertujuan untuk mendapatkan nilai perubahan tegangan yang dapat mewakili kondisi atau ciri dari setiap sensor. Data yang dipilih adalah sebagian data dari perubahan tegangan ketika sensor berinteraksi dengan uap pelarut organik. Pemilihan data dilakukan pada detik ke-61 sampai detik ke-70. Setelah data dipilih, data tersebut kemudian dirata-rata, sehingga keluaran dari pemilihan data sebanyak tiga data yang mewakili ketiga sensor serat optik. Ilustrasi pemilihan data ditunjukkan pada Gambar 3.6.

### 3.3.4 Normalisasi

Proses normalisasi dimaksudkan untuk mengeliminasi nilai perubahan tegangan dari pengaruh konsentrasi, perubahan suhu dan perubahan kelembaban. Proses normalisasi dilakukan dengan membagi setiap nilai pola data dari proses pemilihan data dengan nilai maksimumnya, sehingga nilai paling tinggi adalah 1.

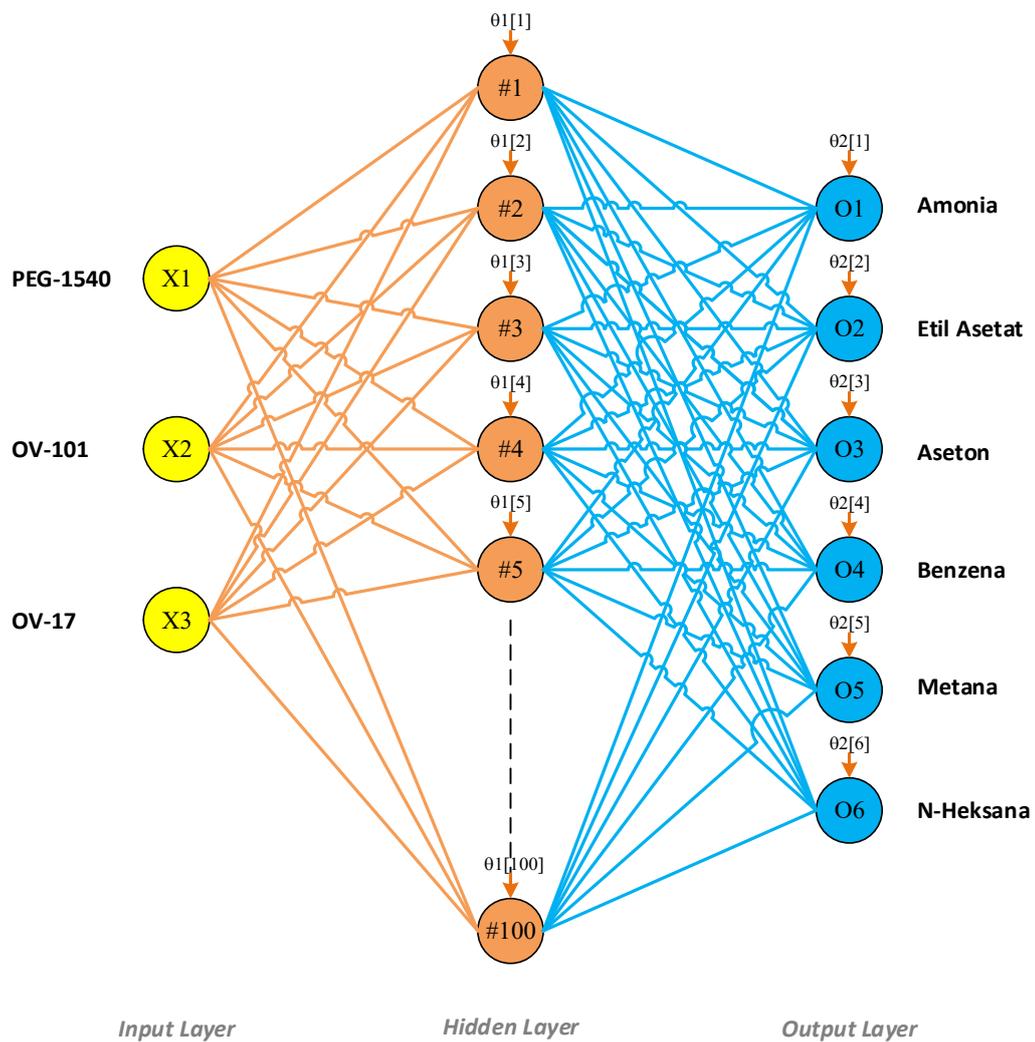
## 3.4 *Neural Network*

Pada penelitian ini, *neural network* (NN) digunakan untuk mengenali beberapa jenis sampel gas senyawa organik yang diujikan, yaitu benzena, metana, n-heksana, amonia, etil asetat, dan aseton. Algoritma *backpropagation* diperlukan dalam proses klasifikasi jenis gas, karena selama proses pembelajaran memiliki kemampuan untuk memperbaiki bobot pada layer tersembunyi.

Arsitektur NN yang didesain dan digunakan pada penelitian ini terdiri dari tiga lapisan (*layer*), yaitu *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer*. *Input layer* terdiri dari 3 neuron masukan yang berasal dari normalisasi data perubahan nilai tegangan dari ketiga sensor serat optik. Data dari *input layer* kemudian menjadi masukan ke *hidden layer* yang didesain 100 neuron. Kemudian keluaran dari *hidden layer* diteruskan ke *output layer* yang terdiri dari 6 buah neuron sesuai dengan jumlah sampel pelarut organik yang diidentifikasi. Rancangan arsitektur NN dapat dilihat pada Gambar 3.7. Fungsi aktivasi yang digunakan adalah sigmoid biner, seperti pada Persamaan 2.16, sehingga nilai target pada proses pembelajaran dibuat dalam bentuk nilai biner seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.2 Nilai Target pada Proses Pembelajaran

No	Gas Senyawa Organik	Target
1	Amonia	1 0 0 0 0 0
2	Etil Asetat	0 1 0 0 0 0
3	Aseton	0 0 1 0 0 0
4	Benzena	0 0 0 1 0 0
5	Metana	0 0 0 0 1 0
6	N-heksana	0 0 0 0 0 1



Gambar 3.7 Arsitektur Jaringan *Neural Network*

Berdasarkan Gambar 3.11 dapat dibuat program sebagai berikut.

```

procedure TForm2.FeedFoward;
var
    i,j:integer;
    temp:double;

```

```

begin
    {-----layer hidden-----}

    for j:=1 to n_hidden do
    begin
        temp:=0;
        for i:=1 to n_input do
        begin
            temp:=temp+(w1[j,i]*DataIN[i,k]);
        end;
        temp      := temp-bias1[j];
        out1[j]   := 1/(1+exp(-1*Alpha*temp)); //binary sigmoid
        gout1[j] := alpha*out1[j]*(1-out1[j]); //1st derivative
    end;

    {-----layer output-----}

    for j:=1 to n_output do
    begin
        temp:=0;
        for i:=1 to n_hidden do
        begin
            temp:=temp+(w2[j,i]*out1[i]);
        end;
        temp      := temp-bias2[j];
        out2[j]   := 1/(1+exp(-1*alpha*temp)); //binary sigmoid
        gout2[j] := alpha*out2[j]*(1-out2[j]); //1st derivative
    end;
end;

```

### 3.4.1 Backpropagation

Algoritma *backpropagation* diperlukan dalam proses klasifikasi jenis gas, karena selama proses pembelajaran memiliki kemampuan untuk memperbaiki bobot pada layer tersembunyi. Berdasarkan Persamaan 2.19 sampai Persamaan 2.28 dapat dibuat program sebagai berikut.

```

procedure TForm2.error;
var
    i,j:integer; sumdif:Double;
begin
    sumdif:=0;

    {-----SSE-----}
    for j:=1 to n_output do
    begin
        dif[j,k]:= + Sqr(dOut[j,k]-out2[j]);
        sumdif:=sumdif+dif[j,k];
    end;
    err[k]:= 0.5*(sumdif);
    E      := E+(err[k]);

```

```

{-----Portion of Error Correction Weight Adjustment-----}
{-----layer output-----}
for j:=1 to n_output do
begin
d2[j]:=dOut[j,k]-out2[j])*gout2[j];
end;
{-----layer hidden-----}
for i:=1 to n_hidden do
begin
for j:=1 to n_output do
begin
d1[i]:=d1[i] + (d2[j]*w2[j,i]);
end;
d1[i]:=d1[i]*gout1[i];
end;
end;

//=====Update Weight & Bias=====
procedure TForm2.miuVal;
begin
case rg1.ItemIndex of
0: miu[n+1]:=miu0;
1: miu[n+1]:=miu0/(1+((n+1)/tau));
end;
end;

procedure TForm2.update;
var
i,j:integer;
temp:double;
begin
{-----layer output-----}
for j:=1 to n_output do
begin
for i:=1 to n_hidden do
begin
case rg2.ItemIndex of //with or w/o momentum updating
0: temp:=d2[j]*out1[i];
1: begin
temp:=(d2[j]*out1[i]+mom*d2_last[j]*out1_last[i]);
d2_last[j]:=d2[j];
out1_last[i]:=out1[i];
end;
end;
w2[j,i]:=w2[j,i]+miu[n]*temp;
end;
bias2[j]:=bias2[j]-miu[n]*d2[j];
end
{-----layer hidden-----}
for j:=1 to n_hidden do
begin
for i:=1 to n_input do
begin
case rg2.ItemIndex of //with or w/o momentum updating
0: temp:=d1[j]*(DataIN[i,k]);
1: begin
temp:=(d1[j]*(DataIN[i,k])+mom*d1_last[j]*
(DataIN[i,k-1]));

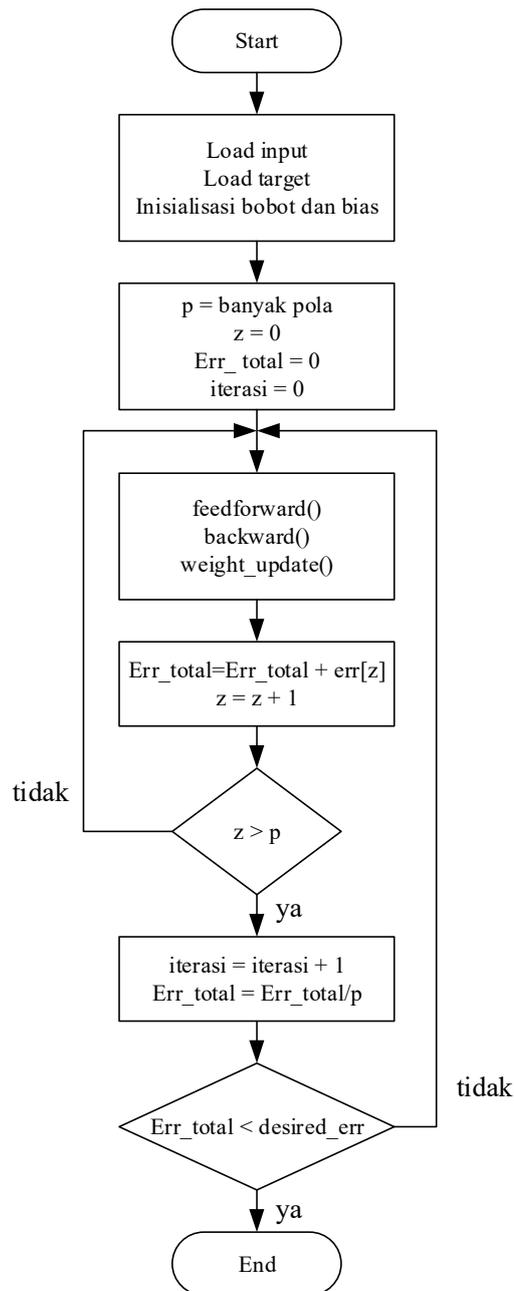
```

```

        dl_last[j] := dl[j];
    end;
end;
w1[j,i] := w1[j,i] + miu[n] * temp;
end;
bias1[j] := bias1[j] - miu[n] * dl[j];
end;
end;

```

Untuk melakukan pelatihan dengan sejumlah  $p$  pola dapat dibuat diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Diagram Alir Pelatihan *Neural Network* dengan Banyak Pola

### 3.5 Proses Akuisisi Data Sensor Serat Optik

Proses akuisisi data dilakukan terhadap perubahan intensitas cahaya yang diakibatkan oleh perubahan ketebalan atau proses *swelling* polimer ketika dialirkan gas sampel pada wadah sensor, ditangkap oleh fotodioda kemudian diolah oleh rangkaian pengkondisi sinyal dan diteruskan ke Arduino Nano untuk proses pembacaan data nilai tegangan sensor serat optik.

#### 3.5.1 *Coupler* Serat Optik

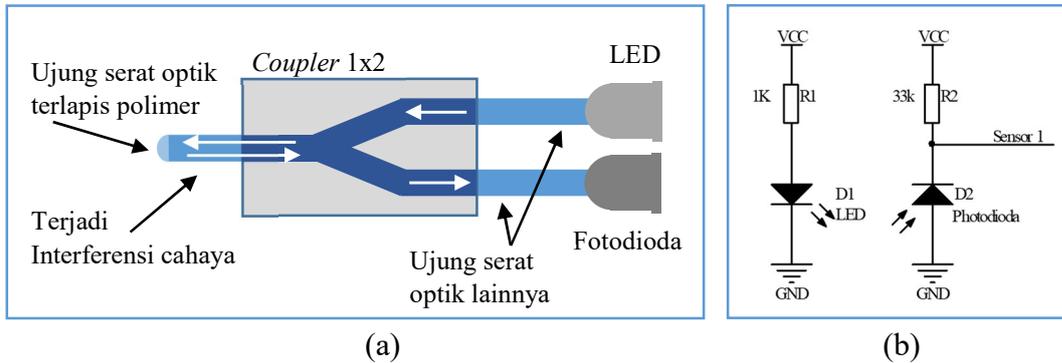
*Coupler* serat optik digunakan sebagai media sensor untuk jalannya berkas cahaya, mulai dari masuknya sumber cahaya, terjadinya interferensi cahaya, dan cahaya pantul hasil interferensi. Ujung serat optik pada satu sisi *coupler* dilapisi oleh polimer dan dimasukkan ke dalam wadah sensor. Sedangkan dua serat optik lainnya pada *coupler* digunakan untuk jalur sumber cahaya LED dan jalur masuknya interferensi cahaya yang ditangkap oleh fotodioda, melalui rangkaian sensor. *Coupler* serat optik yang digunakan dalam penelitian adalah *coupler* 1x2 dengan ratio 50:50, yang banyak digunakan sebagai *coupler* (*splitter/combiner*) pada jaringan optik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.

#### 3.5.2 Rangkaian Sensor

Rangkaian sensor digunakan sebagai penunjang dari sensor serat optik, yang terdiri dari LED putih sebagai sumber cahaya dan fotodioda yang digunakan untuk menangkap perubahan intensitas cahaya. LED putih digunakan karena memiliki spektrum gelombang cahaya yang lebar dan perubahan intensitas cahaya dapat diamati pada panjang gelombang antara 400nm sampai 700nm.



Gambar 3.9 *Coupler* Serat Optik 1x2



Gambar 3.10 Sensor Interferometer Optik (a) Prinsip Kerja Sensor (b) Rangkaian Sensor

LED yang digunakan sebanyak tiga buah dengan ukuran 5mm menggunakan sumber tegangan 5 Volt. Resistor sebanyak tiga buah dengan nilai tahanan  $220\Omega$  dipasang pada kaki anoda. Fungsi resistor sebagai pembatas arus pada LED, sehingga LED tidak rusak. Sedangkan Fotodioda yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak tiga buah dengan sumber tegangan DC 5 Volt. Rangkaian fotodioda menggunakan konsep pembagi tegangan dengan memberikan resistor  $33K\Omega$  pada setiap kaki katoda.

Prinsip kerja sensor serat optik dan skematik rangkaian sensor pada sistem dapat dilihat pada Gambar 3.10. Apabila fotodioda terkena cahaya maka resistansinya berkurang dan jika tidak terkena cahaya maka resistansinya meningkat. Jika resistansinya menurun maka tegangan yang terukur pada data sensor 1, data sensor 2, dan data sensor 3 akan menurun dan jika resistansinya naik, maka tegangan akan naik. Selanjutnya data sensor 1, data sensor 2, dan data sensor 3 akan masuk ke rangkaian pengkondisi sinyal.

### 3.5.3 Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal terdiri dari rangkaian *Low Pass Filter* (LPF) dan rangkaian penguat *non-inverting*. Rangkaian *Low Pass Filter* digunakan untuk meredam frekuensi tinggi yang muncul pada sinyal data karena pengaruh noise. Sedangkan rangkaian penguat *non-inverting* digunakan untuk menguatkan sinyal data agar perubahan nilai tegangan sensor serat optik dari data sensor 1, data sensor 2, dan data sensor 3, dapat dibaca dalam skala volt. Penguatan sinyal dilakukan

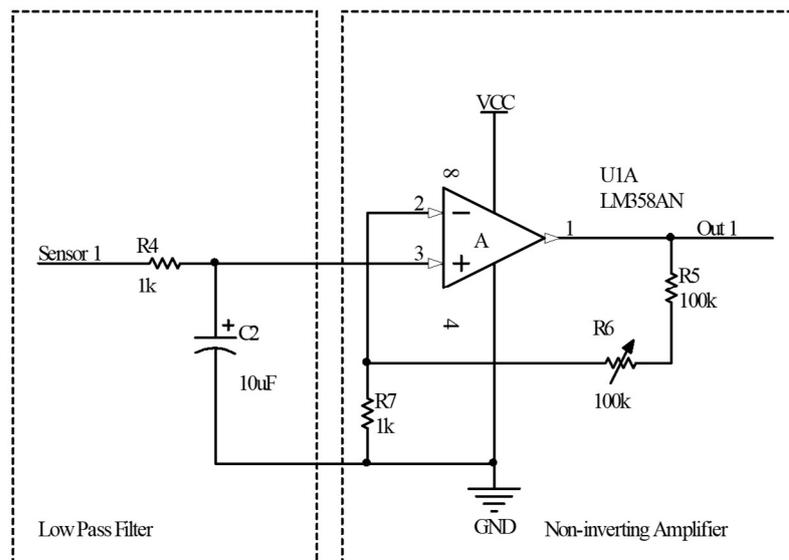
sebab tegangan yang berasal dari fotodiode terbaca sangat kecil yaitu dalam skala milivolt. Skematik rangkaian LPF dan penguat *non-inverting* dapat ditunjukkan pada Gambar 3.11. Rangkaian LPF terdiri dari resistor  $1k\ \Omega$  yang disusun secara seri dengan kapasitor  $1\mu F$ . Sehingga berdasarkan Persamaan 2.31, besarnya frekuensi cut-off adalah  $1.59\ Hz$ .

Penguatan operasional dengan IC OpAmp LM358 yang digunakan dalam sistem ini didesain *non-inverting*. Dengan sinyal input yang diberikan pada terminal input *non-inverting*, maka besarnya penguatan tegangan tergantung pada harga  $R_{in}$  dan  $R_f$  yang dipasang. Besarnya penguatan (*Gain*) tegangan keluaran dari rangkaian penguat *non-inverting* dapat dituliskan dalam Persamaan 3.2,

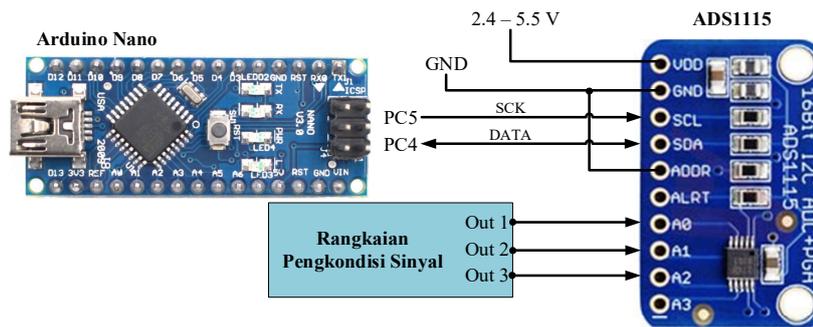
$$Gain = \left( \frac{R_f}{R_{in}} \right) + 1 \quad (3.2)$$

dimana  $R_f$  merupakan nilai resistor umpan balik pada OpAmp, dan  $R_{in}$  merupakan nilai resistor pada sinyal masukan.

Pada skematik rangkaian penguat yang ditunjukkan pada Gambar 3.8, rangkaian penguat menggunakan resistor  $R_f\ 200K\Omega$  dan  $R_{in}\ 1K\Omega$ . Penggunaan  $R_f$  dan  $R_{in}$  diharapkan dapat menguatkan tegangan dari fotodiode sebanyak 201 kali.



Gambar 3.11 Skematik Rangkaian Pengkondisi Sinyal Terdiri dari LPF dan Penguat *Non-inverting*



Gambar 3.12 Skematik Rangkaian ADS1115

### 3.5.4 Pembacaan Nilai Tegangan Sensor Serat Optik

Proses pembacaan nilai tegangan, berdasarkan perubahan intensitas cahaya, menjadi data digital dilakukan dengan menggunakan modul ADS1115 yang memiliki resolusi 16 bit. Pengukuran tegangan keluaran dari rangkaian pengkondisi sinyal dilakukan dalam mode non-diferensial (*single ended input*) yang hanya mengukur tegangan positif saja, dengan resolusi efektif sebesar 15 bit pada kanal masukan analog A0 – A3. Besarnya penguatan (*Programmable Gain Amplifier*) diatur pada nilai penguatan 1x dengan rentang tegangan masukan berkisar antara 0 – 4.096 Volt, sesuai dengan rentang tegangan keluaran dari rangkaian pengkondisi sinyal. Sehingga untuk resolusi 1 bit akan didapatkan sebesar  $4.096 \text{ Volt} / 2^{15} = 0.125\text{mV}$ . Skematik rangkaian ADS1115 ditunjukkan pada Gambar 3.12.

Pin keluaran dari rangkaian pengkondisi sinyal terhubung pada kanal masukan analog A0, A1, dan A2 yang mewakili data dari setiap sensor serat optik. Data digital hasil dari proses konversi ADC dikirimkan ke Arduino Nano dengan menggunakan protokol I<sup>2</sup>C melalui pin SCL dan SDA. Pengalamatan 0x48, untuk pengiriman dengan protokol I<sup>2</sup>C, dilakukan pada ADS1115 dengan menghubungkan pin ADDR pada pin GND. Data digital ADC kemudian diolah oleh Arduino Nano untuk mengetahui nilai tegangan pada tiap sensor serat optik.

### 3.6 Uap Pelarut Organik

Uap pelarut dapat dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan tingkat kepolaran senyawa organik yaitu polar protik, polar aprotik dan non-polar. Uap pelarut senyawa organik yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Jenis Senyawa Organik yang Diujikan

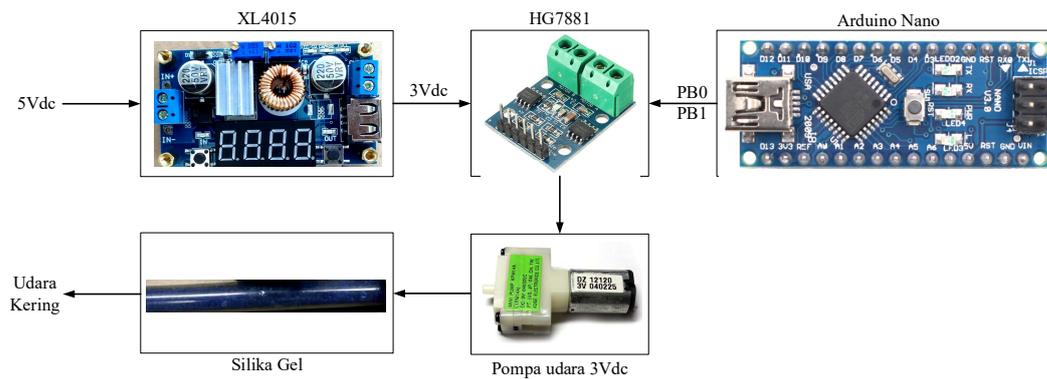
No.	Senyawa Organik	Polaritas	Momen Dipol
1	Benzena (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	Non-Polar	0
2	Metana (CH <sub>4</sub> )	Non-Polar	0
3	N-Heksana (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	Non-Polar	0.08
4	Amonia Cair (NH <sub>3</sub> )	Polar	1.42
5	Etil Asetat (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> )	Polar	1.78
6	Aseton (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O)	Polar	2.91

Senyawa organik benzena, metana, dan n-heksana tergolong senyawa non-polar. Sedangkan senyawa organik amonia, etil asetat, dan aseton tergolong senyawa polar. Semakin besar nilai momen dipol dari senyawa organik, maka semakin besar tingkat kepolaran senyawa organik.

Pemilihan sampel senyawa organik didasarkan pada segi kemanfaatan, bahaya dampak yang ditimbulkan dan karakterisasi sensor. Semua pelarut organik yang digunakan memiliki bau yang khas. Bau khas dalam konsentrasi rendah, tidak dapat terdeteksi oleh indera penciuman. Sehingga diperlukan sensor gas agar dapat mengklasifikasi jenis gas. Sistem aliran udara, yang terdiri dari pompa udara, silika gel, dan sistem katup, digunakan untuk mengatur aliran uap pelarut organik masuk ke dalam wadah sensor.

### 3.7 Sistem Aliran Udara

Sistem aliran udara berfungsi untuk mengalirkan udara yang berasal dari pompa udara untuk mengalirkan udara kering dari silika atau mengalirkan sampel gas ke dalam wadah sensor. Pengaturan aliran udara kering atau sampel gas dilakukan oleh sistem katup dengan menggunakan katup 1 (*valve cleaning*) yang mengalirkan udara kering untuk pembersihan wadah sensor, katup 2 (*valve in*) dan katup 3 (*valve out*) untuk mengalirkan sampel gas ke dalam wadah sensor, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.13 Sistem Pompa Udara

### 3.7.1 Pompa Udara

Pompa udara digunakan sebagai fasa gerak untuk mengalirkan udara ke dalam wadah sensor. Pada penelitian ini digunakan pompa udara mini DC 3V. Kecepatan aliran udara dari pompa diatur sebesar 0.1 *liter per minute* (LPM) untuk mengurangi perubahan respon sensor saat kondisi tunak/mantap (*steady state*).

Pengaturan kecepatan aliran udara dilakukan dengan mengatur kecepatan putar motor. Modul *driver* motor HG7881 digunakan untuk mengontrol kecepatan putar motor pompa. *Driver* motor HG7881 dipilih karena dapat mengontrol motor dengan tahanan sebesar 3Vdc. Tegangan 3Vdc dihasilkan dari konverter DC-DC boost XL4015. Lubang keluaran pompa udara dihubungkan dengan silika gel. Integrasasi sistem pompa udara dapat ditunjukkan oleh Gambar 3.13.

### 3.7.2 Silika Gel

Silika gel biru digunakan untuk menyerap dan meminimalkan uap air yang terkandung di udara dan menghasilkan udara kering untuk dialirkan ke wadah sensor. Udara kering yang dialirkan digunakan untuk membersihkan wadah sensor dari sampel gas yang terikat pada polimer dan wadah sensor kembali kondisi awal.

Silika gel dapat berubah warna menjadi merah muda saat silika gel berada dalam kondisi jenuh, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.14. Silika gel yang digunakan dalam penelitian ini, seperti pada Gambar 3.15, dapat digunakan kembali saat silika gel sudah dalam keadaan jenuh, dengan cara menyangrai silika gel dalam panas yang cukup, agar uap air yang terkandung dalam silika gel dapat menguap dan silika gel kembali menjadi biru.



Gambar 3.14 Silika Gel Saat Kondisi Jenuh dan Kondisi Baik



Gambar 3.15 Tabung Silika Gel

### 3.7.3 Sistem Katup

Sistem katup digunakan untuk mengatur aliran udara ke dalam wadah sensor. Pengaturan aliran udara dilakukan untuk mengalirkan udara kering saat pembersihan wadah sensor ataupun untuk mengalirkan sampel gas ke dalam wadah sensor. Konfigurasi pengaturan aliran udara ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Konfigurasi Sistem Katup Aliran Udara

Kondisi	Sistem Katup			Fungsi
	<i>Valve Cleaning</i>	<i>Valve In</i>	<i>Valve Out</i>	
1	Terbuka	Tertutup	Tertutup	Mengalirkan udara kering ke dalam wadah sensor
2	Tertutup	Terbuka	Terbuka	Mengalirkan gas sampel ke dalam wadah sensor



Gambar 3.16 Wadah Sensor Serat Optik

Sistem katup terdiri dari tiga buah katup solenoid 12Vdc, yaitu katup 1 (*valve cleaning*), katup 2 (*valve in*), dan katup 3 (*valve out*), yang disusun sesuai konfigurasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3. Modul relay 5V digunakan untuk mengontrol katup solenoid dari Arduino Nano.

### 3.8 Wadah Sensor

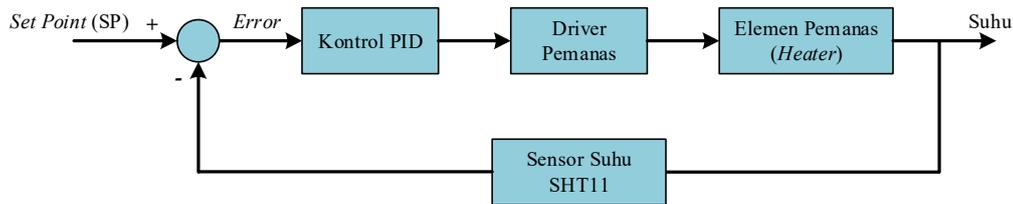
Pada Gambar 3.16, wadah sensor terdapat dua jalur aliran udara, yaitu jalur masuknya gas (*inlet*) dan jalur keluarnya gas (*outlet*). Wadah sensor dibuat serapat mungkin agar tidak ada pengaruh udara gas di luar wadah sensor. Pada wadah sensor dipasang sensor suhu, sensor kelembaban, pemanas, dan kipas.

### 3.9 Sistem Pemanas

Sistem pemanas berfungsi sebagai pemanas pada wadah sensor. Sebuah sistem kontrol dibutuhkan untuk mendapatkan suhu yang konstan. Kontrol PID digunakan sebagai pengatur suhu pada wadah sensor. Sistem pemanas dilakukan oleh dua sistem rangkaian, yaitu rangkaian pemanas dan rangkaian kipas pendingin. Sistem pembacaan suhu dilakukan oleh sensor suhu dan kelembaban SHT11.

#### 3.9.1 Kontrol PID

Pada sistem ini, pengontrolan suhu pada wadah sensor dilakukan berdasarkan kontrol proporsional, integral dan derivative (PID). Kontrol PID merupakan kontroler untuk menentukan kepresisian suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Sehingga dengan memberikan kontrol PID, suhu yang diinginkan tetap terjaga. PID adalah kontrol yang terdiri dari proporsional ( $K_p$ ), integral ( $K_i$ ), dan derivatif ( $K_d$ ). Perancangan kontrol suhu dengan menggunakan kontrol PID pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Diagram Blok Kontrol Suhu dengan Kontrol PID

*Set point* berfungsi untuk menentukan nilai keluaran sistem yang diinginkan. Kontrol PID berfungsi sebagai otak dari pengontrol yang diproses oleh mikrokontroler, adapun persamaan kontrol PID ditunjukkan pada Persamaan 2.33. *Driver* pemanas berfungsi untuk mengubah sinyal kontrol menjadi tegangan. Elemen pemanas (*heater*) berfungsi sebagai elemen yang akan dipanaskan oleh *driver* pemanas, dan sensor suhu SHT11 berfungsi untuk membaca nilai suhu pada wadah sensor.

Nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  dicari secara manual dengan mengamati respon dari suhu yang terbaca pada SHT11. Sehingga dapat dibuat logika pemrograman seperti berikut :

1. Menentukan nilai suhu yang diinginkan (*set point*) dan waktu sampling.
2. Menentukan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  secara tuning manual.
3. Kontrol Proporsional
  - a. Mendapatkan *error* proporsional dengan mengurangi nilai suhu yang diinginkan (*set point*) dengan nilai dari sensor SHT11.
  - b. Keluaran kontrol proporsional adalah hasil dari  $K_p$  tuning manual dikalikan dengan nilai *error*.
4. Kontrol Integral
  - a. Mendapatkan *error* integral dengan cara menjumlahkan nilai error proporsional dengan nilai *error* sebelum integral.
  - b. Keluaran kontrol integral adalah hasil kali  $K_i$  tuning manual dengan nilai *error* integral dan waktu sampling.

## 5. Kontrol Derivatif

- a. Mendapatkan *error* derivatif dengan mengurangi *error* proporsional dengan *error* sebelum derivatif atau mengurangi nilai dari sensor SHT11 sekarang dengan nilai dari sensor SHT11 sebelumnya.
  - b. Keluaran kontrol derivatif adalah hasil kali  $K_d$  tuning manual dengan error derivatif, kemudian dibagi dengan waktu sampling.
6. Kontrol PID adalah hasil dari penambahan keluaran kontrol proporsional, kontrol integral, dan kontrol derivatif.

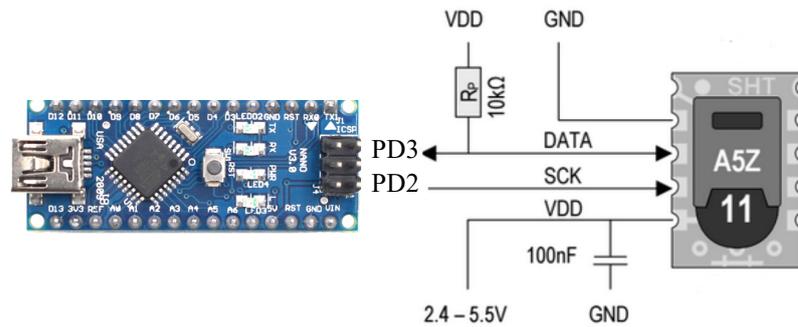
### 3.9.2 Sensor suhu dan kelembaban

Dalam perancangan sensor suhu dan kelembaban pada sistem ini, sensor yang digunakan adalah SHT11. Sensor SHT11 berfungsi untuk mendeteksi suhu dan mendeteksi tingkat kelembaban pada wadah sensor serat optik. Sensor ini bisa mendeteksi suhu  $-4^{\circ}\text{C}$  sampai  $123.8^{\circ}\text{C}$  dengan resolusi pengukuran 14 bit sebesar  $0.01^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan tingkat kelembaban yang dapat diukur berkisar antara 0-100 %RH, dengan resolusi pengukuran 12 bit sebesar 0.05 %RH.

Sensor SHT11 sudah memiliki keluaran digital dan sudah terkalibrasi. Dibagian dalamnya terdapat kapasitas polimer sebagai elemen untuk kelembaban dan sebuah pita regangan sebagai sensor temperatur. Data dari SHT11 dikirimkan ke Arduino Nano untuk diolah datanya melalui komunikasi data dua arah (*bidirectional two-wire*). sensor SHT11 yang digunakan dapat ditunjukkan pada Gambar 3.18. Sedangkan Skematik rangkaian SHT11 dan pengambilan data ditunjukkan pada Gambar 3.19.



Gambar 3.18 Sensor Suhu dan Kelembaban SHT11

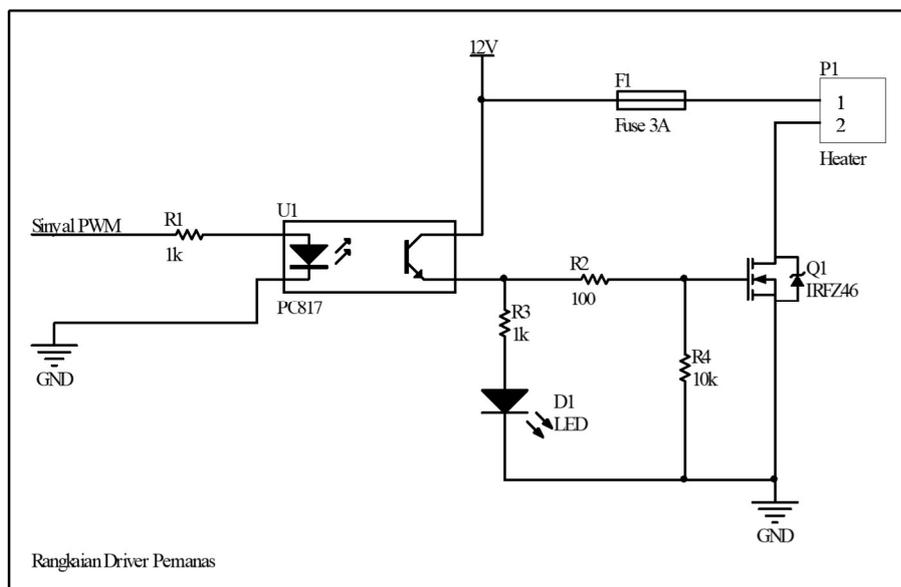


Gambar 3.19 Skematik Rangkaian SHT11

### 3.9.3 Rangkaian Pemanas dan Kipas Pendingin

Perancangan *driver* pemanas (*heater*) menggunakan rangkaian utama berupa PC817 dan IRFZ46 (Mosfet N-Channel). penggunaan PC817 sebagai optoisolator untuk menghubungkan rangkaian pengendali dengan rangkaian daya dan juga pengamanan rangkaian pengendali. PC817 bekerja secara optik, dengan memanfaatkan dioda infrared dan phototransistor yang tidak terhubung secara elektrik.

Skematik *driver* pemanas dapat dilihat pada Gambar 3.20. Pemanas yang digunakan adalah elemen *heater* 12Vdc 50W, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.21.



Gambar 3.20 Skematik Rangkaian *Driver* Pemanas



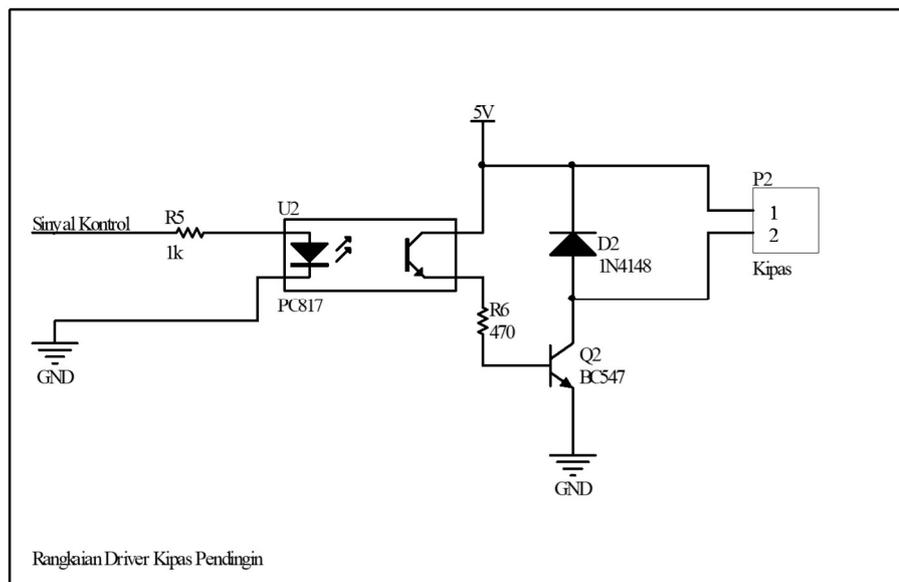
Gambar 3.21 Elemen *Heater* 12Vdc 50W

Prinsip kerja rangkaian *driver* pemanas pada Gambar 3.20 adalah saat PWM dari Mikrokontroler mengirimkan pulsa, maka arus akan mengalir menuju R1 1k $\Omega$  kemudian menuju PC817. Hal ini menyebabkan PC817 “ON”, maka mosfet IRFZ46 akan ikut “ON”, sehingga tegangan 12Vdc akan melewati mosfet dan menuju pemanas, sehingga pemanas menjadi aktif.

Kipas pendingin yang dikonfigurasi pada sistem ini digunakan untuk mendinginkan wadah sensor serat optik. Kipas pendingin yang digunakan adalah kipas mini 5Vdc, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.22.



Gambar 3.22 Kipas Pendingin 5Vdc



Gambar 3.23 Rangkaian *Driver* Kipas Pendingin

Kipas menggunakan sumber tegangan 5Vdc dan dikendalikan oleh transistor BC547. BC547 dikontrol melalui optoisolator PC817 dan mendapat kendali dari mikrokontroler melalui Port B.2, dimana hanya akan memberikan logika “*high*” dan “*low*”. Skematik *driver* kipas pendingin dapat dilihat pada Gambar 3.23.

### 3.10 Desain *User Interface*

Desain antarmuka pengguna (*user interface*) dirancang menggunakan bahasa pemrograman Delphi. Desain antarmuka (*interface*) diharapkan dapat mempermudah pengguna (*user*) untuk mengoperasikan sistem dalam hal proses pembelajaran *neural network* dan proses klasifikasi uap pelarut organik.

Desain yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 3.24. Desain antarmuka yang dibuat terdiri dari enam buah menu utama (*Sensor Output, Change Output Voltage, Normalization, NN Training, NN Identification, dan Settings*).

Menu *Sensor Output* berisi informasi dari grafik nilai tegangan keluaran dari ketiga sensor optik, grafik nilai suhu dan grafik nilai kelembaban. Sedangkan pada menu *Change Output Voltage* berisi informasi perubahan nilai tegangan yang dihasilkan dari setiap sensor optik. Pada menu *Normalization*, berisi informasi dari hasil normalisasi perubahan nilai tegangan dari setiap sensor optik.

Pada menu *Neural Network - Training* terdapat tiga bagian pengaturan (*Load Input and Target, Neural Network parameter, actual parameter*), grafik error pembelajaran dan tabel data input. Fungsi dari tiap komponen pada menu *Network-Training* adalah sebagai berikut.

1. Pada bagian *Load Input and Target* terdapat dua tombol, tombol *Load Input* untuk memasukkan data yang akan dilatih, dan tombol *Load Target* untuk memasukkan data nilai target pembelajaran, sesuai dengan Tabel 3.3.
2. Pada bagian *Neural Network parameter* terdapat beberapa masukkan parameter yang dapat diatur untuk proses pembelajaran, yang terdiri dari *Miu, Alpha, Limit Error, Hidden Neuron, Tau*, pemilihan mode untuk memperbarui nilai *miu* dan momentum pada *Setting Miu* dan *Setting Momentum*. Tombol

*Start Training* digunakan untuk memulai proses pembelajaran, sedangkan tombol *Save Weight and Bias* digunakan untuk menyimpan nilai bobot akhir hasil pembelajaran.

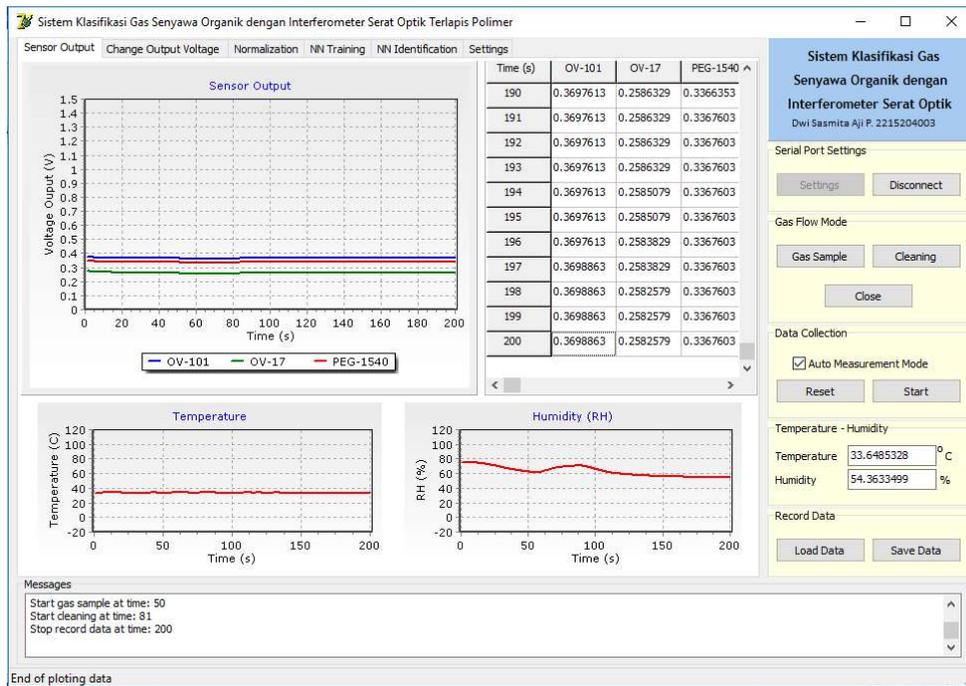
3. Pada bagian *Actual Parameter* terdapat informasi tentang hasil perhitungan MSE dan jumlah iterasi.

Pada menu *Neural Network – Identification* terdapat dua mode proses klasifikasi, yaitu *Offline Mode* dan *Online Mode*. Fungsi dari tiap mode pada menu *Neural Network – Identification* adalah sebagai berikut.

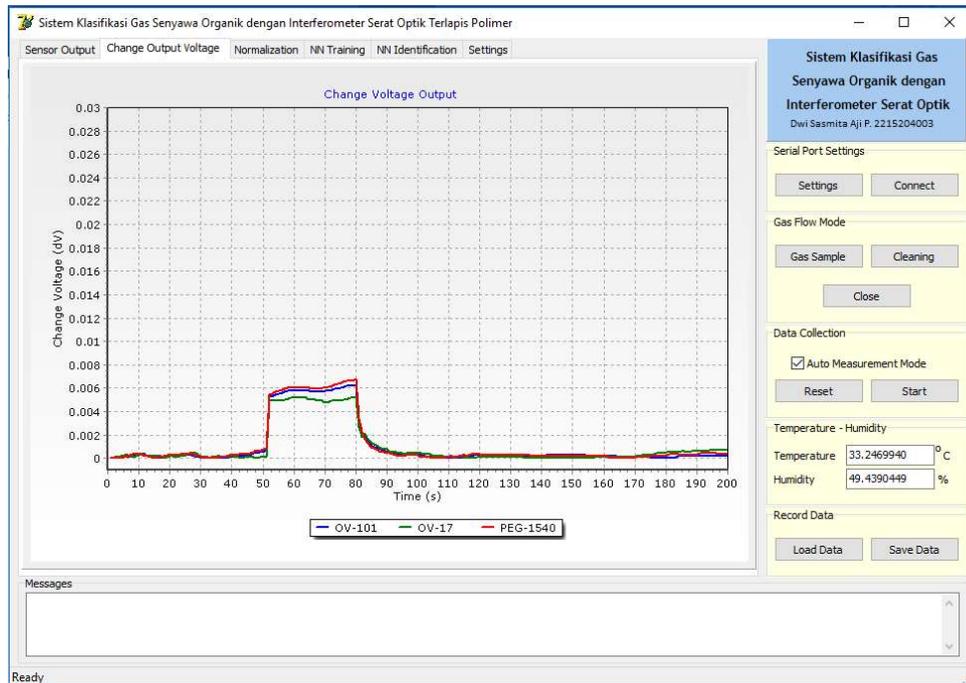
1. Pada bagian *Offline Mode* terdapat tombol *Load Weight*, *load Input* dan *Test* untuk data nilai masukkan yang akan diidentifikasi. Setelah dilakukan proses identifikasi maka akan muncul nilai keluaran dari setiap neuron output dan hasil identifikasi.
2. Pada bagian *Online Mode*, proses identifikasi dilakukan secara otomatis setelah dilakukan proses pengambilan data. Nilai bobot akhir hasil pembelajaran secara otomatis dimasukkan pada proses identifikasi. Setelah dilakukan proses identifikasi maka akan muncul nilai keluaran dari setiap neuron output dan hasil identifikasi.

Pada menu *Settings*, terdapat beberapa bagian yang terdiri dari *Parameter PID Control*, *Data Acquisition*, *Air Pump Speed*, *Temperature Control*, dan grafik *Temperature Control*. Fungsi dari tiap komponen pada menu *Settings* adalah sebagai berikut.

1. *Parameter PID Control* digunakan untuk melakukan pengaturan nilai *gain*  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ , serta nilai *Set Point*.
2. *Data Acquisition* digunakan untuk pengaturan dan pemilihan waktu sampling data dan pengambilan data.
3. *Air Pump Speed* digunakan untuk pengaturan kecepatan motor pompa.
4. *Temperature Control* digunakan untuk melakukan kontrol suhu dan ditampilkan nilai *Set Point* dan nilai suhu pada grafik *Temperature Control*.

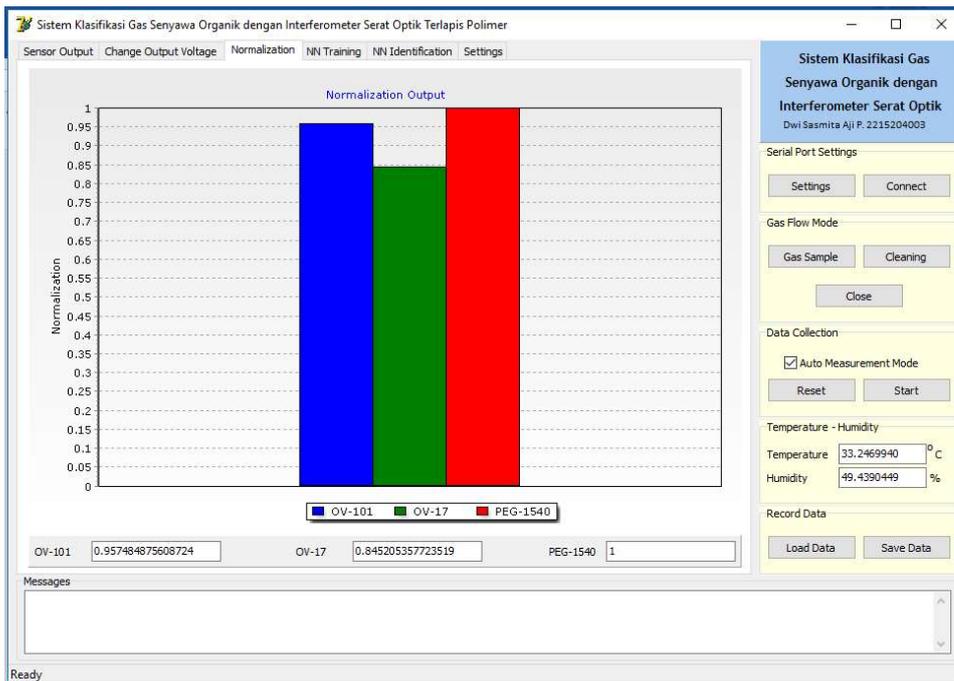


(a)

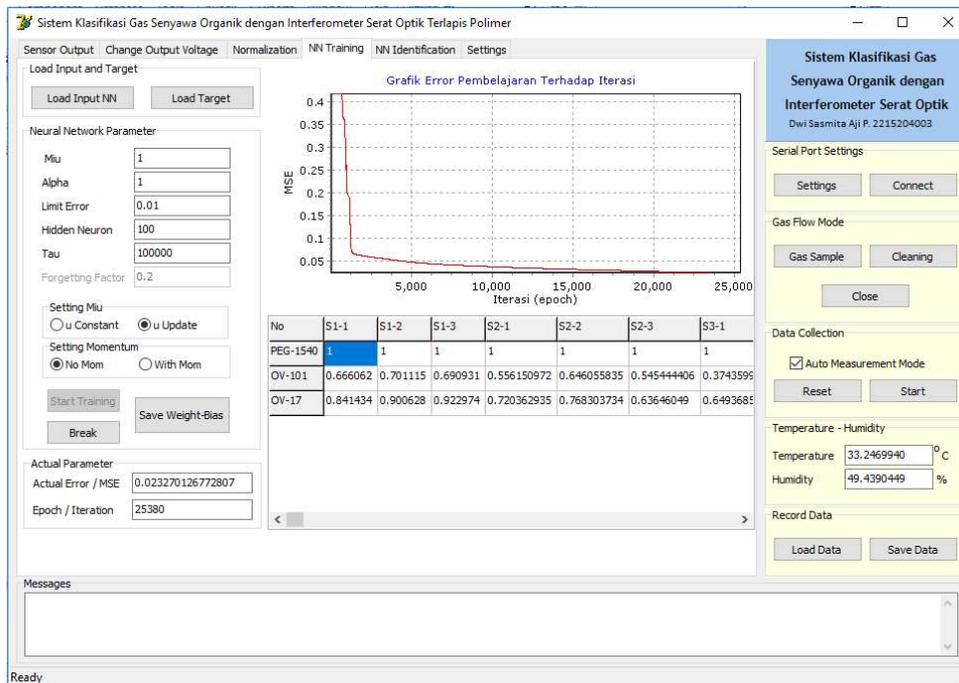


(b)

Gambar 3.24 Desain Antarmuka Perangkat Lunak (a) *Sensor Output* (b) *Change Output Voltage*

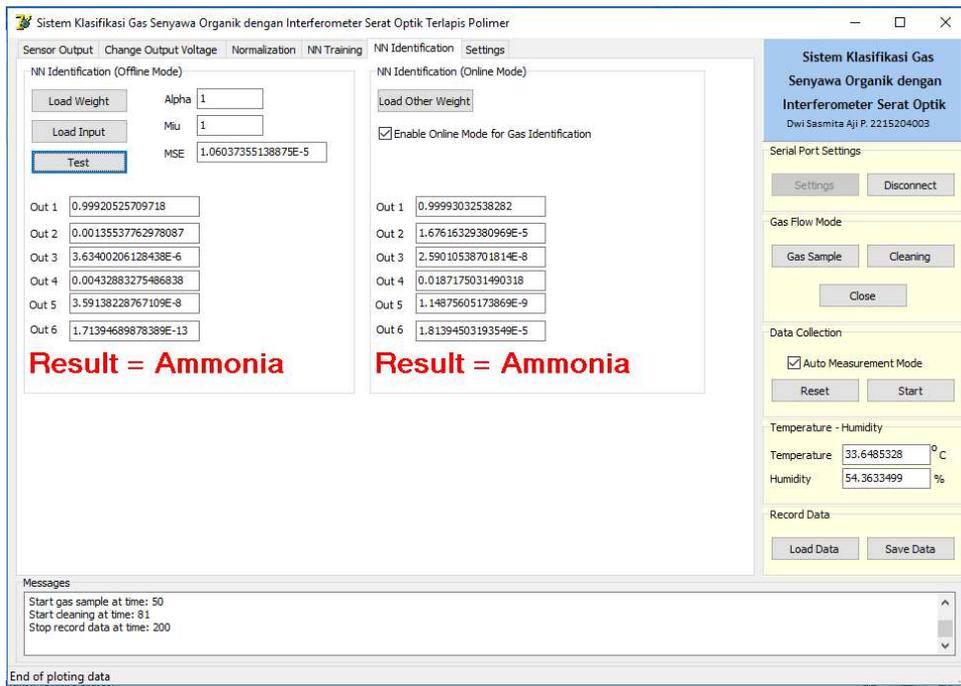


(c)

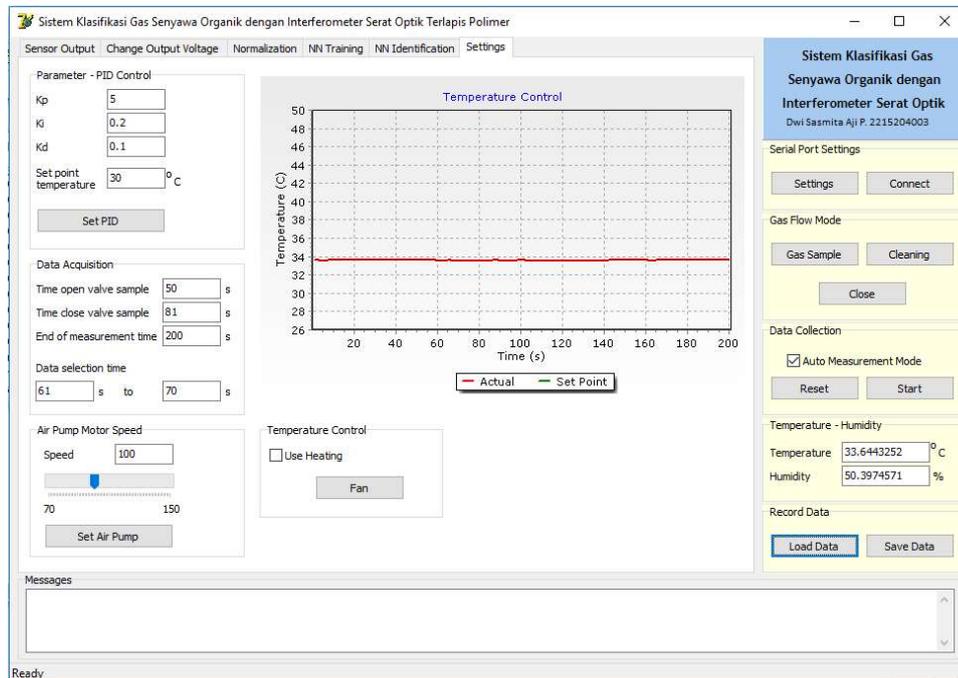


(d)

Gambar 3.24 Desain Antarmuka Perangkat Lunak (c) Normalization (d) NN-Training (lanjutan)



(e)



(f)

Gambar 3.24 Desain Antarmuka Perangkat Lunak (e) *NN-Identification* (f) *Settings* (lanjutan)

Pada menu utama terdapat panel utama yang terdiri dari empat bagian pengaturan, yaitu *Serial Port Settings* untuk pengaturan COM komunikasi serial, *Gas Flow Mode* untuk pemilihan mode aliran udara yang masuk ke dalam wadah sensor, *Data Collection* untuk mengatur proses pengambilan data, *Temperature – Humidity* yang menunjukkan nilai aktual suhu dan kelembaban, serta *Recod Data* untuk melakukan perekaman data baik untuk menyimpan maupun membuka data yang telah disimpan.

### **3.11 Prosedur Pengambilan Data**

Prosedur pengambilan data dilakukan untuk pengambilan data pembelajaran NN dan data uji untuk klasifikasi, serta pengambilan data perubahan suhu dan kelembaban.

#### **3.11.1 Pengambilan Data Pembelajaran *Neural Network***

Pengambilan data pembelajaran *neural network* (NN) terdiri dari tiga data tiap sampel uap pelarut organik. Total terdapat 18 data untuk keseluruhan pengujian. Data dalam domain waktu diambil sebanyak 200 detik untuk setiap jenis gas. Pada setiap pengambilan data, udara bersih dimasukkan dari detik ke-0 sampai detik ke-50, selanjutnya mengalirkan gas dari detik ke-51 sampai detik ke-80, kemudian mengalirkan udara bersih kembali dari detik ke-81 sampai detik ke-200. Data yang dijadikan pembelajaran adalah nilai normalisasi dari nilai rata-rata perubahan tegangan dari detik ke-61 sampai detik ke-70.

Selama proses pengambilan data pembelajaran seluruh data ditampilkan dalam grafik nilai tegangan keluaran sensor pada *Sensor Output* dan grafik perubahan nilai tegangan sensor pada *Change Voltage Output*. Data yang telah diambil dapat disimpan dengan cara menekan tombol *Save Data* untuk menyimpan keseluruhan data tegangan sensor dari awal sampai akhir pengambilan data, termasuk menyimpan data normalisasi, seperti yang ditunjukkan Gambar 3.24. Setelah data normalisasi dari semua sampel gas disimpan, langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data normalisasi dan menentukan target keluaran NN yang akan digunakan untuk pembelajaran NN. Data pembelajaran dikumpulkan dan dijadikan dalam satu file serta diberi nama “data sensor.xls”.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	No	S1-1	S1-2	S1-3	S2-1	S2-2	S2-3	S3-1	S3-2	S3-3
2	PEG-1540	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	OV-101	0.666062	0.701115	0.690931	0.556151	0.646056	0.545444	0.37436	0.099725	0.119721
4	OV-17	0.841434	0.900628	0.922974	0.720363	0.768304	0.63646	0.649369	0.344959	0.332666
5										
6										

Gambar 3.25 Susunan Data Pembelajaran pada *data sensor.xls*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Output	S1-1	S1-2	S1-3	S2-1	S2-2	S2-3	S3-1	S3-2	S3-3
2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	2	0	0	0	1	1	1	0	0	0
4	3	0	0	0	0	0	0	1	1	1
5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Gambar 3.26 Susunan Data Target Keluaran pada *data target.xls*

Kemudian target keluaran NN disusun berdasarkan susunan data pembelajaran dan disimpan dengan nama “data target.xls”. Susunan data pembelajaran dan target keluaran ditunjukkan pada Gambar 3.25 dan Gambar 3.26. Proses pengumpulan data untuk pembelajaran, target keluaran, dan pemberian nama file dilakukan menggunakan program Microsoft Excel.

### 3.11.2 Prosedur Pembelajaran *Neural Network*

Prosedur pembelajaran NN dilakukan pada menu *Neural Network-Training* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.24(d). Proses diawali dengan menekan tombol *Load Input NN* untuk memasukan data pembelajaran yang tersimpan didalam file bernama “data sensor.xls”. Kemudian, menekan tombol *Load Target* untuk memasukkan target keluaran NN yang tersimpan didalam file bernama “data target.xls”. Selanjutnya, menentukan dan mengisi nilai pada *Neural Network Parameter*, yang terdiri dari nilai *Miu*, *Alpha*, *Limit Error*, *Tau*, dan *Hidden Neuron*. Setelah itu, tombol *Start Training* ditekan dan proses pembelajaran akan berjalan. Proses pembelajaran akan berhenti secara otomatis apabila nilai pada *Actual error* memenuhi nilai pada *Limit Error* yang ditentukan. Jika proses pembelajaran selesai, tekan tombol *Save Weight-Bias* untuk menyimpan bobot dan bias akhir. Bobot dan bias akhir akan tersimpan dengan nama “xx\_w1.csv” untuk bobot 1, “xx\_w2.csv” untuk bobot 2, “xx\_bias1.csv” untuk bias 1, dan “xx\_bias2.csv” untuk bias 2, dimana kata “xx” merupakan nama yang diinputkan

ketika melakukan penyimpanan data bobot dan bias akhir. Bobot dan bias akhir ini digunakan pada proses klasifikasi jenis gas.

### 3.11.3 Prosedur Klasifikasi Gas

Proses klasifikasi gas dilakukan sebanyak empat kali untuk setiap sampel gas dengan total keseluruhan adalah 24 kali pengujian untuk klasifikasi. Pengambilan data pada proses klasifikasi gas dilakukan dengan mencentang kotak *Enable Online Mode for Gas Identification* pada bagian *NN Identification (Online Mode)* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.24(e). Untuk bobot dan bias hasil pembelajaran *neural network* secara otomatis di-load oleh program ketika menekan tombol *Start* untuk memulai proses pengambilan data. Hasil akan tertampil pada bagian informasi *Result* pada *NN Identification (Online Mode)*.

### 3.11.4 Pengambilan Data Perubahan Suhu dan Kelembaban

Pengujian sensor serat optik dilakukan pada perubahan suhu dan kelembaban, dimana data yang didapatkan menjadi karakteristik sensor serat optik tersebut. Prosedur pengambilan data perubahan suhu terdiri dari beberapa tahap :

1. Wadah sensor diberi kelembaban dari uap air yang didorong oleh pompa udara.
2. Kelembaban dipertahankan pada tingkat bervariasi, dengan tingkat *Relative Humidity (RH)* 30%, 40%, 50%, dan 60%.
3. Untuk setiap tahap kelembaban (misalnya RH 30%), maka secara bertahap suhu dinaikkan dari 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C.
4. Pengujian dan pengambilan data sensor serat optik terhadap perubahan suhu pada setiap tingkatan kelembaban.

Sedangkan prosedur pengambilan data perubahan kelembaban terdiri dari beberapa tahap, antara lain:

1. Suhu pada wadah sensor diatur bervariasi, dengan tingkat 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C.
2. Pada setiap tingkatan suhu, maka secara bertahap RH dinaikkan dari 30%, 40%, 50%, dan 60% pengontrolan kelembaban dilakukan secara manual dengan cara membuka tutup katup untuk mengalirkan uap air.
3. Pengujian dan pengambilan data sensor serat optik terhadap perubahan kelembaban pada setiap tingkatan suhu.

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengujian dan analisis terhadap hasil perancangan dan pembuatan sistem pada bab sebelumnya. Pengujian tahap awal dilakukan untuk mengetahui besarnya peningkatan sensitivitas pada sensor serat optik yang telah dirancang. Kemudian pengujian dilakukan terhadap sistem klasifikasi gas yang telah dirancang. Adapun pengujian yang dilakukan untuk mendukung sistem klasifikasi gas terdiri dari :

1. Pengujian sensitivitas sensor serat optik.
2. Pengujian sistem klasifikasi gas.
3. Pengujian hasil pembuatan deret sensor serat optik.
4. Pengujian sensor serat optik terhadap sampel gas.
  - a. Pengujian sensor serat optik terhadap gas Benzena.
  - b. Pengujian sensor serat optik terhadap gas Metana.
  - c. Pengujian sensor serat optik terhadap gas N-Heksana.
  - d. Pengujian sensor serat optik terhadap gas Amonia.
  - e. Pengujian sensor serat optik terhadap gas Etil Asetat.
  - f. Pengujian sensor serat optik terhadap gas Aseton.
5. Perbandingan Keenam Sampel Gas.
6. Pengujian pembelajaran *Neural Network*.
7. Pengujian sistem aliran udara.
8. Pengujian kontrol suhu.
9. Pengujian sensitivitas sensor serat optik terhadap perubahan suhu dengan kelembaban tetap.
10. Pengujian sensitivitas sensor serat optik terhadap perubahan kelembaban dengan suhu tetap.

## **4.1 Pengujian Sensitivitas Sensor Serat Optik**

### **4.1.1 Tujuan Pengujian**

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui besarnya peningkatan sensitivitas sensor serat optik pada setiap sampel gas yang diujikan. Peningkatan sensitivitas sensor didasarkan pada perbedaan respon perubahan nilai tegangan antara sensor serat optik yang tidak terlapis polimer dan yang terlapis polimer terhadap sampel gas yang diujikan. Sehingga diperoleh informasi mengenai besarnya peningkatan sensitivitas sensor yang dihasilkan dari pelapisan polimer pada sensor serat optik.

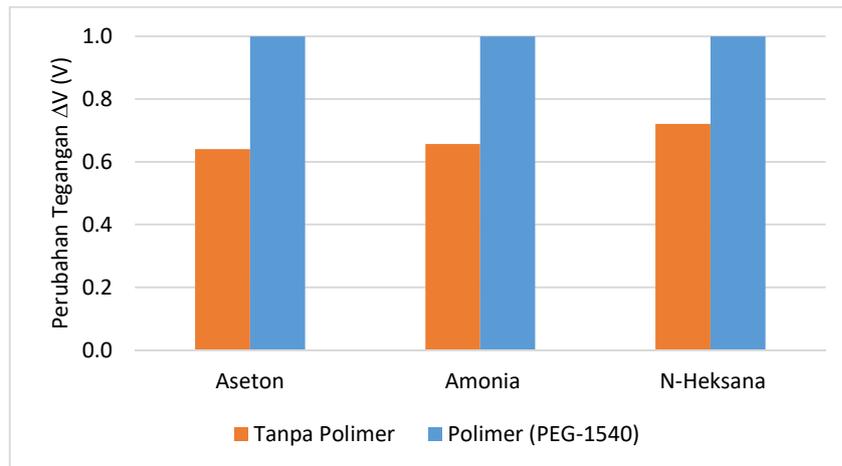
### **4.1.2 Prosedur Pengujian**

Prosedur pengujian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Wadah sensor terlebih dahulu dibersihkan dengan udara kering melalui silika gel dari detik ke-0 sampai detik ke-125.
2. Sampel gas dialirkan ke wadah sensor dari detik ke-126 sampai detik ke-175.
3. Adapun sampel gas yang diujikan adalah aseton, amonia, dan n-heksana.
4. Wadah sensor dibersihkan kembali dengan udara kering dari silika gel dari detik ke-175 sampai detik ke-500.
5. Mekanisme aliran udara kering dan sampel gas diatur menggunakan sistem aliran udara.
6. Setiap sampel gas dilakukan lima kali pengujian.
7. Hasil pengujian diamati dan disimpan menggunakan program di komputer.

### **4.1.3 Hasil Pengujian dan Analisis**

Hasil pengujian sampel gas menunjukkan bahwa setiap sensor serat optik mempunyai respon berbeda-beda. Dari pengujian yang dilakukan sebanyak lima kali kali, dapat ditunjukkan bahwa sensor yang terlapis polimer mempunyai nilai perubahan tegangan lebih besar dibandingkan dengan sensor yang tidak terlapis polimer, seperti terlihat pada hasil normalisasinya sesuai dengan Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Normalisasi Sensor Serat Optik dengan Tidak Terlapis Polimer dan Terlapis Polimer

Berdasarkan hasil pengujian pada sampel gas aseton dapat ditunjukkan bahwa hasil normalisasi dari perubahan nilai tegangan pada sensor serat optik yang tidak terlapis polimer adalah sebesar 0.6405. Sehingga terdapat selisih perbedaan antara sensor yang tidak terlapis polimer dan sensor terlapis polimer adalah sebesar 0.3595. Selisih perbedaan nilai antar sensor menunjukkan adanya peningkatan sensitivitas sebesar 35,95% pada sampel gas aseton.

Sedangkan pada pengujian terhadap sampel gas amonia didapatkan hasil normalisasi terhadap perubahan nilai tegangan pada sensor serat optik yang tidak terlapis polimer adalah sebesar 0.6568. Sehingga terdapat selisih perbedaan antara sensor yang tidak terlapis polimer dan sensor terlapis polimer adalah sebesar 0.3432. Selisih perbedaan nilai antar sensor menunjukkan adanya peningkatan sensitivitas sebesar 34.32% pada sampel gas amonia.

Pada pengujian terhadap sampel gas n-heksana dapat ditunjukkan hasil normalisasi dari perubahan nilai tegangan pada sensor serat optik yang tidak terlapis polimer sebesar 0.7206. Sehingga terdapat selisih perbedaan antara sensor yang tidak terlapis polimer dan sensor terlapis polimer adalah sebesar 0.2794. Selisih perbedaan nilai antar sensor menunjukkan adanya peningkatan sensitivitas sebesar 27.94% pada sampel gas n-heksana.

Dari perbandingan hasil normalisasi perubahan tegangan sensor serat optik yang tidak terlapis polimer dan yang terlapis polimer terhadap ketiga sampel gas yang diujikan, maka didapatkan rata-rata besarnya peningkatan sensitivitas sensor serat optik adalah sebesar 32.74%. Besarnya peningkatan sensitivitas sensor serat optik juga ditentukan oleh ketebalan lapisan polimer yang dilapiskan pada ujung sensor serat optik. Lapisan polimer yang lebih tebal akan menghasilkan sensitivitas yang lebih tinggi, tetapi waktu respon dan waktu pemulihannya akan menjadi lama.

Pengujian sensitivitas terhadap ketiga sampel gas uji menunjukkan hasil bahwa peningkatan sensitivitas terbesar terdapat pada sampel gas aseton. Sedangkan peningkatan sensitivitas terkecil terdapat pada sampel gas n-heksana. Hal ini menunjukkan bahwa pelapisan polimer menggunakan PEG-1540 pada sensor serat optik lebih mudah mengikat gas senyawa organik polar, yaitu aseton dan amonia.

## **4.2 Pengujian Sistem Klasifikasi Gas**

### **4.2.1 Tujuan Pengujian**

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat akurasi keberhasilan *neural network* dalam mengidentifikasi dan mengklasifikasi jenis gas ke dalam nilai persentase. Pengujian ini dapat memudahkan dalam proses penilaian apakah sistem ini telah bekerja dengan baik atau tidak.

### **4.2.2 Prosedur Pengujian**

Pengujian dilakukan sebanyak empat kali untuk setiap sampel gas. Sampel gas yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak enam dan total keseluruhan adalah 24 kali pengujian untuk klasifikasi.

### **4.2.3 Hasil Pengujian dan Analisis**

Hasil pengujian klasifikasi ditunjukkan pada Tabel 4.1. Semua pengujian dilakukan dengan satu buah *hidden layer* dengan jumlah 100 *neuron* pada *hidden layer*. Presentase keberhasilan paling tinggi dalam mengklasifikasikan setiap jenis sampel gas dengan variasi MSE adalah 100%.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Neural Network* untuk Klasifikasi

Jenis Gas	MSE		
	0.01	0.001	0.0001
Benzena	Bezena	Bezena	Bezena
	Bezena	Bezena	Bezena
	Bezena	Bezena	Bezena
	Bezena	Bezena	Bezena
Metana	Metana	Metana	Metana
	Metana	Metana	Metana
	Metana	Metana	Metana
	Benzena	Metana	Metana
N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
	Benzena	Benzena	N-Heksana
	Benzena	N-Heksana	N-Heksana
Amonia	Amonia	Amonia	Amonia
	Amonia	Amonia	Amonia
	Amonia	Amonia	Amonia
	Amonia	Amonia	Amonia
Etil Asetat	Etil Asetat	Etil Asetat	Etil Asetat
	Etil Asetat	Etil Asetat	Etil Asetat
	Etil Asetat	Etil Asetat	Etil Asetat
	Etil Asetat	Etil Asetat	Etil Asetat
Aseton	Aseton	Aseton	Aseton
	Aseton	Aseton	Aseton
	Aseton	Aseton	Aseton
	Aseton	Aseton	Aseton
Rata-rata	87.5%	95.83%	100%

Untuk menghasilkan hasil pengujian yang bagus sangat bergantung pada kebersihan dari wadah sensor. Jika kurang bersih maka hasil normalisasi perubahan tegangan dapat dipengaruhi oleh sampel gas uji sebelumnya sehingga dapat menghasilkan pengenalan yang salah. Kriteria kebersihan yang digunakan setelah melakukan pengujian gas dan kemudian melakukan pengujian dengan mengganti gas lain, yaitu nilai kelembaban sekurang-kurangnya 30% pada setiap awal pengujian.

### 4.3 Pengujian Hasil Pembuatan Deret Sensor Serat Optik

#### 4.3.1 Tujuan Pengujian

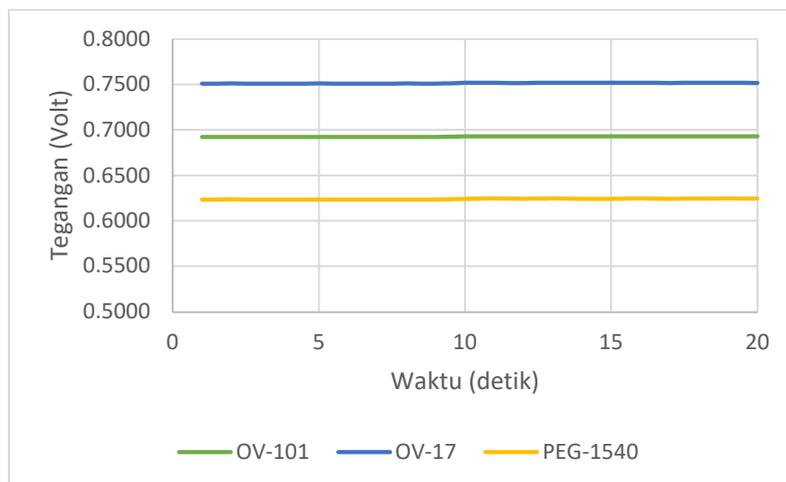
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hasil dari pembuatan deret sensor serat optik dan mengetahui respon dari pembacaan nilai tegangan pada masing-masing sensor serat optik. Kemudian sensor serat optik diujikan kepada sistem yang telah dibuat.

#### 4.3.2 Prosedur Pengujian

Tiga serat optik yang telah dilapisi oleh tiga jenis polimer berbeda, yaitu OV-101, OV-17, dan PEG-1540 diujikan terhadap sistem yang telah dibuat, dimana pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah sensor serat optik yang telah dibuat dapat menghasilkan respon yang stabil pada pembacaan nilai tegangan sensor untuk tiap lapisan polimer yang berbeda. Ujung serat optik, yang terlapisi polimer pada salah satu sisi *coupler*, ditempatkan pada wadah sensor. Sedangkan ujung-ujung serat optik pada sisi *coupler* lainnya dihubungkan dengan LED sebagai sumber cahaya dan fotodiode untuk menangkap intensitas cahaya yang diterima. Nilai tegangan fotodiode, hasil dari intensitas cahaya yang ditangkap, diamati responnya pada tampilan grafik pada komputer. Pengamatan nilai dari tiap sensor dilakukan selama 20 detik.

#### 4.3.3 Hasil Pengujian dan Analisis

Data pengujian awal sensor serat optik dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Tabel 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Nilai Tegangan Pengujian Awal

Tabel 4.2 Nilai Tegangan Pengujian Awal Sensor Serat Optik

Waktu (detik)	Tegangan (Volt)		
	OV-101	OV-17	PEG-1540
1	0.6923	0.7509	0.6233
2	0.6921	0.7511	0.6236
3	0.6924	0.7509	0.6234
4	0.6924	0.7508	0.6233
5	0.6921	0.7511	0.6234
6	0.6923	0.7508	0.6233
7	0.6923	0.7509	0.6234
8	0.6923	0.7511	0.6234
9	0.6924	0.7509	0.6234
10	0.6930	0.7519	0.6242
11	0.6930	0.7519	0.6246
12	0.6932	0.7517	0.6242
13	0.6930	0.7521	0.6246
14	0.6932	0.7519	0.6242
15	0.6934	0.7519	0.6242
16	0.6930	0.7521	0.6246
17	0.6932	0.7517	0.6242
18	0.6934	0.7521	0.6244
19	0.6932	0.7521	0.6246
20	0.6934	0.7517	0.6244

Hasil pengujian awal sensor serat optik yang telah dilapisi polimer, didapatkan rerata tegangan serat optik dengan lapisan OV-101 sebesar 0.6927 Volt, serat optik dengan lapisan OV-17 sebesar 0.7515 Volt, dan serat optik dengan lapisan PEG-1540 sebesar 0.6239 Volt. Masing-masing sensor serat optik menunjukkan respon yang stabil pada pembacaan nilai tegangan sensor, dimana besarnya tegangan yang dihasilkan berbeda pada tiap sensor serat optik.

#### 4.4 Pengujian Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas

##### 4.4.1 Tujuan Pengujian

Pengujian sensor serat optik terhadap sampel gas bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai tegangan pada masing-masing sensor terhadap paparan sampel gas. Sehingga diperoleh informasi mengenai sensitivitas sensor serat optik terhadap sampel gas yang diujikan.

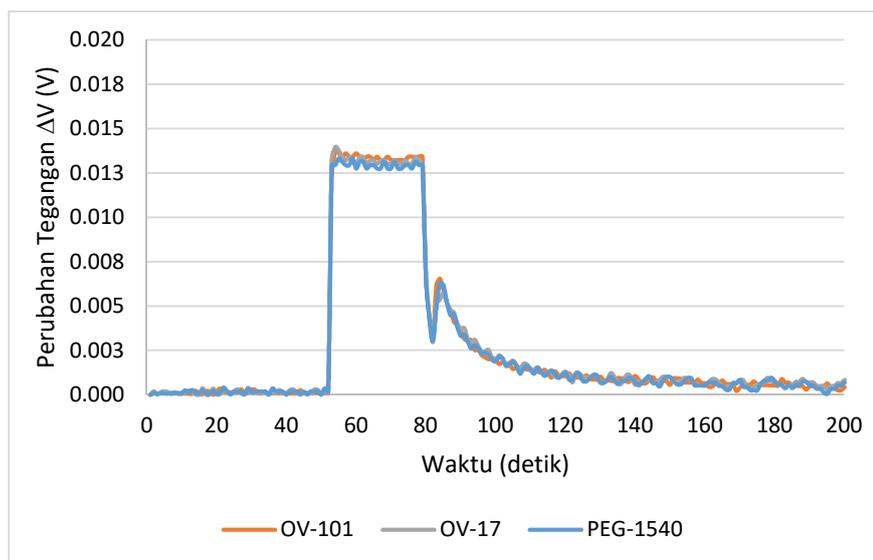
#### 4.4.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

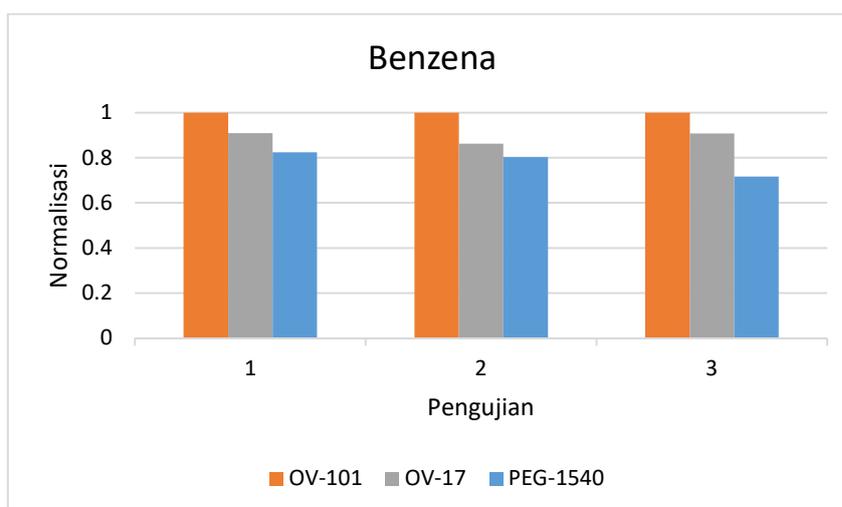
1. Wadah sensor terlebih dahulu dibersihkan dengan udara kering melalui silika gel dari detik ke-0 sampai detik ke-50.
2. Sampel gas dialirkan ke wadah sensor dari detik ke-51 sampai detik ke-80.
3. Wadah sensor dibersihkan kembali dengan udara kering dari silika gel dari detik ke-81 sampai detik ke-200.
4. Mekanisme aliran udara kering dan sampel gas diatur menggunakan sistem aliran udara.
5. Setiap sampel gas dilakukan tiga kali pengujian.
6. Hasil pengujian diamati dan disimpan menggunakan program di komputer.

#### 4.4.3 Hasil Pengujian dan Analisis terhadap Gas Benzena

Hasil pengujian gas benzena dapat dilihat pada Gambar 4.3, dimana setiap lapisan polimer mempunyai respon berbeda-beda. Dari pengujian yang dilakukan sebanyak tiga kali, dapat ditunjukkan bahwa sensor yang terlapis OV-101 mempunyai nilai perubahan tegangan terbesar dibandingkan dengan sensor yang terlapis jenis polimer lainnya, seperti terlihat pada hasil normalisasinya sesuai dengan Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Respon Tegangan Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Benzena



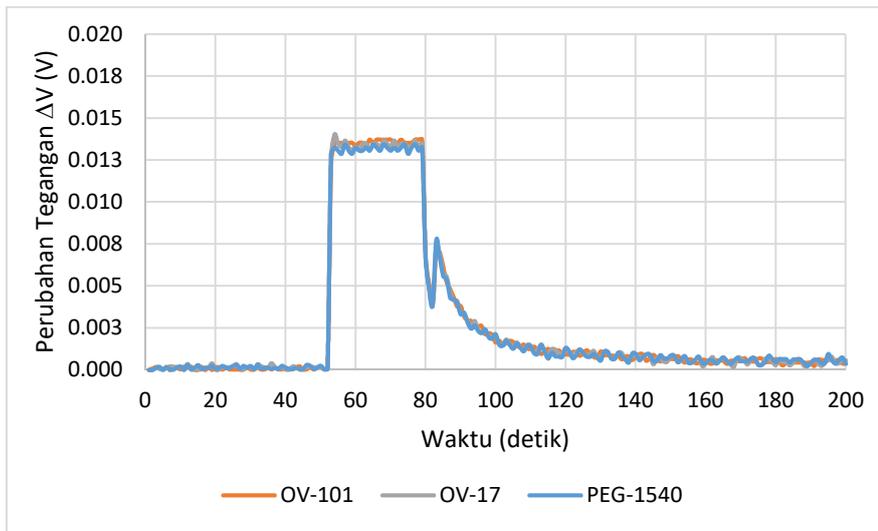
Gambar 4.4 Hasil Normalisasi Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Benzena

OV-101 bersifat *non-polar* dan cenderung lebih mengikat kepada senyawa *non-polar*. Sehingga sampel Gas benzena termasuk dalam senyawa *non-polar*, sesuai dengan tingkat kepolaran sampel gas pada Tabel 3.1. Dimana sampel gas benzena memiliki momen dipol sebesar 0, yang menunjukkan bahwa gas benzena tergolong senyawa organik yang sangat *non-polar*.

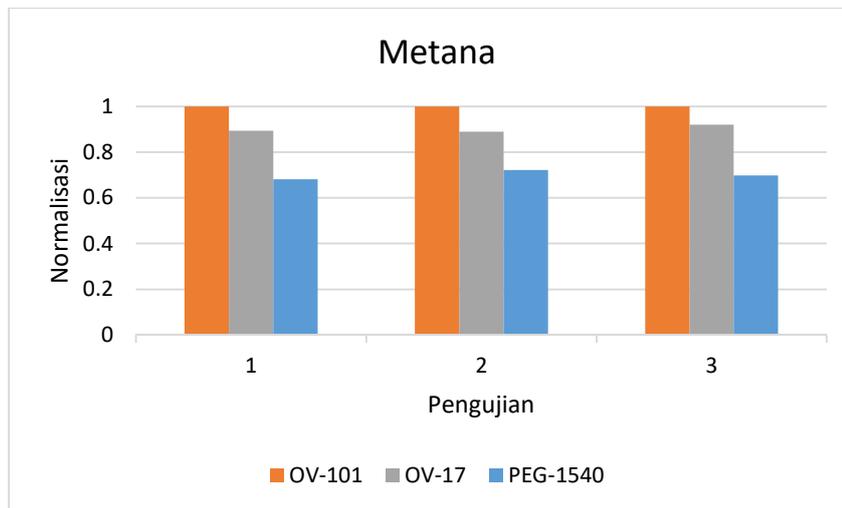
#### 4.4.4 Hasil Pengujian dan Analisis terhadap Gas Metana

Hasil pengujian gas metana dapat dilihat pada Gambar 4.5, dimana setiap lapisan polimer mempunyai respon berbeda-beda. Dari pengujian yang dilakukan sebanyak tiga kali, dapat ditunjukkan bahwa sensor yang terlapis OV-101 mempunyai nilai perubahan tegangan terbesar dibandingkan dengan sensor yang terlapis jenis polimer lainnya, seperti terlihat pada hasil normalisasinya sesuai dengan Gambar 4.6.

OV-101 bersifat *non-polar* dan cenderung lebih mengikat kepada senyawa *non-polar*. Sehingga sampel Gas metana termasuk dalam senyawa *non-polar*, sesuai dengan tingkat kepolaran sampel gas pada Tabel 3.1. Dimana sampel gas metana memiliki momen dipol sebesar 0, yang menunjukkan bahwa gas metana tergolong senyawa organik yang sangat *non-polar*.



Gambar 4.5 Respon Tegangan Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Metana

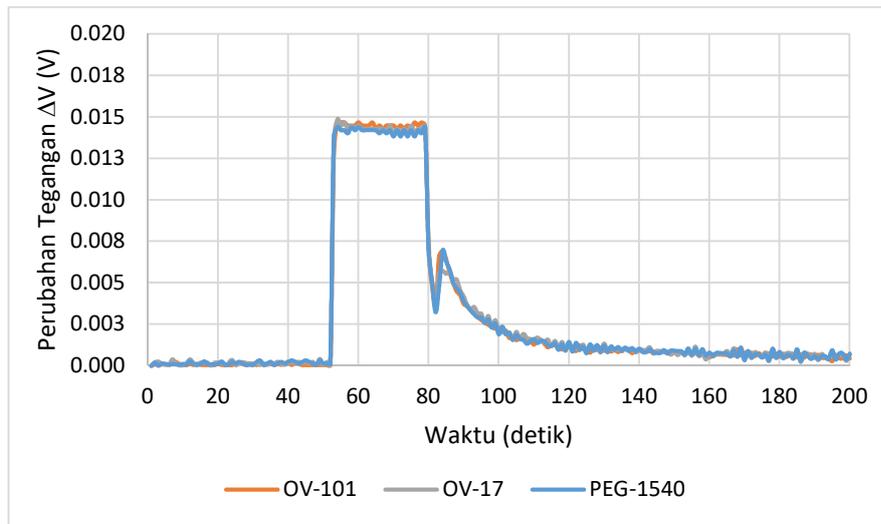


Gambar 4.6 Hasil Normalisasi Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Metana

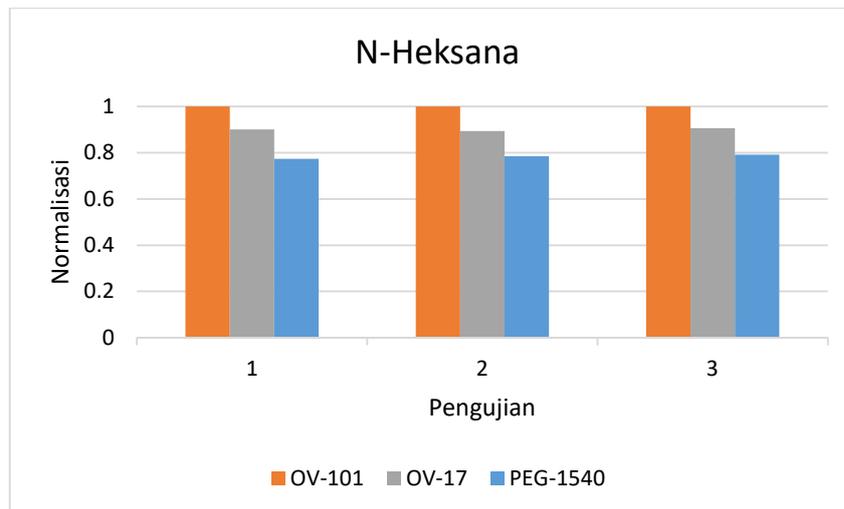
#### 4.4.5 Hasil Pengujian dan Analisis terhadap Gas N-Heksana

Hasil pengujian gas n-heksana dapat dilihat pada Gambar 4.7, dimana setiap lapisan polimer mempunyai respon berbeda-beda. Dari pengujian yang dilakukan sebanyak tiga kali, dapat ditunjukkan bahwa sensor yang terlapisi OV-101 mempunyai nilai perubahan tegangan terbesar dibandingkan dengan sensor yang terlapisi jenis polimer lainnya, seperti terlihat pada hasil normalisasinya sesuai dengan Gambar 4.8.

OV-101 bersifat *non-polar* dan cenderung lebih mengikat kepada senyawa *non-polar*. Sehingga sampel Gas n-heksana termasuk dalam senyawa *non-polar*,



Gambar 4.7 Respon Tegangan Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas N-Heksana



Gambar 4.8 Hasil Normalisasi Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas N-Heksana

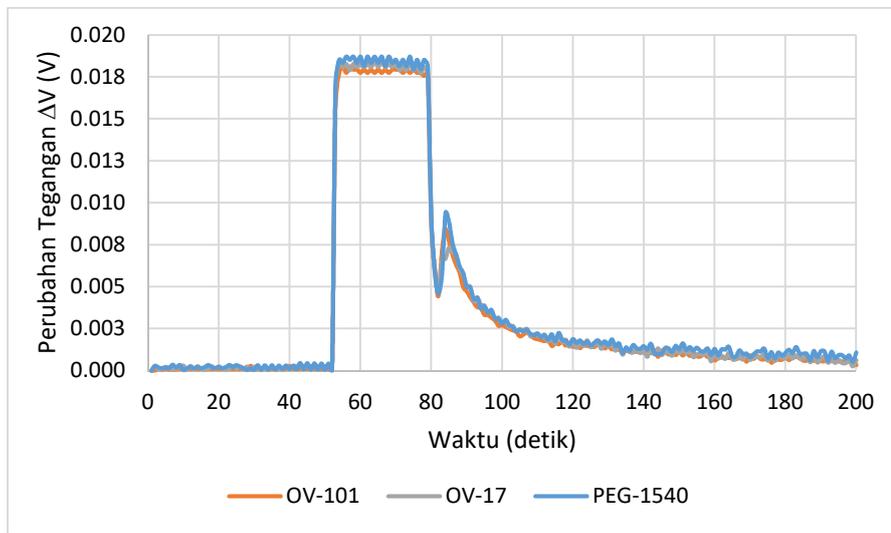
sesuai dengan tingkat kepolaran sampel gas pada Tabel 3.1. Dimana sampel gas n-heksana memiliki momen dipol sebesar 0.08, yang menunjukkan bahwa gas n-heksana tergolong senyawa organik *non-polar*.

#### 4.4.6 Hasil Pengujian dan Analisis terhadap Gas Amonia

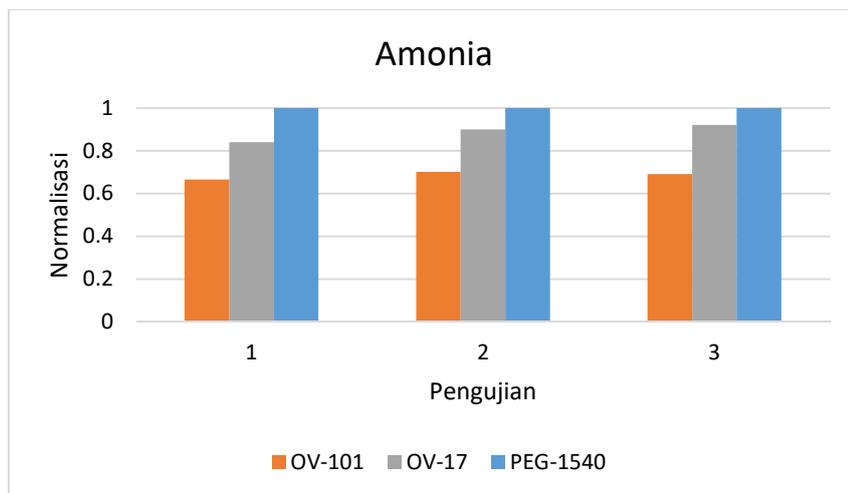
Hasil pengujian gas amonia dapat dilihat pada Gambar 4.9, dimana setiap lapisan polimer mempunyai respon berbeda-beda. Dari pengujian yang dilakukan sebanyak tiga kali, dapat ditunjukkan bahwa sensor yang terlapis PEG-1540 mempunyai nilai perubahan tegangan terbesar dibandingkan dengan sensor yang

terlapis jenis polimer lainnya, seperti terlihat pada hasil normalisasinya sesuai dengan Gambar 4.10.

PEG-1540 bersifat *polar* dan cenderung lebih mengikat kepada senyawa *polar*. Sehingga sampel gas amonia termasuk dalam senyawa *polar*, sesuai dengan tingkat kepolaran sampel gas pada Tabel 3.1. Dimana sampel gas amonia memiliki momen dipol sebesar 1.42, yang menunjukkan bahwa gas amonia tergolong senyawa organik *polar*.



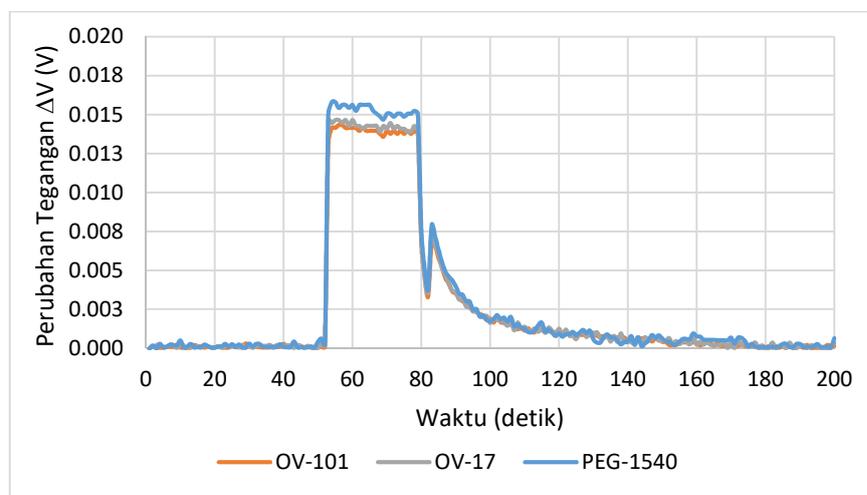
Gambar 4.9 Respon Tegangan Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Amonia



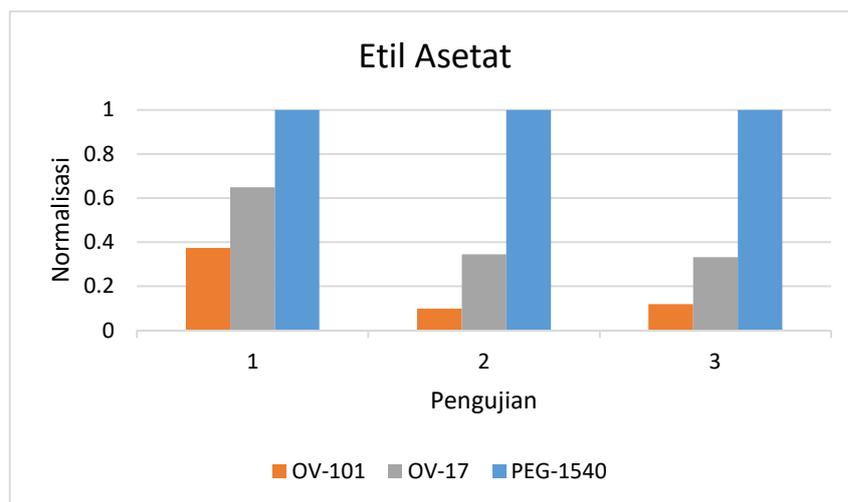
Gambar 4.10 Hasil Normalisasi Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Amonia

#### 4.4.7 Hasil Pengujian dan Analisis terhadap Gas Etil Asetat

Hasil pengujian gas etil asetat dapat dilihat pada Gambar 4.11, dimana setiap lapisan polimer mempunyai respon berbeda-beda. Dari pengujian yang dilakukan sebanyak tiga kali, dapat ditunjukkan bahwa sensor yang terlapis PEG-1540 mempunyai nilai perubahan tegangan terbesar dibandingkan dengan sensor yang terlapis jenis polimer lainnya, seperti terlihat pada hasil normalisasinya sesuai dengan Gambar 4.12.



Gambar 4.11 Respon Tegangan Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Etil Asetat

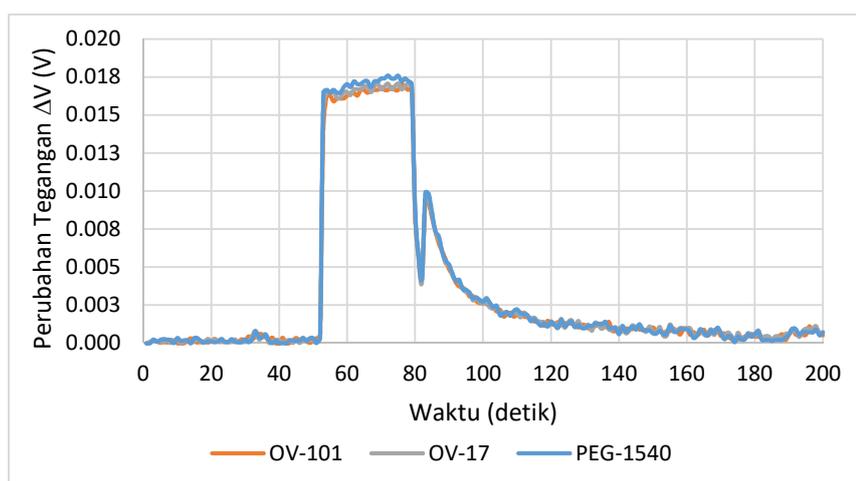


Gambar 4.12 Hasil Normalisasi Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Etil Asetat

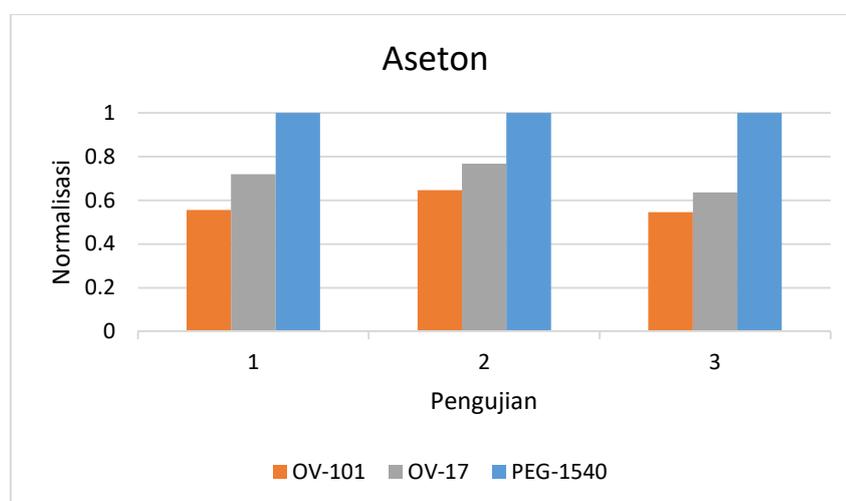
PEG-1540 bersifat *polar* dan cenderung lebih mengikat kepada senyawa *polar*. Sehingga sampel Gas etil asetat termasuk dalam senyawa *polar*, sesuai dengan tingkat kepolaran sampel gas pada Tabel 3.1. Dimana sampel gas etil asetat memiliki momen dipol sebesar 1.78, yang menunjukkan bahwa gas etil asetat tergolong senyawa organik *polar*.

#### 4.4.8 Hasil Pengujian dan Analisis terhadap Gas Aseton

Hasil pengujian gas asetondapat dilihat pada Gambar 4.13, dimana setiap lapisan polimer mempunyai respon berbeda-beda. Dari pengujian yang dilakukan sebanyak tiga kali, dapat ditunjukkan bahwa sensor yang terlapis PEG-1540 mempunyai nilai perubahan tegangan terbesar dibandingkan dengan sensor yang terlapis jenis polimer lainnya, sesuai hasil normalisasi seperti pada Gambar 4.14.



Gambar 4.13 Respon Tegangan Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Aseton



Gambar 4.14 Hasil Normalisasi Sensor Serat Optik terhadap Sampel Gas Aseton

PEG-1540 bersifat *polar* dan cenderung lebih mengikat kepada senyawa *polar*. Sehingga sampel Gas aseton termasuk dalam senyawa *polar*, sesuai dengan tingkat kepolaran sampel gas pada Tabel 3.1. Dimana sampel gas aseton memiliki momen dipol sebesar 2.91, yang menunjukkan bahwa gas aseton tergolong senyawa organik *polar*.

## 4.5 Perbandingan Keenam Sampel Gas

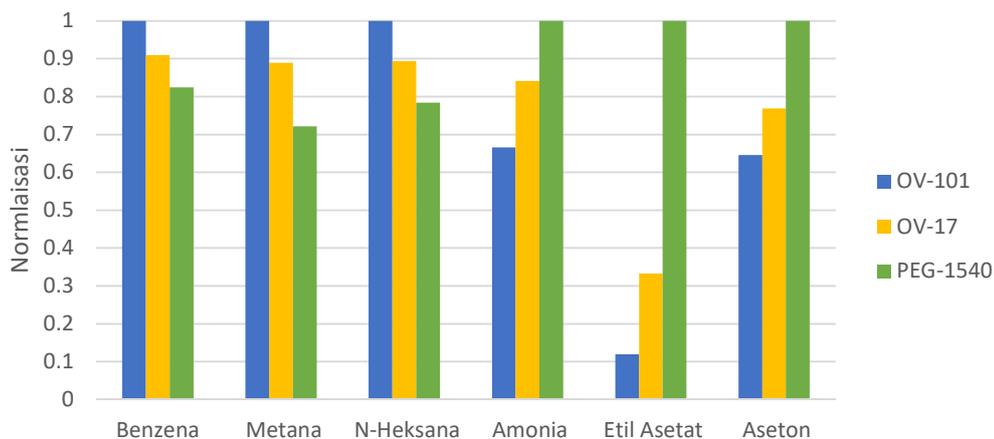
### 4.5.1 Tujuan Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi perubahan nilai tegangan pada setiap sensor serat optik terhadap sampel gas yang diujikan dan respon dari setiap sensor terhadap jenis gas sampel yang diujikan.

### 4.5.2 Hasil Pengujian dan Analisis

Berdasarkan Gambar 4.26, sensor serat optik yang terlapisi OV-101 memiliki respon paling baik terhadap sampel gas benzena, metana, dan n-heksana. Sedangkan sensor serat optik yang terlapisi PEG-1540 memiliki respon yang paling baik terhadap sampel gas amonia, etil asetat, dan aseton. Sedangkan sensor serat optik yang terlapisi OV-17 menunjukkan respon diantara *polar* dan *non-polar* karena bersifat lebih *mid-polar*.

Hasil normalisasi, pada Gambar 4.15, menunjukkan urutan sampel gas dari senyawa organik *non-polar* sampai *polar*. Dapat diketahui bahwa senyawa organik



Gambar 4.15 Hasil Normalisasi dari Tiap-tiap Sensor Serat Optik terhadap Berbagai Sampel Gas Uji

benzena, metana, dan n-heksana tergolong senyawa *non-polar*. Sedangkan senyawa organik amonia, etil asetat, dan aseton tergolong senyawa *polar*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa deret sensor serat optik memiliki respon yang baik terhadap berbagai jenis sampel gas uji.

## **4.6 Pengujian Pembelajaran *Neural Network***

### **4.6.1 Tujuan Pengujian**

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah program *Neural Network* (NN) telah bekerja dengan baik atau tidak, serta untuk mengetahui parameter-parameter NN (*error terget*, *learning rate*, alpha) yang digunakan pada sistem.

### **4.6.2 Prosedur Pengujian**

Langkah pertama yang dilakukan adalah menyiapkan data pembelajaran dan target *output* NN dalam bentuk .csv untuk proses pembelajaran. Data pembelajaran yang digunakan untuk setiap sampel gas adalah tiga data dari masing-masing jenis sampel gas uji. Total data yang digunakan dalam pembelajaran berjumlah delapan belas data. Setelah data dan target *output* NN di-load, kemudian ditentukan nilai target kesalahan (*error target*), *learning rate* ( $\mu$ ), alpha ( $\alpha$ ) dengan nilai yang diinginkan. Setelah semua parameter telah ditentukan, maka proses *learning* dapat dimulai dengan menentukan nilai *random* dari nilai bobot dan bias pada awal proses dengan menggunakan *random Gaussian* (0, 0.5). Jika proses *learning* telah selesai maka dapat diketahui jumlah iterasi pada setiap pengujian.

### **4.6.3 Hasil Pengujian dan Analisis**

Pengujian menggunakan satu *hidden layer* dengan variasi jumlah neuron hidden layer dan *mean square error* (MSE). Nilai MSE yang digunakan 0.01, 0.001, dan 0.0001. Kemudian setiap nilai MSE divariasikan dengan jumlah neuron *hidden* layer-nya. Jumlah neuron *hidden layer* yang digunakan dalam pengujian ada tiga, yaitu 10 *neuron*, 50 *neuron* dan 100 *neuron*, namun yang dipilih hanya parameter dengan 100 *neuron* untuk pengenalan jenis gas. Parameter *learning rate* ( $\mu$ ) 1.0 dan alpha ( $\alpha$ ) 1.0 digunakan untuk setiap pengujian . Hasil pengujian NN ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Pembelajaran *Neural Network*

MSE	Parameter			
	Jumlah <i>neuron hidden layer</i>	<i>Learning rate</i> ( $\mu$ )	( $\alpha$ )	Iterasi ( <i>epoch</i> )
0.01	10	1.0	1.0	35640
	50	1.0	1.0	37188
	100	1.0	1.0	38988
0.001	10	1.0	1.0	86490
	50	1.0	1.0	63342
	100	1.0	1.0	63306
0.0001	10	1.0	1.0	165636
	50	1.0	1.0	150804
	100	1.0	1.0	171126

Hasil pengujian dengan nilai MSE yang bermacam-macam yang di-*learning* dengan nilai *learning rate* dan alpha yang, maka dihasilkan iterasi yang berbeda-beda. Semakin kecil nilai *error target* maka semakin lama proses *learning* untuk mencapai konvergen.

## 4.7 Pengujian Sistem Aliran Udara

### 4.7.1 Tujuan Pengujian

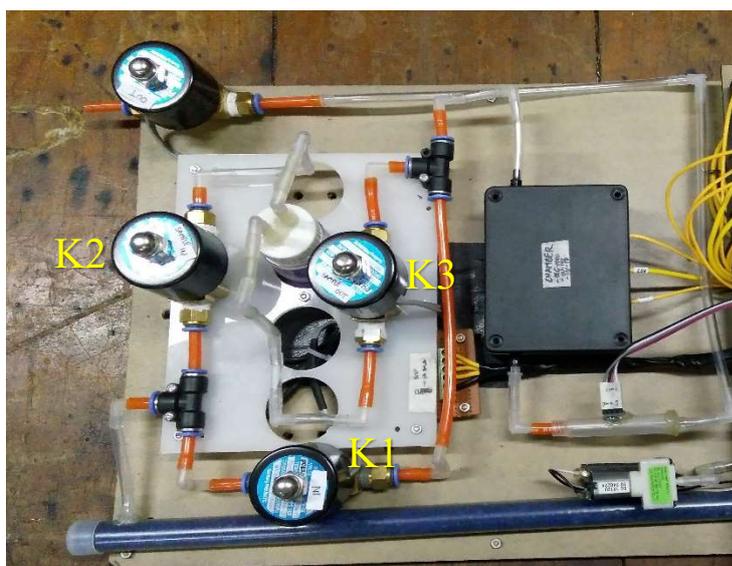
Pengujian mekanik sistem aliran udara bertujuan untuk mengetahui apakah disetiap titik persambungan terjadi kebocoran atau tidak dan menentukan nilai PWM motor yang berkesesuaian dengan kecepatan aliran 0.1 LPM.

### 4.7.2 Tujuan Pengujian

Prosedur pengujian sistem aliran udara menggunakan laju aliran udara sebesar 0.1 LPM. Kecepatan pompa motor diatur sehingga menunjukkan 0.1 LPM pada *flow meter*. Kemudian dilakukan perubahan aliran udara dari aliran udara kering ke aliran sampel gas. Diamati apakah terjadi penurunan kecepatan ketika perubahan aliran.

### 4.7.3 Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian perubahan aliran tidak terjadi perbedaan aliran. Sejumlah titik pengecekan dapat dilihat pada Gambar 4.16, dan hasil dari pengecekan dapat dilihat pada Tabel 4.4.



Gambar 4.16 Pengecekan Sistem Aliran Udara

Tabel 4.4 Hasil Pengecekan Sistem Aliran Udara

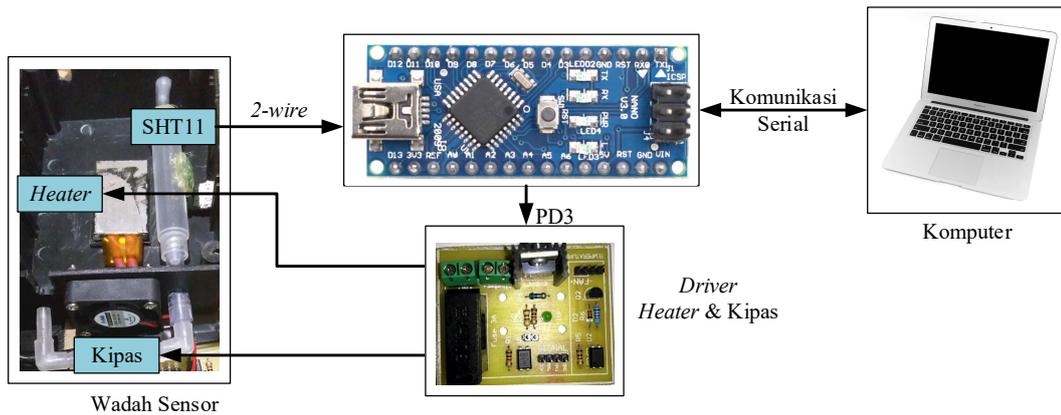
Kondisi	Sistem Katup		Status Aliran	Hasil Pengukuran (LPM)
	Terbuka	Tertutup		
1	K1	K2, K3	Mengalirkan udara kering	0.1
2	K2, K3	K1	Mengalirkan gas sampel	0.1

Penggunaan nilai PWM untuk mengatur kecepatan pompa udara agar kecepatan aliran udara 0.1 LPM berkisar antara 120 – 150, hal ini terjadi karena kecepatan motor suatu waktu dapat berubah – ubah.

## 4.8 Pengujian Kontrol Suhu

### 4.8.1 Tujuan Pengujian

Kontrol suhu merupakan hal terpenting di dalam sistem sensor serat optik. Kontrol suhu berfungsi untuk mengendalikan suhu pada wadah sensor serat optik. Apabila kontrol suhu tidak berfungsi dengan baik maka dapat mempengaruhi hasil pengujian sensor terhadap gas. Hal terpenting didalam sistem kontrol suhu adalah sensor suhu. Apabila sensor suhu berkerja dengan baik, maka proses pengendalian suhu juga akan berjalan dengan baik.



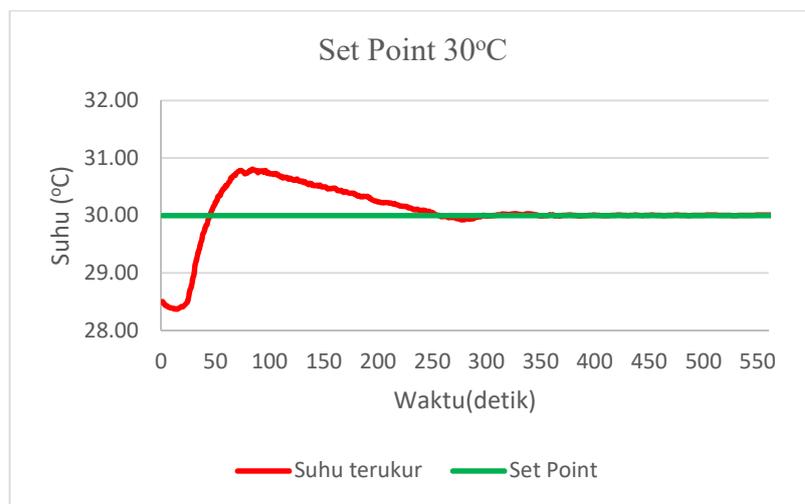
Gambar 4.17 Skema Pengujian Kontrol Suhu

#### 4.8.2 Prosedur Pengujian

Pengujian terhadap kontrol suhu dilakukan dengan cara memberi *set-point* suhu 30°C, 35°C, 40°C dan 45°C. Pengamatan respon suhu menggunakan program antara muka pada komputer. Lama pengujian untuk setiap setpoint suhu adalah 560 detik. Skema pengujian kontrol suhu dapat dilihat pada Gambar 4.17

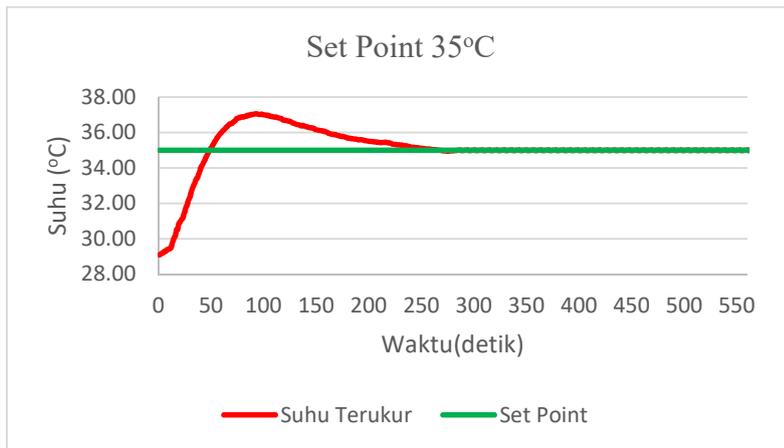
#### 4.8.3 Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian terhadap kontrol suhu dapat dilihat pada Gambar 4.18. Berdasarkan pengamatan terhadap respon suhu yang terbaca pada SHT11, maka ditentukan secara tuning manual nilai  $K_p$  sebesar 5,  $K_i$  sebesar 0.2, dan  $K_d$  sebesar 0.1. Dimana hasil dari suhu yang dikontrol berjalan dengan baik.

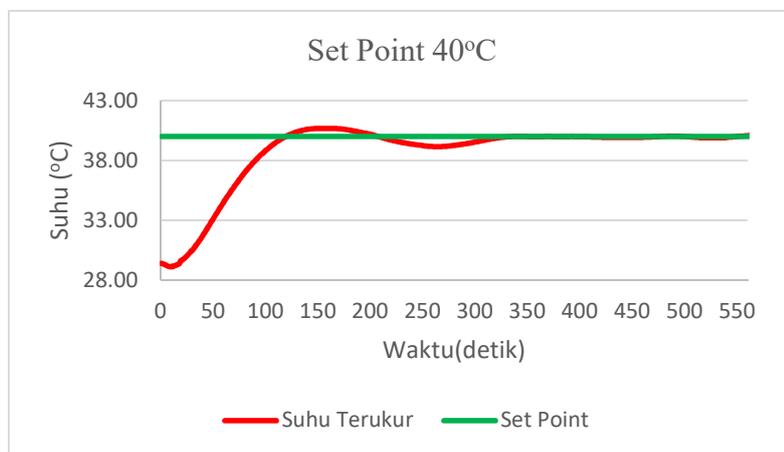


(a)

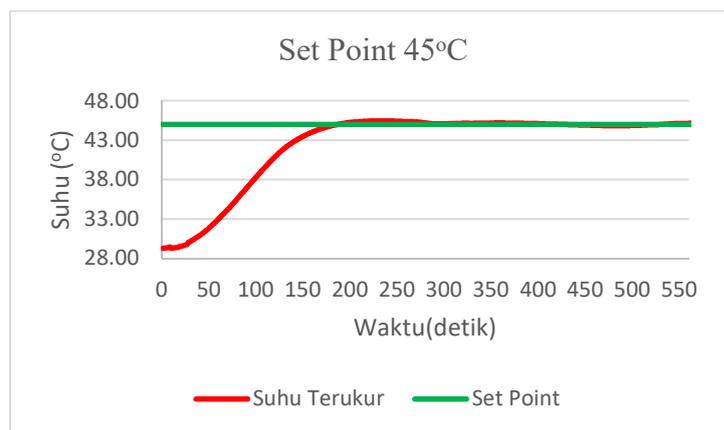
Gambar 4.18 Grafik Respon Suhu, (a) *Set Point* 30°C; (b) *Set Point* 35°C; (c) *Set Point* 40°C; (d) *Set Point* 45°C



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.18 Grafik Respon Suhu, (a) *Set Point* 30°C; (b) *Set Point* 35°C; (c) *Set Point* 40°C; (d) *Set Point* 45°C (lanjutan)

*Overshoot* yang paling tinggi ketika *setpoint* diingkan pada suhu 35°C yaitu 5.9%, sedangkan *overshoot* akan hilang apabila *setpoint* diatur besar dari 45°C. Jika dibuat kriteria *steady state error* mempunyai error 0.5°C, kontrol suhu yang dirancang telah memenuhi.

#### **4.9 Pengujian sensitivitas sensor serat optik terhadap perubahan suhu dengan kelembaban tetap**

##### **4.9.1 Tujuan Pengujian**

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui bagaimana karakteristik respon tegangan setiap sensor serat optik terhadap perubahan suhu pada tingkat kelembaban tetap. Dengan mengetahui respon tegangan setiap sensor serat optik, maka dapat diketahui tingkat sensitivitas sensor serat optik pada tingkat suhu tertentu.

##### **4.9.2 Prosedur Pengujian**

Prosedur pengujian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Wadah sensor terlebih dahulu dibersihkan dengan udara kering dari silika gel, dengan kecepatan aliran udara 0.1 LPM.
2. Kelembaban relative (RH) pada wadah sensor diatur bervariasi dari 30%, 40%, 50%, dan 60%.
3. Variasi kelembaban pada wadah sensor diatur dengan mengatur aliran uap air secara manual, kemudian diamati menggunakan sensor kelembaban.
4. Setiap variasi kelembaban, suhu secara bertahap dinaikkan dari 30°C, 35°C, 40°C dan 45°C.
5. Perubahan nilai tegangan pada setiap variasi kelembaban diamati dan disimpan dengan program pada komputer.

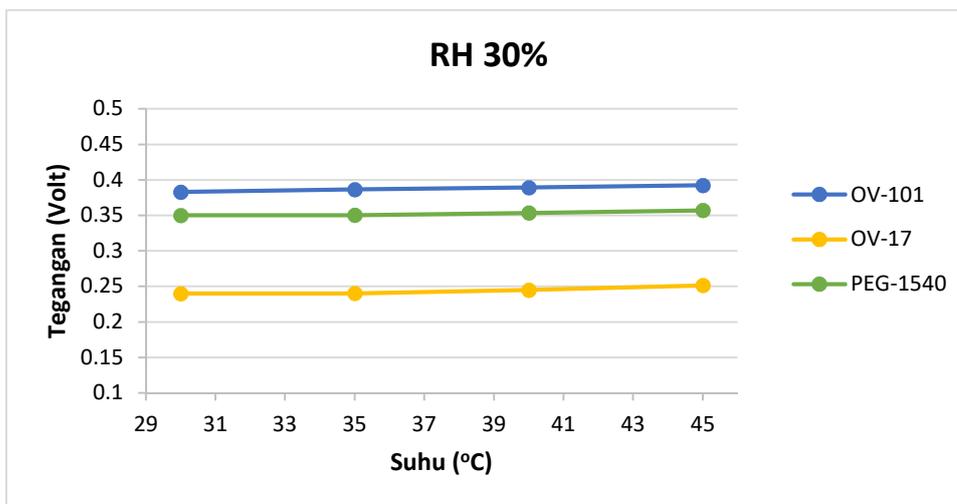
##### **4.9.3 Hasil Pengujian dan Analisis**

Pengamatan perubahan suhu dilakukan dengan cara mengamati perubahan respon tegangan sensor serat optik pada setiap kenaikan titik ukur suhu. Pengamatan dilakukan pada variasi kelembaban 30%, 40%, 50%, dan 60%. Setiap kondisi kelembaban dilakukan perubahan suhu pada titik ukur 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C.

#### 4.9.3.1 Hasil Pengujian dan Analisis pada RH 30%

Hasil pengujian sensor serat optik pada RH 30% dapat dilihat pada Gambar 4.19. Ketika suhu dinaikkan dari 30°C sampai 45°C, setiap lapisan polimer mengalami kenaikan nilai tegangan dengan laju kenaikan yang berbeda-beda.

Pada tingkat kelembaban 30%, tegangan pada sensor serat optik terlapis OV-101 naik dari 0.382887V pada suhu 30°C menjadi 0.392262V pada suhu 45°C, hal ini menunjukkan bahwa perubahan tegangan sebesar 0.009375V. Pada sensor serat optik terlapis OV-17 juga mengalami kenaikan tegangan dari 0.240033V menjadi 0.251383V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.01135V. Begitu juga sensor serat optik terlapis PEG-1540 mengalami kenaikan tegangan dari 0.350011V menjadi 0.357011V, sehingga didapatkan selisih perubahan tegangan sebesar 0.007V.



Gambar 4.19 Grafik Pengujian Sensor Serat Optik pada RH 30%

Tabel 4.5 Regresi Linier Perubahan Suhu pada RH 30%

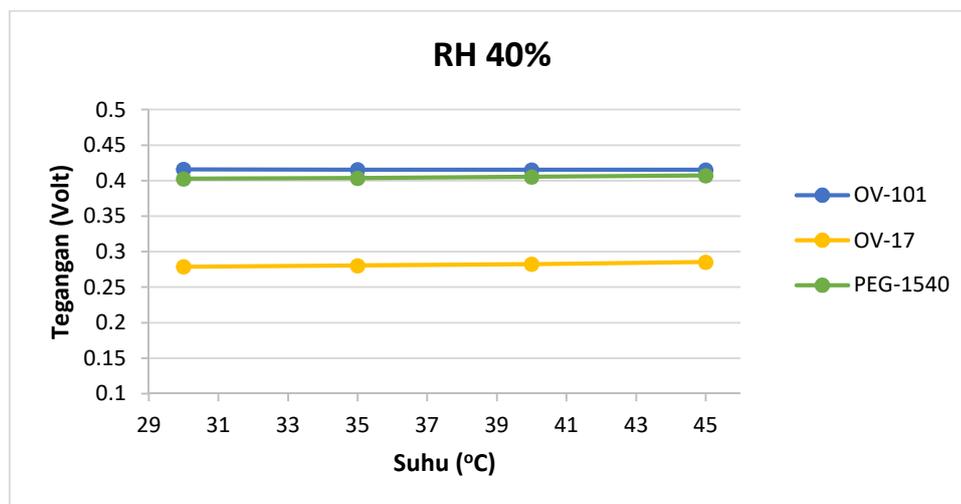
RH (%)	Lapisan Polimer	Regresi Linier	R <sup>2</sup>
30%	OV-101	$y = 0.0006x + 0.3646$	0.9963
	OV-17	$y = 0.0008x + 0.2150$	0.8759
	PEG-1540	$y = 0.0005x + 0.3346$	0.9144

Hasil regresi linier dari Gambar 4.19 ditunjukkan pada Tabel 4.5. Sensor serat optik terlapis polimer OV-101 menunjukkan linieritas terbaik dengan  $R^2$  sebesar 0.9963. Polimer OV-17 mengalami perubahan tegangan terbesar untuk setiap  $1^\circ\text{C}$  yaitu 0.0008V dan polimer PEG-1540 mengalami perubahan tegangan terkecil untuk setiap  $1^\circ\text{C}$  yaitu 0.0005V, hal ini berarti pada kelembaban 30%, polimer OV-17 sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan polimer PEG-1540 paling tahan terhadap perubahan suhu.

#### 4.9.3.2 Hasil Pengujian dan Analisis pada RH 40%

Hasil pengujian sensor serat optik pada RH 40% dapat dilihat pada Gambar 4.20. Ketika suhu dinaikkan dari  $30^\circ\text{C}$  sampai  $45^\circ\text{C}$ , setiap lapisan polimer mengalami perubahan nilai tegangan dengan laju perubahan yang berbeda-beda.

Pada tingkat kelembaban 40%, tegangan pada sensor serat optik terlapis OV-101 turun dari 0.415888V pada suhu  $30^\circ\text{C}$  menjadi 0.415263V pada suhu  $45^\circ\text{C}$ , hal ini menunjukkan bahwa perubahan tegangan sebesar 0.000625V. Sedangkan, pada sensor serat optik terlapis OV-17 mengalami kenaikan tegangan dari 0.278884V menjadi 0.285259V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.006375V. Begitu juga sensor serat optik terlapis PEG-1540 mengalami kenaikan tegangan dari 0.402637V menjadi 0.407263V, sehingga didapatkan selisih perubahan tegangan sebesar 0.004626V.



Gambar 4.20 Grafik Pengujian Sensor Serat Optik pada RH 40%

Tabel 4.6 Regresi Linier Perubahan Suhu pada RH 40%

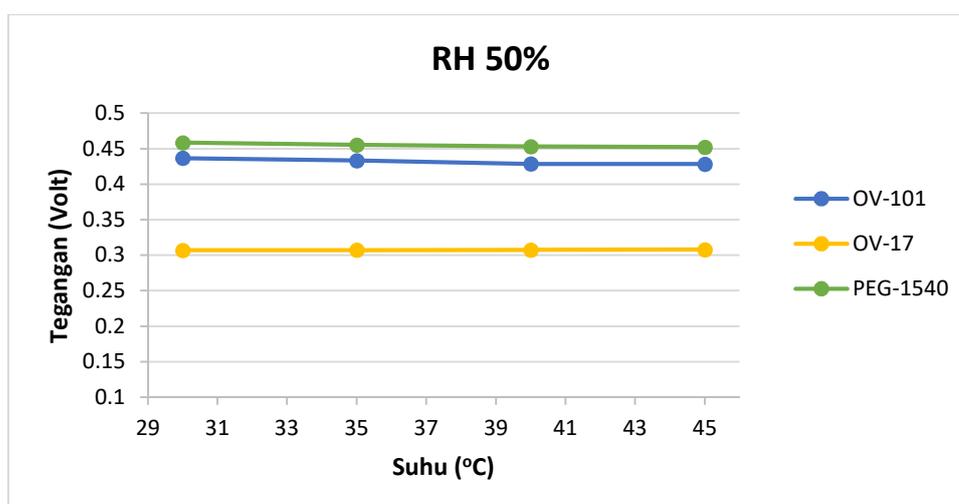
RH (%)	Lapisan Polimer	Regresi Linier	R <sup>2</sup>
40%	OV-101	$y = -0.00004x + 0.4171$	0.9797
	OV-17	$y = 0.0003x + 0.3930$	0.9830
	PEG-1540	$y = 0.0004x + 0.2569$	0.9857

Hasil regresi linier dari Gambar 4.20 ditunjukkan pada Tabel 4.6. Sensor serat optik terlapis polimer OV-17 menunjukkan linieritas terbaik dengan  $R^2$  sebesar 0.9857. Polimer OV-17 mengalami perubahan tegangan terbesar untuk setiap 1°C yaitu 0.0004V dan polimer OV-101 mengalami perubahan tegangan terkecil untuk setiap 1°C yaitu -0.00004V, hal ini berarti pada kelembaban 40%, polimer OV-17 sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan polimer OV-101 paling tahan terhadap perubahan suhu.

#### 4.9.3.3 Hasil Pengujian dan Analisis pada RH 50%

Hasil pengujian sensor serat optik pada RH 50% dapat dilihat pada Gambar 4.21. Ketika suhu dinaikkan dari 30°C sampai 45°C, setiap lapisan polimer mengalami perubahan nilai tegangan dengan laju perubahan yang berbeda-beda.

Pada tingkat kelembaban 50%, tegangan pada sensor serat optik terlapis OV-101 turun dari 0.436763V pada suhu 30°C menjadi 0.428263V pada suhu 45°C, hal ini menunjukkan bahwa perubahan tegangan sebesar 0.0085V.



Gambar 4.21 Grafik Pengujian Sensor Serat Optik pada RH 50%

Tabel 4.7 Regresi Linier Perubahan Suhu pada RH 50%

RH (%)	Lapisan Polimer	Regresi Linier	R <sup>2</sup>
50%	OV-101	$y = 0.0006x + 0.4543$	0.9211
	OV-17	$y = 0.00006x + 0.3052$	0.9200
	PEG-1540	$y = 0.0004x + 0.4706$	0.9390

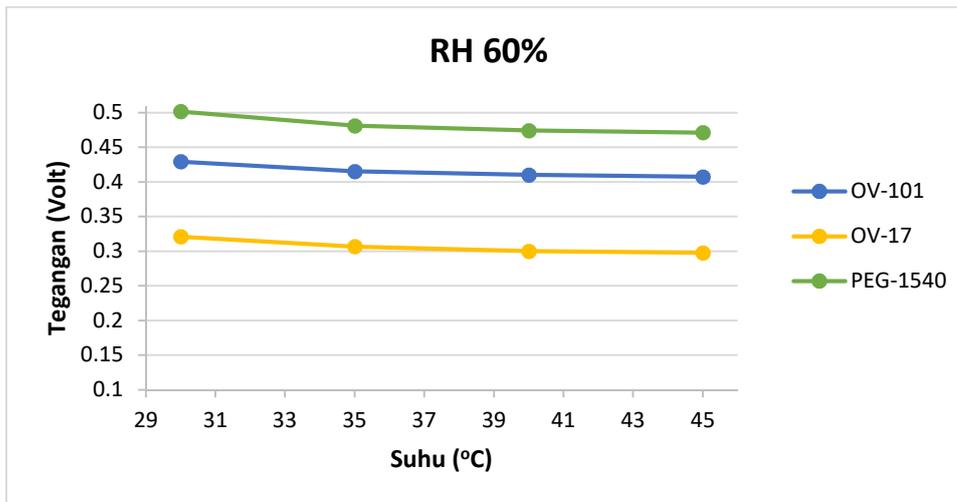
Sedangkan pada sensor serat optik terlapis OV-17 mengalami kenaikan tegangan dari 0.307009V menjadi 0.307884V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.000875V. Sedangkan pada sensor serat optik terlapis PEG-1540 mengalami penurunan tegangan dari 0.458514V menjadi 0.452264V, sehingga didapatkan selisih perubahan tegangan sebesar 0.00625V.

Hasil regresi linier dari Gambar 4.21 ditunjukkan pada Tabel 4.7. Sensor serat optik terlapis polimer PEG-1540 menunjukkan linieritas terbaik dengan  $R^2$  sebesar 0.9390. Polimer OV-101 mengalami perubahan tegangan terbesar untuk setiap 1°C yaitu -0.0006V dan polimer OV-17 mengalami perubahan tegangan terkecil untuk setiap 1°C yaitu 0.00006V, hal ini berarti pada kelembaban 50%, polimer OV-101 sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan polimer OV-17 paling tahan terhadap perubahan suhu.

#### 4.9.3.4 Hasil Pengujian dan Analisis pada RH 60%

Hasil pengujian sensor serat optik pada RH 60% dapat dilihat pada Gambar 4.22. Ketika suhu dinaikkan dari 30°C sampai 45°C, setiap lapisan polimer mengalami perubahan nilai tegangan dengan laju perubahan yang berbeda-beda.

Pada tingkat kelembaban 60%, tegangan pada sensor serat optik terlapis OV-101 turun dari 0.429388V pada suhu 30°C menjadi 0.407387V pada suhu 45°C, hal ini menunjukkan bahwa perubahan tegangan sebesar 0.022001V. Pada sensor serat optik terlapis OV-17 juga mengalami penurunan tegangan dari 0.321001V menjadi 0.297634V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.023367. Begitu juga sensor serat optik terlapis PEG-1540 mengalami penurunan tegangan dari 0.501765V menjadi 0.471264V, sehingga didapatkan selisih perubahan tegangan sebesar 0.030501V.



Gambar 4.22 Grafik Pengujian Sensor Serat Optik pada RH 60%

Tabel 4.8 Regresi Linier Perubahan Suhu pada RH 60%

RH (%)	Lapisan Polimer	Regresi Linier	R <sup>2</sup>
60%	OV-101	$y = -0.0014x + 0.4688$	0.8809
	OV-17	$y = -0.0015x + 0.3638$	0.8908
	PEG-1540	$y = -0.0020x + 0.556$	0.8568

Hasil regresi linier dari Gambar 4.22 ditunjukkan pada Tabel 4.8. Sensor serat optik terlapis polimer OV-17 menunjukkan linieritas terbaik dengan  $R^2$  sebesar 0.8908. Polimer PEG-1540 mengalami perubahan tegangan terbesar untuk setiap 1°C yaitu -0.002V dan polimer OV-101 mengalami perubahan tegangan terkecil untuk setiap 1°C yaitu -0.0014V, hal ini berarti pada kelembaban 60%, polimer PEG-1540 sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan polimer OV-101 paling tahan terhadap perubahan suhu.

#### 4.10 Pengujian sensitivitas sensor serat optik terhadap perubahan kelembaban dengan suhu tetap

##### 4.10.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui bagaimana karakteristik respon tegangan untuk setiap sensor serat optik terhadap perubahan kelembaban pada tingkat suhu tetap. Dengan mengetahui respon tegangan pada setiap sensor serat optik, maka dapat diketahui tingkat sensitivitas sensor serat optik pada tingkat kelembaban tertentu.

#### 4.10.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

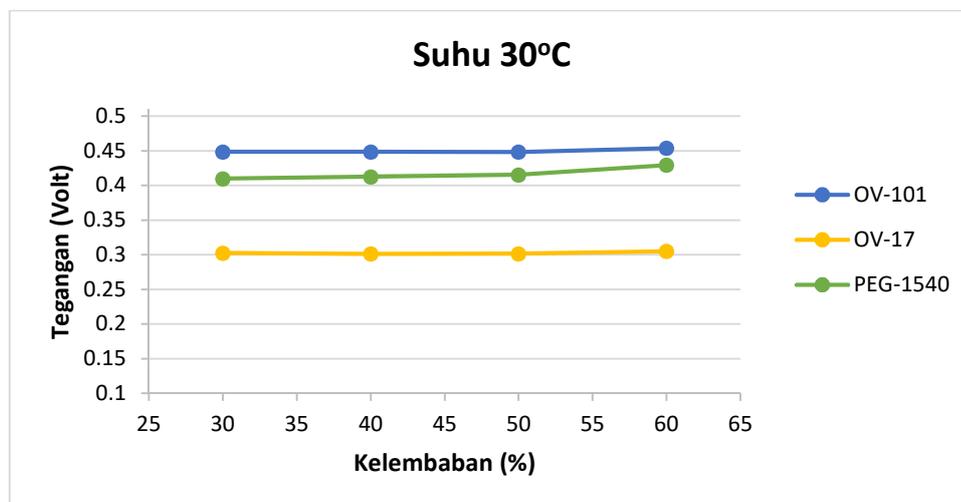
1. Wadah sensor terlebih dahulu dibersihkan dengan udara kering dari silika gel, dengan kecepatan aliran udara 0.1 LPM.
2. Suhu diatur bervariasi mulai dari 30°C, 35°C, 40°C, sampai 45°C.
3. Variasi suhu pada wadah sensor diatur menggunakan sistem kontrol suhu.
4. Setiap variasi suhu, nilai kelembabannya diubah dari 30%, 40%, 50%, sampai 60%.
5. Perubahan nilai tegangan pada setiap pengujian diamati dan disimpan dengan program pada komputer.

#### 4.10.3 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengamatan perubahan kelembaban dilakukan dengan cara mengamati perubahan respon tegangan sensor serat optik pada setiap titik ukur kelembaban pada tiap variasi suhu. Pengamatan dilakukan pada variasi suhu 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C. Setiap kondisi suhu dilakukan perubahan kelembaban pada titik ukur 30%, 40%, 50%, dan 60%.

##### 4.10.3.1 Hasil Pengujian dan Analisis pada Suhu 30°C

Hasil pengujian sensor serat optik pada suhu 30°C dapat dilihat pada Gambar 4.23. Ketika kelembaban dinaikkan dari 30% sampai 60%, setiap lapisan polimer mengalami kenaikan nilai tegangan dengan laju kenaikan yang berbeda.



Gambar 4.23 Grafik Pengujian Sensor Serat Optik pada Suhu 30°C

Tabel 4.9 Regresi Linier Perubahan Kelembaban pada Suhu 30°C

Suhu (°C)	Lapisan Polimer	Regresi Linier	R <sup>2</sup>
30°C	OV-101	$y = 0.0002x + 0.4429$	0.5438
	OV-17	$y = 0.00008x + 0.299$	0.3740
	PEG-1540	$y = 0.0006x + 0.3893$	0.8368

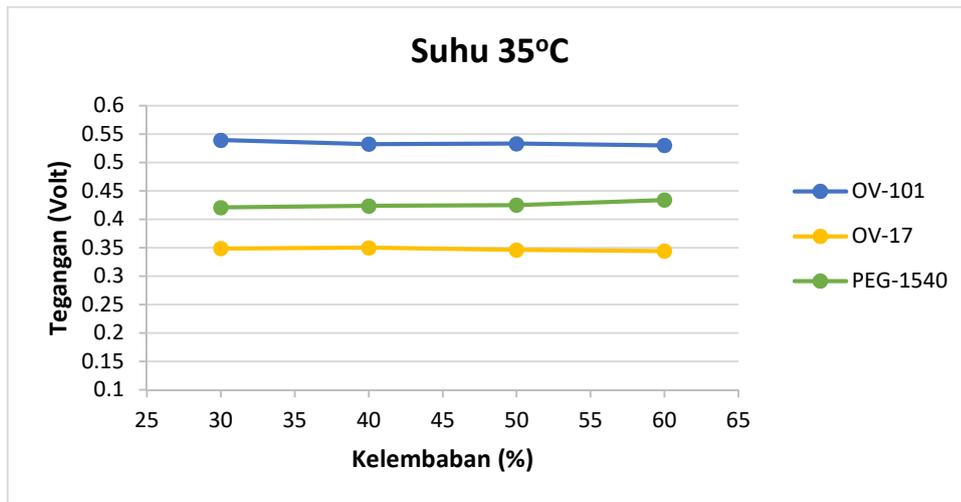
Pada suhu 30°C, tegangan pada sensor serat optik terlapis OV-101 naik dari 0.448639V sampai 0.453889V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.00525V. Pada sensor serat optik terlapis OV-17 juga mengalami kenaikan tegangan dari 0.302509V menjadi 0.305134V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.002625V. Begitu juga sensor serat optik terlapis PEG-1540 mengalami kenaikan tegangan dari 0.409888V menjadi 0.429388V, sehingga didapatkan selisih perubahan tegangan sebesar 0.019501V.

Hasil regresi linier dari Gambar 4.23 ditunjukkan pada Tabel 4.9. Sensor serat optik terlapis polimer PEG-1540 menunjukkan linieritas terbaik dengan  $R^2$  sebesar 0.8368. Polimer PEG-1540 mengalami perubahan tegangan terbesar untuk setiap 1%RH yaitu 0.0006V dan polimer OV-17 mengalami perubahan tegangan terkecil untuk setiap 1%RH yaitu 0.00008V. PEG-1540, dengan sensitivitas terhadap kelembaban sebesar 0.0006V/%RH, merupakan tipe polimer polar sehingga lebih mudah mengikat molekul uap air.

#### 4.10.3.2 Hasil Pengujian dan Analisis pada Suhu 35°C

Hasil pengujian sensor serat optik pada suhu 35°C dapat dilihat pada Gambar 4.24. Ketika kelembaban dinaikkan dari 30% sampai 60%, setiap lapisan polimer mengalami perubahan nilai tegangan dengan laju perubahan yang berbeda.

Pada suhu 35°C, tegangan pada sensor serat optik terlapis OV-101 turun dari 0.539516V menjadi 0.530391V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.009125V. Pada sensor serat optik terlapis OV-17 juga mengalami penurunan tegangan dari 0.348671V menjadi 0.344314V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.004357V. Sedangkan sensor serat optik terlapis PEG-1540 mengalami kenaikan tegangan dari 0.420888V menjadi 0.434263V, sehingga didapatkan selisih perubahan tegangan sebesar 0.013375V.



Gambar 4.24 Grafik Pengujian Sensor Serat Optik pada Suhu 35°C

Tabel 4.10 Regresi Linier Perubahan Kelembaban pada Suhu 35°C

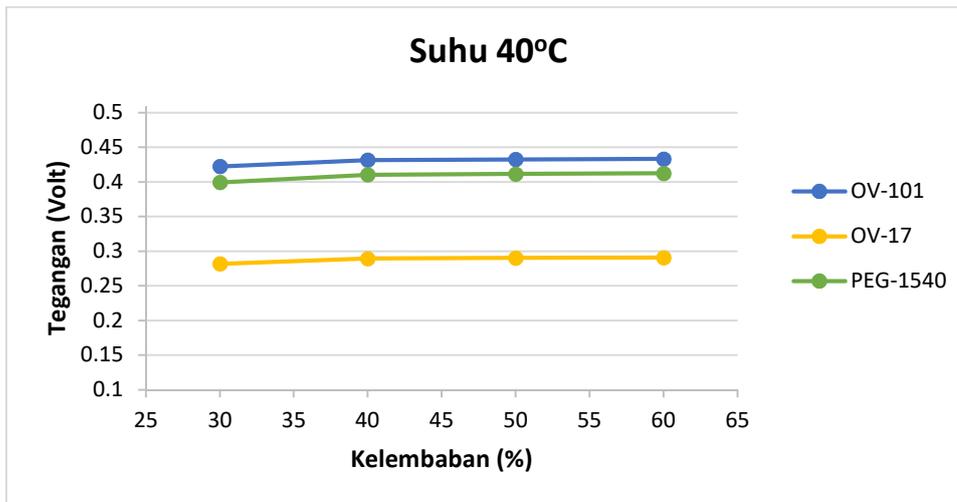
Suhu (°C)	Lapisan Polimer	Regresi Linier	R <sup>2</sup>
35°C	OV-101	$y = -0.0003x + 0.5459$	0.7678
	OV-17	$y = -0.0002x + 0.3549$	0.7322
	PEG-1540	$y = 0.0004x + 0.4074$	0.8585

Hasil regresi linier dari Gambar 4.24 ditunjukkan pada Tabel 4.10. Sensor serat optik terlapis polimer PEG-1540 menunjukkan linieritas terbaik dengan  $R^2$  sebesar 0.8585. Polimer PEG-1540 mengalami perubahan tegangan terbesar untuk setiap 1%RH yaitu 0.0004V dan polimer OV-17 mengalami perubahan tegangan terkecil untuk setiap 1%RH yaitu -0.0002V. PEG-1540, dengan sensitivitas terhadap kelembaban sebesar 0.0004V/%RH, merupakan tipe polimer polar sehingga lebih mudah mengikat molekul uap air.

#### 4.10.3.3 Hasil Pengujian dan Analisis pada Suhu 40°C

Hasil pengujian sensor serat optik pada suhu 40°C dapat dilihat pada Gambar 4.25. Ketika kelembaban dinaikkan dari 30% sampai 60%, setiap lapisan polimer mengalami kenaikan nilai tegangan dengan laju kenaikan yang berbeda.

Pada suhu 40°C, tegangan pada sensor serat optik terlapis OV-101 naik dari 0.42251V menjadi 0.433138V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.010628V. Pada sensor serat optik terlapis OV-17 juga mengalami kenaikan



Gambar 4.25 Grafik Pengujian Sensor Serat Optik pada Suhu 40°C

Tabel 4.11 Regresi Linier Perubahan Kelembaban pada Suhu 40°C

Suhu (°C)	Lapisan Polimer	Regresi Linier	R <sup>2</sup>
40°C	OV-101	$y = 0.0003x + 0.4152$	0.7163
	OV-17	$y = 0.0003x + 0.2758$	0.7121
	PEG-1540	$y = 0.0004x + 0.3902$	0.7254

tegangan dari 0.281859V menjadi 0.290759V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.0089V. Sedangkan sensor serat optik terlapis PEG-1540 mengalami kenaikan tegangan dari 0.399262V menjadi 0.412388V, sehingga didapatkan selisih perubahan tegangan sebesar 0.013125V.

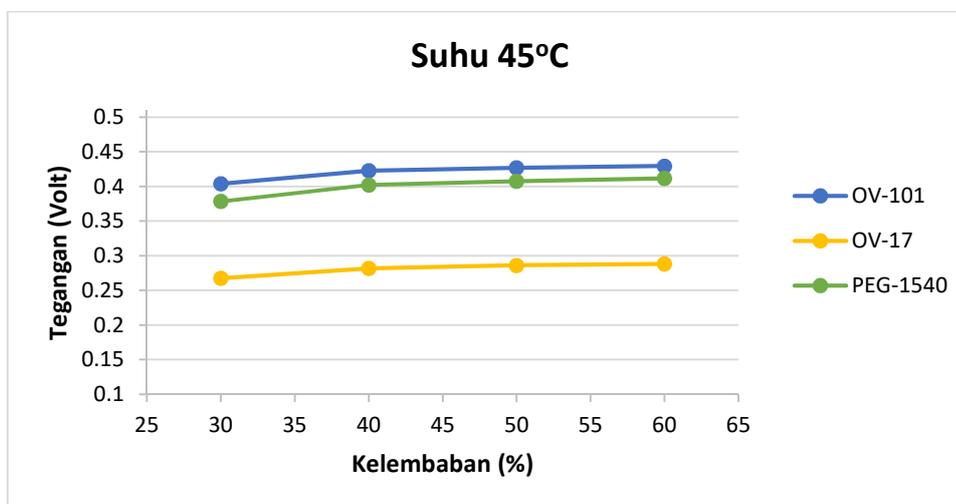
Hasil regresi linier dari Gambar 4.25 ditunjukkan pada Tabel 4.11. Sensor serat optik terlapis polimer PEG-1540 menunjukkan linieritas terbaik dengan  $R^2$  sebesar 0.7254. Polimer PEG-1540 mengalami perubahan tegangan terbesar untuk setiap 1%RH yaitu 0.0004V dan polimer OV-17 mengalami perubahan tegangan terkecil untuk setiap 1%RH yaitu 0.0003V. PEG-1540, dengan sensitivitas terhadap kelembaban sebesar 0.0004V/%RH, merupakan tipe polimer polar sehingga lebih mudah mengikat molekul uap air.

#### 4.10.3.4 Hasil Pengujian dan Analisis pada Suhu 45°C

Hasil pengujian sensor serat optik pada suhu 45°C dapat dilihat pada Gambar 4.26. Ketika kelembaban dinaikkan dari 30% sampai 60%, setiap lapisan polimer mengalami kenaikan nilai tegangan dengan laju kenaikan yang berbeda.

Pada suhu 45°C, tegangan pada sensor serat optik terlapis OV-101 naik dari 0.404102V menjadi 0.429638V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.025536V. Pada sensor serat optik terlapis OV-17 juga mengalami kenaikan tegangan dari 0.267633V menjadi 0.2883V, sehingga terjadi perubahan tegangan sebesar 0.020667V. Sedangkan sensor serat optik terlapis PEG-1540 mengalami kenaikan tegangan dari 0.378637V menjadi 0.411763V, sehingga didapatkan selisih perubahan tegangan sebesar 0.033126V.

Hasil regresi linier dari Gambar 4.26 ditunjukkan pada Tabel 4.12. Sensor serat optik terlapis polimer OV-17 menunjukkan linieritas terbaik dengan  $R^2$  sebesar 0.8427. Polimer PEG-1540 mengalami perubahan tegangan terbesar untuk setiap 1%RH yaitu 0.001V dan polimer OV-17 mengalami perubahan tegangan terkecil untuk setiap 1%RH yaitu 0.0007V. PEG-1540, dengan sensitivitas terhadap kelembaban sebesar 0.001V/%RH, merupakan tipe polimer polar sehingga lebih mudah mengikat molekul uap air.



Gambar 4.26 Grafik Pengujian Sensor Serat Optik pada Suhu 45°C

Tabel 4.12 Regresi Linier Perubahan Kelembaban pada Suhu 45°C

Suhu (°C)	Lapisan Polimer	Regresi Linier	$R^2$
45°C	OV-101	$y = 0.0008x + 0.3845$	0.8156
	OV-17	$y = 0.0010x + 0.3531$	0.8278
	PEG-1540	$y = 0.0007x + 0.32513$	0.8427

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem pada penelitian dengan judul “PENINGKATAN SENSITIVITAS SENSOR GAS MENGGUNAKAN INTERFEROMETER SERAT OPTIK TERLAPIS POLIMER UNTUK KLASIFIKASI GAS SENYAWA ORGANIK”, penulis dapat memberikan kesimpulan serta saran yang akan berguna bagi pengembangan penelitian ini.

#### **5.1 Kesimpulan**

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian terhadap sensitivitas sensor serat optik. Pelapisan polimer pada serat optik mampu meningkatkan sensitivitas sensor serat optik sebesar 32.74%. Besarnya peningkatan sensitivitas sensor serat optik juga ditentukan oleh ketebalan lapisan polimer yang dilapiskan pada ujung sensor serat optik. Lapisan polimer yang lebih tebal dapat menghasilkan sensitivitas yang lebih tinggi, akan tetapi berpengaruh pada waktu respon dan waktu pemulihan yang lebih lama.

Pengujian klasifikasi gas dilakukan dengan menggunakan deret sensor serat optik yang dilapisi polimer OV-101, OV-17, dan PEG-1540. Pengujian klasifikasi gas dilakukan terhadap sampel gas benzena, metana, n-heksana, amonia, etil asetat, dan aseton. Keenam sampel gas diujikan dengan masing-masing empat kali pengujian. Total pengujian yang dilakukan adalah 24 kali. Pengklasifikasian jenis gas, dengan menggunakan metode *neural network* berdasarkan sampel gas yang telah dilatihkan sebelumnya, mampu menghasilkan tingkat keberhasilan sebesar 100% dengan ketentuan wadah sensor dalam keadaan bersih sebelum mengganti gas yang lain.

Pada jenis gas *non-polar* yang diujikan, dapat diketahui bahwa terjadi perubahan nilai tegangan yang lebih besar pada sensor yang terlapis OV-101, yang lebih mengikat senyawa *non-polar*. Sedangkan pada jenis gas *polar* yang diujikan, dapat diketahui bahwa terjadi perubahan nilai tegangan yang lebih besar pada

sensor yang terlapis PEG-1540, yang lebih mengikat senyawa *polar*. Dapat diketahui bahwa senyawa benzena, metana dan n-heksana tergolong senyawa *non-polar*, yang lebih selektif terhadap sensor yang terlapis OV-101. Sedangkan senyawa amonia, etil asetat, dan aseton tergolong senyawa *polar*, yang lebih selektif terhadap sensor yang terlapis PEG-1540.

Pengujian sensitivitas sensor serat optik juga dilakukan terhadap pengaruh perubahan suhu dan kelembaban. Sensor serat optik diujikan pada suhu 30°C sampai 45°C dan kelembaban 30% sampai 60%. Pengujian dengan menggunakan parameter suhu dan kelembaban bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai tegangan tiap-tiap sensor pada lingkungan yang berbeda-beda. Dengan mengetahui respon tegangan setiap sensor serat optik, maka dapat diketahui tingkat sensitivitas sensor serat optik pada tingkat suhu dan kelembaban tertentu. Setiap lapisan polimer pada sensor serat optik menunjukkan perubahan nilai tegangan dengan laju perubahan yang berbeda-beda pada tiap perubahan suhu dan tingkat kelembaban. Polimer OV-17 sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan PEG-1540 sangat sensitif terhadap perubahan kelembaban.

## **5.2 Saran**

Pada penelitian selanjutnya sebaiknya digunakan jenis serat optik multimode dan digunakan sumber cahaya yang lebih kuat dengan spektrum gelombang cahaya yang lebih lebar, agar respon perubahan intensitas cahaya yang ditangkap lebih dapat diamati sehingga dapat memperbaiki tingkat sensitivitas sensor. Penelitian ini masih menggunakan sampel gas tanpa menentukan besarnya konsentrasi, oleh sebab itu untuk penelitian selanjutnya sebaiknya tingkat sensitivitas sensor serat optik diuji terhadap sampel gas dengan tingkat konsentrasi yang lebih rendah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afif. (2015), “Warga Dua Desa di Aceh Utara Keracunan Amoniak”, *Merdeka.com*, <http://www.merdeka.com/peristiwa/warga-dua-desa-di-aceh-utara-keracunan-amoniak.html>, Diakses tanggal 23 Juni 2016.
- Bae, M., Lim, J., Kim, S., Song, Y. (2013), “Ultra Highly Sensitive Optical Gas Sensors based on Chemomechanical Polymer-Incorporated Fiber Interferometer”, *OPTIC EXPRESS*, Vol. 21, No. 2, hal 2018-2023.
- Dearden, Lizzie. (2015), “Tianjin explosions: What we know so far about China disaster that killed at least 50 people”, *independent.co.uk*, <http://www.independent.co.uk/news/world/asia/tianjin-explosions-what-we-know-so-far-about-disaster-in-that-killed-at-least-50-people-10455713.html>, Diakses tanggal 23 Juni 2016.
- Dini, F., Martinelli, E., Paolesse, R., Filippini, D., D’Amico, A., Lundstorm, I., Natale C.D. (2011), “Polymer Matrices Effects on the Sensitivity and the Selectivity of Optical Chemical Sensor”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 154, hal. 220-225.
- Duan, D.W., Rao, Y.J., Xua, L.C., Zhua, T., Wua, D., Yaoa, J. (2011), “In-Fiber Mach-Zehnder Interferometer Formed by Large Lateral Offset Fusion Splicing for Gases Refractive Index Measurement with High Sensitivity”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol 160, hal. 1198-1202.
- Ehret, B., Safenreiter, K., Lorenz, F., Biermann, J. (2011), “A New Feature Extraction Method for Odour Classification”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 158, hal. 75-88.
- Gelais, R.S., Mackey, G., Saunders, J., Zhou, J., Hotte, A.L., Poulin, A., Barnes, J.A., Loock, H.P., Brown, R.S., Peter, Y.A. (2013), “Gas Sensing Using Polymer-Functionalized Deformable Fabry-Perot Interferometers”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 182, hal. 45-52.

- Gunawan, B. dan Azhari, C.D. (2011), “Karakterisasi Spektrofotometri IR dan Scanning Electron Microscopy (SEM) Sensor Gas dari Bahan Polimer Poly Ethelyn Glycol (PEG)”, *Jurnal Sains dan Teknologi*, Vol. 3, No. 2, hal. 1-17.
- Haryono, W. (2016), “Ledakan Gas di Tambang Rusia Tewaskan 36 Orang”, *Metrotvnews.com*, <http://internasional.metrotvnews.com/read/2016/02/29/491471/ledakan-gas-di-tambang-rusia-tewaskan-36-orang>, Diakses tanggal 23 Juni 2016.
- Haykin, S. (2009), *Neural Networks and Learning Machines*, 3<sup>rd</sup> edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Jędrzejewska-Szczerska, M., Wierzba, P., Chaaya, A.A., Bechelany, M., Miele, P., Viter, R., Mazikowski, A., Karpienko, K., Wróbel, M. (2015), “ALD Thin ZnO Layer as an Active Medium in a Fiber-Optic Fabry–Perot Interferometer”, *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 221, hal. 88-94.
- Jing, L. (2016), “Hundreds of Pupils at School Near Toxic Site in East China Fall Ill, Some with Cancer, State TV Reports”, *South China Morning Post*, <http://www.scmp.com/news/china/policies-politics/article/1936763/hundreds-pupils-school-near-toxic-site-east-china-fall>, Diakses tanggal 23 Juni 2016.
- Kaushal, P. (2014), “Advances in Electronic Nose Technology for Clinical Applications”, *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, Vol. 3, No. 8, hal. 130-135.
- Lee, B.H., Kim, Y.H., Park, K.S., Eom, J.B., Kim, M.J., Rho, B.S., Choi, H.Y. (2012), “Interferometric Fiber Optic Sensors”, *Sensors*, Vol. 12, No.3, hal. 2467-2486.
- Muhammad Rivai, (2015), “*Optoelectronic Devices*”, Handout, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Muhammad Rivai, Mujiono, T., Juwono, H. (2006), “Identification of Organic Solvent Vapors Using Polymer Coated SiO<sub>2</sub> Crystal Array”, Conference Proceedings: The Fourth Saudi Technical Conference and Exhibition, Vol.III, hal. 244-249.
- Muhammad Rivai, Mujiono, T., Tasripan. (2012), “Chemically Coated Quartz Crystal Sensors for Fragrance Recognition”, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 3, Issue 6, hal. 637-641.

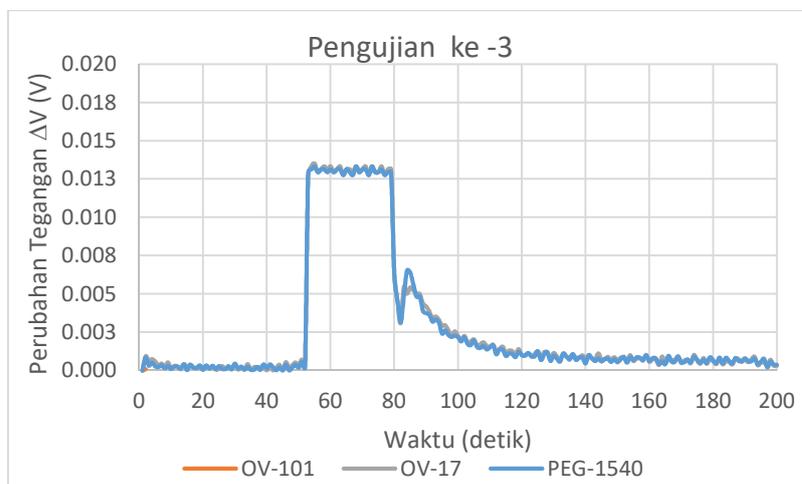
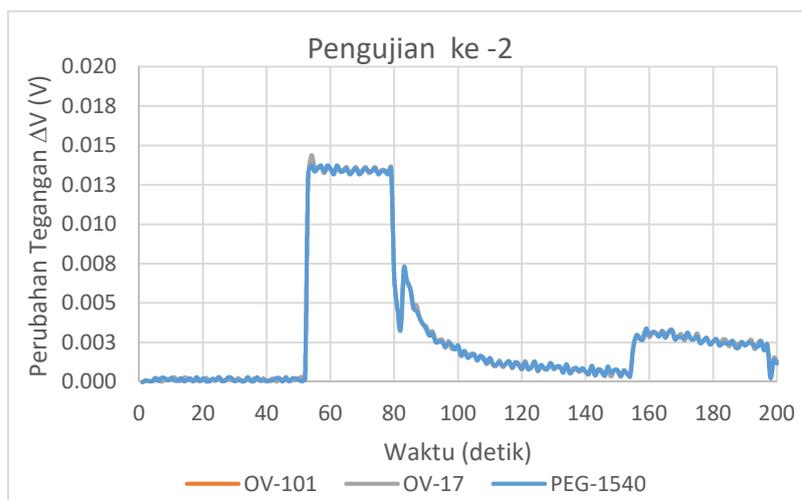
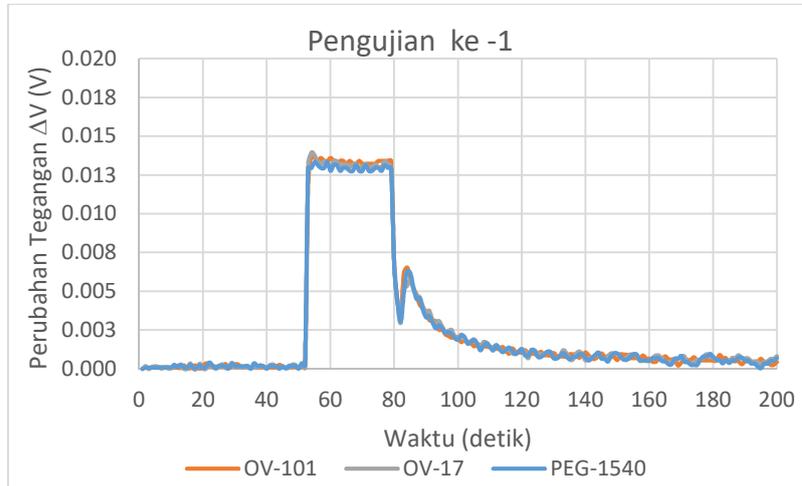
- Muhammad Rivai, Talakua, E.L. (2014), "The Implementation of Preconcentrator in Electronic Nose System to Identify Low Concentration of Vapors Using Neural Network Method", International Conference on Information, Communication Technology and System (ICTS), hal. 31-36.
- Mulyadi dan Muhammad Rivai (2011), "Karakteristik Sensor Gas Berbasis Devis Surface Acoustic Wave Terlapis Polimer", *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana XI*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, hal. 1-4.
- Nebath, E., Pang, D., Wuwung, J.O. (2014), "Rancang Bangun Alat Pengukur Gas Berbahaya CO Dan CO<sub>2</sub> di Lingkungan Industri", *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer*, hal. 65-72
- Shah, R.Y., Agrawal, Y.K. (2011), "Introduction to Fiber Optics: Sensors for Biomedical Applications", *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, Vol. 73, No. 1, hal. 17-22.
- Shang, Y., Wang, X., Xu, E., Tong, C., Wu, J. (2011), "Optical Ammonia Gas Sensor Based on a Porous Silicon Rugate Filter Coated with Polymer-Supported Dye", *Analytica Chimica Acta*, Vol. 685, hal. 58-64.
- Wetchakun, K., Samerjai, T., Tamaekong, N., Liewhiran, C., Siriwong, C., Kruefu, V., Wisitsoraat, A., Tuantranont, A., Phanichphant, S. (2011), "Semiconducting Metal Oxides as Sensors for Environmentally Hazardous Gases", *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 160, hal. 580-591.
- Widodo, S. (2014), "Teknologi Proses Pembuatan Divais Sensor Gas NO<sub>2</sub> dengan Lapisan Aktif In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>", *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, Vol. 10, No. 1, hal. 69-86.
- Yuana, C.L., Chang, C.P., Song, Y. (2011), "Hazardous Industrial Gases Identified Using a Novel Polymer/MWNT Composite Resistance Sensor Array", *Materials Science and Engineering B*, Vol. 176, hal. 821-829.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

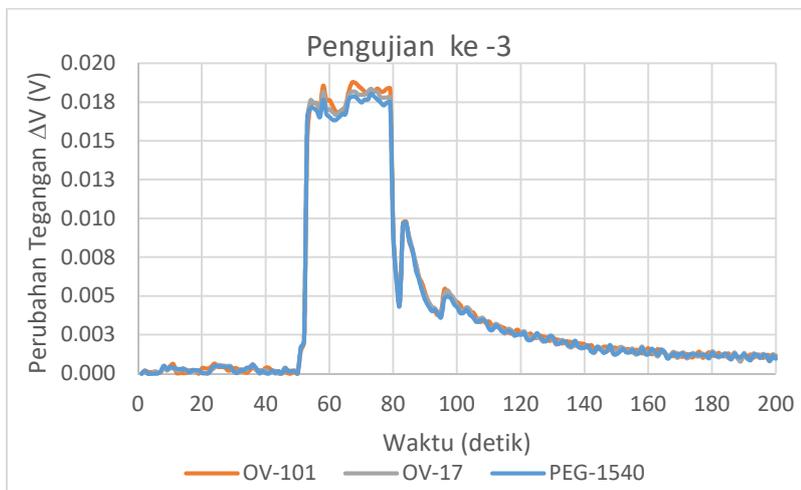
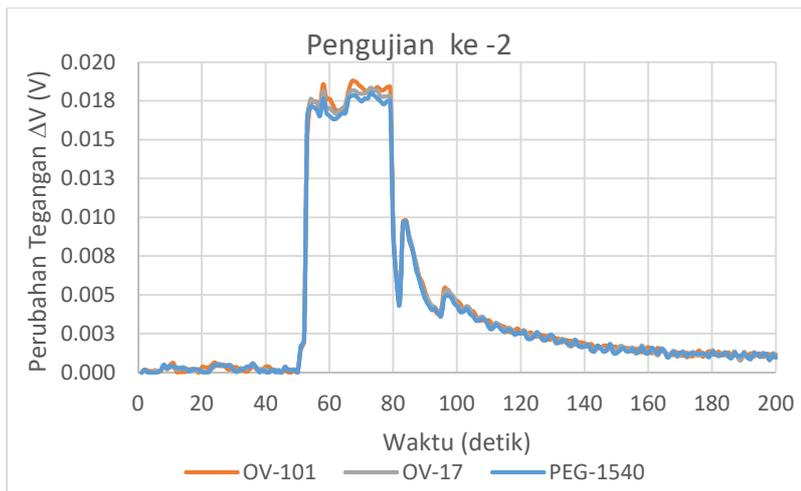
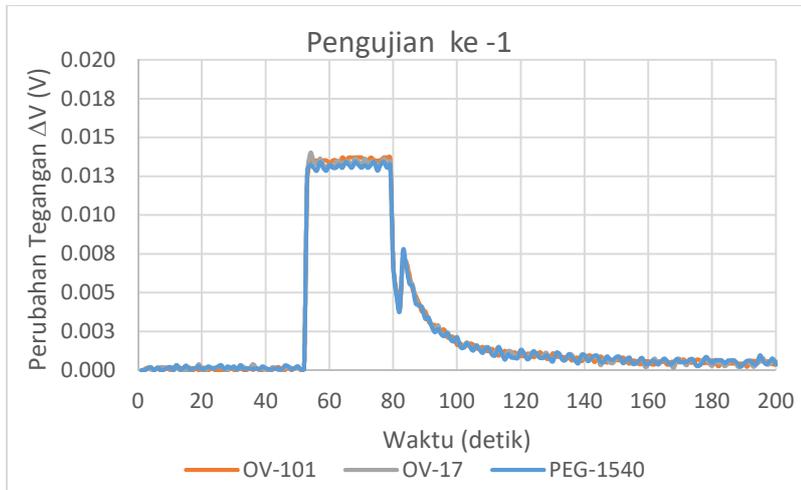
## LAMPIRAN

### 1. Pengujian sensor serat optik terhadap sampel gas

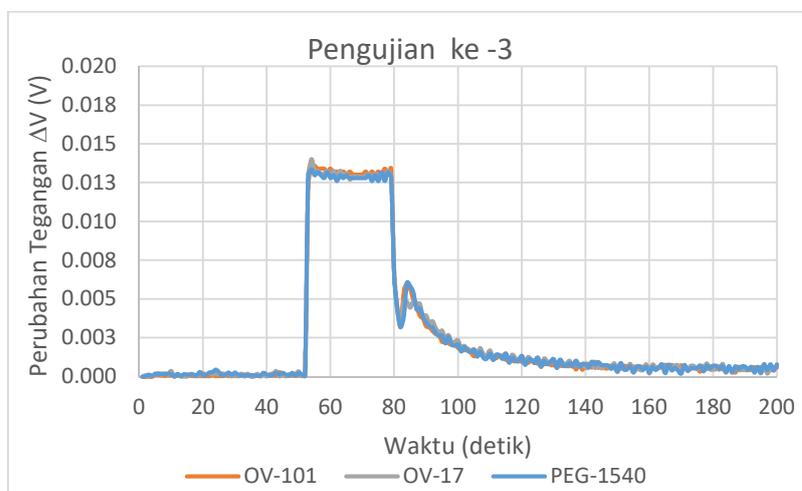
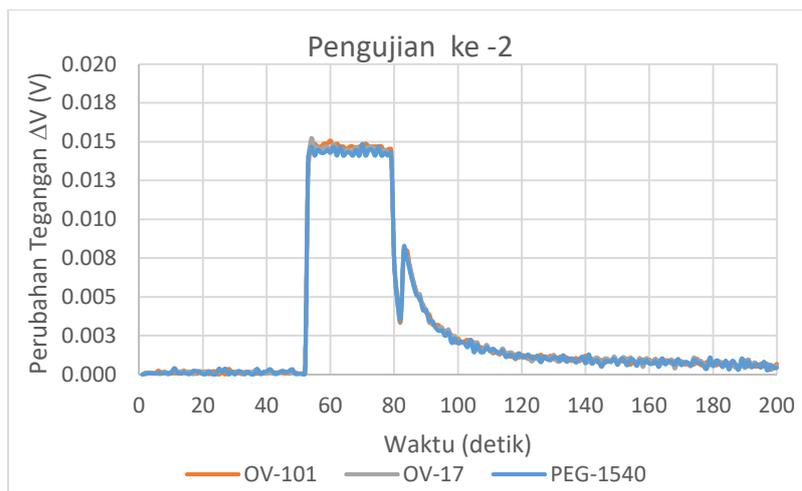
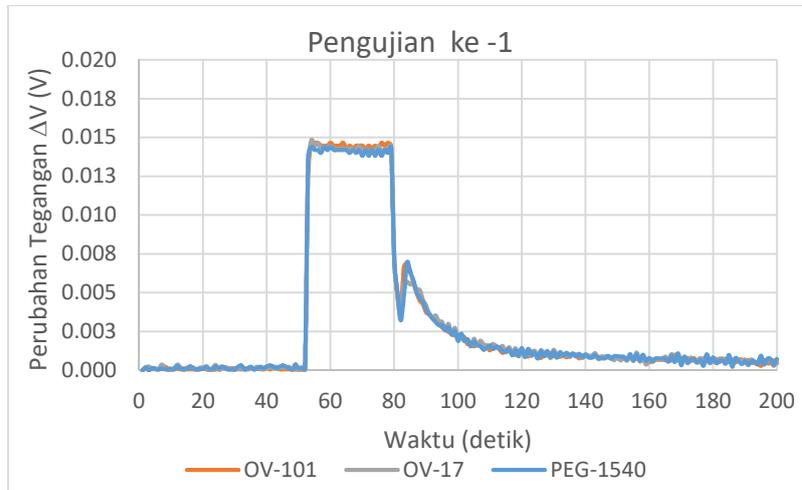
#### 1.1 Pengujian terhadap gas Benzena



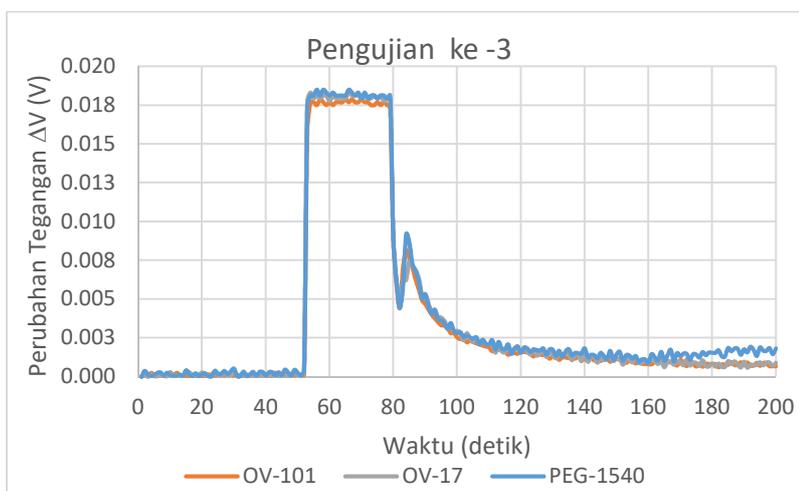
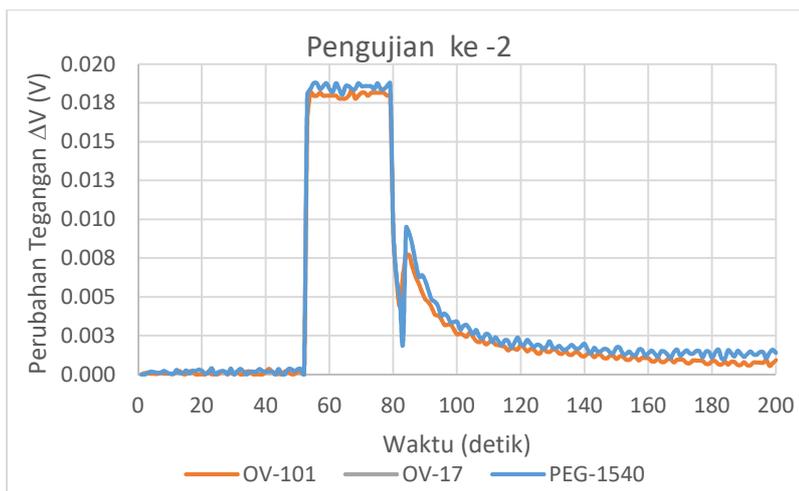
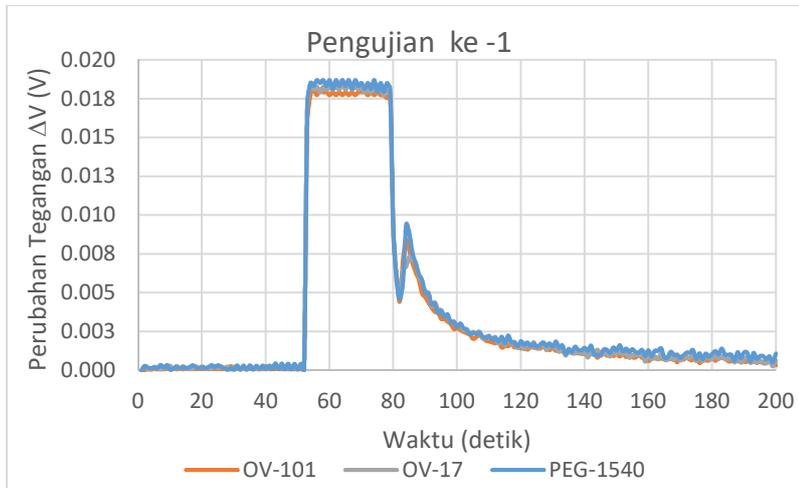
## 1.2 Pengujian terhadap gas Metana



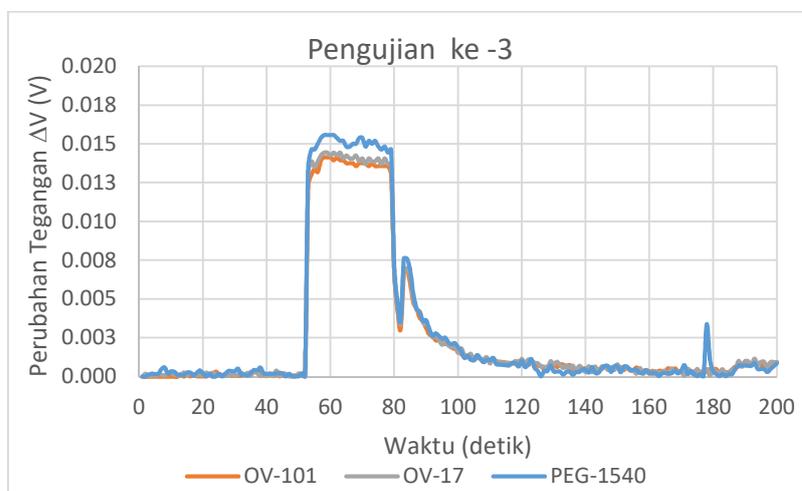
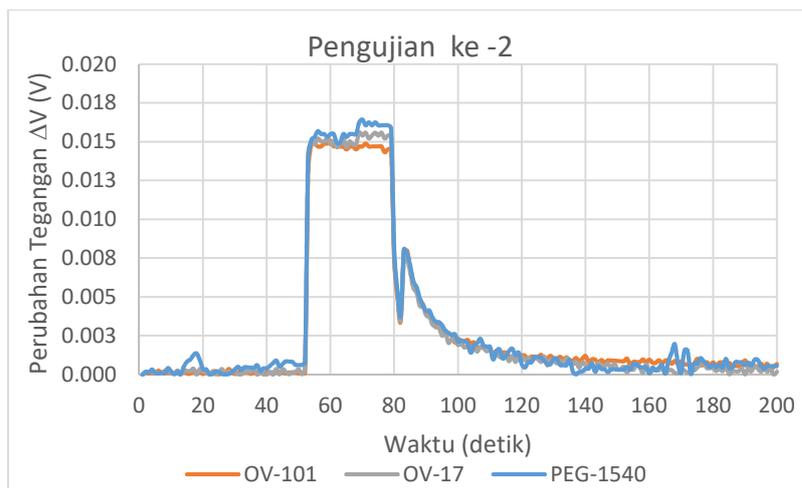
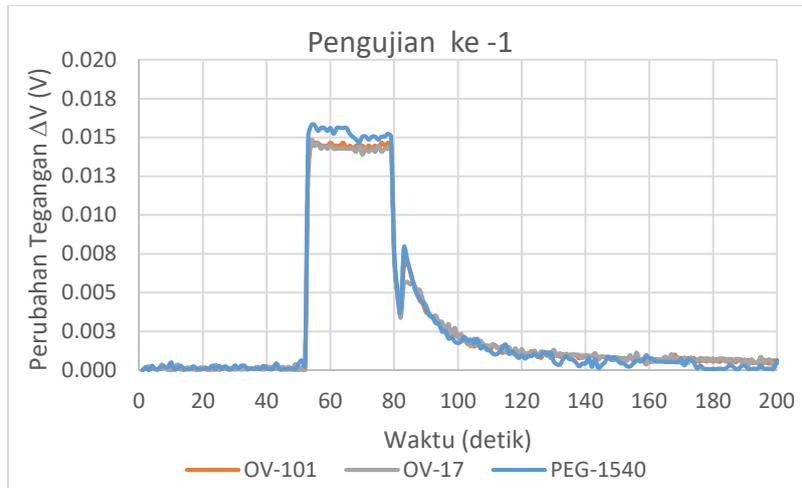
### 1.3 Pengujian terhadap gas N-Heksana



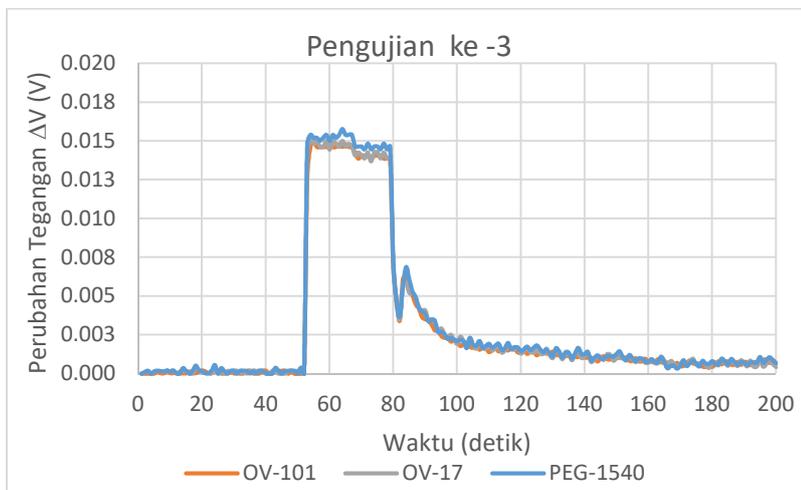
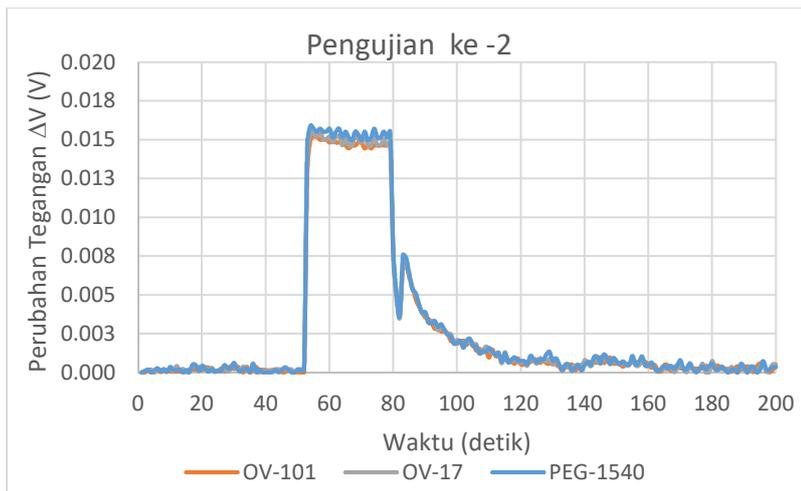
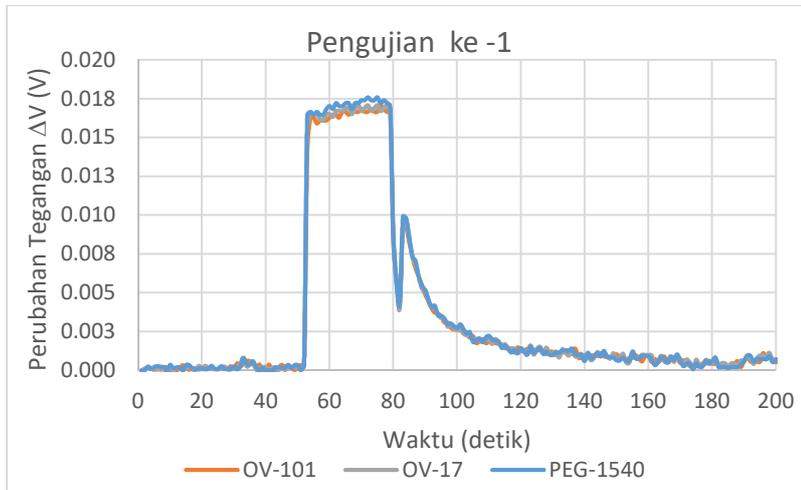
## 1.4 Pengujian terhadap gas Amonia



## 1.5 Pengujian terhadap gas Etil Asetat



## 1.6 Pengujian terhadap gas Aseton



## 2. Listing Program

### 2.1 Mikrokontroler Arduino Nano

```
// Initialization
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>
#include <SHT1x.h>

#define dataPin 3           // SHT11 - data pin
#define clockPin 2         // SHT11 - clock pin
SHT1x sht1x(dataPin, clockPin);

#define R1 4               // valve cleaning (in)
#define R2 5               // valve sample in
#define R3 6               // valve sample out
#define R4 7               // valve (out)

#define HG7881_B_IA 8      // Motor B Input A --> MOTOR B +
#define HG7881_B_IB 9      // Motor B Input B --> MOTOR B -
#define MOTOR_B_DIR HG7881_B_IA // Motor B Direction
#define MOTOR_B_PWM HG7881_B_IB // Motor B PWM Speed

#define Heater 10          // drive heater
#define Fan 11             // On/Off Fan

Adafruit_ADS1115 ads(0x48);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  inputString.reserve(200);

  ads.begin();
  ads.setGain(GAIN_ONE); // 1x gain->0-4.096V->1bit=0.125mV

  last_adc0 = 0;
  last_adc1 = 0;
  last_adc2 = 0;
  last_temp = 0;

  pinMode(R1, OUTPUT);      digitalWrite( R1, LOW );
  pinMode(R2, OUTPUT);      digitalWrite( R2, LOW );
  pinMode(R3, OUTPUT);      digitalWrite( R3, LOW );
  pinMode(R4, OUTPUT);      digitalWrite( R4, LOW );

  pinMode(MOTOR_B_DIR, OUTPUT); digitalWrite( MOTOR_B_DIR, LOW );
  pinMode(MOTOR_B_PWM, OUTPUT); digitalWrite( MOTOR_B_PWM, LOW );

  pinMode(Heater, OUTPUT);  digitalWrite( Heater, LOW );
  pinMode(Fan, OUTPUT);     digitalWrite( Fan, LOW );
}
```

```

void serialEvent() { // data interrupt
  while (Serial.available()) {
    char inChar = (char)Serial.read();
    if (inChar == '\n') {
      stringComplete = true;
    }
    else {
      inputString += inChar;
    }
  }
}

String getValue(String data, char separator, int index){
  int found = 0;
  int strIndex[] = { 0, -1 };
  int maxIndex = data.length() - 1;
  for (int i = 0; i <= maxIndex && found <= index; i++) {
    if (data.charAt(i) == separator || i == maxIndex) {
      found++;
      strIndex[0] = strIndex[1] + 1;
      strIndex[1] = (i == maxIndex) ? i+1 : i;
    }
  }
  return found > index ? data.substring(strIndex[0],
strIndex[1]) : "";
}

int pid2pwm(int setPoint, int lastValue, int kp, int ki, int kd)
{ int dt = 1; //time sampling=1s
  error = (setPoint-lastValue); //proportional error
  edot = (error - last_error)/dt; //derivative error
  E = (E + error)*dt; //integral error

  pid = (kp*error) + (ki*E) + (kd*edot); // pid control
  last_error = error;

  int result = map(pid,minPID,maxPID,0,255); //remap pid->pwm
  if (result > 255) {result=255;}
  if (result < 0 ) {result=0;}
  return result;
}

void loop() {
  i = i + 1;
  adc0 = ads.readADC_SingleEnded(0); // PEG-1540
  last_adc0 = last_adc0 + adc0;
  adc0 = last_adc0/i;
  Voltage1 = (adc0 * 4.096) / 32767;

  adc1 = ads.readADC_SingleEnded(1); // OV-101
  last_adc1 = last_adc1 + adc1;
  adc1 = last_adc1/i;
  Voltage2 = (adc1 * 4.096) / 32767;

  adc2 = ads.readADC_SingleEnded(2); // OV-17
  last_adc2 = last_adc2 + adc2;
  adc2 = last_adc2/i;
  Voltage3 = (adc2 * 4.096) / 32767;
}

```

```

if (stringComplete) {
  data = inputString;
  inputString = "";
  stringComplete = false;

  //-----Set PWM Motor (Air Pump)-----
  if ( getValue(data, ',', 0) == "Mpwm")
  { strVal = getValue(data, ',', 1);
    pwm_motor = strVal.toInt();
    if (mon == true) {
      analogWrite( MOTOR_B_PWM, 255 - pwm_motor); //speed = fast
    }
  }
  //-----Cleaning-----
  if ((data == "M1") || (data == "M1\r")){
    mon = true; //motor status
    digitalWrite( MOTOR_B_DIR, HIGH ); l=0; //dir = forward
    analogWrite( MOTOR_B_PWM, 255 - pwm_motor); //speed = fast
    digitalWrite(R1, HIGH);
    digitalWrite(R4, HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(R2, LOW);
    digitalWrite(R3, LOW);
  }
  //-----Gas Sample-----
  else if ((data == "M2") || (data == "M2\r")){
    mon = true; //motor status
    digitalWrite( MOTOR_B_DIR, HIGH ); l=cal/70; //dir = forward
    analogWrite( MOTOR_B_PWM, 255 - pwm_motor); //speed = fast
    digitalWrite(R1, LOW);
    digitalWrite(R4, HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(R2, HIGH);
    digitalWrite(R3, HIGH);
  }
  //-----Close/Stop-----
  else if ((data == "CLOSE") || (data == "CLOSE\r")){
    mon = false;
    digitalWrite(R1, LOW);
    digitalWrite(R2, LOW);
    digitalWrite(R3, LOW);
    digitalWrite(R4, LOW);
    digitalWrite( MOTOR_B_DIR, LOW );
    digitalWrite( MOTOR_B_PWM, LOW );
  }

  // Set PID paramater
  if ( getValue(data, ',', 0) == "Tpid")
  {
    strTemp = getValue(data, ',', 1);
    setpoint = strTemp.toFloat();
    strTemp = getValue(data, ',', 2);
    Kp = strTemp.toFloat();
    strTemp = getValue(data, ',', 3);
    Ki = strTemp.toFloat();
    strTemp = getValue(data, ',', 4);
    Kd = strTemp.toFloat();
  }
}

```

```

//-----Fan On(1)/Off(0)-----
if ((data == "F0") || (data == "F0\r")){
    digitalWrite(Fan, LOW);
}
else if ((data == "F1") || (data == "F1\r")){
    digitalWrite(Fan, HIGH);
}
if ((data == "H0") || (data == "H0\r")){
    digitalWrite(Heater, LOW);
    pidcontrol = false;
}
else if ((data == "H1") || (data == "H1\r")){
    pidcontrol = true;
}
}

//-----SHT11-----

// Read values from the sensor          // Sampling time = 1s
temp_c = sht1x.readTemperatureC();
humidity = sht1x.readHumidity();

last_temp = last_temp + temp_c;          //filter MAV
tempC      = last_temp / i;

//-----Temperature Control (PID)-----

if (pidcontrol == true){
    setTemp = pid2pwm(setpoint, tempD, Kp, Ki, Kd);
    analogWrite(Heater, setTemp);
}

//-----Sensor Value-----
Serial.print(Voltage1, 7);              // send data : PEG-1540
Serial.print(", ");
Serial.print(Voltage2, 7);              // send data : OV-101
Serial.print(", ");
Serial.print(Voltage3, 7);              // send data : OV-17
Serial.print(", ");
Serial.print(tempC, 7);                  // send data : Temperature
Serial.print(", ");
Serial.print(humidity, 7);               // send data : Humidity
Serial.print(", ");
Serial.print(pwm_motor);                 // fback data : PWM Motor
Serial.print(", ");                       // (Air Pump)
Serial.print(setpoint);                  // fback data : Setpoint
Serial.print(", ");                       // Temperature
Serial.print(Kp);                         // fback data : Kp
Serial.print(", ");
Serial.print(Ki);                         // fback data : Ki
Serial.print(", ");
Serial.print(Kd);                         // fback data : Kd
Serial.print(", ");
Serial.print(i);                          // fback data : Time sampling
Serial.println(", V1/V2/V3/V4/T/RH/Mpwm/Temp/Kp/Ki/Kd/t");
}

```

## 2.2 User Interface

### implementation

```
{ $R *.dfm }

procedure TForm2.btnConnectClick(Sender: TObject);
begin
  if btnConnect.Caption = 'Connect' then
  begin
    cmpprt1.Open; mmol1.Clear;
    gasSample:=False;
    btnConnect.Caption := 'Disconnect';
    btnPortSettings.Enabled := False;
    stat1.Panels[0].Text:='Connected';
    mmol1.Lines.Add('System ready...');
  end
  else if btnConnect.Caption = 'Disconnect' then
  begin
    cmpprt1.Close;
    start:= False; gasSample:=False;
    btnConnect.Caption := 'Connect';
    btnPortSettings.Enabled := True;
    stat1.Panels[0].Text:='Not Connected';
    mmol1.Lines.Add('System disconnected...');
  end;
end;

//=====Receive Serial Data=====
procedure TForm2.cmpprt1RxChar(Sender: TObject; Count: Integer);
var
  dt : string;
  i : Integer;
begin
  dt:='';
  cmpprt1.ReadStr(dt, count);
  dat:=dat+dt;
  if (pos(chr(10),dat)>0) then
  begin
    A:=pos(chr(10),dat);
    data:=copy(dat, 0, A-2);
    dat:='';
    if start then
    begin
      time:=time+1;
      if time=StrToInt(edtTimeOpen.Text) then btnSample.Click;
      if time=StrToInt(edtTimeClose.Text) then btnClean.Click;
      if time=StrToInt(edtTimeEnd.Text) then btnStart.Click;
    end;
    if time>StrToInt(edtTimeEnd.Text) then
      chtDelta.BottomAxis.Maximum:=time;

    strngrd_DataSensor.RowCount:=time+1;
    strngrd_Delta.RowCount:=time+1;
    if chk2.Checked=false then
    begin
      for i:= 1 to 5 do
```

```

begin
  A:= pos(' ', data);
  sensor[i,time]:= copy(data, 0, A-1);
  data:=copy(data, A+1, Length(data));
end;
data:='';
end;
strngrd_DataSensor.Cells[0,time]:= ' '+inttostr(time);
strngrd_DataSensor.Cells[3,time]:= Sensor[1,time];
strngrd_DataSensor.Cells[1,time]:= Sensor[2,time];
strngrd_DataSensor.Cells[2,time]:= Sensor[3,time];
strngrd_DataSensor.HandleNeeded;
strngrd_DataSensor.Row:=time;
chtSensorOutput.Series[2].AddXY(time,
  StrToFloat(Sensor[1,time])); //PEG-1540
chtSensorOutput.Series[0].AddXY(time,
  StrToFloat(Sensor[2,time])); //OV-101
chtSensorOutput.Series[1].AddXY(time,
  StrToFloat(Sensor[3,time])); //ov-17
if gasSample=False then
begin
  timeClean:=timeClean+1;
  sum[1]:=sum[1]+strtoFloat(Sensor[1,time]);
  sum[2]:=sum[2]+strtoFloat(Sensor[2,time]);
  sum[3]:=sum[3]+strtoFloat(Sensor[3,time]);
  avg[1]:=sum[1]/timeClean;
  avg[2]:=sum[2]/timeClean;
  avg[3]:=sum[3]/timeClean;
end
else if gasSample=True then
begin
  sum[1]:=avg[1]; sum[2]:=avg[2]; sum[3]:=avg[3];
  timeClean:=1;
end;
valD[1,time]:=Abs(strtoFloat(Sensor[1,time])-avg[1]);
valD[2,time]:=Abs(strtoFloat(Sensor[2,time])-avg[2]);
valD[3,time]:=Abs(strtoFloat(Sensor[3,time])-avg[3]);

if gasSample=True then
begin
  timeNorm:=timeNorm+1;
  timeSlct1:=(StrToInt(edtTimeStart.Text)-
    StrToInt(edtTimeOpen.Text));
  timeSlct2:=(StrToInt(edtTimeStop.Text)-
    StrToInt(edtTimeOpen.Text));
  if (timeNorm>timeSlct1) and (timeNorm<timeSlct2+1) then
  begin
    norm_sum[1]:=norm_sum[1]+valD[1,time];
    norm_sum[2]:=norm_sum[2]+valD[2,time];
    norm_sum[3]:=norm_sum[3]+valD[3,time];
  end;
end
else if (gasSample=False) and (timeNorm>timeSlct2) then
begin
  norm_avg[1]:=norm_sum[1]/(timeSlct2-timeSlct1);
  norm_avg[2]:=norm_sum[2]/(timeSlct2-timeSlct1);
  norm_avg[3]:=norm_sum[3]/(timeSlct2-timeSlct1);
  norm[1]:=norm_avg[1]/MaxValue(norm_avg);

```

```

norm[2]:=norm_avg[2]/MaxValue(norm_avg);
norm[3]:=norm_avg[3]/MaxValue(norm_avg);
timeNorm:=0;
chtNormalization.Series[2].AddXY(0,norm[1]); //PEG-1540
chtNormalization.Series[0].AddXY(0,norm[2]); //OV-101
chtNormalization.Series[1].AddXY(0,norm[3]); //OV-17
edtS3.Text:=FloatToStr(Norm[1]);
edtS1.Text:=FloatToStr(Norm[2]);
edtS2.Text:=FloatToStr(Norm[3]);
end;
chtDelta.Series[2].AddXY(time,valD[1,time]);
chtDelta.Series[0].AddXY(time,valD[2,time]);
chtDelta.Series[1].AddXY(time,valD[3,time]);
edtTemp.Text:=Sensor[4,time];
edtRH.Text :=Sensor[5,time];
chtTemp.Series[0].AddXY(time,StrToFloat(sensor[4,time]));
chtRH.Series[0].AddXY(time,StrToFloat(sensor[5,time]));
end;
end;
end;

//=====NN-Feedforward=====
procedure TForm2.FeedFoward;
var
  i,j:integer;
  temp:double;
begin
  {-----layer hidden-----}
  for j:=1 to n_hidden do
  begin
    temp:=0;
    for i:=1 to n_input do
    begin
      temp:=temp+(w1[j,i]*DataIN[i,k]);
    end;
    temp := temp-bias1[j];
    out1[j] := 1/(1+exp(-1*Alpha*temp)); //binary sigmoid
    gout1[j] := alpha*out1[j]*(1-out1[j]); //1st derivative
  end;

  {-----layer output-----}
  for j:=1 to n_output do
  begin
    temp:=0;
    for i:=1 to n_hidden do
    begin
      temp:=temp+(w2[j,i]*out1[i]);
    end;
    temp := temp-bias2[j];
    out2[j] := 1/(1+exp(-1*alpha*temp)); //binary sigmoid
    gout2[j] := alpha*out2[j]*(1-out2[j]); //1st derivative
  end;
end;
//=====NN-Backward=====
procedure TForm2.error;
var
  i,j:integer; sumdif:Double;

```

```

begin
  sumdif:=0;
  {-----SSE-----}
  for j:=1 to n_output do
  begin
    dif[j,k]:= Sqr(dOut[j,k]-out2[j]);
    sumdif:=sumdif+dif[j,k];
  end;
  err[k]:= 0.5*(sumdif);
  E      := E+(err[k]);
  {-----Portion of Error Correction Weight Adjustment-----}
  {-----layer output-----}
  for j:=1 to n_output do
  begin
    d2[j]:=(dOut[j,k]-out2[j])*gout2[j];
  end;
  {-----layer hidden-----}
  for i:=1 to n_hidden do
  begin
    for j:=1 to n_output do
    begin
      d1[i]:=d1[i] + (d2[j]*w2[j,i]);
    end;
    d1[i]:=d1[i]*gout1[i];
  end;
end;

//=====Update Weight & Bias=====
procedure TForm2.miuVal;
begin
  case rg1.ItemIndex of
    0: miu[n+1]:=miu0;
    1: miu[n+1]:=miu0/(1+((n+1)/tau));
  end;
end;

procedure TForm2.update;
var
  i,j:integer;
  temp:double;
begin
  {-----layer output-----}
  for j:=1 to n_output do
  begin
    for i:=1 to n_hidden do
    begin
      case rg2.ItemIndex of //with or w/o momentum updating
        0: temp:=d2[j]*out1[i];
        1: begin
            temp:=(d2[j]*out1[i]+mom*d2_last[j]*out1_last[i]);
            d2_last[j]:=d2[j];
            out1_last[i]:=out1[i];
          end;
      end;
      w2[j,i]:=w2[j,i]+miu[n]*temp;
    end;
    bias2[j]:=bias2[j]-miu[n]*d2[j];
  end;
end;

```

```

{-----layer hidden-----}
for j:=1 to n_hidden do
begin
  for i:=1 to n_input do
  begin
    case rg2.ItemIndex of //with or w/o momentum updating
      0: temp:=d1[j]*(DataIN[i,k]);
      1: begin
          temp:=(d1[j]*(DataIN[i,k])+mom*d1_last[j]*
                (DataIN[i,k-1]));
          d1_last[j]:=d1[j];
        end;
    end;
    w1[j,i]:=w1[j,i]+miu[n]*temp;
  end;
  bias1[j]:=bias1[j]-miu[n]*d1[j];
end;
end;

//=====NN-Training=====
procedure TForm2.btnTrainingClick(Sender: TObject);
begin
  chtError.ClearChart;
  btnTraining.Enabled :=false;
  btnStartStop.Enabled:=true;
  stop:=false; finish:=false;
  timer:=0;
  if timer=0 then
  begin
    timer:=gettickcount;
    timer_old:=timer;
  end;
  iteration:=0;
  SetNeuron;
  Parameter;
  WeightInitial;
  BiasInitial;
  repeat
  begin
    if stop then break; //pause break
    E:=0; //reset
    {-----MAIN TRAINING-----}
    for k:=1 to Length(datainputNN[0]) do
    begin
      miuVal;
      FeedFoward; {Feedfoward}
      error; {BackPropagation}
      update;
      n:=n+1;
    end;
    E:=E/(n_output*Length(datainputNN[0]));
    edtIteration.Text:=IntToStr(n);
    edtError.Text:=FloatToStr(E);
    chtError.Series[0].AddXY(n,E);
    Delay(1);
  end;
  until E < limErr ;
  btnTraining.Enabled :=true;

```

```

    btnStartStop.Enabled:=false;
    finish:=true;
end;

const
    dbase_pengenalan: array[0..5,0..5] of integer= ((1,0,0,0,0,0),
                                                    (0,1,0,0,0,0),
                                                    (0,0,1,0,0,0),
                                                    (0,0,0,1,0,0),
                                                    (0,0,0,0,1,0),
                                                    (0,0,0,0,0,1));

    dbase_string: array[0..5] of string= ('Ammonia',
                                          'Ethyl Acetate',
                                          'Acetone',
                                          'Benzene',
                                          'Methane',
                                          'N-Hexane');

procedure TForm2.btnIndetificationClick(Sender: TObject);
var
    id_SSE,id_Etotal,err: double;
    id_pos,id_iteration: integer;
    i,j:Integer;
begin
    k:=1;
    lblResult.Caption:='Result = ';
    SetNeuron;
    E:= 1;
    n:= 0;
    miu0:= strtofloat(edtMiu_Identification.Text);
    alpha:= strtofloat(edtAlpha_Identification.Text);
    FeedFoward;
    edtOut1.Text:=FloatToStr(out2[1]);
    edtOut2.Text:=FloatToStr(out2[2]);
    edtOut3.Text:=FloatToStr(out2[3]);
    edtOut4.Text:=FloatToStr(out2[4]);
    edtOut5.Text:=FloatToStr(out2[5]);
    edtOut6.Text:=FloatToStr(out2[6]);
    id_SSE:= 1;
    id_pos:= 0;
    for i:= 0 to 5 do
    begin
        err:=0;
        for j:= 0 to 5 do
        begin
            err:= err+(sqr(dbase_identification[i,j]-out2[j+1]));
        end;
        err:= err*0.5;
        if err< id_SSE then //find minimum error in every pattern
        begin
            id_SSE:= err;
            id_pos:= i;
        end;
    end;
    edtSSE_Identification.Text:= floattostr(id_SSE);
    lblResult.Caption:=lblResult.Caption+dbase_string[id_pos];
end;

```

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



**Dwi Sasmita Aji Pambudi** dilahirkan di Lumajang, 21 April 1992. Merupakan anak kedua dari dua bersaudara pasangan Bapak Paniyan Agus Susanto dan Ibu Estiningtyas. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Citrodiwangsan 02 pada tahun 1998-2004, kemudian melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Sukodono pada tahun 2004-2007. Selanjutnya penulis melanjutkan di Sekolah Menengah Atas Negeri 2 Lumajang pada tahun 2007-2009. Setelah itu penulis menempuh pendidikan tinggi pada Program Sarjana di Universitas Telkom dan menyelesaikan pendidikan pada tahun 2013. Setelah menyelesaikan pendidikan tahap sarjana, selanjutnya penulis menempuh pendidikan di Program Magister Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan bidang keahlian Teknik Elektronika pada tahun 2015.

