TESIS – TE142599

SENSOR *CHEMOCAPACITOR* TERLAPIS POLIMER UNTUK IDENTIFIKASI UAP PELARUT ORGANIK MENGGUNAKAN *NEURAL NETWORK*

APIK RUSDIARNA INDRAPRAJA
NRP. 2214204001

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN ELEKTRONIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

TESIS – TE142599

SENSOR *CHEMOCAPACITOR* TERLAPIS POLIMER UNTUK IDENTIFIKASI UAP PELARUT ORGANIK MENGGUNAKAN *NEURAL NETWORK*

APIK RUSDIARNA INDRAPRAJA
NRP. 2214204001

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN ELEKTRONIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

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

oleh:

Apik Rusdiarna Indrapraja
NRP. 2214204001

Tanggal Ujian : 4 Januari 2017
Periode Wisuda: Maret 2017

Disetujui oleh:

1. **Dr. Muhammad Rivai , ST., MT.** **(Pembimbing I)**
   NIP: 19690426 199403 1 003
2. **Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D.** **(Pembimbing II)**
   NIP: 19710314 199702 1 001
3. **Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D.** **(Penguji)**
   NIP: 19651211 199002 1 002
4. **Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.** **(Penguji)**
   NIP: 19700212 199512 1 001
5. **Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D.** **(Penguji)**
   NIP: 19810118 200312 1 003

an. Direktur Program Pascasarjana
Asisten Direktur

Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng.
NIP. 19611021 198603 1 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tesis saya dengan judul "**Sensor *Chemocapacitor* Terlapis Polimer Untuk Identifikasi Uap Pelarut Organik Menggunakan *Neural Network***" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya dari 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 2017

Apik Rusdiarna Indrapraja

NRP.2214204001

Halaman ini sengaja dikosongkan

SENSOR *CHEMOCAPACITOR* TERLAPIS POLIMER UNTUK IDENTIFIKASI UAP PELARUT ORGANIK MENGGUNAKAN *NEURAL NETWORK*

Nama Mahasiswa : Apik Rusdiarna Indrapraja
NRP : 2214204001
Pembimbing : 1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
2. Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Chemocapacitor adalah kapasitor yang mempunyai lapisan sensitif polimer sebagai bahan dielektrik, bila uap pelarut organik terserap ke dalam bahan dielektrik akan mengubah permitivitas bahan, sehingga akan menaikkan nilai kapasitansi.

Uap pelarut sering dijumpai pada beberapa produk rumah tangga, seperti cat, perekat, kosmetik, pewangi ruangan, dan rokok. Beberapa lokasi dapat menghasilkan pencemar uap pelarut seperti pabrik kimia dan pemurnian minyak. Paparan uap tersebut dapat mempengaruhi kesehatan dalam waktu pendek dan dalam jangka panjang dapat menyebabkan kanker. Untuk kepentingan keamanan, pada penyimpanan bahan pelarut harus selalu dideteksi adanya kebocoran yang terjadi sehingga terhindar dari bahaya polusi dan kebakaran. Untuk itu sangat diperlukan suatu jenis sensor yang dapat mengenal jenis uap pelarut dan mengukur konsentrasinya.

Pada penelitian ini dilakukan pengindentifiksian jenis pelarut organik menggunakan sensor *chemocapacitor* dan *neural network.* Desain deret sensor *chemocapacitor* berupa *InterDigital Electrode* yang dilapisi polimer sebagai bahan dielektrik sehingga fabrikasinya sangat mudah. Polimer yang digunakan OV-101, PEG-1540,OV-17, APEIZON, PVP, PEG-6000, PEG-20M, dan EPON-1001. Pada penelitian ini juga dilakukan karakterisasi sensor akibat pengaruh perubahan suhu, kelembaban udara, dan konsentrasi uap pelarut organik. Jenis gas yang diujikan etanol, aseton dan n-heksana. Hasil pengujian perubahan suhu dan kelembaan, polimer EPON-1001 sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan polimer PVP sangat sensitif terhadap kelembaban. Pengujian perubahan konsentrasi uap pelarut organik PEG-1540 mempunyai senitifitas paling tinggi $0{,}0027pF/10^3$ ppm untuk gas etanol dan $0{,}00147pF/10^3$ ppm untuk gas aseton. Pengujian identifikasi gas menggunakan neural network mempunyai tingkat keberhasilan 100%. Sistem sensor ini diharapkan dapat digunakan untuk memonitoring kondisi polutan uap pelarut organik di lingkungan.

Kata Kunci: *Chemocapacitor*, *Interdigital Electrode*, *Neural Network*, Uap pelarut organik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

CHEMOCAPACITOR SENSOR COATED POLYMER FOR IDENTIFICATION OF ORGANIC SOLVENT VAPOR USING NEURAL NETWORK

By : Apik Rusdiarna Indrapraja
Student Identity Number : 2214204001
Supervisor(s) : 1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
2. Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

Chemocapacitor is a capacitor that has a sensitive layer of polymer that serve as dielectric material, when the organic solvent vapor is absorbed into the material dielectric, permittivity of the material will change, so it will increase the value of capacitance.

Solvent vapors was often founded in some household products, such as paints, adhesives, cosmetics, air freshener, and smoke. Some locations could generate solvent vapor contaminator such as chemical plants and oil refining. Exposure of the vapors in the short term can affect the health harassement, in the long term can cause cancer. For safety, the storage of solvents leakage must always be detected to protect from the pollution and fires danger. Because of that, it is necessary to choose a type of sensor that can recognize the type of solvent vapor and measure its concentration.

This research has done identificating an organic solvent type using chemocapacitor sensors and neural network. Chemocapacitor sensor array design in the form of InterDigital Electrode coated polymer as the dielectric material so that the fabrication is very easy. The polymers used OV-101, PEG-1540, OV-17, APEIZON, PVP, PEG-6000, PEG-20M, and EPON-1001. In this study, also carried out the characterization of the sensors due to the influence of changes in temperature, humidity, and concentration of organic solvent vapors. The type of gas being tested are ethanol, acetone and n-hexane. The test results temperature changes and moisture, the polymer EPON-1001 is very sensitive to temperature changes and PVP polymers are very sensitive to moisture. Testing changes in the organic solvent vapor concentrations of PEG-1540 has the highest senitifitas 0,0027pF / 10^3 ppm for ethanol and 0,00147pF / 10^3 ppm for acetone gas. Testing of gas identification using neural network has a 100% success rate. This sensor system is expected to be used for monitoring the condition of an organic solvent vapor pollutants in environment.

.

Key words: Chemocapacitor, Interdigital Electrode, Neural Network, Organic solvent vapor

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 "**Sensor *Chemocapacitor* Terlapis Polimer Untuk Identifikasi Uap Pelarut Organik Menggunakan *Neural Network***" 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. Bapak Dr. Muhammad Rivai, ST., MT. dan Bapak Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan saran, bantuan, serta sabar dalam membimbing penulis.
2. Bapak Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D. , Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT. dan Bapak Ronny Mardiyanto ST., MT., Ph.D. selaku Dosen Penguji Ujian Sidang Tesis atas saran dan masukannya.
3. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi 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.

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 xix
DAFTAR TABEL xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Perumusan Masalah 3
1.3. Tujuan dan Manfaat 4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA 5
2.1. Deret Sensor *Chemocapacitor* Untuk Mendeteksi *Volatile Organic Compounds* 5
2.2. Deret Sensor *Chemocapacitor* Untuk Memonitor Polutan Industri 8
2.3. Sensor *Chemocapacitor* 9
2.3.1. Interdigital Capacitor 9
2.3.2. Rangkaian Ekuivalen *InterDigital Capacitor* 10
2.3.3. Perubahan Nilai Kapasitansi 13
2.4. Polimer 15
2.5. Pelarut Organik 15
2.6. *Capacitance to Digital Converter* AD7466 17
2.7. Kontrol Suhu 18

2.8. *Neural Network* 20
2.8.1. Tahap *Feed Forward* 21
2.8.2. Tahap *Backpropagation*. 22
2.9. Diagram *Fishbone* Penelitian 24
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 25
3.1. Diskripsi Sistem 25
3.2. Uap Pelarut Organik 28
3.2.1. Pompa udara 28
3.2.2. Silika gel 29
3.2.3. Sistem katup 30
3.3. Sensor *Chemocapacitor* 31
3.3.1. Wadah Sensor *Chemocapacitor* 32
3.3.2. Sensor Suhu 33
3.3.3. *Driver* Pemanas 34
3.3.4. Kipas Pendingin 35
3.3.5. Elemen Pemanas 35
3.3.6. Kontrol PID 36
3.3.7. Sensor Kelembaban 37
3.4. Perancangan Pembaca Nilai Kapasitansi 37
3.5. *Moving Average* 39
3.6. Konversi Data 39
3.7. *Baseline* 39
3.8. Filter Kalman 40
3.9. Pemilihan Data 41
3.10. Normalisasi 41
3.11. *Neural Network* 41

3.12. *Backpropagation* 43
3.13. *Desain User Interface* 46
3.14. Prosedur Pengambilan Data 50
3.14.1. Pengambilan Data Perubahan Suhu dan Kelembaban 50
3.14.2. Pengambilan Data Perubahan Konsentrasi 51
3.14.3. Pengambilan Data Pembelajaran *Neural Network* 52
3.14.4. Prosedur Pembelajaran Neural Network 54
3.14.5. Prosedur Identifikasi Gas 54
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 55
4.1. Pengujian Hasil Pembuatan Rangkaian Pembaca Nilai Kapasitansi 55
4.1.1. Tujuan Pengujian 55
4.1.2. Prosedur Pengujian 56
4.1.3. Hasil Pengujian dan Analisa 56
4.2. Pengujian Aliran Udara 59
4.2.1. Tujuan Pengujian 59
4.2.2. Prosedur Pengujian 59
4.2.3. Hasil Pengujian dan Analisa 59
4.3. Pengujian Kontrol Suhu 60
4.3.1. Tujuan Pengujian 60
4.3.2. Prosedur Pengujian 60
4.3.3. Hasil Pengujian dan Analisa 61
4.4. Pengujian Sensor *Chemocapacitor* Terhadap Perubahan Suhu Dengan Kelembaban Tetap 62
4.4.1. Tujuan Pengujian 62
4.4.2. Prosedur pengujian 62
4.4.3. Hasil Pengujian dan Analisa 63

4.5. Pengujian Sensor *Chemocapacitor* Terhadap Perubahan Kelembaban Dengan Suhu Tetap 67
4.5.1. Tujuan Pengujian 67
4.5.2. Prosedur Pengujian 68
4.5.3. Hasil Pengujian dan Analisa 68
4.6. Pengujian Sensor *Chemocapacitor* Terhadap Sampel Gas dan Pengaruh Perubahan Suhu 72
4.6.1. Tujuan Pengujian 72
4.6.2. Prosedur pengujian 73
4.6.3. Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Gas Etanol 73
4.6.4. Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Gas Aseton 77
4.6.5. Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Gas N-Heksana 80
4.7. Perbandingan Ketiga Sampel Gas Terhadap Perubahan Suhu 84
4.7.1. Tujuan Pengujian 84
4.7.2. Hasil Pengujian dan Analisa 84
4.8. Pengujian Sensor *Chemocapacitor* Terhadap Perubahan Konsentrasi 86
4.8.1. Tujuan Pengujian 86
4.8.2. Prosedur pengujian 87
4.8.3. Hasil Pengujian dan Analisa 87
4.9. Pengujian *Neural Network* 89
4.9.1. Tujuan Pengujian 89
4.9.2. Prosedur Pengujian 89
4.9.3. Hasil Pengujian dan Analisa 89
4.10. Pengujian *Artificial Neural Network* Sebagai Pengenalan Jenis Gas 90
4.10.1. Tujuan Pengujian 90
4.10.2. Prosedur Pengujian 90

4.10.3. Hasil Pengujian dan Analisa 91
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 95
5.1. Kesimpulan 95
5.2. Saran 96
DAFTAR PUSTAKA 97
RIWAYAT HIDUP PENULIS 99

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Proporsi beban polusi udara kota Surabaya (a) tahun 2000 (b) tahun 2001 (c) tahun 2002 [1] 1

Gambar 2.1 Diagram blok modul elektronik miniatur sistem *chemocapacitor* [5] 6

Gambar 2.2 Respons 8 sensor untuk perubahan konsentrasi *toluene* pada suhu 30^{o}C [5] 7

Gambar 2.3 Hasil SEM dari struktur IDE [10] 8

Gambar 2.4 Layout IDC 9

Gambar 2.5 Penampang melintang IDC 10

Gambar 2.6 Rangkaian ekuivalen IDC dengan lapisan sensitif 12

Gambar 2.7 Proses perubahan nilai kapasitansi akibat penyerapan uap uji pada *chemocapacitor* 13

Gambar 2.8 Prinsip kerja IDE sensor *chemocapacitor* 15

Gambar 2.9 Rangkaian untuk memperluas jangkauan masukan kapasitansi AD7466 [16] 18

Gambar 2.10 Diagram blok sistem kontrol PID sederhana 19

Gambar 2.11 Sistem osilasi dengan amplitudo konstan [17] 20

Gambar 2.12 Model *Neural Network-Multilayer Perceptron* [18] 21

Gambar 2.13 *Neural Network* (a) tahap *feed forward* (b) tahap *backpropagation.* 24

Gambar 2.14 Diagram *fishbone* penelitian. 24

Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Perangkat Keras 25

Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem (a) Pembelajaran *Neural Network* (b) identifikasi uap pelarut organik 26

Gambar 3.3 Integrasi perancangan sistem pompa udara 29

Gambar 3.4 Kondisi Silika Gel dan Proses Sangrai 29

Gambar 3.5 Silika gel yang digunakan 30

Gambar 3.6 Perancangan sistem katup 30

Gambar 3.7 IDE (a) rancangan (b) bentuk fisik 32

Gambar 3.8 Konfigurasi wadah sensor 33
Gambar 3.9 Konfigurasi pemasangan sensor dalam wadah sensor 33
Gambar 3.10 Rangkaian LM35 34
Gambar 3.11 Skematik rangkaian *driver* pemanas 34
Gambar 3.12 Integrasi kipas pendingin dan relay 35
Gambar 3.13 Pemasangan elemen pemanas 35
Gambar 3.14 Skematik rangkaian SHT11 37
Gambar 3.15 Skematik rangkaian pembaca nilai kapasitansi 38
Gambar 3.16 Ilustrasi pemilihan data 41
Gambar 3.17 Rancangan arsitektur *neural network* 43
Gambar 3.18 Diagram alir pelatihan neural network dengan banyak pola 45
Gambar 3.19 Desain interface perangkat lunak (a) Identifikasi (b) Pembelajaran *Neural Network* 48
Gambar 3.20 Susunan data pembelajaran pada dnn.xls 53
Gambar 3.21 Susunan data target output pada tnn.xls 53
Gambar 4.1 Respons AD7746 dan multiplekser analog dalam membaca nilai kapasitansi 57
Gambar 4.2 Hasil pembacaan nilai digital sensor *chemocapacitor* (a) OV-101 (b) PEG-1540 (c) OV-17 (d) Apeizon (e) Epon-1001 (f) PVP (g) PEG 20M (h) PEG-6000 58
Gambar 4.3 Pengecekan saluran aliran udara 60
Gambar 4.5 Grafik response suhu (a) *set point* 27^{o}C (b) *set point* 30^{o}C (c) *set point* 35^{o}C (d) *set point* 40^{o}C 61
Gambar 4.4 Skema pengujian kontrol suhu 61
Gambar 4.6 Grafik pengujian sensor *chemocapacitor* pada RH 20% 64
Gambar 4.7 Grafik pengujian sensor *chemocapacitor* pada RH 30% 65
Gambar 4.8 Grafik pengujian sensor *chemocapacitor* pada RH 40% 66
Gambar 4.9 Grafik pengujian sensor *chemocapacitor* pada RH 50% 67
Gambar 4.10 Grafik pengujian sensor *chemocapacitor* pada suhu 27^{o}C 69
Gambar 4.11 Grafik pengujian sensor *chemocapacitor* pada suhu 30^{o}C 70
Gambar 4.12 Grafik pengujian sensor *chemocapacitor* pada suhu 35^{o}C 71
Gambar 4.13 Grafik pengujian sensor *chemocapacitor* pada suhu 40^{o}C 72

Gambar 4.14 Grafik respon sensor *chemocapacitor* terhadap gas etanol (a) suhu 27^{o}C (b) suhu 30^{o}C (c) suhu 35^{o}C (d) suhu 40^{o}C..... 74
Gambar 4.15 Grafik regresi linier perubahan suhu pada sensor *chemocapacitor* ketika berinteraksi dengan gas etanol..... 76
Gambar 4.16 Normalisasi nilai rata-rata perubahan kapasitansi ketika berinteraksi dengan gas etanol pada variasi suhu..... 76
Gambar 4.17 Grafik respon sensor *chemocapacitor* terhadap gas aceton (a) suhu 27^{o}C (b) suhu 30^{o}C (c) suhu 35^{o}C (d) suhu 40^{o}C..... 78
Gambar 4.18 Grafik regresi linier perubahan suhu pada sensor *chemocapacitor* ketika berinteraksi dengan gas aseton..... 79
Gambar 4.19 Normalisasi nilai rata-rata perubahan kapasitansi ketika berinteraksi dengan gas aseton pada variasi suhu. 80
Gambar 4.20 Grafik respon sensor *chemocapacitor* terhadap gas N-Heksana (a) suhu 27^{o}C (b) suhu 30^{o}C (c) suhu 35^{o}C (d) suhu 40^{o}C..... 81
Gambar 4.21 Grafik perubahan suhu terhadap nilai rata-rata perubahan kapasitansi ketika berinteraksi dengan gas n-heksana..... 83
Gambar 4.22 Normalisasi nilai rata-rata perubahan kapasitansi ketika berinteraksi dengan gas n-heksana pada variasi suhu. 84
Gambar 4.23 Data rerata perubahan kapasitansi sensor *chemocapacitor* terhadap suhu 27ºC ketika berinteraksi dengan sampel gas. 85
Gambar 4.24 Data rerata perubahan kapasitansi sensor *chemocapacitor* terhadap suhu 30ºC ketika berinteraksi dengan sampel gas. 85
Gambar 4.25 Data rerata perubahan kapasitansi sensor *chemocapacitor* terhadap suhu 35ºC ketika berinteraksi dengan sampel gas. 85
Gambar 4.26 Data rerata perubahan kapasitansi sensor *chemocapacitor* terhadap suhu 40ºC ketika berinteraksi dengan sampel gas. 86
Gambar 4.27 Pengujian perubahan konsentrasi pada gas etanol..... 87
Gambar 4.28 Pengujian perubahan konsentrasi pada gas aseton 88

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Respons 8 sensor sebagai fungsi dari konsentrasi sample uji untuk perubahan suhu [5] 7

Tabel 2.2 Karakterisasi geometri dan perhitungan sensitivitas untuk *layout* IDC [12] 13

Tabel 2.3 Jenis-jenis bahan polimer yang digunakan untuk *chemocapacitor* [15] 16

Tabel 2.4 Pelarut organik yang termasuk dalam kategori VOC. 17

Tabel 2.5 Pengaruh perubahan parameter K_p, K_i, dan K_d terhadap respons sistem 20

Tabel 3.1 Pelarut organik yang digunakan 28

Tabel 3.2 Konfigurasi katup untuk pengaturan aliran udara 31

Tabel 3.3 Jenis - Jenis Polimer 32

Tabel 3.4 Nilai target pada proses pembelajaran 43

Tabel 3.5 Konsentrasi sampel gas dalam ppm. 52

Tabel 3.6 Format sununan data normalisasi 53

Tabel 4.1 Regresi linier respons AD7746 dan multiplekser analog dalam membaca nilai kapasitansi 57

Tabel 4.2 Hasil Pengecekan Saluran Udara 60

Tabel 4.3 Regresi linier perubahan suhu pada RH 20% 64

Tabel 4.4 Regresi linier perubahan suhu pada RH 30% 65

Tabel 4.5 Regresi linier perubahan suhu pada RH 40% 66

Tabel 4.6 Regresi linier perubahan suhu pada RH 50% 67

Tabel 4.7 Regresi linier perubahan suhu pada suhu 27^{o}C 69

Tabel 4.8 Regresi linier perubahan suhu pada suhu 30^{o}C 70

Tabel 4.9 Regresi linier perubahan suhu pada suhu 35^{o}C 71

Tabel 4.10 Regresi linier perubahan suhu pada suhu 40^{o}C 72

Tabel 4.11 Rata–rata perubahan kapasitansi gas etanol 75

Tabel 4.12 Regresi linier perubahan suhu pada gas etanol 76

Tabel 4.13 Rata–rata perubahan kapasitansi gas aseton 79

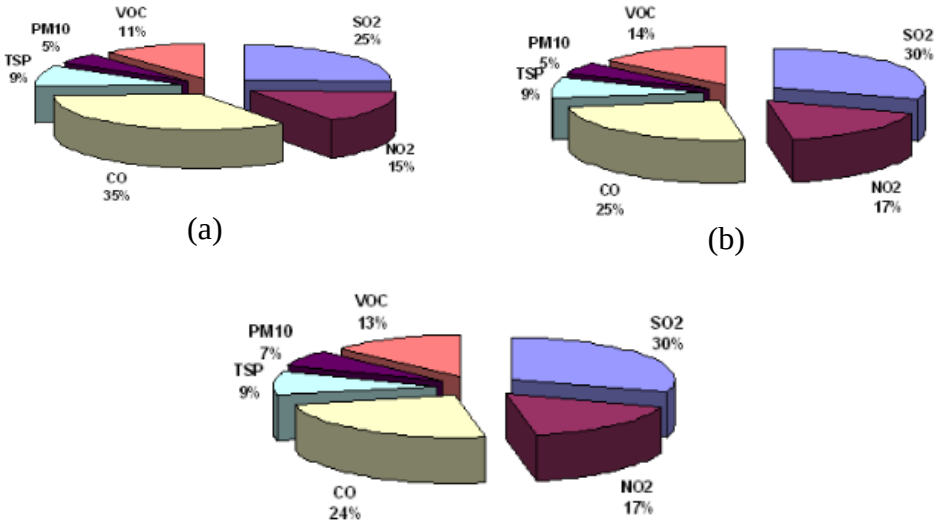
Tabel 4.14 Regresi linier perubahan suhu pada gas aseton. 80
Tabel 4.15 Rata–rata perubahan kapasitansi gas n-heksana. 83
Tabel 4.16 Regresi linier perubahan suhu pada gas n-heksana 83
Tabel 4.17 Jenis polimer yang mempunyai respon terbaik terbaik terhadap gas uji 86
Tabel 4.18 Regresi linier perubahan konsentrasi pada gas etanol dan aseton 88
Tabel 4.19 Hasil pengujian *neural network.* 90
Tabel 4.20 Pengujian untuk identifikasi pada suhu 27^{o}C 91
Tabel 4.21 Pengujian untuk identifikasi pada suhu 30^{o}C 92
Tabel 4.22 Pengujian untuk identifikasi pada suhu 35^{o}C 92
Tabel 4.23 Pengujian untuk identifikasi pada suhu 40^{o}C 93

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pelarut adalah benda cair atau gas yang melarutkan benda padat, cair atau gas, yang menghasilkan sebuah larutan. Pelarut paling umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah air. Pelarut lain yang juga umum digunakan adalah bahan kimia organik (mengandung karbon) yang juga disebut pelarut organik. Pelarut organik disamping banyak manfaat sekaligus mempunyai bersifat berbahaya karena sifatnya yang mudah menguap, mudah terbakar dan berbahaya bagi kesehatan. Untuk kepentingan keamanan, pada penyimpanan bahan pelarut harus selalu dideteksi adanya kebocoran yang terjadi sehingga terhindar dari bahaya polusi dan kebakaran. Untuk itu sangat diperlukan suatu jenis sensor yang dapat mengenal jenis uap pelarut dan mengukur konsentrasinya.

Pelarut organik yang mudah menguap dikenal dengan nama *Volatile Organic Compounds* (VOC). Pada tahun 2000-2002 polusi industri kota Surabaya yang diakibatkan VOC menempati urutan nomor empat. Kontribusi terbesar untuk beban polusi VOC adalah sektor industri kimia [1]. Proporsi beban polusi udara kota Surabaya ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Proporsi beban polusi udara kota Surabaya (a) tahun 2000 (b) tahun 2001 (c) tahun 2002 [1]

Teknologi hidung elektronik menjadi alternatif dalam pemantuan kualitas udara di lingkungan karena akurat, handal dan kecepatan dalam mengidentifikasi polutan di lingkungan. Hidung elektronik merupakan sekumpulan sensor gas yang menghasilkan sebuah pola.

Pada jurnal [2] dibuat *Electronic nose* berdasarkan deret sensor gas SnO_2 yang di doping dengan Pd, Pt dan Au dan *artificial neural network* untuk identifikasi beberapa VOC yang relevan untuk pemantauan lingkungan seperti methanol, acetone, heksane, benzene dan xylene, tetapi sensor yang dibuat mempunyai suhu kerja 300^{o}C. Pada penelitian ini digunakan polimer sebagai elemen sensor yang dapat bekerja pada suhu kamar dan konsumi daya rendah [3].

Pada jurnal [4] pengukur konsentrasi VOC dalam ruangan dengan sensor *metal oxide semiconductors* dan desain Radial basis function neural network terdiri dari 3 layer dan keluaran berjumlah 20 dengan 4 jenis gas dan 5 level konsentra, sehingga pada identifikasi VOC cukup menggunakan 1 *hidden layer*.

Pada jurnal [5] dibuat miniatur *chemocapacitor* yang terlapis polimer untuk mendeteksi *Volatile Organic Compounds* (VOC), tetapi hasil perubahan kapasitansi belum digunakan untuk proses identifikasi. Pada penelitian ini akan akan dibuat sensor *chemocapacitor* terlapis polimer untuk mengindentifikasi uap pelarut organik menggunakan *neural network*.

Chemocapacitor berbasis polimer mempunyai keunggulan tidak seperti sensor uap pelarut organik lainnya karena tidak memerlukan pemanasan, eksitasi mekanik, sumber cahaya [6]. Polimer merupakan material isolator, sehingga bila digunakan sebagai sensor *chemocapacitor* tidak membutuhkan material tambahan seperti halnya chemoresistor , dimana polimer harus didoping dengan karbon untuk meningkatkan conduktifitasnya [7].

Perubahan suhu menyebabkan sensitivitas sensor berubah dan seiring meningkatnya kelembaban maka nilai kapasitansi semakin besar, akan tetapi perubahan nilai kapasitansi terhadap perubahan konsentrasi uap pelarut organik dan tingkat kelinierannya menurun [5]. Oleh karena itu, dilakukan karakterisasi untuk setiap perubahan suhu dan kelembaban. Proses karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kestabilan sensor di lingkungan.

Hal terpenting dalam karakterisasi sensor gas adalah sensitivitas dan selektivitas. Sensitivitas sensor adalah nilai rata-rata perbandingan perubahan respons sensor terhadap variasi konsentrasi gas [8], dan selektivitas sensor adalah tingkat kekhususan respon sensor untuk gas uji dengan mengabaikan kepekaan gas campuran lainnya atau sebuah vektor dengan multi komponen yang bergantung pada berbagai gas uji [9]. Oleh karena itu, dilakukan karakterisasi perubahan konsentrasi atau volume tiap uap pelarut organik untuk mengetahui sensitivitas sensor. Pola tanggapan tiap sensor dari deret sensor terhadap perubahan nilai kapasitansi tiap waktunya akan membentuk pola yang khas untuk setiap jenis uap pelarut organik. Keberagaman pola tanggapan setiap jenis uap pelarut organik menunjukkan selektivitas sensor. Pola-pola tanggapan ini akan diolah menggunakan *neural network* untuk diklasifikasikan, sehingga dapat mengidentifikasi jenis uap pelarut organik.

Dengan mengetahui karakteristik pola perubahan nilai kapasitansi dari sensor *chemocapacitor* saat berinteraksi dengan uap pelarut organik, maka *chemocapacitor* diharapkan dapat dikembangkan sebagai alat untuk mengidentifikasi jenis uap pelarut organik yang efektif dan efisien.

1.2. Perumusan Masalah

Tesis ini membahas tentang permasalahan pengenalan jenis uap pelarut yang tidak berwarna, mudah terbakar dan berbahaya bagi kesehatan. Dalam proses identifikasi pelarut organik adalah sensitivitas dan selektifitas dari sensor. Salah satunya harapan mengatasi permasalahan yang ada dan muncul yaitu dengan membuat sensor *chemocapacitor* terlapis polimer untuk identifikasi uap pelarut organik. Sebagai bahan uji untuk mewakili uap pelarut organik yang tidak berwarna, mudah terbakar dan berbahaya bagi kesehatan digunakan uap pelarut organik aseton, etanol dan n-heksana. Sehingga tampak permasalahan yang muncul dalam tesis adalah

1. Bagaimana merancang deret sensor *chemocapacitor* yang terlapis polimer yang digunakan untuk mengindentifikasi uap pelarut organik.
2. Bagaimana membuat sistem yang digunakan untuk mengkarakterisasi sensor *chemocapacitor*.

3. Bagaimana pengaruh perubahan suhu dan kelembaban terhadap nilai kapasitansi sensor *chemocapacitor*.
4. Bagaimana pengaruh suhu terhadap perubahan nilai kapasitansi sensor *chemocapacitor* ketika berinteraksi dengan uap pelarut organik
5. Bagaimana sensitifitas sensor *chemocapacitor* ketika berinteraksi dengan uap pelarut organik.
6. Bagaimana mengidentifikasi uap pelarut organik dengan sensor *chemocapacitor.*

1.3. Tujuan dan Manfaat

Secara umum tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil karakterisasi perubahan nilai kapasitansi yang akan digunakan untuk mengindentifikasi uap pelarut organik. Secara terperinci tujuan penelitian ini adalah:

1. Menguji deret sensor *chemocapacitor* yang terlapis polimer untuk mengindentifikasi uap pelarut organik.
2. Mampu membuat sistem yang digunakan untuk mengkarakterisasi sensor *chemocapacitor.*
3. Mengetahui pengaruh perubahan suhu dan kelembaban terhadap nilai kapasitansi sensor *chemocapacitor.*
4. Mengetahui pengaruh suhu terhadap perubahan nilai kapasitansi sensor *chemocapacitor* ketika berinteraksi dengan uap pelarut organik
5. Mengetahui sensitivitas sensor *chemocapacitor* dalam ketika berinteraksi dengan uap pelarut organik.
6. Mengimplementasikan *Neural Network* untuk mengidentifikasi pelarut organik.

Manfaat yang diperoleh dari hasil penelitian ini antara lain dapat dijadikan alternative solusi untuk mengidentifikasi berbagai jenis uap pelarut organic dengan sensor yang menggunakan prinsip perubahan nilai kapasitansi.

BAB 2
KAJIAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang kajian pustaka dan dasar teori yang digunakan pada penelitian ini. Untuk mengidentifikasi pelarut organik dengan sensor *chemocapacitor* dan *neural network* ada beberapa konsep dasar yang akan dibahas, berikut adalah teori pendukung dari penelitian tersebut.

2.1. Deret Sensor *Chemocapacitor* Untuk Mendeteksi *Volatile Organic Compounds*

Telah dilakukan penelitian sebuah sistem pendeteksian gas miniatur untuk mendeteksi *Volatile Organic Compounds* (VOC) [5]. Sistem ini terdiri dari 8 deret sensor *chemocapacitor* yang terlapis polimer dan rangkaian pembaca data yang berdaya rendah. Kinerja sistem dievaluasi dengan etil asetat, air, dan tiga hidrokarbon aromatik (*benzene*, *toluene*, dan *xylene*). Nilai pembacaan modul elektronik yang dirancang dibandingkan dengan standar kapasitansi meter (HP4278A). Kinerja penginderaan sistem dievaluasi dengan perubahan konsentrasi sampel uji, suhu, dan kelembaban.

Deret sensor *chemocapacitor* dibuat dengan standar proses mikroelektronik yang memungkinkan untuk realisasi *Interdigital Electrode* (IDE) dengan dimensi 2 µm (lebar elektroda (L) sama dengan lebar antar elektroda (W)). *Chip* mempunyai ukuran 7 mm x 7 mm yang terdiri dari 8 IDE yang masing-masing mempunyai luas penginderaan 1 mm^2 (luas daerah yang dilapisi polimer). Polimer yang digunakan tiga *hydrophilic* [*Poly Hydroxy Ethyl Meth Acrylate* (PHEMA), *Poly Vinyl Pyrrolidone* (PVP), dan *Poly Ethylen Imine* (PEI)] dan lima *hydrophobic* [*Poly Butyl Meth Acrylate* (PBMA), *Poly Ethyl Meth Acrylate* (PEMA), *Poly Hydroxy Styrene* (PHS), *Poly DiMethyl Siloxane Vinyl terminated* (PDMS-VINYL), dan *Poly DiMethyl Siloxane hydroxyl terminated* (PDMS-OH)]. Pelapisan polimer masing-masing IDE dilakukan dengan teknik *drop casting*.

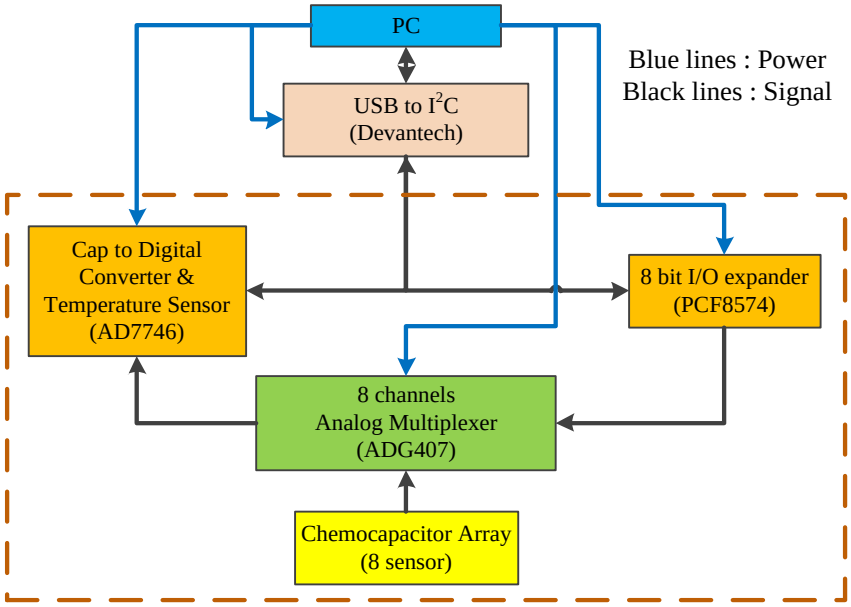
Diagram blok modul elektronik dari miniatur sistem *chemocapacitor* ditunjukkan pada Gambar 2.1. Pembacaan nilai kapasitansi dari keluaran deret

sensor *chemocapacitor* menggunakan AD7746 yang mana IC ini merupakan konverter nilai kapasitansi ke data digital.

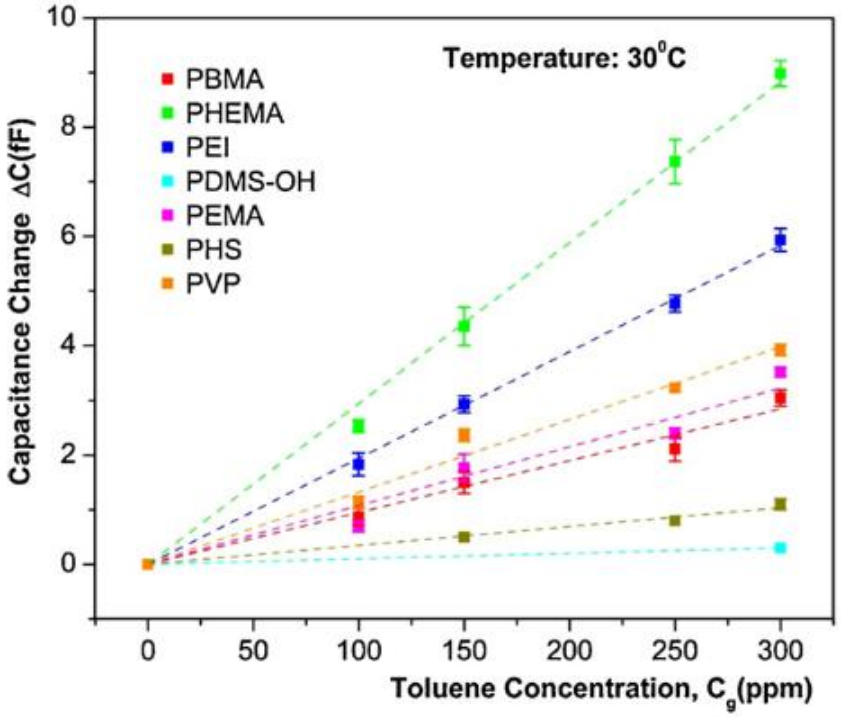
Respons 8 sensor untuk perubahan konsentrasi *toluene* pada suhu 30^{o}C yang ditunjukkan pada Gambar 2.2, menggambarkan perubahan nilai kapasitansi linier dengan kenaikan konsentrasi *toluene*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa polimer *hydrophilic* (PHEMA, PVP, PEI) sangat peka terhadap kelembaban, menunjukkan sensitivitas yang lebih tinggi, dan nilai *Limit of Detection* (LOD) lebih rendah daripada polimer *hydrophobic*. Nilai LOD menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi batas nilai aman untuk konsentrasi *xylene*, *toluene*, dan etil asetat. Berdasarkan OSHA ambang batas aman *xylene* 100 ppm, *toluene* 200 ppm, dan etil asetat 400 ppm.

Respons 8 sensor sebagai fungsi dari konsentrasi sampel uji untuk perubahan suhu yang ditunjukkan pada Tabel 2.1, menggambarkan bahwa kenaikan suhu menyebabkan sensitivitas sensor menurun.



Gambar 2.1 Diagram blok modul elektronik miniatur sistem *chemocapacitor* [5]



Gambar 2.2 Respons 8 sensor untuk perubahan konsentrasi *toluene* pada suhu 30°C [5]

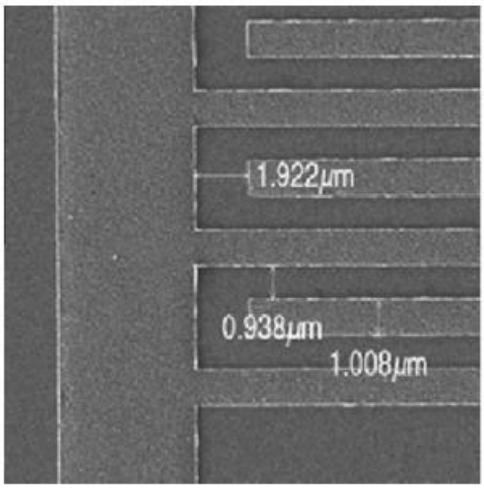
Tabel 2.1 Respons 8 sensor sebagai fungsi dari konsentrasi sample uji untuk perubahan suhu [5]

	$\Delta C/C_g \times 10^{-3}$ (fF(ppm)$^{-1}$)					
	Xylene		Toluene		Benzene	
	27°C	30°C	27°C	30°C	27°C	30°C
PDMS-VINYL	3.5	-	0.7	0.6	4.7	-
PBMA	25.9	20.4	13.4	10.4	1.8	1.3
PHMEA	126.9	100.4	51.0	32.2	9.1	5.7
PEI	80.6	49.0	31.7	21.0	4.8	3.4
PDMSOH	40.6	4.3	1.8	1.3	0.4	-
PEMA	27.0	22.5	15.0	11.2	2.6	2.0
PHS	9.9	9.3	5.8	4.1	1.0	0.7
PVP	53.7	32.5	20.3	14.2	3.1	2.1

2.2. Deret Sensor *Chemocapacitor* Untuk Memonitor Polutan Industri

Telah dilakukan penelitian jaringan nirkabel deret sensor *chemocapacitor* untuk memonitor polutan industri [10]. Sistem ini menggunakan 8 *interdigital chemocapacitor* dengan dimensi 1 µm (W=G). Hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dari struktur IDE ditunjukkan pada Gambar 2.3. Uap polutan industri yang di monitor adalah EtOAc (*ethyl acetate* dan air) sehingga dipilih polimer *poly(dimenthylsiloxane)* (PDMS). Modul nirkabel yang digunakan dari zigBee.

Hasil pengujian perubahan konsentrasi EtOAc terhadap 3 sensor yang dipilih dengan lapisan polimer yang sama menunjukkan respons yang mirip dan linier terhadap kenaikan konsentrasi EtOAc. Hal ini menunjukkan tingkat reproduktifitasnya tinggi. Nilai LOD dapat dihitung dengan perbandingan *signal to noise rasio* (S/N $\geq$ 3) dengan sensitivitas. Hasil perhitungan nilai LOD menunjukkan nilainya lebih rendah dari nilai TWA EtOAc (400 ppm), sehingga dapat disimpulkan deret sensor yang dirancang dapat digunakan untuk memonitor polutan industri.



Gambar 2.3 Hasil SEM dari struktur IDE [10]

2.3. Sensor *Chemocapacitor*

Chemocapacitor adalah kapasitor yang mempunyai lapisan sensitif seperti polimer sebagai bahan dielektrik, bila uap pelarut organik terserap ke dalam bahan dielektrik akan mengubah permitivitas bahan, sehingga akan menaikkan nilai kapasitansi sensor [6].

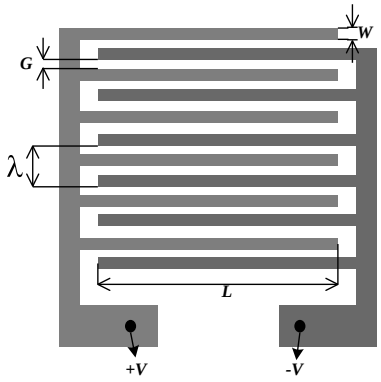
2.3.1. Interdigital Capacitor

Chemocapacitor dapat dibuat dalam dua geometri yaitu *InterDigital Electrode* (IDE) atau *InterDigital Capacitor* (IDC) dan *parallel plate.* IDC ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan penampang melintang ditunjukkan pada Gambar 2.5.

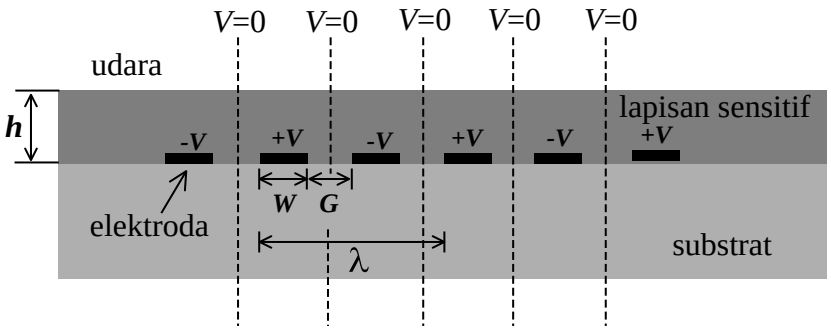
IDC mempunyai parameter geometris lebar antara elektroda (*G)*, lebar elektroda (*W)*, panjang elektroda (*L),* dan panjang gelombang spasial $\lambda = 2(W + G)$. Setiap elektroda terhubung ke potensial yang tetap (+*V* atau –*V*). Lapisan sensitif dilapiskan di atas elektroda yang mempunyai ketebalan lapisan sensitif (*h)*. IDC juga mempunyai parameter rasio netralisasi (η) dan *adimensional* (r) yang dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.1 dan Persamaan 2.2.

$$\eta = \frac{W}{W + G} = \frac{2W}{\lambda} \tag{2.1}$$

$$r = \frac{h}{\lambda} \tag{2.2}$$



Gambar 2.4 Layout IDC



Gambar 2.5 Penampang melintang IDC

2.3.2. Rangkaian Ekuivalen *InterDigital Capacitor*

Rangkaian ekuivalen IDC dengan lapisan sensitif ditunjukkan pada Gambar 2.6. IDC dengan lapisan sensitif dapat dievaluasi sebagai dua fungsi tipe kapasitor yaitu kapasitor pada elektroda bagian dalam yang relatif terhadap *ground* (C_I) dan kapasitor pada elektroda bagian luar yang relatif terhadap *ground* (C_E).

Dengan menggunakan analisa rangkaian ekuivalen IDC yang ditunjukkan pada Gambar 2.6, maka kapasitor total pada IDC dengan lapisan sensitif (C) dapat dinyatakan seperti pada Persamaan 2.3,

$$C = (N-3)\frac{C_I}{2} + 2\frac{C_I C_E}{C_I + C_E}, \qquad N > 3 \tag{2.3}$$

dimana N adalah banyaknya elektroda.

Gambar 2.5 menunjukkan bahwa elektroda diapit oleh lapisan sensitif dan substrat. Lapisan sensitif mempunyai ketebalan *h* dan berinteraksi dengan udara sehingga udara mempengaruhi nilai kapasitansi. Nilai C_I dan C_E dapat dinyatakan seperti pada Persamaan 2.4 dan Persamaan 2.5,

$$C_I = C_{I,\text{Udara}} + C_{I,\text{Polimer}} + C_{I,\text{Substrat}} \tag{2.4}$$

$$C_E = C_{E,\text{Udara}} + C_{E,\text{Polimer}} + C_{E,\text{Substrat}} \tag{2.5}$$

dimana $C_{I,\text{Udara}}$ dan $C_{E,\text{Udara}}$ adalah nilai kapasitansi akibat pengaruh udara, $C_{I,\text{Polimer}}$ dan $C_{E,\text{Polimer}}$ adalah nilai kapasitansi akibat pengaruh polimer, dan $C_{I,\text{Substrat}}$ dan $C_{E,\text{Substrat}}$ adalah nilai kapasitansi akibat pengaruh substrat.

Dengan menggunakan teknik pemetaan konformal untuk memetakan daerah ruang IDC ke geometri kapasitor plat sejajar, maka Persamaan 2.4 dan Persamaan 2.5 dapat dinyatakan seperti pada Persamaan 2.6 dan Persamaan 2.7,

$$C_I = \varepsilon_o L\left(\frac{K(k_{I\infty})}{K(k'_{I\infty})} + (\varepsilon_1 - 1)\frac{K(k_I)}{K(k'_I)} + \varepsilon_s \frac{K(k_{I\infty})}{K(k'_{I\infty})}\right) \tag{2.6}$$

$$C_E = \varepsilon_o L\left(\frac{K(k_{E\infty})}{K(k'_{E\infty})} + (\varepsilon_1 - 1)\frac{K(k_E)}{K(k'_E)} + \varepsilon_s \frac{K(k_{E\infty})}{K(k'_{E\infty})}\right) \tag{2.7}$$

dimana *L* adalah panjang elektroda, ε_o adalah permitivitas ruang hampa udara, ε_1 adalah permitivitas relatif lapisan sensitif, ε_s adalah permitivitas relatif substrat, dan $K(k_I)$ dan $K(k_E)$ adalah integral eliptik lengkap pada modulus *k*, dan *k'* adalah komplementer modulus ($k' = \sqrt{1-k^2}$), dengan k_I dan k_E seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.8 dan Persamaan 2.9,

$$k_I = sn(K(k_1)\eta, k_1)\sqrt{\frac{k_1^{-2} - 1}{k_1^{-2} - sn^2(K(k_1)\eta, k_1)}} \tag{2.8}$$

$$k_E = \frac{1}{t_3}\sqrt{\frac{t_4^2 - t_3^2}{t_4^2 - 1}} \tag{2.9}$$

dimana $t_3 = \cosh\left(\frac{\pi(1-\eta)}{8r}\right)$, $t_4 = \cosh\left(\frac{\pi(\eta+1)}{8r}\right)$, dan $sn(K(k_1)\eta, k_1)$ fungsi Jacobi eliptik pada modulus k_1, dengan k_1 seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.10,

$$k_1 = \left[\frac{\upsilon_2(0, \exp(-4\pi r)}{\upsilon_3(0, \exp(-4\pi r)}\right]^2 \tag{2.10}$$

dimana υ_2 dan υ_3 adalah fungsi Jacobi theta.

Untuk $K(k_{E\infty})$ dan $K(k_{I\infty})$ adalah integral eliptik lengkap pada modulus *k* pada $h \to \infty\,(r \to \infty)$ dengan $k_{I\infty}$ dan $k_{E\infty}$ seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.11 dan Persamaan 2.12.

$$k_{I\infty} = \sin\left(\frac{\pi}{2}\eta\right) \tag{2.11}$$

$$k_{E\infty} = \frac{2\sqrt{\eta}}{1+\eta} \tag{2.12}$$

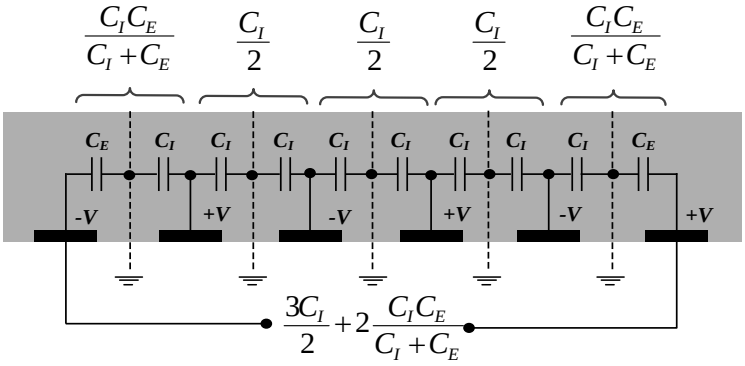
Untuk jumlah elektroda yang banyak (N=100), nilai C_E tidak signifikan pengaruhnya sehingga Persamaan 2.3 dapat disederhanakan dengan $C_E = C_I$ [11], sehingga Persamaan 2.3 menjadi Persamaan 2.13.

$$C \cong (N-1)\frac{C_I}{2}, \qquad N > 1 \tag{2.13}$$

Apabila Persamaan 2.6 disubstitusikan ke Persamaan 2.13 menjadi Persamaan 2.14.

$$C \cong \varepsilon_0 L \frac{(N-1)}{2}\left((\varepsilon_1 - 1)\frac{K(k_{I,1})}{K(k'_{I,1})} + (\varepsilon_s + 1)\frac{K(k_{I\infty})}{K(k'_{I\infty})}\right) \tag{2.14}$$

Nilai C menurut Persamaan 2.14 juga dipengaruhi oleh parameter geometri IDC yaitu rasio metalisasi, *adimensional*, dan banyaknya elektroda. Karakterisasi geometri dan perhitungan sensitivitas untuk *layout* IDC ditunjukkan pada Tabel 2.2. Tabel 2.2 menunjukkan bahwa semakin banyak elektroda maka sensitivitas sensor semakin besar dan rasio metalisasi terbaik adalah 0.5.



Gambar 2.6 Rangkaian ekuivalen IDC dengan lapisan sensitif

Tabel 2.2 Karakterisasi geometri dan perhitungan sensitivitas untuk *layout* IDC [12]

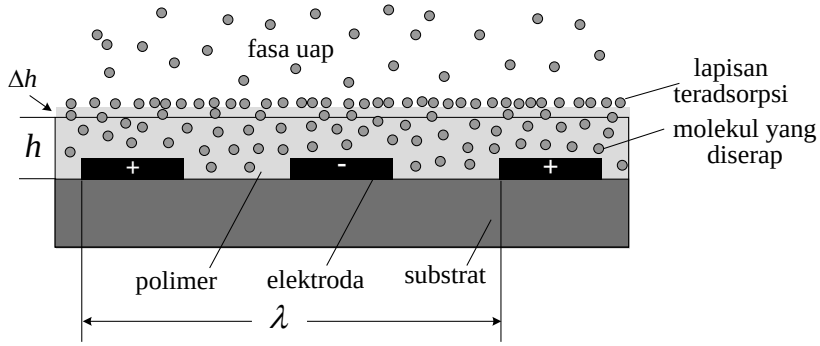
Curves of Fig. 2	W (μm)	G (μm)	$\eta = (W+G)/W$	N fingers	$dC/d\varepsilon$ (pF)	$(dC/C_0)/d\varepsilon$
a, ⬡	5	5	0.5	100	0.47	0.21461
b, △	2	3	0.4	200	0.93	0.2278
c, ◇	2	2	0.5	250	1.44	0.23458
d, □	1.7	2.3	0.425	250	1.45	0.20932
e, □	2.3	1.7	0.575	250	1.61	0.23567
f, ◇	1.0	1.0	0.5	500	3.77	0.26179
g, ◇	0.5	0.5	0.5	1000	12.91	0.26731

2.3.3. Perubahan Nilai Kapasitansi

Proses perubahan nilai kapasitansi akibat penyerapan uap uji pada *chemocapacitor* ditunjukkan pada Gambar 2.7. Perubahan nilai kapasitansi karena penyerapan uap uji (analit) berhubungan dengan tiga proses yaitu proses penyerapan uap pada permukaan polimer akan mengakibatkan terjadi lapisan tipis di atas polimer, proses penyerapan uap di dalam polimer akan menyebabkan perubahan konstanta dielektrik, dan pembengkakan (*swelling*) lapisan polimer [11]. Perubahan nilai kapasitansi (ΔC) dapat dinyatakan dalam Persamaan 2.15,

$$\Delta C = \Delta C_{ad} + \Delta C_{\varepsilon} + \Delta C_{h} \tag{2.15}$$

dimana ΔC_{ad} adalah perubahan kapasitor akibat penyerapan, ΔC_{ε} adalah perubahan kapasitor akibat perubahan dielektrik, dan ΔC_{h} adalah perubahan nilai kapasitansi akibat pembengkakan.



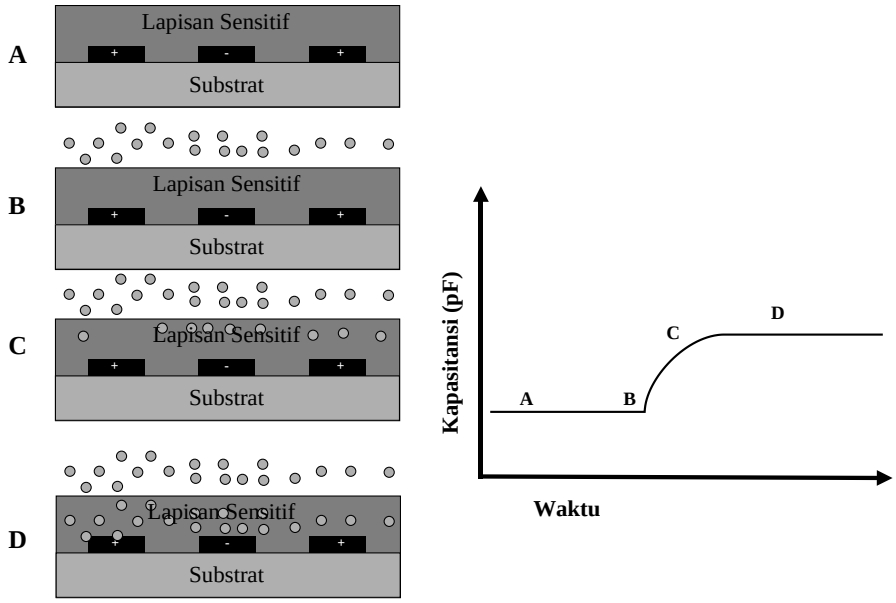
Gambar 2.7 Proses perubahan nilai kapasitansi akibat penyerapan uap uji pada *chemocapacitor*

Nilai ΔC_ε bernilai positif, apabila nilai dielektrik analit (ε_A) lebih besar dari nilai dielektrik polimer (ε_P) dan nilai ΔC_ε bernilai negatif, apabila $\varepsilon_A < \varepsilon_p$. Untuk pasangan polimer atau analit yang sama, nilai ΔC_ε meningkat seiring dengan peningkatan ketebalan lapisan polimer dan mencapai saturasi ketika ketebalan polimer (*h*) mencapai setengah panjang gelombang sensor ($h > 0.5\lambda$) [13]. Hal ini berarti bahwa sensor tidak sensitif ketika ketebalan lapisan polimer melebihi setengah panjang gelombang sensor.

Nilai ΔC_h selalu bernilai positif karena konstanta dielektrik lapisan polimer lebih besar dari konstanta dielektrik pada lapisan polimer akibat pembengkakan. Nilai ΔC_h mendekati 0 $(\Delta C_h \sim 0)$, apabila ketebalan lapisan polimer lebih besar dari setengah panjang gelombang sensor $(h > 0{,}5\lambda)$ dan $\varepsilon_A >> \varepsilon_p$.

Untuk kasus $\varepsilon_A < \varepsilon_p$, nilai ΔC dapat bernilai positif, negatif atau nol dengan cara mengatur nilai *adimensional* (*r*). Nilai *r* bergantung pada *h* dan λ, sehingga dengan mengatur ketebalan lapisan polimer dapat mempengaruhi ΔC. Pengaturan ini dimaksudkan untuk mengatur selektivitas sensor (menghilangkan respons terhadap analit tertentu).

Prinsip kerja IDE sensor *chemocapacitor* ditunjukkan pada Gambar 2.8. Kondisi A adalah kondisi sensor *chemocapacitor* dalam lingkungan netral atau belum terkena uap pelarut organik, dimana nilai kapasitansinya konstan. Kondisi B adalah kondisi sebelum penyerapan uap pelarut organik. Kondisi C adalah kondisi setelah penyerapan uap pelarut organik atau respons peralihan (*transient response*), pada posisi ini terjadi perubahan nilai kapasitansi. Kondisi D adalah kondisi stabil (*steady state*), dimana sensor *chemocapacitor* sudah tidak mampu menyerap uap pelarut organik. Tiap lapisan sensitif yang berbeda apabila berinteraksi dengan uap pelarut organik yang sama akan menghasilkan perubahan nilai kapasitansi yang berbeda-beda. Perbedaan ini merupakan pola ciri dari uap pelarut organik.



Gambar 2.8 Prinsip kerja IDE sensor *chemocapacitor*

2.4. Polimer

Polimer merupakan senyawa yang besar yang terbentuk dari hasil penggabungan sejumlah (banyak) unit-unit molekul yang kecil. Unit molekul kecil pembentuk senyawa ini disebut monomer. Ini artinya senyawa polimer terdiri dari banyak monomer.

Polimer pada aplikasi sensor berbasis kapasitor berfungsi sebagai lapisan sensitif yang dapat mengendalikan selektivitas kimiawi bahan yang diuji, dikarenakan uap dapat diserap oleh polimer, kemudian akan mengakibatkan perubahan nilai kapasitansi.

Polimer non polar cenderung berinteraksi secara kuat dengan uap pelarut organik non polar dan sebaliknya [14]. Jenis-jenis bahan polimer yang digunakan untuk *chemocapacito*r ditunjukkan pada Tabel 2.3. Setiap jenis polimer mempunyai konstanta Mc Reynolds yang berbeda-beda. Konstanta Mc Reynolds menunjukkan ada tiga golongan yaitu non polar, mid-polar, dan polar.

2.5. Pelarut Organik

Pelarut organik adalah bahan kimia yang berbentuk cair pada suhu kamar dan mudah menguap sehingga menimbulkan aroma. Aroma ini yang disebut uap

pelarut organik. Pelarut organik berfungsi sebagai pelarut bahan kimia lainnya. Pelarut organik sangat beragam dengan struktur kimia yang bermacam-macam golongan yaitu hidrokarbon aromatik (*benzene*, *toluene*, *xylene*, dll), hidrokarbon alifatik, aldehida, alkohol, eter, keton, glikol, hidrokarbon terhalogenisasi, dan lain-lain. Kesamaannya adalah kemampuannya melarutkan dan mendispersikan lemak, minyak, cat, dan lain-lain.

Pelarut organik yang mudah menguap disebut *Volatile Organic Compounds* (VOC). Pelarut organik yang termasuk dalam kategori VOC ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Jumlah uap pelarut organik yang dapat diserap ke dalam polimer tidak hanya tergantung konsentrasi ambien dari pelarut organik, tetapi juga tergantung sifat kimia dari pelarut organik dan polimer. Sifat kimia yang spesifik mempengaruhi penyerapan tercermin dalam parameter solubilitas Hansen yaitu dispersi, polaritas, dan kekuatan ikatan hidrogen. Senyawa yang memiliki parameter solubilitas yang sama akan mudah terlarut [6].

Tabel 2.3 Jenis-jenis bahan polimer yang digunakan untuk *chemocapacitor* [15]

No	Stasioner Phase	Konstanta Mc Reynolds
1	*Apiezon L*	143 Non-Polar
2	*Dimethyl polysiloxane Oil* (OV-101)	229 Non-Polar
3	75% *Phenyl Methyl* (OV-25)	1175 Mid-Polar
4	*Methyl phenyl silicone oil* (OV-17)	884 Mid-Polar
5	*Cyanopropyl methylphenyl silicone oil* (OV-225)	1813 Mid-Polar
6	*Dicyano ally Silicone* (OV-275)	4219 Polar
7	*Poly(ether imide)* (PEI)	Polar
8	*Poly(2-hydroxyethyl methacrylate)* (PHEMA)	Polar

Tabel 2.4 Pelarut organik yang termasuk dalam kategori VOC.

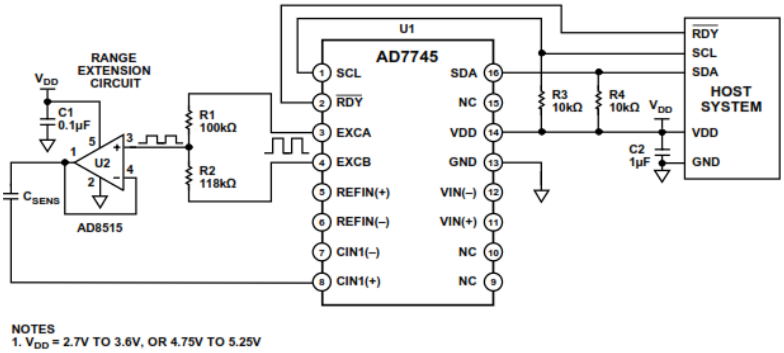
Senyawa	Titik didih(°C)	Batas aman (TWA)
Benzene	80	1 ppm
2-pentanone	102	200 ppm
Toluene	111	100 ppm
Pyridine	115	5 ppm
Isopropylbenzene	153	50 ppm
Chlorotoluene	162	50 ppm
1,2,4-trimethylbenzene	169	25 ppm
Chlorobenzene	132	75 ppm
Xylene	144	100 ppm
Styrene	145	100 ppm
Dichloromethane	173	25 ppm
Dichlorobenzene	179	75 ppm

2.6. *Capacitance to Digital Converter* AD7466

AD7746 adalah IC *Capacitance to Digital Converter (CDC)* yang mempunyai resolusi yang sangat tinggi yaitu sebesar 24 bit. Selain itu mempunyai linearitas yang tinggi (±0.01%) dan mempunyai tingkat akurasi pengukuran yang tinggi (4fF). AD7746 mempunyai lebar pembacaan nilai kapasitansi sebesar ±4,096pF, sementara itu dapat membaca nilai kapasitansi hingga 21pF dengan mengubah *programmable on-chip* (CAPDAC). AD7746 memiliki dua kanal kapasitansi input yang dapat digunakan pada mode *single* atau *diffential* yaitu CIN1 dan CIN2.

Lebar pembacaan nilai kapasitansi sebesar ±4,096pF dapat diperbesar dengan memperbesar nilai faktor perluasan jangkauan (F) yang dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.16 dan rangkaian untuk memperluas jangkauan masukan kapasitansi ditunjukkan pada Gambar 2.9.

$$F = \frac{V_{EXC(A-B)}}{V_{EXCS}} = \left|\frac{R1+R2}{R1-R2}\right| \tag{2.16}$$



Gambar 2.9 Rangkaian untuk memperluas jangkauan masukan kapasitansi AD7466 [16]

2.7. Kontrol Suhu

Kontrol suhu ada beberapa jenis, salah satunya adalah kontrol Proportional, Integral dan Derivative (PID). Kontrol PID adalah mekanisme kontrol dengan *loop* umpan balik yang digunakan secara luas dalam sistem kontrol industri. Kontrol PID bertujuan untuk memperbaiki *error* antara nilai dari proses variabel (PV) terukur dengan *set point* (SP) yang diinginkan dengan cara mengkalkulasi dan mengeluarkan aksi korektif pada plan. Diagram blok sistem kontrol PID sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.10. 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. Keluaran kontrol PID ($Output_{PID}$) dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.17,

$$Output_{PID} = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de}{dt} \qquad (2.17)$$

dimana $Output_{PID}$ adalah keluaran kontrol PID, K_P adalah *gain* proporsional, K_i adalah *gain* integral, K_d adalah *gain* derivatif, dan *e* adalah *Error*.

Nilai K_P, K_i, dan K_d merupakan parameter kontrol PID. Pengaturan ketiga parameter ini yang tidak sesuai akan menyebabkan sistem menjadi tidak stabil, keluaran menyimpang, atau terjadi osilasi.

Untuk membuat sistem stabil pada semua keadaan perlu dilakukan pengaturan terhadap ketiga parameter tersebut. Salah satu metode untuk memudahkan pengaturan adalah metode Ziegler-Nichols. Prosedur metode ini adalah sebagai berikut:

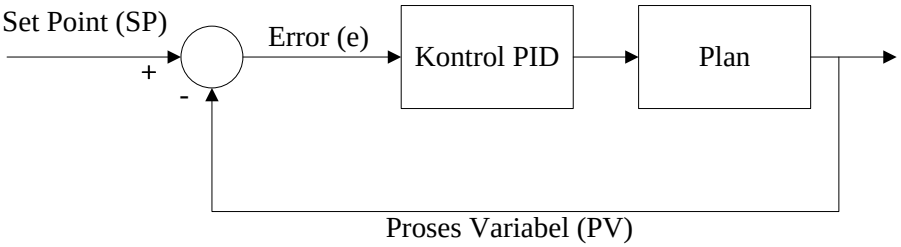
1. Mengatur nilai K_p=1, $K_i = 0$, dan K_d=0. Nilai $K_P{}'$ dinaikkan hingga mencapai nilai "*critical gain*" dimana keluaran mulai berosilasi dengan amplitudo konstan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11. Nilai K_p' dan periode osilasi T_C dicatat.
2. Berdasarkan nilai K_p' dan T_C pada langkah ke 1. Untuk menghitung nilai K_P, K_i, dan K_d digunakan Persamaan 2.18–Persamaan 2.20.

$$K_p = 0{,}6K_p' \tag{2.18}$$

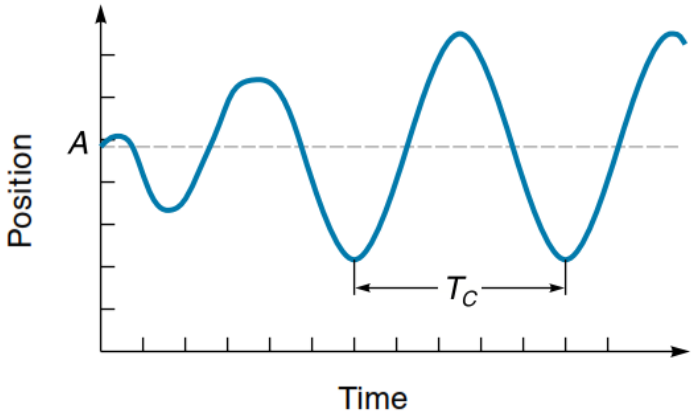
$$K_i = \frac{2}{T_C} \tag{2.19}$$

$$K_d = \frac{T_C}{8} \tag{2.20}$$

3. Menggunakan nilai K_P, K_i, dan K_d dari langkah 2 untuk mengoperasikan sistem kontrol, perhatikan respons sistem, bila masih perlu perubahan lakukan pengaturan terhadap nilai K_p, K_i, dan K_d. Pengaruh perubahan parameter K_P, K_i, dan K_d terhadap respons sistem ditunjukkan pada Tabel 2.5.



Gambar 2.10 Diagram blok sistem kontrol PID sederhana



Gambar 2.11 Sistem osilasi dengan amplitudo konstan [17]

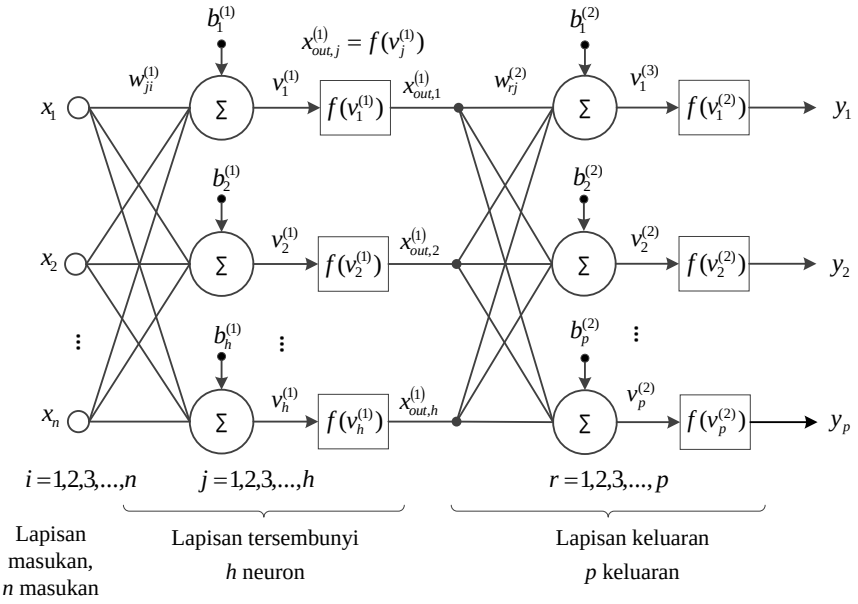
Tabel 2.5 Pengaruh perubahan parameter K_p, K_i, dan K_d terhadap respons sistem

Efek penambahan parameter				
Parameter	*Rise Time*	*Overshoot*	*Settling Time*	S.S *Error*
K_p	Turun	Naik	Perubahan kecil	Turun
K_i	Turun	Naik	Naik	Mengeliminasi
K_d	Perubahan kecil	Turun	Turun	Tidak ada pengaruh

2.8. *Neural Network*

Neural Network (NN) terdiri dari elemen-elemen sederhana yang meniru sistem saraf biologis manusia. Salah satu algoritma dari NN yang digunakan sebagai identifikasi jenis gas adalah algoritma pelatihan *backpropagation*.

Algoritma pelatihan *backpropagation* terdiri dari dua tahap, yaitu *feed forward* dan *backpropagation*. Model *Neural Network-Multilayer Perceptron* (NN-MLP) ditunjukkan pada Gambar 2.12. Model NN yang digunakan pada algoritma pelatihan *backpropagation* menggunakan model NN-MLP.



Gambar 2.12 Model *Neural Network-Multilayer Perceptron* [18]

2.8.1. Tahap *Feed Forward*

Tahap *feed forward* ditunjukkan pada Gambar 2.13 (a). Adapun algoritma tahap *feed forward* dengan menggunakan model NN seperti pada Gambar 2.12 sebagai berikut:

1. Banyaknya masukan x (n masukan), lapisan tersembunyi pertama (h neuron), dan lapisan keluaran y (p keluaran) ditentukan.
2. Target *error* (E_{target}) yang diinginkan, target (d), *slope* fungsi aktivasi (α), dan laju pelatihan μ_0 ditentukan.
3. Untuk proses pelatihan dilakukan inisialisasi bobot pada lapisan tersembunyi $(w_{ji}^{(1)})$, bobot pada lapisan keluaran $(w_{rj}^{(2)})$, bias pada lapisan tersembunyi $(b_j^{(1)})$, dan bias pada lapisan keluaran $(b_r^{(2)})$ secara acak, hal ini hanya dilakukan untuk iterasi pertama (k=1), untuk iterasi selanjutnya menggunakan hasil perbaikan bobot dan bias dari tahap *backpropagation*. Untuk proses pengujian langsung menggunakan bobot dan bias dari hasil akhir keluaran tahap *backpropagation*.
4. Masing-masing unit masukan $(x_i, i = 1,2,...,n)$ dimasukkan, untuk disebarkan ke unit-unit pada lapisan tersembunyi.

5. Untuk menghitung hasil penjumlahan lapisan tersembunyi pada unit ke-j ($v_j^{(1)}$) digunakan Persamaan 2.21.

$$v_j^{(1)} = b_j^{(1)} + \sum_{i=1}^{n} x_i w_{ji}^{(1)}, \quad j = 1,2,...,h \tag{2.21}$$

6. Untuk menghitung keluaran pada lapisan tersembunyi pada unit ke-j ($x_{out,j}^{(1)}$) digunakan rumus $x_{out,j}^{(1)} = f(v_j^{(1)})$, dimana $f(v_j^{(1)})$ merupakan fungsi aktivasi pada lapisan tersembunyi, pada kasus identifikasi gas menggunakan fungsi aktivasi *binary sigmoid* , seperti pada Persamaan 2.22.

$$f(v_j) = \frac{1}{1+e^{-2\alpha v_j}} \tag{2.22}$$

7. Untuk menghitung hasil penjumlahan lapisan keluaran pada unit ke-r $\left(v_r^{(2)}\right)$ digunakan Persamaan 2.23.

$$v_r^{(2)} = b_r^{(2)} + \sum_{j=1}^{h} x_{out,j}^{(1)} w_{rj}^{(2)}, \quad r = 1,2,..., p \tag{2.23}$$

8. Untuk menghitung keluaran pada lapisan keluaran pada unit ke-r $\left(y_r\right)$ digunakan Persamaan 2.24

$$\begin{aligned} y_r &= f(v_r^{(2)}) \\ &= \frac{1}{1+e^{-2\alpha v_r^{(2)}}} \end{aligned} \tag{2.24}$$

2.8.2. Tahap *Backpropagation*.

Tahap *backpropagation* ditunjukkan pada Gambar 2.13 (b). Adapun algoritma tahap *backpropagation* pada Gambar 2.12 sebagai berikut:

1. Tahap *feed forward* dijalankan.
2. Untuk menghitung *error* (E) digunakan Persamaan 2.25.

$$E = \frac{1}{2}\sum_{r=1}^{p}\left(d_r - y_r\right)^2 \tag{2.25}$$

3. Jika nilai $E > E_{target}$ (belum konvergen), dilakukan perbaikan terhadap nilai bobot dan bias tiap lapisan, kemudian tahap *feed forward* dilakukan mulai dari langkah 5. Jika konvergen maka proses *backpropagation* berhenti.

4. Jika menggunakan algoritma LMS (*Least Mean Square*), untuk menghitung μ digunakan Persamaan 2.26, dengan $\mu_0 > 0$ dan $\tau >> 1$. Jika tidak menggunakan algoritma LMS, maka nilai $\mu = \mu_0$.

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + \frac{k}{\tau}} \tag{2.26}$$

5. Untuk menghitung perbaikan nilai bobot dan bias pada lapisan keluaran digunakan Persamaan 2.27 dan Persamaan 2.28,

$$w_{rj}^{(2)}(k+1) = w_{rj}^{(2)}(k) + \mu\delta_r^{(2)} x_{xout,\,j}^{(1)} \tag{2.27}$$

$$b_r^{(2)}(k+1) = b_r^{(2)}(k) + \mu\delta_r^{(2)} \tag{2.28}$$

dimana nilai faktor pengendali pada lapisan keluaran ($\delta_r^{(2)}$) dihitung menggunakan Persamaan 2.29,

$$\delta_r^{(2)} = (d_r - y_r) g\left(v_r^{(2)}\right) \tag{2.29}$$

dengan $g\left(v_r^{(2)}\right)$ merupakan $\frac{df(v_j)}{dv_j}$, sehingga $g\left(v_r^{(2)}\right)$ dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.30.

$$g\left(v_r^{(2)}\right) = \alpha f\left(v_r^{(2)}\right)\left[1 - f\left(v_r^{(2)}\right)\right] \tag{2.30}$$

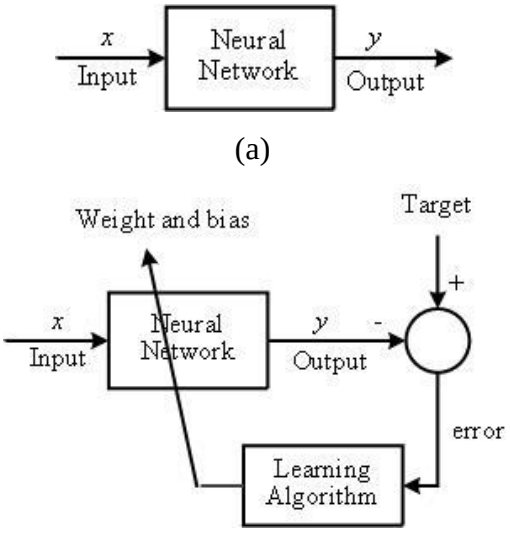
6. Untuk menghitung perbaikan nilai bobot dan bias pada lapisan tersembunyi digunakan Persamaan 2.31 dan Persamaan 2.32,

$$w_{ji}^{(1)}(k+1) = w_{ji}^{(1)}(k) + \mu\delta_j^{(1)} x_i \tag{2.31}$$

$$b_j^{(1)}(k+1) = b_j^{(1)}(k) + \mu\delta_j^{(1)} \tag{2.32}$$

dimana nilai faktor pengendali pada lapisan tersembunyi ($\delta_j^{(1)}$) dihitung menggunakan Persamaan 2.33.

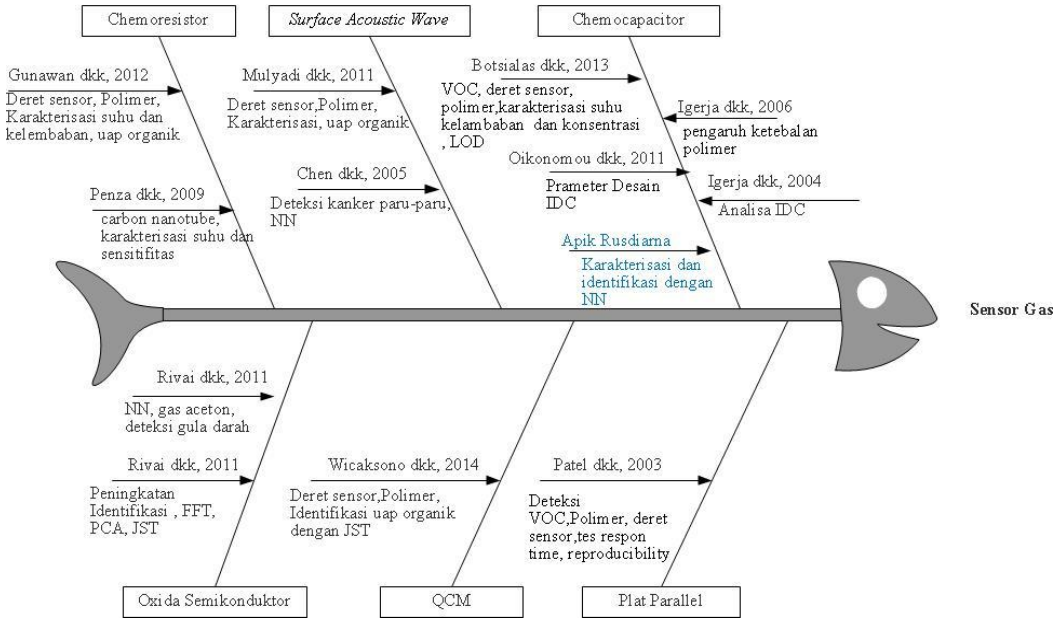
$$\delta_j^{(1)} = \left(\sum_{r=1}^{p} \delta_r^{(2)} w_{rj}^{(2)}\right) \alpha f\left(v_j^{(1)}\right)\left[1 - f\left(v_j^{(1)}\right)\right] \tag{2.33}$$



Gambar 2.13 *Neural Network* (a) tahap *feed forward* (b) tahap *backpropagation.*

2.9. Diagram *Fishbone* Penelitian

Diagram *fishbone* penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.14. Diagram *fishbone* digunakan untuk menggambarkan *road map* penelitian tentang sensor gas dari jurnal yang diacu. Berdasarkan diagram *fishbone* maka diusulkan metode baru yaitu sensor *chemocapacitor* terlapis polimer untuk identifikasi uap pelarut organik menggunakan *neural network.*



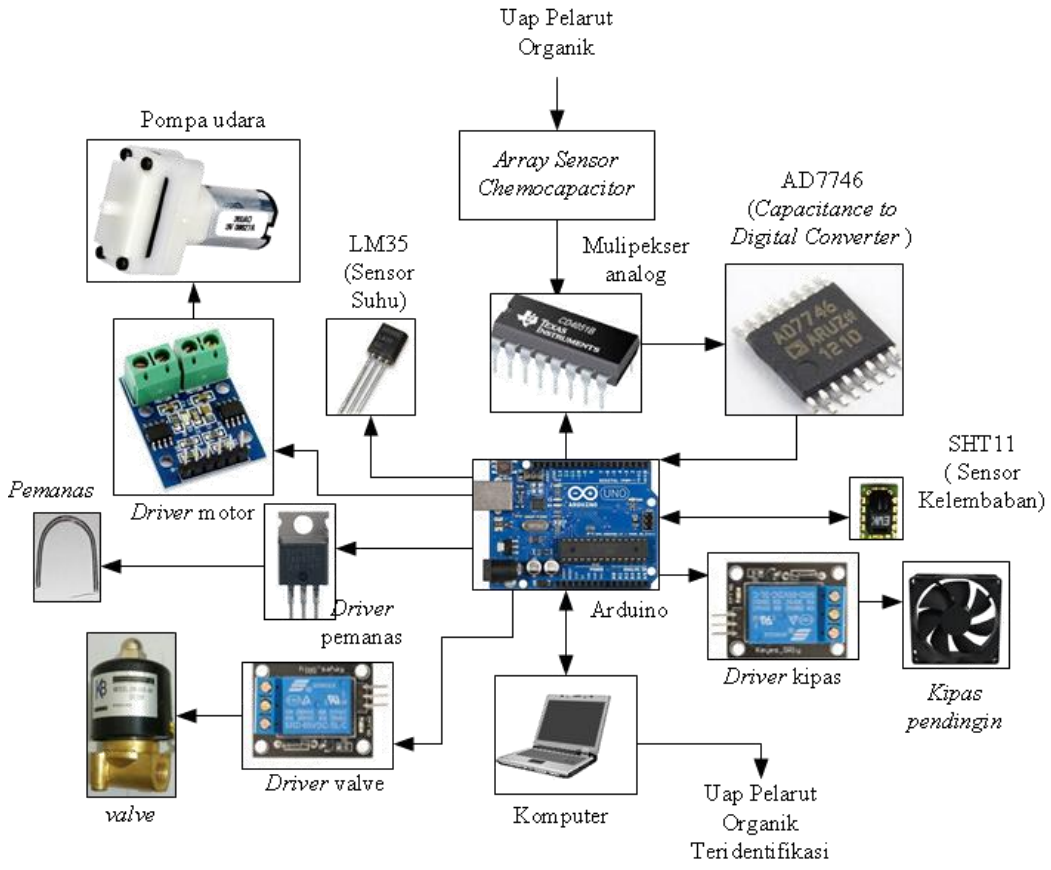
Gambar 2.14 Diagram *fishbone* penelitian.

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

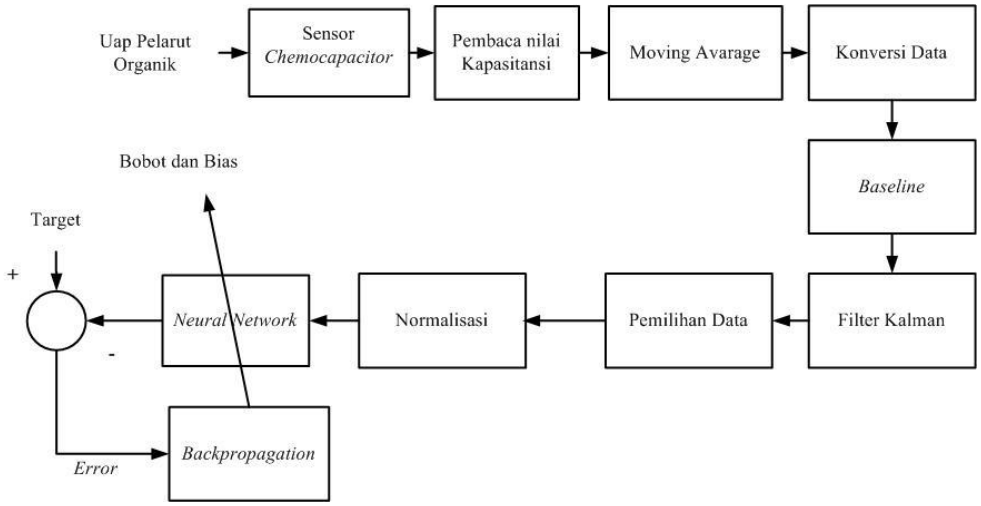
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai diagram blok sistem, perancangan dan pembuatan sensor *chemocapacitor*, perancangan dan pembuatan sistem sensor *chemocapacitor* baik perangkat keras dan perangkat lunak , prosedur pengambilan data dan analisa data, dan proses identifikasi gas.

3.1. Diskripsi Sistem

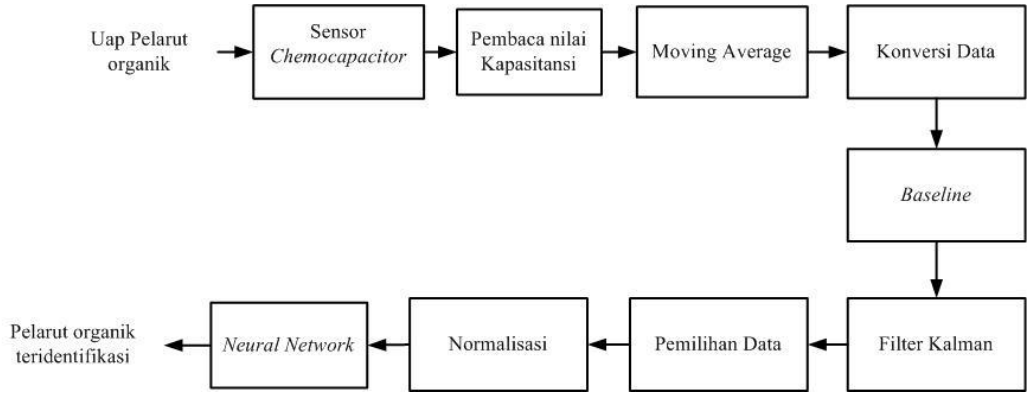
Perancangan dan pembuatan sistem sangat diperlukan untuk dapat merealisasikan penelitian ini. Untuk mempermudah dalam proses perancangan dan pembuatan sistem diperlukan diagram blok sistem perangkat keras dan perangkat lunak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Perangkat Keras



(a)



(b)

Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem (a) Pembelajaran *Neural Network* (b) identifikasi uap pelarut organik

Proses pembacaan data sensor *chemocapacitor* pada penelitian ini dilakukan oleh Arduino UNO dan pengolahan data dilakukan oleh komputer.

Prinsip kerja diagram blok sistem perangkat keras adalah udara yang berasal dari pompa udara udara yang berasal dari pompa udara yang berfungsi sebagai fasa gerak untuk mendorong udara kering dari silika atau sampel gas. Sistem katup berfungsi sebagai pengatur aliran udara kering atau sampel gas. Ketika sampel gas telah masuk ke dalam wadah deret sensor *chemocapacitor* maka akan merubah nilai kapasitansi dari deret sensor *chemocapacitor*, nilai ini dibaca oleh AD7746 yang berfungsi mengubah nilai kapasitansi ke nilai digital. Sensor *chemocapacitor* yang digunakan berjumlah 8 sehingga membutuhkan multiplekser analog untuk memilih saluran dari sensor *chemocapacitor*. Data

digital ini dibaca oleh Arduino UNO, yang kemudian dikirim ke komputer untuk dilakukan pengolahan data. Penelitian ini juga melakukan karakterisasi sensor perubahan suhu dan kelembaban sehingga dibutuhkan sistem pemanas (pemanas, sensor suhu dan kipas) dan sensor kelembaban.

Prinsip kerja diagram blok sistem dibagi menjadi dua yaitu untuk pembelajaran *neural network* dan identifikasi uap pelarut organik. Proses pengambilan data dimulai dari mengalirkan udara kering sekian detik untuk mengetahui kondisi awal, kemudian mengalirkan uap dalam sekian detik, selanjutnya mengalirkan udara kering untuk mengembalikan sensor dalam keadaan semula. Nilai kapasitansi diubah ke nilai digital oleh rangkaian pembaca nilai kapasitansi kemudian data digital difilter dengan *moving average* , proses ini bertujuan untuk memperhalus data digital dan dilakukan oleh Arduino UNO. Hasil *moving average* dikirim ke komputer. Proses konversi data bertujuan untuk mengubah nilai digital kedalam nilai kapasitansi. Proses *baseline* dilakukan ketika pembacaan data telah selesai dilakukan. Proses *baseline* bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai kapasitansi dan mengilangkan ketidaksamaan nilai kapasitansi setiap sensor *chemocapacitor* pada awal pembacaan. Untuk membuat data perubahan nilai kapasitansi lebih halus (mengurangi *noise*) digunakan filter Kalman. Proses pemilihan data bertujuan untuk mendapatkan nilai perubahan kapasitansi yang mewakili setiap sensor *chemocapacitor*. Untuk menghilangkan pengaruh konsentrasi dari sampel gas yang juga akan merubah nilai perubahan kapasitansi maka dilakukan normalisasi. Data normalisasi ini digunakan untuk proses pembelajaran *neural network* untuk didapatkan nilai bobot dan bias. Nilai bobot, bias dan data normalisasi digunakan untuk proses identifikasi uap pelarut organik.

3.2. Uap Pelarut Organik

Uap pelarut dilihat dari tingkat polaritas ada tiga jenis yaitu polar protik, polar aprotik dan non polar. Uap pelarut organik yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukaan pada Tabel 3.1. Pemilihan pelarut organik jenis ini karena dilihat dari segi kemanfaatan, dampak yang ditimbulkan dan karakterisasi. Semua pelarut organik yang digunakan ini tidak berwarna tetapi memiliki bau yang khas penggunaan sensor gas untuk mengidentifikasi dapat menggantikan hidung sebagai indera penciuman.

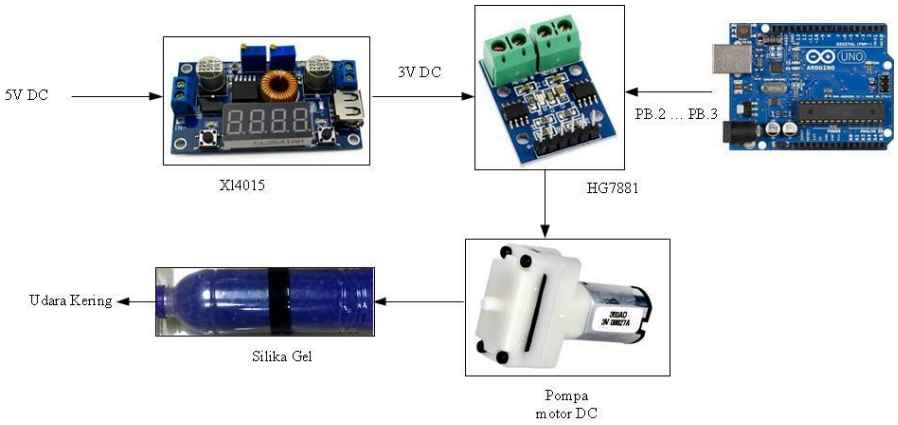
Untuk mengatur aliran uap pelarut organik yang masuk ke dalam wadah sensor *chemocapacitor* diperlukan sistem mekanik aliran udara yang berupa, pompa udara, silika gel dan sistem katup.

Tabel 3.1 Pelarut organik yang digunakan

No	Pelarut Organik	Polaritas	Dielektrik
1	Etanol	Polar protik	24.5 (25°C)
2	Aseton	Polar aprotik	20.7 (25°C)
3	N-Heksana	Non-Polar	1.88 (25°C)

3.2.1. Pompa udara

Pompa udara berfungsi sebagai fasa gerak untuk mengalirkan udara ke wadah sensor. Pompa udara yang digunakan dalam penelitian ini adalah pompa motor DC 3V. Lubang buang udara dihubungkan dengan silika gel dan kecepatan aliran diatur 0,1 LPM dengan mengatur kecepatan putar motor. Pengaturan kecepatan aliran 0,1 LPM dimaksudkan untuk mengurangi resiko respons sensor berubah ketika dalam keadaan *steady state*. Driver motor yang digunakan untuk mengkontrol pompa menggunakan modul driver motor HG7881. Pemilihan modul ini karena mampu mendrive motor dengan tengangan 3V DC. Untuk menghasilkan tengangan DC 3V menggunakan XL4015. Integarasi perancangan pompa udara ditunjukkan pada Gambar 3.3.

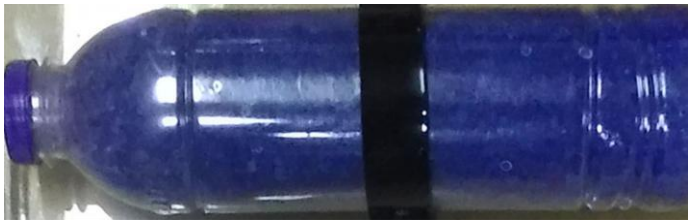


Gambar 3.3 Integrasi perancangan sistem pompa udara

3.2.2. Silika gel

Silika gel yang digunakan dalam penelitian ini adalah silika gel biru. Apabila silika gel berubah warna menjadi merah muda, hal ini berarti silika gel dalam keadaan jenuh. Silika gel kondisi baik dan kondisi jenuh ditunjukkan pada Gambar 3.4. Silika gel yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.5. Untuk jenis silika gel yang digunakan dalam penelitian ini, apabila silika gel sudah dalam keadaan jenuh dapat dikembalikan ke kadaaan baik dengan cara di sangrai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4. Fungsi silika gel pada penelitian ini adalah untuk menyerap dan meminimalkan kandungan uap air pada wadah sensor dan menyerap sampel gas yang terikat oleh polimer sehingga sensor kembali ke keadaan awal.

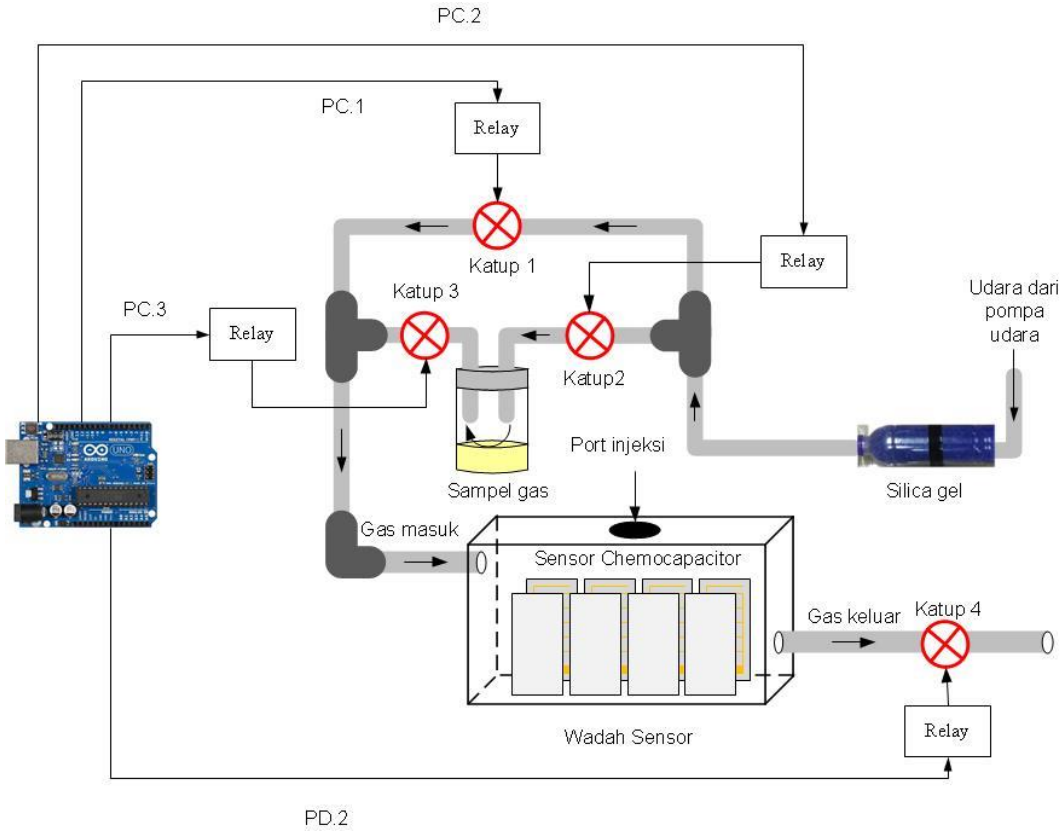
Gambar 3.4 Kondisi Silika Gel dan Proses Sangrai



Gambar 3.5 Silika gel yang digunakan

3.2.3. Sistem katup

Sistem katub berfungsi untuk mengatur arah aliran udara yang menuju wadah sensor *chemocapacitor*. Pengaturan aliran udara yang dimaksud ada dua macam yaitu untuk mengalirkan udara kering dan untuk mengalirkan sampel gas. Desain perancangan sistem katub ditunjukan pada Gambar 3.6. Katub yang digunakan berupa solenoid valve 12V DC yang berjumlah empat. Pengontrolan *solenoid valve* ini menggunakan relay. Konfigurasi pengaturan aliran udara ditunjukkan pada Tabel 3.2.



Gambar 3.6 Perancangan sistem katup

Tabel 3.2 Konfigurasi katup untuk pengaturan aliran udara

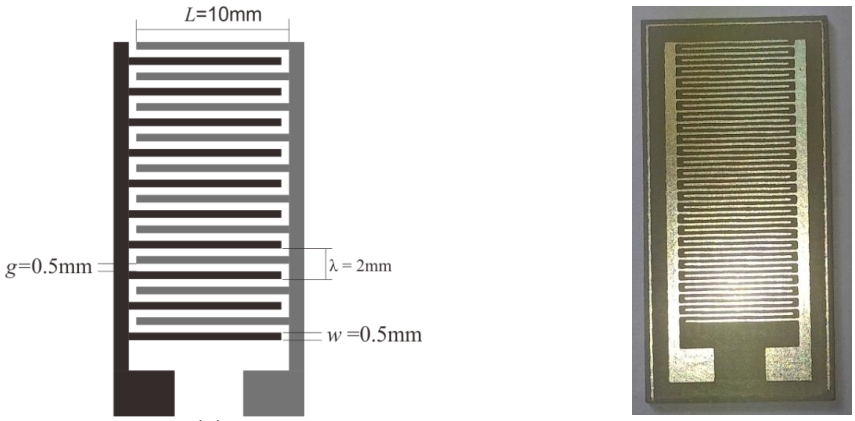
NO	Katup				Fungsi
	Katup 1	Katup 2	Katup 3	Katup 4	
1	terbuka	tertutup	tertutup	terbuka	Mengalirkan udara kering ke wadah sensor
2	tertutup	terbuka	terbuka	terbuka	Mengalirkan uap pelarut organik

3.3. Sensor *Chemocapacitor*

Sensor *chemocapacitor* dibuat dari *Printed Circuit Board* (PCB) dengan substrat fiber dengan tebal 2mm dan tipe sensor InterDigital Elektorda (IDE). Rancangan desain IDE ditunjukkan pada Gambar 3.7. Berdasarkan Persamaan 2.3 bahwa jumlah elektroda minimal adalah 4 dan semakin banyak elektroda akan meningkatkan sensitifitas. Karena kemampuan membuat jarak antar elektroda minimal adalah 0.5mm sehingga rancangan desain IDE mempunyai 20 elektroda, panjang (*L)* 10 mm, rasio metalisasi (η) 0.5 dan panjang gelombang spasial (λ) 2 mm.

Sensor *chemocapacitor* yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak delapan buah, sehingga ada delapan IDE yang masing-masing dilapisi dengan polimer seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.3. Polimer disini difungsikan sebagai elemen sensor, polimer yang bersifat polar akan berinteraksi dengan sangat kuat dengan pelarut yang bersifat polar dan sebaliknya, sehingga semakin banyak variasi kepolarannya akan memberikan pola yang bervariasi untuk setiap pelarut organik.

Agar sensor *chemocapacitor* dapat berinteraksi dengan uap pelarut organik dengan optimal diperlukan wadah. Pada penelitian ini akan melakukan karakterisasi sensor akibat perubahan suhu dan kelembaban sehingga diperlukan pengontrol suhu (sensor suhu, elemen pemanas, driver pemanas, kontrol PID dan kipas pendingin) dan sensor kelembaban.



(a) (b)

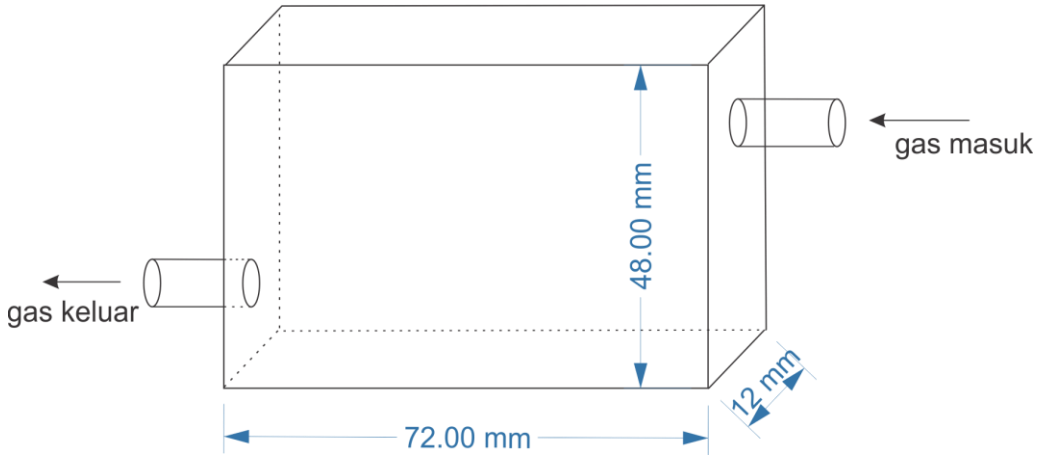
Gambar 3.7 IDE (a) rancangan (b) bentuk fisik

Tabel 3.3 Jenis - Jenis Polimer

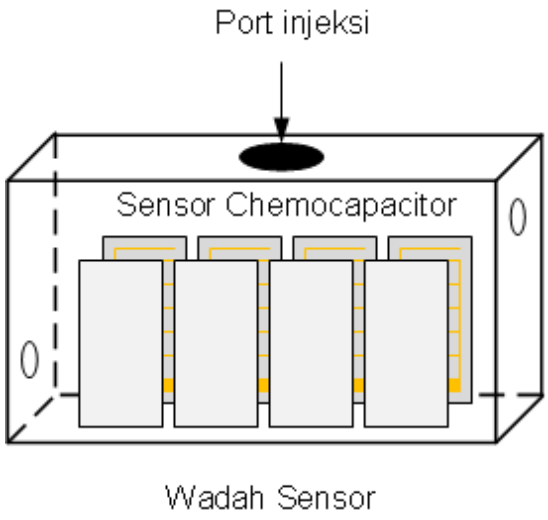
No	Jenis Polimer	Polaritas
1	OV-101	Non polar
2	PEG-1540	Polar
3	OV-17	Medium
4	APEIZON Wax W	Non polar
5	EPON-1001	Polar
6	PVP	Medium
7	PEG-20M	Polar
8	PEG-6000	Polar

3.3.1. Wadah Sensor *Chemocapacitor*

Tempat atau wadah sensor *chemocapacitor* terbuat dari *stainless steal* dimana selain kuat, anti karat dan mampu mengantarkan panas dengan baik. Ukuran wadah sensor dibuat dengan panjang 72 mm, lebar 12 mm dan tinggi 48 mm. Ukuran ini didasarkan pada ukuran sensor yang akan menempatinya, apabila terlalu besar akan membuat lama dalam proses pembersihan. Tutup pada bagian ke dua sisi atas dan bawah, dimana bagian atas ditutup dengan bahan akrilik dengan tebal 3 mm dan diberi lubang yang ditutup dengan karet sebagai tempat menyuntikan cairan masuk ke dalam wadah ketika karakterisasi perubahan konsentrasi, penggunaan akrilik sebagai penutup bagian atas agar ketika menuntik tidak mengenai sensor, sedangkan bagian bawah dengan PCB sekaligus sebagai tempat dudukan atau soket dari sensor *chemocapacitor*. Konfigurasi wadah sensor *chemocapacitor* ditunjukkan pada Gambar 3.8. Konfigurasi pemasangan sensor dalam wadah ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.8 Konfigurasi wadah sensor



Gambar 3.9 Konfigurasi pemasangan sensor dalam wadah sensor

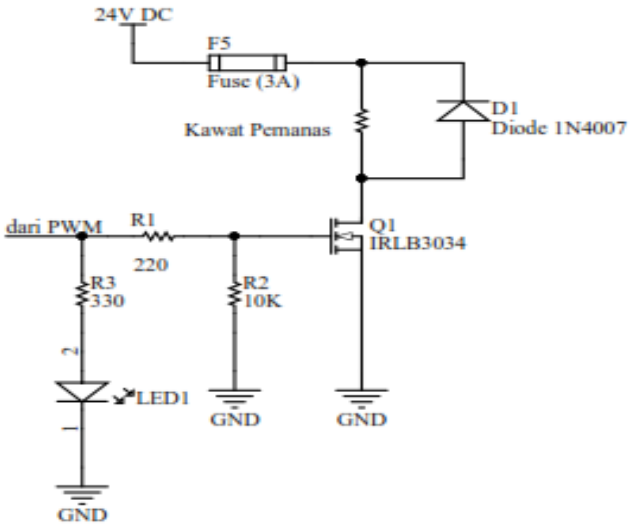
3.3.2. Sensor Suhu

Sensor suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah LM35. Sensor suhu LM35 digunakan untuk mendeteksi suhu pada wadah sensor *chemocapacitor*. Rentang suhu yang dapat dideteksi oleh sensor suhu ini adalah 0-100^{o}C dengan kakaterisasi 10mV pada keluaran mewakili 1^{o}C. Sensor LM35 mempunyai tiga kaki yaitu Vcc, data atau analog out, Ground. Arduino uno mempunyai ADC dengan resolusi 10 bit sehingga kaki data LM35 dapat langsung dihubungkan dengan ADC tanpa memperlukan rangkaian tambahan. Rangkaian LM35 ditunjukkan pada Gambar 3.10.

Gambar 3.10 Rangkaian LM35

3.3.3. *Driver* Pemanas

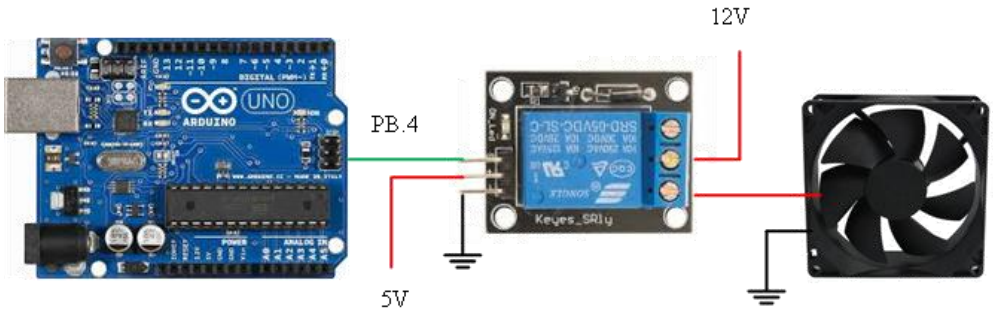
Perancangan driver pemanas menggunakan rangkaian utama berupa MOSFET IRLB3034. MOSFET ini mempunyai $R_{DS(on)}$ 1.4 mΩ, sehingga sangat optimal sebagai *logic level driver* dan jika diberi sinyal PWM tidak menimbulkan panas yang berlebih. Sumber tengangan yang digunakan untuk memanaskan kawat nikelin sebesar 24V DC. Rangkaian driver pemanas ditunjukan pada Gambar 3.11. Resistor R1 220Ω sebagai limiter arus dan memperlambat respons ketika mosfet melakukan pensaklaran. Resistor R2 10KΩ difungsikan sebagai pull down.



Gambar 3.11 Skematik rangkaian *driver* pemanas

3.3.4. Kipas Pendingin

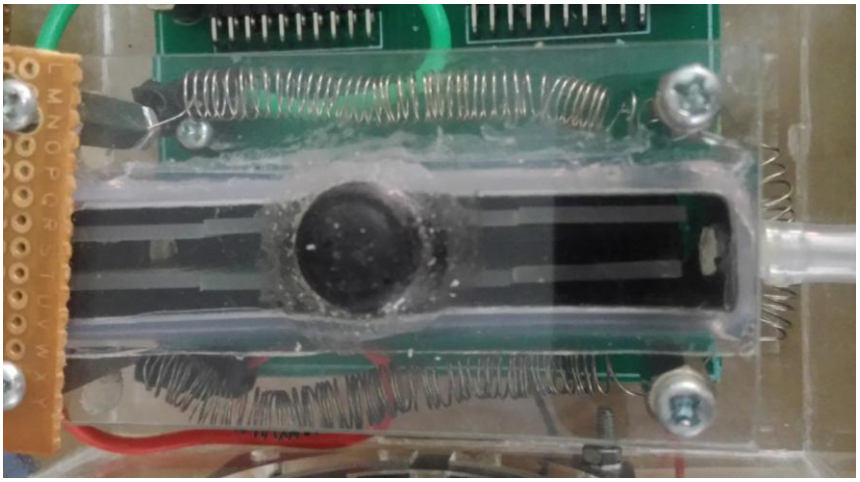
Kipas pendingin yang dikonfigurasikan pada sistem ini digunakan untuk mendinginkan wadah sensor *chemocapacitor*. Kipas menggunakan sumber tengangan 12V dan dikendalikan oleh relay. Integrasi kipas pendingin dan relay ditunjukkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Integrasi kipas pendingin dan relay

3.3.5. Elemen Pemanas

Elemen pemanas yang digunakan dalam penelitian ini adalah kawat nichrom dengan diameter 0,4 mm dan panjang 2 m. Kawat ini mempunyai hambatan 10.4Ω/m sehingga untuk 2 m hambatannya 20.8 Ω. Power supply yang digunakan untuk memanaskan adalah 24V 4A, sehingga arus yang melewati kawat sebesar 1,15A dan dayanya 27.6 Watt. Pemasangan elemen pemanas melingkari wadah sensor seperti ditunjukkan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Pemasangan elemen pemanas

3.3.6. Kontrol PID

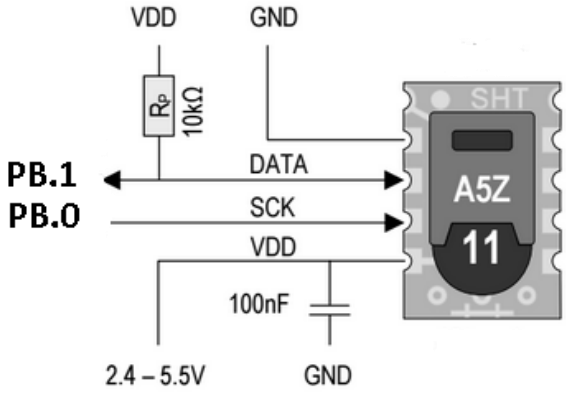
Pada sistem ini kontrol Proportional–Integral–Derivative (PID) digunakan dalam mengontrol suhu pada wadah sensor. Kontrol PID merupakan kontroler untuk menentukan kepresisian suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tesebut. Sehingga dengan memberikan kontrol PID suhu yang diinginkan tetap terjaga. PID adalah kontrol yang terdiri dari proportional (Kp), integral (Ki), dan derivative (Kd).

Nilai Kp, Ki, dan Kd dicari secara manual dengan mangamati respon dabari suhu yang terbaca pada LM35. Sehingga dapat dibuat logika pemrograman seperti berikut :

1. Menentukkan *set point* (suhu yang diinginkan) dan waktu sampling.
2. Menentukkan nilai *Kp, Ki, Kd*.secara *tunning manual*.
3. Hitung nilai *Ki* yaitu mengalikan nilai *Ki* dengan waktu sampling.
4. Hitung nilai *Kd* yaitu membagi nilai *Kd* dengan waktu sampling.
5. Lakukan looping setiap waktu sampling dengan menghitung kontrol proportional, kontrol integral, kontrol derivative, dan kontrol PID.
6. Kontrol proportional
   a. Mendapatkan *error* proportional dengan mengurangi *set point* dengan nilai dari sensor LM35.
   b. Keluaran kontrol proportional hasil dari *Kp* dikali nilai *error*.
7. Kontrol Integral
   a. Mendapatkan *error* integral dengan cara mengalikan *error* proportional dengan *Ki*.
   b. Keluaran kontrol integral adalah menjumlahkan error intergral sekarang dengan error integral sebelumnya.
8. Kontrol Derivative
   a. Mendapatkan *error* derivative dengan mengurangi *error* proportional dengan *error* sebelum derivative atau mengurangkan nilai dari sensor LM35 sekarang dengan nilai dari sensor LM35 sebelumnya.
   b. Keluaran kontrol derivative adalah hasil kali Kd dengan *error* derivative,.
9. Kontrol PID adalah hasil dari penambahan keluaran kontrol proportional, kontrol integral, dan kontrol derivative.

3.3.7. Sensor Kelembaban

Sensor kelembaban yang digunakan dalam penelitian ini adalah SHT11. Sensor SHT11 digunakan untuk memantau perubahan kelembaban wadah sensor dan sebagai parameter kelembaban relative sensor *chemocapacitor* terhadap perubahan suhu. Sensor SHT11 sudah memiliki keluaran digital dan sudah terkalibarasi. Sensor ini menggunakan komunikasi bidirectional 2-wire. Skema rangkian SHT11 dan pengambilan data ditunjukkan pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Skematik rangkaian SHT11

3.4. Perancangan Pembaca Nilai Kapasitansi

Sensor *chemocapacitor* merupakan sebuah kapasitor yang mempunyai lapisan sensitif berupa polimer apabila berinteraksi dengan gas akan mengubah nilai kapasitansinya. Pengukuran nilai kapasitansi dalam penelitian ini menggunakan *Capacitance to Digital Converter* (CDC) AD7746 dari *analog device.*

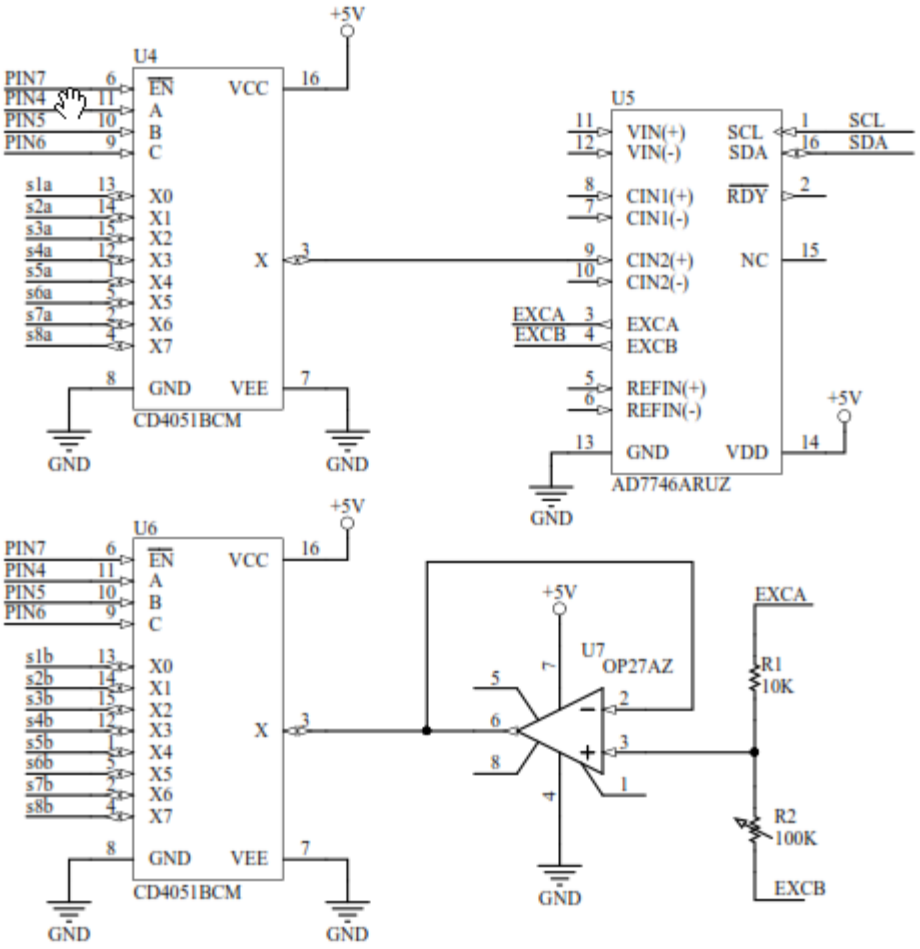
Multiplekser analog dalam penelitian ini bertujuan untuk memperbanyak jumlah saluran menjadi delapan saluran, hal ini sesuai dengan jumlah sensor *chemocapacitor* yang digunakan. Multiplekser analog yang digunakan dalam penelitian ini adalah CD4051 (8:1 mux). Tiap sensor *chemocapacitor* mempunyai dua kaki sehingga dibutuhkan dua CD4051. Rangkaian skematik rangkaian pembaca nilai kapasitansi ditunjukkan pada Gambar 3.15.

AD7746 mempunyai jangkauan dinamis 8,192pF. Untuk memperbesar nilai jangkauan dengan mengatur nilai R1 dan R2. Jika di inginkan jangkauan dinamis 24 pF maka nilai penguatan (F) yang dibutuhkan,

$$F = \frac{24\,\text{pF}}{8.192\,\text{pF}} = 2{,}93$$

jika nilai R1 adalah 10 kΩ maka nilai R2 berdasarkan Persamaan 2.16 adalah

$$R2 = \frac{R1(F+1)}{F-1}$$
$$= \frac{10\,\text{k}\Omega(2{,}93+1)}{2.93-1}$$
$$= 20{,}36\,\text{k}\Omega$$



Gambar 3.15 Skematik rangkaian pembaca nilai kapasitansi

3.5. *Moving Average*

Sensor yang digunakan dalam penelitian ini ada 10 buah, yaitu 8 sensor *chemocapacitor*, LM35, dan SHT11. Maka data yang dikirim oleh arduino uno ke komputer menjadi banyak. Oleh karena itu digunakan parsing data atau pemecah data. Parsing data menggunakan penanda (header) agar data tidak saling tertukar dengan data sensor yang lain.

Khusus untuk pembacaan sensor *chemocapacitor* dan LM35 digunakan *filter moving average (MAV)*. Persamaan filter *moving average* ditunjukkan pada Persamaan 3.1. Proses MAV dilakukan di mikrokontroler. Proses MAV untuk sensor *chemocapacitor* masih dalam data digital sedangkan untuk sensor LM35 sudah dalam data suhu.

$$F_MAV[n] = \frac{x[n] + x[n-1 + x[n-2] + x[n-3] + x[n-4]}{5} \quad (3.1)$$

3.6. Konversi Data

Proses konversi data berfungsi untuk mengkonversi data digital dari sensor *chemocapacitor* ke nilai kapasitansinya. Untuk mendapatakan persamaan konversi datanya, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi terhadap nilai kapasitansi dari kapasitor yang ada dipasaran ke nilai digital. Penentuan nilai kapasitansi dari kapasitor yang akan di ukur berdasarkan hasil pengukuran nilai kapasitansi dari sensor *chemocapacitor* mengunakan LCR meter.

3.7. *Baseline*

Proses *baseline* dimaksudkan untuk mengeliminasi nilai kapasitansi dari setiap sensor yang berbeda-beda. *Basline* didapatkan dengan cara mengurangkan seluruh data awal sampai akhir dengan nilai referensi untuk masing-masing sensor, dimana nilai refrensi adalah nilai rata-rata dari 10 data sebelum katup 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 kapasitansi.

3.8. Filter Kalman

Proses filter Kalman berfungsi untuk memperhalus data nilai perubahan kapaitansi. Filter Kalman terbagi menjadi dua bagian yaitu bagian untuk memprediksi dan bagian untuk memperbaharui hasil pengukuran. Persamaan filter Kalman untuk memprediksikan ditunjukkan pada Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3. Persamaan filter Kalman untuk memperbaharui hasil pengukuran ditunjukkan pada Persamaan 3.4 – Persamaan 3.6,

$$x_n = x_{n-1} \quad (3.2)$$

$$P_n = P_{n-1} + Q \quad (3.3)$$

$$K_n = \frac{P_n}{P_n + R} \quad (3.4)$$

$$x_n = x_n + K_n(z_n - x_n) \quad (3.5)$$

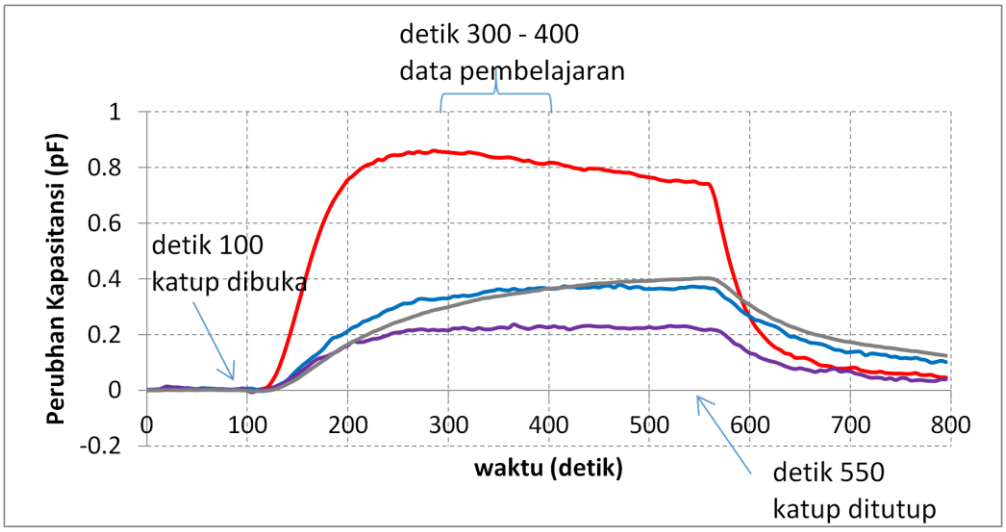
$$P_n = (1 - K_n)P_n \quad (3.6)$$

dimana *x* adalah hasil estimasi, *p* adalah kesalahan kovarian, *K* adalah penguatan kalman , *Q* adalah kovarian *error* proses dan *R* adalah kovarian error pengukuran. Berdasarkan Persamaan 3.2 – Persamaan 3.6 dapat dibuat program seperti berikut

```
Function kalman_init(q,r,p,intial_value:Double): kalman_state;
begin
  Result.q :=q;
  Result.r :=r;
  Result.p :=p;
  Result.x :=intial_value;
end;

procedure kalman_update(var state:kalman_state;
measurement:double);
begin
  //prediction update
  state.x := state.x;
  state.p := state.p + state.q;

  //measurement update
  state.k := state.p / (state.p + state.r);
  state.x := state.x + state.k * (measurement - state.x);
  state.p := (1 - state.k) * state.p;
end;
```

3.9. Pemilihan Data

Proses pemilihan data bertujuan untuk mendapatkan nilai perubahan kapasitansi yang dapat mewakili kondisi atau ciri dari setiap sensor. Data yang dipilih adalah sebagian data dari perubahan kapasitansi ketika sensor berinteraksi dengan uap pelarut organik. Setelah data dipilih, data tersebut kemudian dirata-rata, sehingga keluaran dari pemilihan data sebanyak delapan data. Ilutrasi pemilihan data ditunjukkan pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Ilustrasi pemilihan data

3.10. Normalisasi

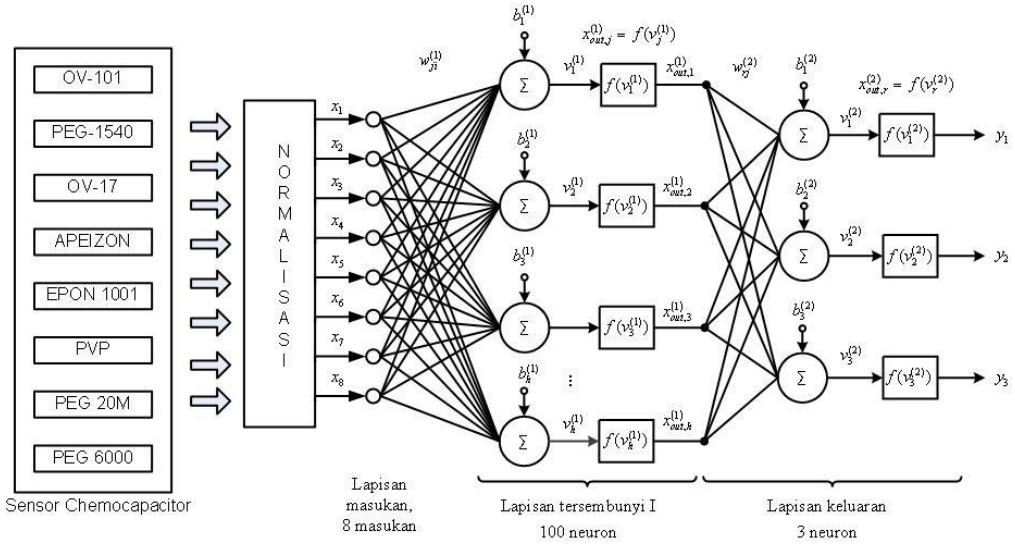
Proses normalisasi dimaksudkan untuk mengeliminasi nilai perubahan kapasitansi dari pengaruh konsentrasi, perubahan suhu dan perubahan kelembaban. Proses normalisasi dilakukan dengan membagi setiap nilai pola data dari proses pemilihan data dengan nilai maksiumnya, sehingga nilai paling tinggi adalah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

3.11. *Neural Network*

Pada penelitian ini, *neural network* (NN) digunakan untuk mengenali beberapa jenis sampel uap pelarut organik yang diujikan yaitu etanol, aseton dan n-heksana

Arsitektur NN yang didesain dan digunakan pada penelitian ini terdiri dari tiga lapisan (*layer*), yaitu *input layer*, *hidden layer*, dan *outpur layer*. *Input layer* terdiri dari 8 node masukan yang berasal dari normalisasi data perubahan nilai kapasitansi yang berjumlah 8. 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 3 buah neuron sesuai dengan jumlah sampel pelarut organik yang diidentifikasi. Rancangan arsitektur NN dapat dilihat pada Gambar 3.17. Fungsi aktifasi yang digunakan adalah binary sigmod sehingga nilai target pada proses pembelajaran dibuat dalam bentuk nilai biner seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.4. Berdasarkan Gambar 3.17 dapat dibuat program sebagai berikut

```
procedure tform1.maju();
var
  i,j: integer;
begin
  //propagasi maju untuk layer 1
  for i:= 0 to n_hidden-1 do
  begin
    node1[i]:= 0;
    for j:= 0 to n_input-1 do
    begin
      node1[i]:= node1[i]+(input_nn[j,z]*w1[j,i]);
    end;
    node1[i]:=node1[i]+bias1[0,i];
    out1[i]:=1/(1+exp(-1*alfa*node1[i]));
    turunan1[i]:= alfa*(out1[i])*(1-out1[i]);
  end;

//propagasi maju untuk output layer (layer 2)
  for i:= 0 to n_output-1 do
  begin
    node2[i]:= 0;
    for j:= 1 to n_hidden-1 do
    begin
      node2[i]:= node2[i]+(out1[j]*w2[j,i]);
    end;
    node2[i]:=node2[i]+bias2[0,i];
    out2[i]:=1/(1+exp(-1*alfa*node2[i]));
    turunan2[i]:= alfa*(out2[i])*(1-out2[i]);
  end;

end;
```



Gambar 3.17 Rancangan arsitektur *neural network*

Tabel 3.4 Nilai target pada proses pembelajaran

NO	Uap Pelarut Organik	Target
1	Etanol	1 0 0
2	Aseton	0 1 0
3	N-Heksana	0 0 1

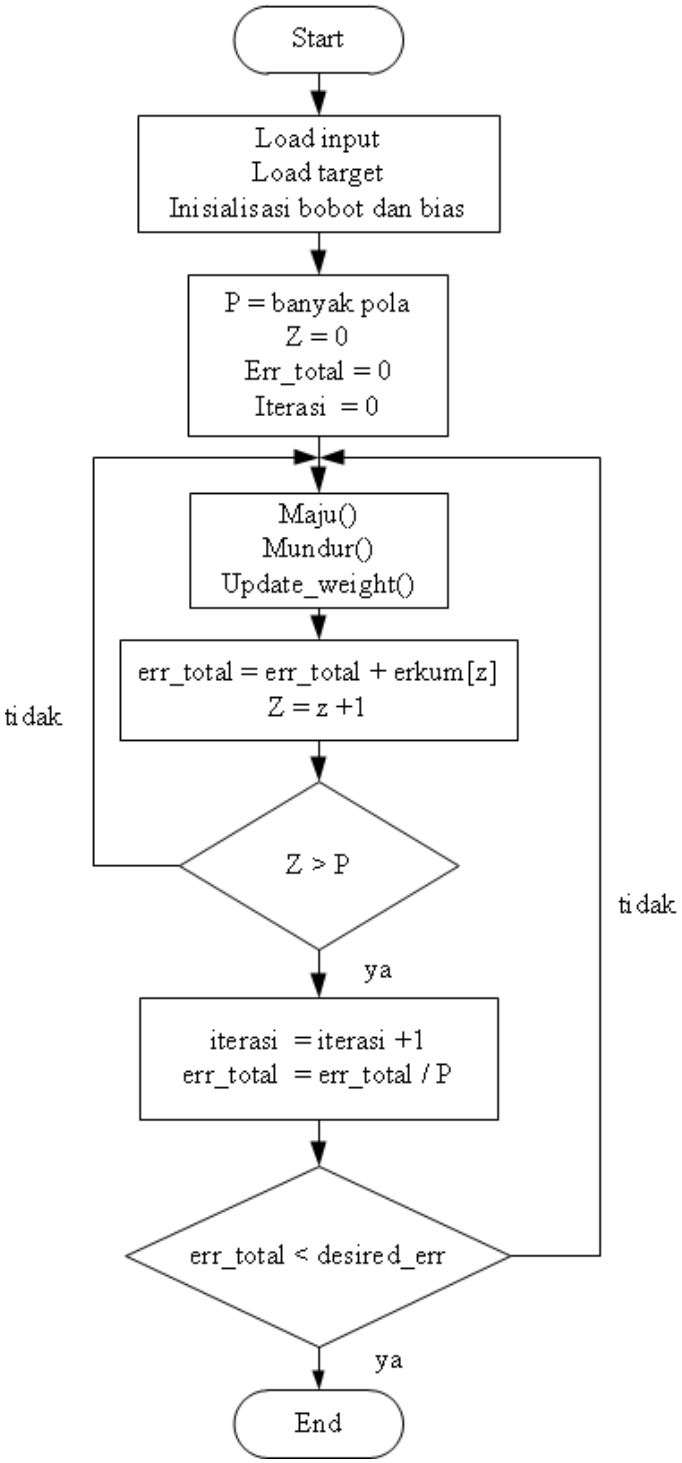
3.12. *Backpropagation*

. Algoritma *backpropagation* diperlukan dalam proses identifikasi jenis gas, karena selama proses pembelajaran memiliki kemampuan untuk memperbaiki bobot pada layer tersembunyi.

Berdasarkan Persamaan 2.25 sampai Persamaan 2.33 dapat dibuat program sebagai berikut

```
procedure tform1.mundur();
var
  i,j: integer;
begin

  erkum[z]:= 0;

  for i:= 0 to n_output-1 do       //error output (layer 3)
  begin
    erkum[z]:= erkum[z]+(sqr(desired[i,z]-out2[i]));
    error2[i]:= (desired[i,z]-out2[i])*turunan2[i];
  end;

  erkum[z]:= (0.5)*erkum[z];


  for i:=0 to n_hidden-1 do
  begin
    error1[i]:= 0;
    for j:= 0 to n_output-1 do
    begin
      error1[i]:= error1[i]+(error2[j]*w2[i,j]);
    end;
    error1[i]:= error1[i]*turunan1[i];  //error layer 1
  end;

end;

procedure tform1.update_weight();
var
  i,j : integer;
begin
  for i:= 0 to n_input-1 do
  begin
    for j:= 0 to n_hidden-1 do
    begin
      w1[i,j]:= w1[i,j]+(miu*error1[j]*input_nn[i,z]);  //update
weight layer 1
      bias1[0,j]:=bias1[0,j]+(miu*error1[j]);
    end;
  end;

  for i:= 0 to n_hidden-1 do
  begin
    for j:= 0 to n_output-1 do
    begin
      w2[i,j]:= w2[i,j]+(miu*error2[j]*out1[i]);   //update weight
layer 2
      bias2[0,j]:=bias2[0,j]+(miu*error2[j]);
    end;
  end;
end;
```

Untuk melakukan pelatihan dengan sejumlah *P* pola dapat dibuat diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Diagram alir pelatihan neural network dengan banyak pola

3.13. *Desain User Interface*

Desain *user interface* dirancang menggunakan bahasa pemprograman Delphi. Desain *interface* diharapkan dapat mempermudah *user* untuk mengoperasikan sistem dalam hal proses pembelajaran *neural network* dan proses identifikasi uap pelarut organik.

Desain yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 3.19. Desain *interface* yang dibuat terdiri dari dari empat buah menu utama (identification, neural network, tes PID, setting), tiga informasi utama (suhu dan kelembaan, sisa waktu pengambilan data, hasil identifikasi, check box untuk proses identifikasi, tombol utama (setting, connect, start, fan).

Menu identifikasi terdapat empat menu yang berisi grafik (kapasitansi, perubahan kapasitansi, normalisasi, dan suhu dan kelembaban). Menu Neural Network terdapat empat grup box (Load Input and Target, Neural Network parameter, actual parameter dan *mode offline tes*), grafik error pembelajaran dan tabel data input.

Menu tes PID digunakan untuk melihat respon pengontrolan terhadap nilai kp, ki dan kd yang di inputkan. Menu setting berisi settingan untuk mengubah kecepatan aliran dari pompa udara, sampling data, pemilihan data, waktu membuka dan menutup katup dan merubah parameter filter kalman.

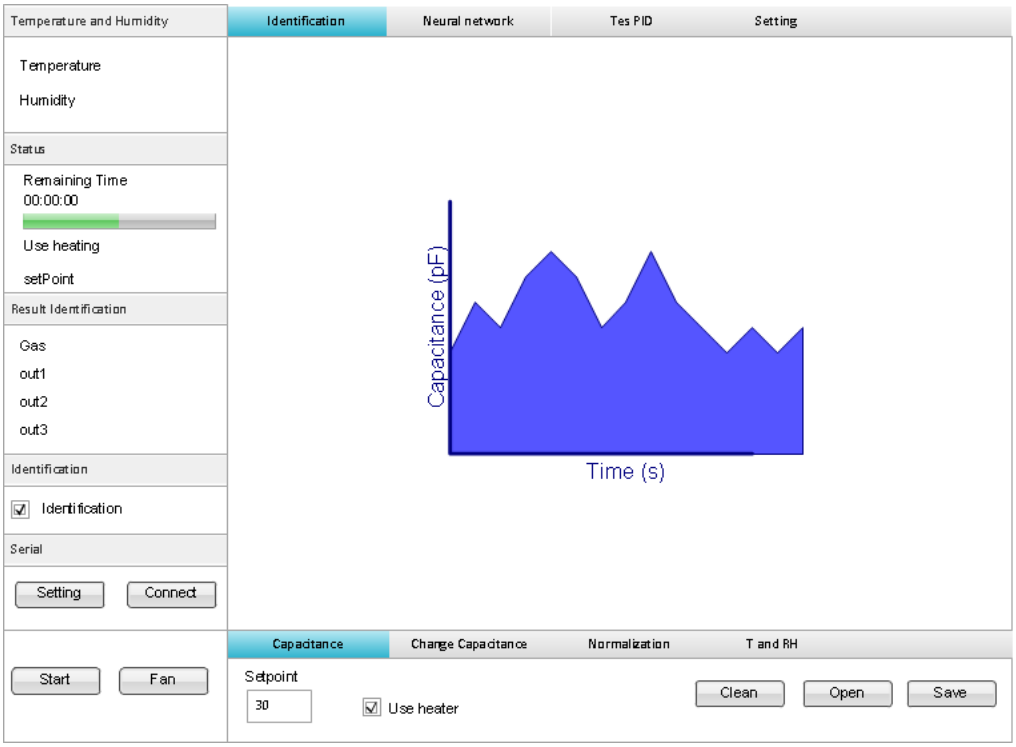
Fungsi dari komponen pada menu identifikasi adalah

1. Menu Identifikasi , digunakan untuk proses pengambilan data baik untuk pembelajaran neural network maupun identifikasi gas, untuk proses identifikasi perlu mencentang checkbox identifikasi.
2. Menu Neural Network, digunakan untuk proses pembelajaran neural network yang nantinya dihasilkan bobot dan bias.
3. Menu Tes PID, digunakan untuk menentukan nilai kp, ki dan kd yang sesuai dengan sistem.
4. Menu Setting, berisikan settingan yang berkaitan dengan sistem.
5. Tombol Setting, digunakan untuk memilih saluran COM yang dipakai.
6. Tombol Connect, digunakan untuk melakukan koneksi dengan serial COM.
7. Tombol Start, digunakan untuk melakukan proses pengambilan data.
8. Tombol Fan, digunakan untuk menghidupkan kipas pendingin

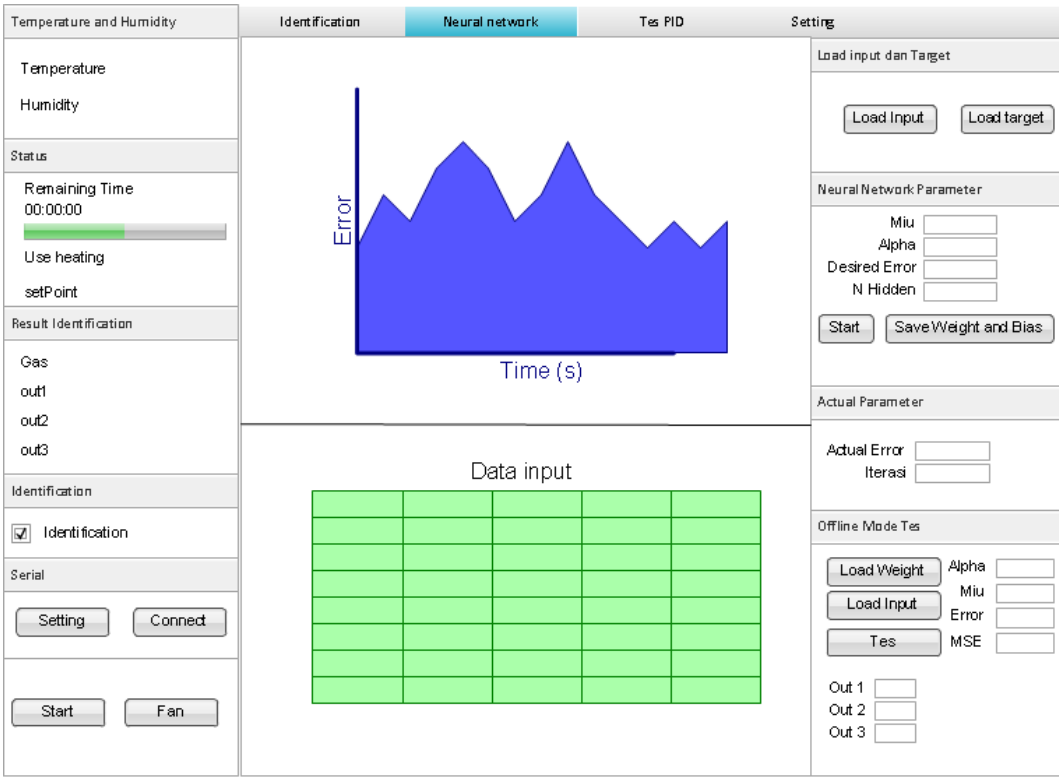
9. Tombol Clean, digunakan untuk proses pembersihan wadah sensor dengan mengalirkan udara kering
10. Tombol Open, digunakan untuk membuka data yang telah tersimpan, apabila checkbox identifikasi di centang akan melakukan proses identfikasi secara offline.
11. Tombol Save, digunakan untuk menyimpan hasil pengambilan data.
12. Edit Setpoint, digunakan untuk mengisi suhu setpoint.
13. Checkbok Use Heater, digunakan untuk memilih menggunakan pemanas atau tidak.

Fungsi komponen pada menu *neural network* adalah

1. Tombol load input, untuk mengambil data pembelajar dan ditampilkan pada tabel data input.
2. Tombol load target, untuk mengambil data target.
3. Tombol Start, untuk melakukan proses pembelajaran.
4. Tombol Save weight and Bias, untuk menyimpan bobot dan bias dari hasil proses pembelajaran.
5. Tombol Load Weight, untuk mengambil bobot dan bias pada proses indentifikasi secara offline.
6. Tombol Load Input (mode offline tes), untuk mengambil data input pada proses identifikasi secara offline.
7. Tombol Tes, untuk melakukan proses identifikasi secara offline.
8. Edit miu, alpha, desired error dan n hidden untuk memberikan input miu, alpha, desired error dan n hidden layer.
9. Edit *actual error* dan iterasi untuk menampilkan actual error dan iterasi pada proses pembelajaran.
10. Edit out 1, out 2, out 3, untuk menampilkan nilai output dari proses identifikasi.

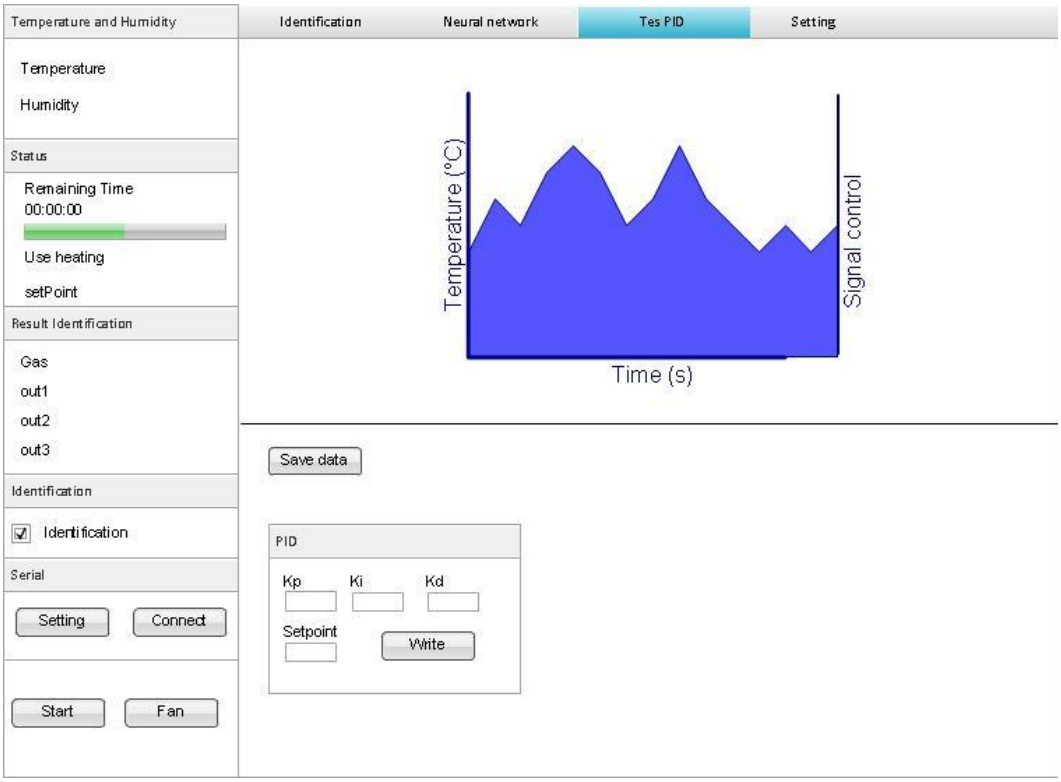


(a)

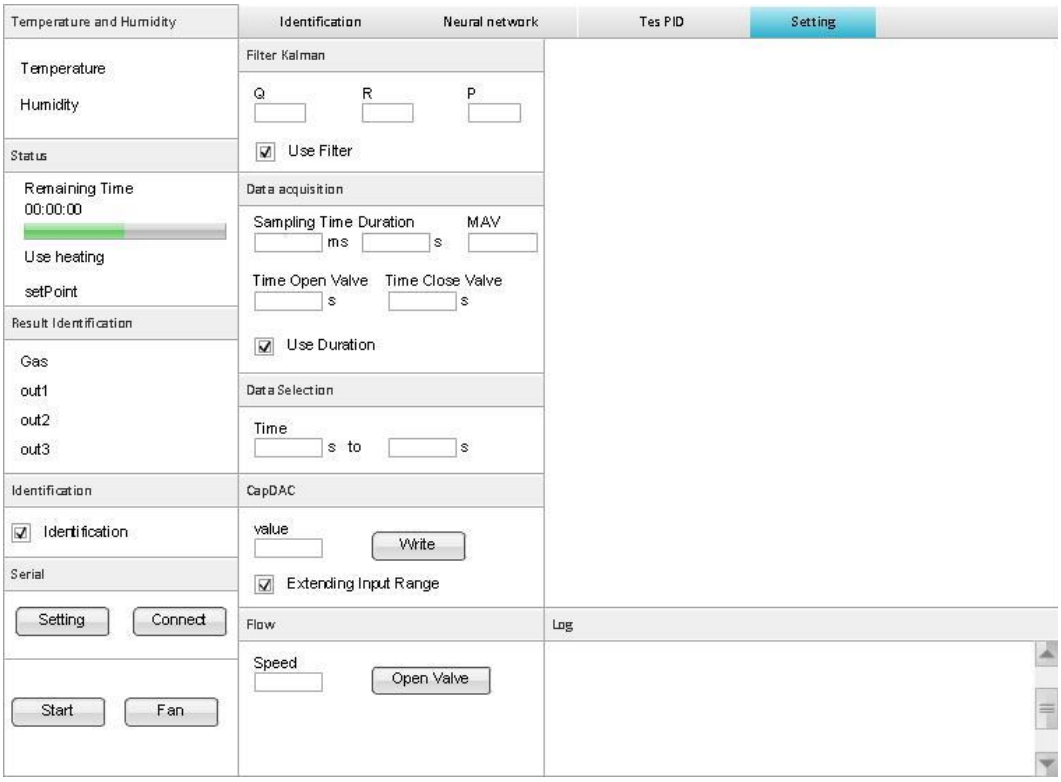


(b)

Gambar 3.19 Desain interface perangkat lunak (a) Identifikasi (b) Pembelajaran *Neural Network*



(c)



(d)

Gambar 3.19 Desain interface perangkat lunak *Neural Network* (c) TesPID (d) Setting (lanjutan)

3.14. Prosedur Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data dilakukan untuk perubahan suhu dan perubahan kelembaban, Perubahan konsentrasi, pengambilan data pembelajaran NN, dan pengambilan data identifikasi.

3.14.1. Pengambilan Data Perubahan Suhu dan Kelembaban

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

1. Wadah sensor diberi kelembaban dari uap air yang didorong oleh pompa udara.
2. Kelembaban dipertahankan pada tingkat bervariasi, dengan tingkat *Relative Humadity* (RH) 20%, 30%, 40%, dan 50%,
3. Untuk setiap tahap kelembaban (misalnya RH 20%), maka secara bertahap suhu dinaikkan dari 27ºC, 30ºC, 35ºC, dan 40ºC. Kententuan menaikan suhu apabila respon perubahan nilai kapasitansi dari masing-masing sensor telah mencapai steady state untuk tiap titik ukur suhu.
4. Pengujian dan pengambilan data sensor *chemocapacitor* terhadap perubahan suhu pada setiap tingkatan kelembaban.

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

1. Suhu pada wadah sensor diatur bervariasi, dengan tingkat 27ºC, 30ºC, 35ºC, dan 40ºC.
2. Pada setiap tingkatan suhu, maka secara bertahap RH dinaikkan dari 20%, 30%, 40%, dan 50% pengontrolan kelemaban dilakukan secara manual dengan cara membuka tutup katup untuk mengalirkan uap air. Kententuan menaikan kelembaban jika response sensor telah menunjukan *steady state*.
3. Pengujian dan pengambilan data sensor *chemocapacitor* terhadap perubahan kelembaban pada setiap tingkatan suhu.

3.14.2. Pengambilan Data Perubahan Konsentrasi

Pengujian sensor *chemocapacitor* dilakukan pada perubahan konsentrasi, dimana data yang didapatkan menjadi karakteristik sensor *chemocapacitor* tersebut. Prosedur pengambilan data perubahan konsentrasi terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

1. Sebelum melakukan pengambilan data perubahan konsentrasi pastikan wadah sensor dalam keadaan bersih.
2. Tutup semua katup agar gas yang disuntikan kedalam wadah sensor tidak hilang.
3. Sampel gas dengan volume 2 µl disuntikan melalui port injeksi.
4. Lihat response sensor *chemocapacitor* sampai mencapai steady state kemudian masukan sampel gas dengan volume 2 µl, sehingga kondisi sekarang teradapat 4ul sampel gas didalam wadah sensor.
5. Lakukan proses 4 sampai volume sampel gas dalam wadah sensor mencapai 10 µl.

Untuk menghitung konsentrasi dalam ppm atau ml/m^3 (c) menggunakan rumus seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (3.7,

$$c = \frac{V_m}{M} \times \frac{V_g \rho_g}{V_c} 10^3 \qquad (3.7)$$

dimana V_m adalah molar standar dari gas ideal pada tekanan 1 bar dan suhu 298^{o}K sebesar $24{,}45\,\mathrm{m}L/mmol$. M adalah massa molar gas sebesar 46,07 mg/mmol untuk etanol, 58,08 mg/mmol untuk aseton dan 86.18 mg/mmol untuk heksana. V_c adalah volume wadah sensor *chemocapacitor* dalam m^3 sebesar $4{,}1472 \times 10^{-5}\,\mathrm{m}^3$. V_g adalah volume gas dalam ml. ρ_g adalah massa jenis gas sebesar 0,789 g/ml untuk etanol, 0,791 g/ml untuk aseton dan 0,6548 g/ml untuk heksana.

Konsentrasi etanol dalam ppm untuk volume $2\ \mu l$ dapat ditentukan, yaitu :

$$c = \frac{24{,}45}{46{,}07} \times \frac{0{,}002 \times 0{,}789}{4{,}1472 \times 10^{-5}} \times 10^3$$
$$= 20201.23\ \mathrm{ppm}$$

dari hasil yang diperoleh, maka dapat dihitung konsentrasi sampel gas dalam ppm untuk volume $2\,\mu l$, $4\,\mu l$, $6\,\mu l$ dan $10\,\mu l$. Konsentrasi sampel gas dalam ppm ditunjukkan dalam Tabel 3.5 Konsentrasi sampel gas dalam ppm.

Tabel 3.5 Konsentrasi sampel gas dalam ppm.

Volume (μl)	Etanol (ppm)	Aseton (ppm)	Heksana (ppm)
2	20201.23	16058.45	8958.93
4	40402.46	32116.91	17917.9
6	60603.68	48175.36	26876.8
8	80804.91	64233.82	35835.7
10	101006.1	80292.27	44794.6

3.14.3. Pengambilan Data Pembelajaran *Neural Network*

Pengambilan data pembelajaran *neural network* (NN) terdiri dari 2 data tiap kondisi suhu, karena variasi suhu ada 4 maka total masing-masing sampel untuk tiap uap pelarut organik adalah 8. Data dalam domain waktu diambil sebanyak 800 detik untuk setiap jenis gas. Pada setiap pengambilan data, udara bersih dimasukkan dari detik ke 0 sampai detik ke 100, selanjutnya mengalirkan gas dari detik ke 101 sampai detik ke 550, kemudian mengalirkan udara bersih kembali dari detik ke 551 sampai detik ke 800. Data yang dijadikan pempelajaran adalah nilai normalisasi dari nilai rata-rata perubahan kapasitansi dari detik ke 300 sampai detik ke 400,

Pengambilan data menggunakan menu identifikasi tetapi checkbox identifikasinya tidak dicentang seperti yang terlihat pada Gambar 3.19(a). apabila ingin melakukan variasi suhu dapat diubah dengan memasukan nilai suhu dalam derajat celcius pada “setpoint heater”, kemudian tekan tombol “Start”. Selama proses pengambilan data pembelajaran seluruh data ditampilkan dalam Chart kapasitansi dan dapat disimpan dengan cara menekan tombol “Save” untuk menyimpan keseluruhan data kapasitansi sensor dari awal sampai akhir pengambilan data. Untuk menyimpan data normalisasi masuk menu normaliasi di menu identifikasi kemudian tekan tombol “Save” seperti yang ditunjukkan pada

Gambar 3.19(a). Format sununan data normalisasi hasil penyimpanan ditunjukan pada Tabel 3.6.

Setelah data normalisasi dari semua sampel gas disimpan, langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data normalisasi dan menentukan target *output* NN yang akan digunakan untuk pembelajaran NN. Data pembelajaran dikumpulkan dan dijadikan dalam satu file serta diberi nama "dnn.xls", kemudian target *output* NN disusun berdasarkan susunan data pembelajaran dan disimpan dengan nama "tnn.xls". Susunan data pembelajaran dan target output ditunjukkan pada Gambar 3.20 dan Gambar 3.21. Proses pengumpulan data untuk pembelajaran, target *output*, dan pemberian nama file dilakukan menggunakan program Micorsoft Excel.

Tabel 3.6 Format sununan data normalisasi

OV-101	PEG-1540	OV-17	Apeizon	EPON 1001	PVP	PEG 20M	PEG 6000

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	No	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	ac1	ac2	ac3
2	OV-101	0.392827	0.412264	0.430212	0.418482	0.505995	0.446496	0.516546	0.477815	0.342382	0.301653	0.397338
3	PEG-1540	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	OV-17	0.055547	0.062293	0.045983	0.064892	0.153946	0.102098	0.155326	0.068268	0.211985	0.243256	0.249573
5	Apeizon	0.028832	0.024717	0.017298	0.027013	0.123333	0.020597	0.12199	0.056611	0.202894	0.16691	0.216986
6	EPON-100	0.033919	0.039434	0.03188	0.042753	0.209311	0.103851	0.2881	0.116363	0.366563	0.327257	0.295663
7	PVP	0.515242	0.543534	0.465972	0.510947	0.668654	0.682985	0.584321	0.631118	0.403528	0.417999	0.422916
8	PEG-20M	0.209456	0.211436	0.179324	0.210073	0.28484	0.237966	0.309912	0.272966	0.225697	0.246598	0.267652
9	PEG-6000	0.418748	0.439073	0.461446	0.444561	0.523063	0.47523	0.550102	0.515641	0.335115	0.308862	0.400313

Gambar 3.20 Susunan data pembelajaran pada dnn.xls

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	output	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	ac1	ac2
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Gambar 3.21 Susunan data target output pada tnn.xls

3.14.4. Prosedur Pembelajaran Neural Network

Prosedur pembelajaran NN dilakukan pada menu *neural network* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.19(b). langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Proses diawali dengan menekan tombol "Load Input NN" untuk memasukan data pembelajaran yang tersimpan didalam file bernama "dnn.xls".
2. tekan tombol "Load Target*"* untuk memasukkan target *output* NN yang tersimpan didalam file bernama "tnn".
3. Isi nilai *Desired error,* MIU, Alpha dan n hidden layer.
4. Tekan tombol "Start", dan proses pembelajaran akan berjalan. Proses pembelajaran akan berhenti secara otomatis apabila *actual error* memenuhi *desired error* yang ditentukan.
5. Jika proses pembelajaran selesai, tekan tombol tombol "Save weight and 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_b1.csv" untuk bias 1, dan "xx_b2.csv" untuk bias 2, dimana kata "xx" merupakan nama yang diinputkan ketika save. Bobot dan bias akhir ini digunakan pada proses identifikasi jenis gas.

3.14.5. Prosedur Identifikasi Gas

Proses indentifikasi gas dilakukan sebanyak empat kali untuk setiap sampel gas, dan setiap sampel gas memiliki empat kriteria perbedaan suhu, jadi total pengujian untuk setiap sampel gas adalah 16. Sampel gas yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak tiga dan total keseluruhan adalah 48 kali pengujian untuk identifikasi. Urutan pengujian dimulai dari gas N-Heksana, etanol dan aseton.

Pengambilan data pada proses identifikasi gas dilakukan dengan mencentang checkbox identifikasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.19(a). Untuk bobot dan bias hasil pembelajaran *neural network* secara otomatis di *load* oleh program ketika menekan tombol "Start". Hasil akan tertampil pada bagian informasi "Result Identification".

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengujian dan analisa terhadap hasil perancangan dan pembuatan sistem pada bab sebelumnya. Adapun pengujian yang dilakukan terdiri dari :

1. Pengujian hasil pembuatan rangkaian pembaca nilai kapasitansi.
2. Pengujian aliran udara.
3. Pengujian kontrol suhu.
4. Pengujian sensor *chemocapacitor* terhadap perubahan suhu dengan kelembaban tetap.
5. Pengujian sensor *chemocapacitor* terhadap perubahan kelembaban dengan suhu tetap.
6. Pengujian sensor *chemocapacitor* terhadap sampel gas dan pengaruh perubahan suhu.
   6.1 Pengujian sensor *chemocapacitor* terhadap gas etanol.
   6.2 Pengujian sensor *chemocapacitor* terhadap gas aceton.
   6.3 Pengujian sensor *chemocapacitor* terhadap gas n-heksana.
7. Pengujian sensor *chemocapacitor* terhadap perubahan konsentrasi.
   7.1 Pengujian sensor *chemocapacitor* terhadap gas etanol.
   7.2 Pengujian sensor *chemocapacitor* terhadap gas aceton.
   7.3 Pengujian sensor *chemocapacitor* terhadap gas n-heksana.
8. Perbandingan Ketiga Sampel Gas Terhadap Perubahan Suhu.
9. Pengujian *Neural Network.*
10. Pengujian*Neural Network* sebagai pengenalan jenis gas.

4.1. Pengujian Hasil Pembuatan Rangkaian Pembaca Nilai Kapasitansi

4.1.1. Tujuan Pengujian

Rangkaian pembaca nilai kapasitansi merupakan rangkaian paling utama dalam penelitian ini, karena berfungsi untuk membaca nilai kapasitansi dari sensor *chemocapacitor*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keliniearan

dari rangkaian pembaca nilai kapasitansi untuk setiap kanalnya dan mengetahui pembacaan nilai digital dari masing-masing sensor *chemocapacitor* yang dibuat untuk di ketahui nilai kapasitansinya.

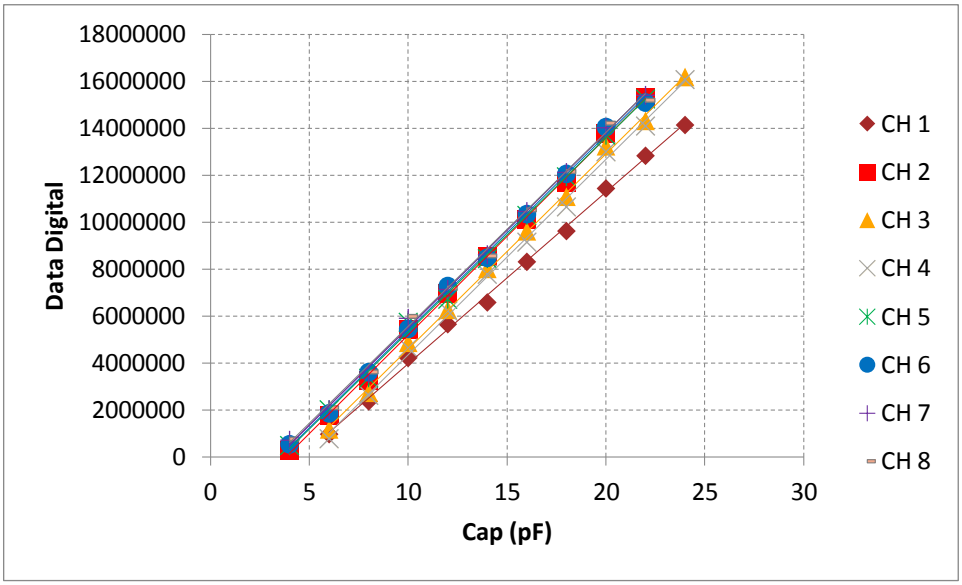
4.1.2. Prosedur Pengujian

Pengujian rangkaian pemabaca nilai kapasitansi dilakukan dengan membaca nilai kapasitor dari kapasitor yang ada di pasaran selama 20 detik kemudian hasil data yang diperoleh di rata-rata dan membaca nilai digital dari sensor *chemocapacitor* yang dibuat..

4.1.3. Hasil Pengujian dan Analisa

Proses pengujian ini menggunakan nilai CAPDAC 65. Hasil pengujian menunjukkan respon rangkaian pembaca nilai kapasitansi untuk setiap kanalnya memiliki respon linier, walaupun tiap channel memiliki nilai gradien yang berlainan. dan memiliki nilai minimum dan maxiumum yang berbeda-beda jika nilai minumnya 4pF maka nilai maksimumnya 22pF, jika nilai minimumnya 6pF maka nilai maksimumnya 24pF. Respon rangkaian pembaca nilai kapasitansi ditunjukkan pada Gambar 4.1. Regresi linier respons AD7746 dan multiplekser analog dalam membaca nilai kapasitansi ditunjukkan pada Tabel 4.1. Berdasarkan Tabel 4.1 konversi data dari nilai digital ke kapasitansi dapat dilakukan.

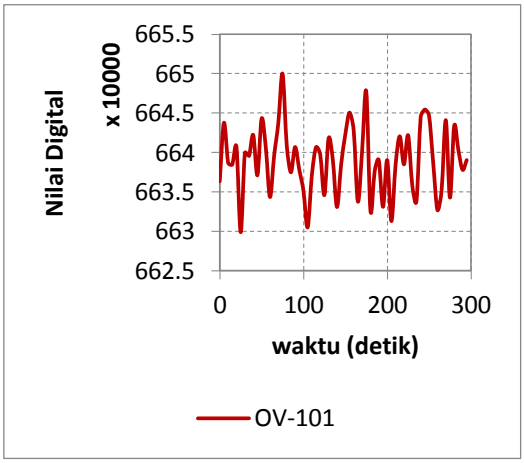
Hasil pembacaan terlihat sinyal membentuk pola flat tetapi pembacaannya ada noisenya sehingga pada proses selanjutnya butuh pemfilteran untuk memperhalus sinyal. Range pembacaan nilai digital dari sensor *chemocapacitor* berkisar antara $3.2x10^6 – 7.5x10^6$ sehingga berdasarkan Gambar 4.1 maka sensor *chemocapacitor* mempunyai nilai kapasitansi berkisar antara 8 – 14pF.



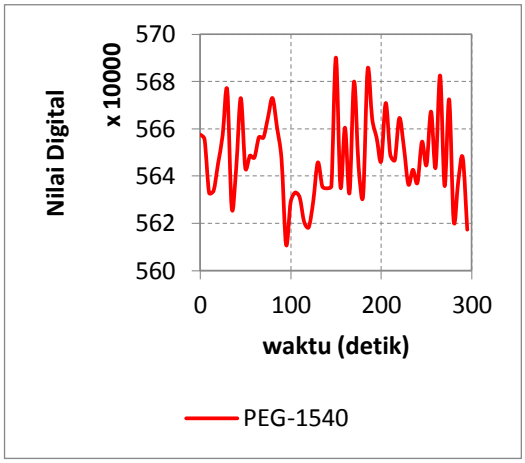
Gambar 4.1 Respons AD7746 dan multiplekser analog dalam membaca nilai kapasitansi

Tabel 4.1 Regresi linier respons AD7746 dan multiplekser analog dalam membaca nilai kapasitansi

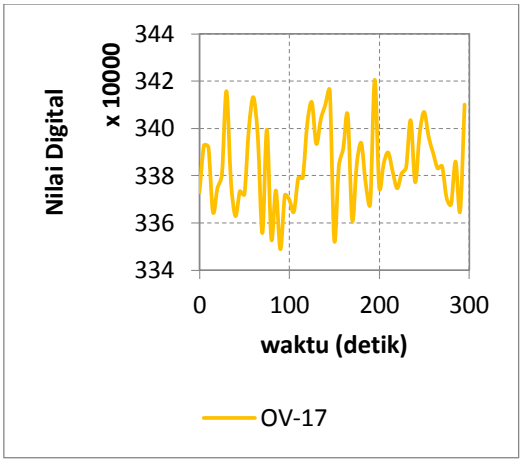
Saluran	Regresi Linier	R^2
CH1	y = 7.313E+05x - 3.352E+06	0.9983
CH2	y = 8.391E+05x - 3.192E+06	0.9989
CH3	y = 8.301E+05x - 3.698E+06	0.9986
CH4	y = 8.310E+05x - 3.958E+06	0.9977
CH5	y = 8.267E+05x - 2.950E+06	0.9982
CH6	y = 8.304E+05x - 2.795E+06	0.9983
CH7	y = 8.249E+05x - 2.687E+06	0.9982
CH8	y = 7.313E+05x - 3.352E+06	0.9972



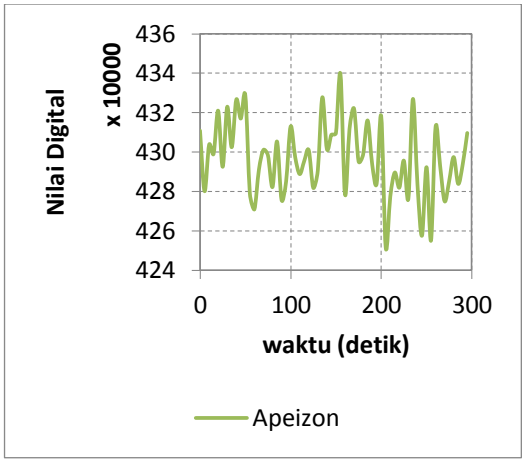
(a)



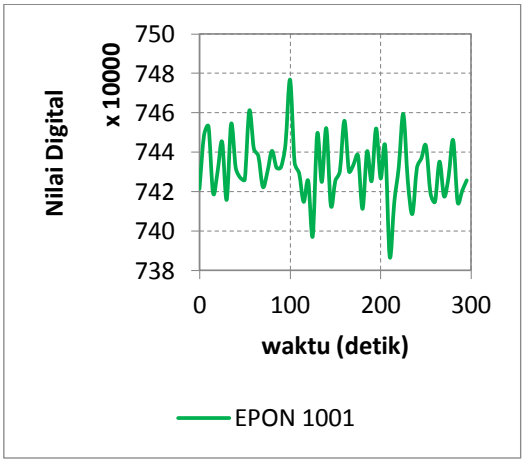
(b)



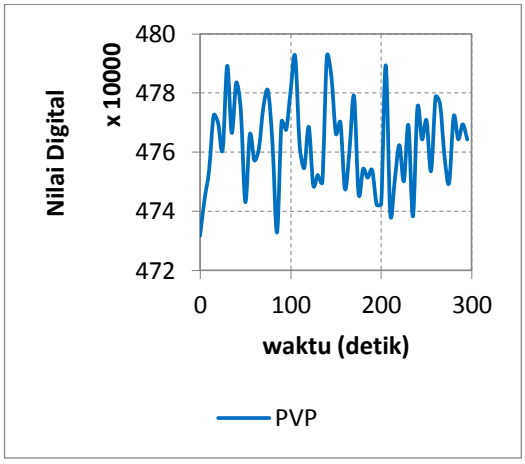
(c)



(d)

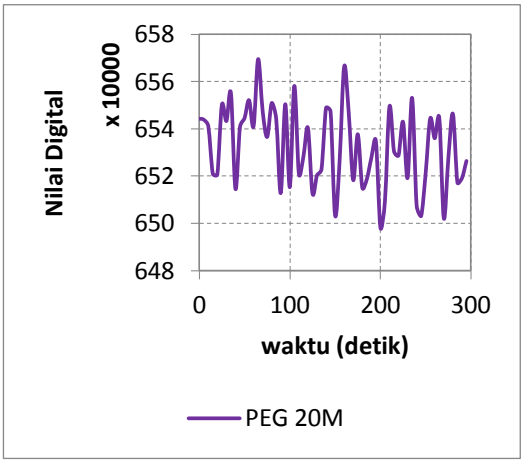


(e)

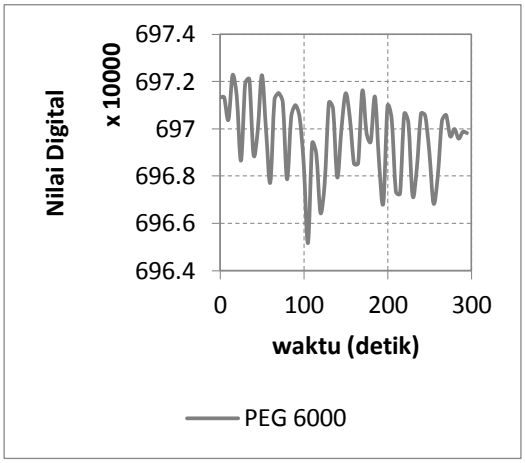


(f)

Gambar 4.2 Hasil pembacaan nilai digital sensor *chemocapacitor* (a)OV-101 (b) PEG-1540 (c) OV-17 (d) Apeizon (e) Epon-1001 (f) PVP



(g)



(h)

Gambar 4.2 Hasil Pembacaan nilai digital sensor *chemocapacitor* (g) PEG 20M (h) PEG-6000 (lanjutan)

4.2. Pengujian Aliran Udara

4.2.1. Tujuan Pengujian

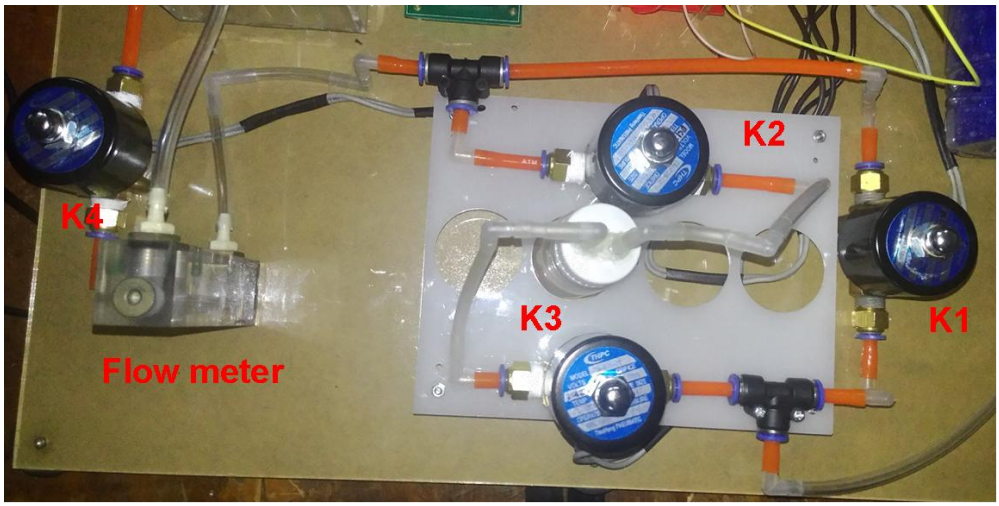
Pengujian mekanik saluran aliran udara bertujuan untuk mengetahui apakah disetiap titik persambungan terjadi kebocoran atau tidak dan menentukan nilai PWM motor yang berkesesuaian dengan kecepatan aliran 0.1 LPM.

4.2.2. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian saluran 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. Prosedur pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.3.

4.2.3. Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian perubahan aliran tidak terjadi perbedaan aliran. Sejumlah titik pengecekan dapat dilihat pada Gambar 4.3, dan hasil dari pengecekan dapat dilihat pada Tabel 4.2. Penggunaan nilai PWM untuk mengatur kecepatan pompa udara agar kecepatan aliran udara 0.1 LPM berkisar antara 90 – 120, hal ini terjadi karena kecepatan motor dalam suatu waktu berubah – ubah.



Gambar 4.3 Pengecekan saluran aliran udara

Tabel 4.2 Hasil Pengecekan Saluran Udara

NO	Kondisi Katup		Hasil Pengukuran (LPM)	Status aliran
	Buka	Tutup		
1	K1, K4	K2,K3	0.1	Mengalirkan Udara bersih / kering
2	K2, K3,K4	K1	0.1	Mengalirkan ke wadah sampel gas 1

4.3. Pengujian Kontrol Suhu

4.3.1. Tujuan Pengujian

Kontrol suhu merupakan hal terpenting didalam sistem sensor *chemocapacitor*. Kontrol suhu berfungsi untuk mengendalikan suhu pada wadah sensor *chemocapacitor*. 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.

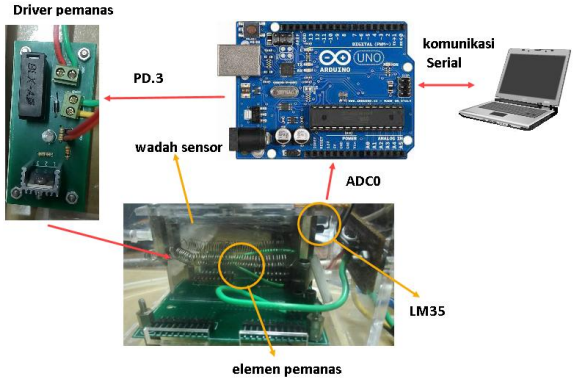
4.3.2. Prosedur Pengujian

Pengujian terhadap kontrol suhu dilakukan dengan cara memberi *set-point* suhu 27°C, 30°C, 35°C, dan 40°C. Untuk mengamati respon suhu menggunakan

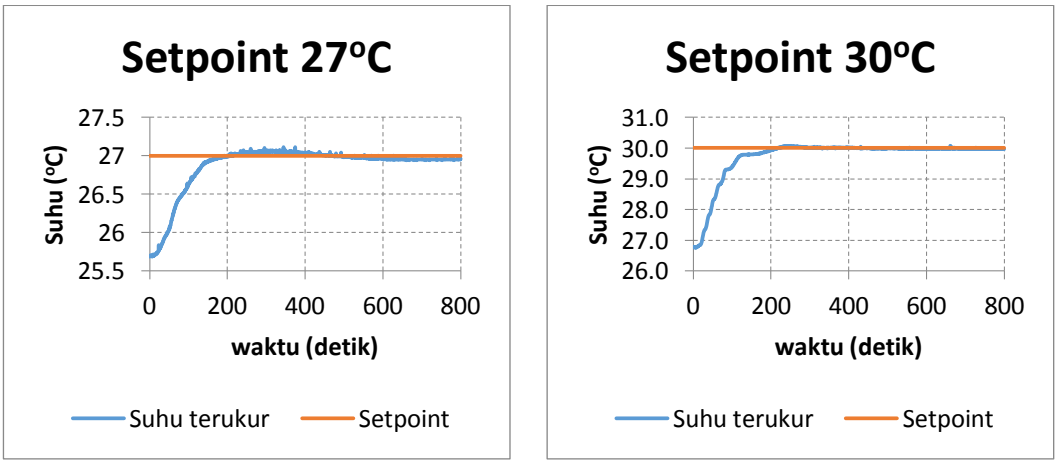
program antara muka pada komputer. Lama pengujian untuk setiap setpoint suhu adalah 800 detik. Skema pengujian kontrol suhu dapat dilihat pada Gambar 4.4.

4.3.3. Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian terhadap kontrol suhu dapat dilihat pada Gambar 4.. Dimana hasil dari suhu yang dikontrol berjalan dengan baik. *Overshoot* yang paling tinggi ketika *set-point* diinginkan pada suhu 40^{o}C yaitu 1,25%, sedangkan *overshoot* paling rendah ketika *set-point* diinginkan pada suhu 30^{o}C yaitu 0,23%. Jika dibuat kriteria *steady state error* mempunyai error 0,5^{o}C, kontrol suhu yang dirancang telah memenuhi.

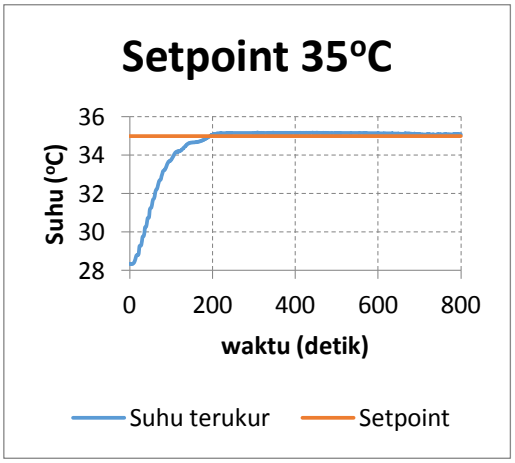


Gambar 4.4 Skema pengujian kontrol suhu

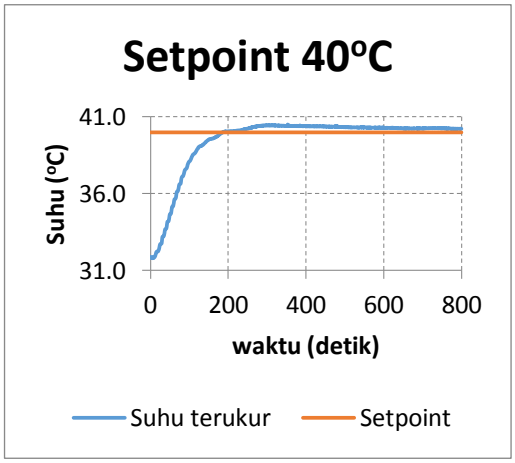


(a) (b)

Gambar 4.5 Grafik response suhu (a) *set point* 27^{o}C (b) *set point* 30^{o}C



(c)



(d)

Gambar 4.5 Grafik response (c) *set point* 35^{o}C (d) *set point* 40^{o}C (lanjutan)

4.4. Pengujian Sensor *Chemocapacitor* Terhadap Perubahan Suhu Dengan Kelembaban Tetap

4.4.1. Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui bagaimana karakteristik respon kapasitansi untuk setiap sensor *chemocapacitor* terhadap perubahan suhu pada tingkat kelembaban tetap. Dengan mengetahui respon kapasitansi setiap sensor *chemocapacitor*, maka dapat diketahui tingkat sensitifitas sensor *chemocapacitor* pada tingkat suhu tertentu.

4.4.2. Prosedur pengujian

Prosedur pengujian ini dilakukan dengan cara 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 20%, 30%, 40%, dan 50%.
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 27ºC , 30ºC, 35ºC dan 40ºC.

5. Perubahan nilai kapasitansi pada setiap variasi kelembaban diamati dan disimpan dengan program pada komputer.

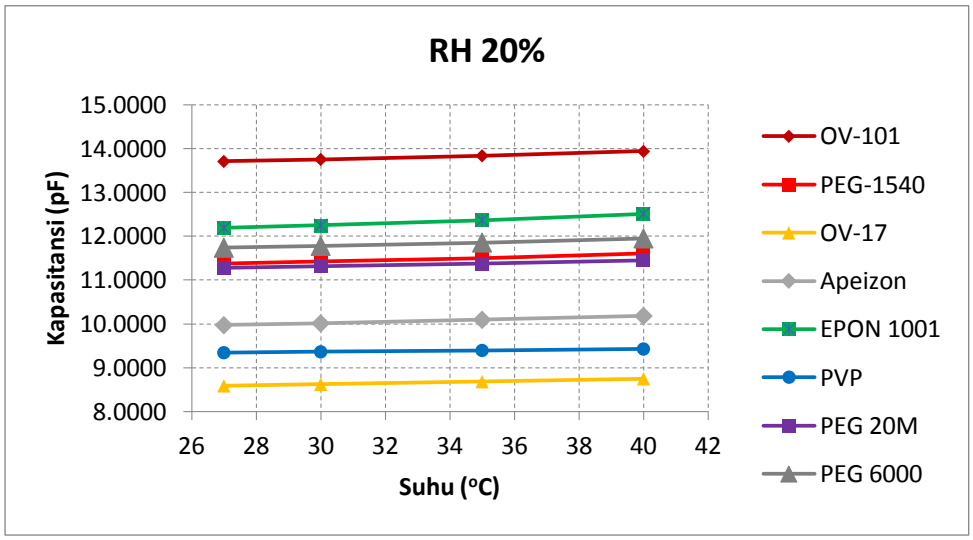
4.4.3. Hasil Pengujian dan Analisa

Perubahan suhu dilakukan jika pola perubahan kapasitansi pada setiap titik ukur suhu tidak mengalami perubahan (*steady state*). Nilai rata-rata kapasitansi pada kondisi *steady state* ini mewakili nilai kapasitansi untuk setiap titik ukur suhu. Pengamatan dilakukan pada variasi kelembaban 20%, 30%, 40%, dan 50%. Setiap kondisi kelembaban dilakukan perubahan suhu pada titik ukur 27^{o}C, 30 ^{o}C, 35^{o}C, dan 40^{o}C.

4.4.3.1 Hasil Pengujian dan Analisa pada RH 20%

Hasil pengujian sensor *chemocapacitor* pada RH 20% dapat dilihat pada Gambar 4.6. Ketika suhu dinaikkan dari 27ºC sampai 40ºC, setiap lapisan polimer mengalami kenaikan nilai kapasitansi dengan laju kenaikan yang berbeda-beda.

Hasil regresi linier dari Gambar 4.6 ditunjukkan pada Tabel 4.3. Sensor *chemocapacitor* terlapis polimer PVP menunjukan linieritas terbaik dengan R^2 sebesar 0.9998. Polimer EPON 1001 mengalami perubahan kapasitansi terbesar untuk setiap 1^{o}C yaitu 0.025 pF dan polimer PVP mengalami perubahan kapasitansi terkecil untuk setiap 1^{o}C yaitu 0.0065 pF, hal ini berarti pada kelembaban 20%, polimer EPON 1001 sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan polimer PVP paling tahan terhadap perubahan suhu.



Gambar 4.6 Grafik pengujian sensor *chemocapacitor* pada RH 20%

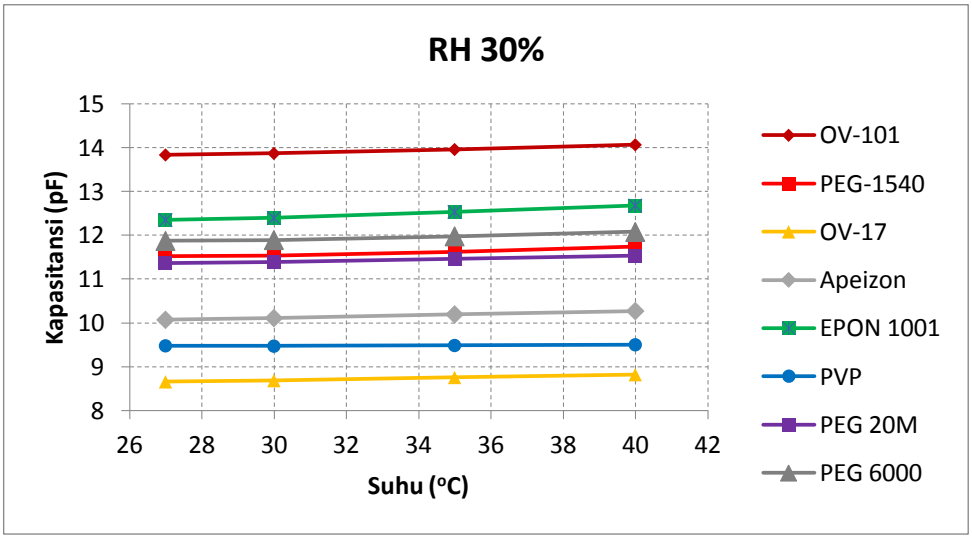
Tabel 4.3 Regresi linier perubahan suhu pada RH 20%

RH (%)	Lapisan Polimer	Regresi Linier	R^2
20%	OV-101	y = 0.0177x + 13.228	0.9885
	PEG-1540	y = 0.0177x + 10.892	0.9942
	OV-17	y = 0.0125x + 8.2466	0.9989
	Apeizon Wax W	y = 0.0162x + 9.5305	0.9981
	EPON 1001	y = 0.025x + 11.507	0.9931
	PVP	y = 0.0065x + 9.1706	0.9998
	PEG 20M	y = 0.0136x + 10.907	0.9992
	PEG 6000	y = 0.0163x + 11.297	0.9953

4.4.3.2 Hasil Pengujian dan Analisa pada RH 30%

Hasil pengujian sensor *chemocapacitor* pada RH 30% dapat dilihat pada Gambar 4.7. Ketika suhu dinaikkan dari 27ºC sampai 40ºC, setiap lapisan polimer mengalami kenaikan dan penurunan nilai kapasitansi.

Hasil regresi linier dari Gambar 4.7 ditunjukkan pada Tabel 4.4. Setiap lapisan polimer memiliki respon kenaikan yang sangat linier kecuali lapasian polimer PVP hal ini karena pada suhu 30^{o}C mengalami penurunan nilai kapasitansi. Polimer EPON 1001 mengalami perubahan kapasitansi terbesar untuk setiap 1^{o}C yaitu 0.026 pF dan polimer PVP mengalami perubahan kapasitansi terkecil untuk setiap 1^{o}C yaitu 0.0021 pF, hal ini berarti pada kelembaban 30%, polimer EPON 1001 sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan polimer PVP paling tahan terhadap perubahan suhu.



Gambar 4.7 Grafik pengujian sensor *chemocapacitor* pada RH 30%

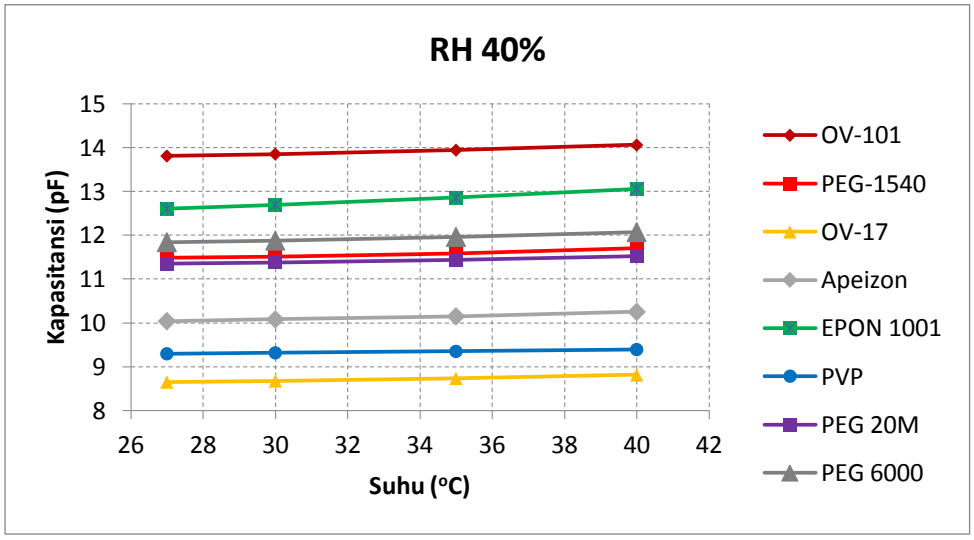
Tabel 4.4 Regresi linier perubahan suhu pada RH 30%

RH (%)	Lapisan Polimer	Regresi Linier	R^2
30%	OV-101	y = 0.018x + 13.338	0.9885
	PEG-1540	y = 0.0169x + 11.047	0.951
	OV-17	y = 0.0128x + 8.3064	0.9965
	Apeizon	y = 0.0157x + 9.6465	0.9985
	EPON 1001	y = 0.026x + 11.633	0.9909
	PVP	y = 0.0021x + 9.4171	0.7819
	PEG 20M	y = 0.0136x + 10.99	0.991
	PEG 6000	y = 0.0162x + 11.421	0.9784

4.4.3.3 Hasil Pengujian dan Analisa pada RH 40%

Hasil pengujian sensor *chemocapacitor* pada RH 40% dapat dilihat pada Gambar 4.8. Ketika suhu dinaikkan dari 27ºC sampai 40ºC, setiap lapisan polimer mengalami kenaikan nilai kapasitansi.

Hasil regresi linier dari Gambar 4.8 ditunjukkan pada Tabel 4.5. Sensor *chemocapacitor* terlapis polimer PVP menunjukan linieritas terbaik dengan R^2 sebesar 0.9968. Polimer EPON 1001 mengalami perubahan kapasitansi terbesar untuk setiap 1^{o}C yaitu 0.0344 pF dan polimer PVP mengalami perubahan kapasitansi terkecil untuk setiap 1^{o}C yaitu 0.0074 pF, hal ini berarti pada kelembaan 40%, polimer EPON 1001 sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan polimer PVP paling tahan terhadap perubahan suhu.



Gambar 4.8 Grafik pengujian sensor *chemocapacitor* pada RH 40%

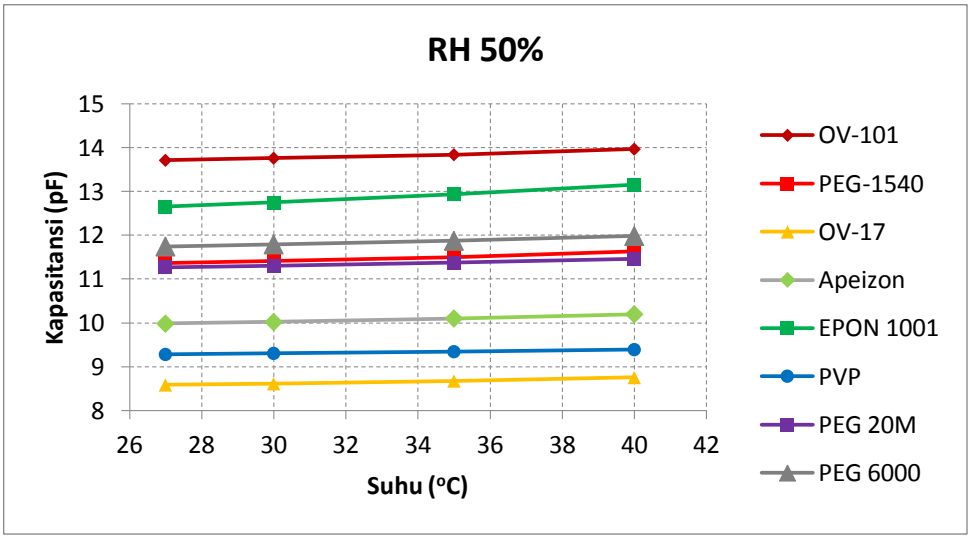
Tabel 4.5 Regresi linier perubahan suhu pada RH 40%

RH (%)	Lapisan Polimer	Regresi Linier	R^2
40%	OV-101	y = 0.0193x + 13.2802	0.9914
	PEG-1540	y = 0.0174x + 10.996	0.9709
	OV-17	y = 0.0126x + 8.3045	0.9862
	Apeizon	y = 0.0162x + 9.5964	0.9891
	EPON 1001	y = 0.0344x + 11.6694	0.9962
	PVP	y = 0.0074x + 9.0976	0.9968
	PEG 20M	y = 0.0132x + 10.9869	0.9929
	PEG 6000	y = 0.0179x + 11.3508	0.9884

4.4.3.4 Hasil Pengujian dan Analisa pada RH 50%

Hasil pengujian sensor *chemocapacitor* pada RH 50% dapat dilihat pada Gambar 4.9. Ketika suhu dinaikkan dari 27ºC sampai 40ºC, setiap lapisan polimer mengalami kenaikan nilai kapasitansi.

Hasil regresi linier dari Gambar 4.9 ditunjukkan pada Tabel 4.6 Sensor *chemocapacitor* terlapis polimer PVP menunjukan linieritas terbaik dengan R^2 sebesar 0.9968.. Polimer EPON 1001 mengalami perubahan kapasitansi terbesar untuk setiap 1^oC yaitu 0.0383 pF dan polimer PVP mengalami perubahan kapasitansi terkecil untuk setiap 1^oC yaitu 0.0084 pF, hal ini berarti pada kelembaban 50%, polimer EPON 1001 sangat sensitif terhadap perubahan suhu sedangkan polimer PVP paling tahan terhadap perubahan suhu.



Gambar 4.9 Grafik pengujian sensor *chemocapacitor* pada RH 50%

Tabel 4.6 Regresi linier perubahan suhu pada RH 50%

RH (%)	Lapisan Polimer	Regresi Linier	R^2
50%	OV-101	y = 0.0194x + 13.1819	0.9850
	PEG-1540	y = 0.02x + 10.8174	0.9878
	OV-17	y = 0.013x + 8.2272	0.9905
	Apeizon	y = 0.0166x + 9.5286	0.9932
	EPON 1001	y = 0.0383x + 11.6091	0.9967
	PVP	y = 0.0084x + 9.0535	0.9975
	PEG 20M	y = 0.0145x + 10.8739	0.9954
	PEG 6000	y = 0.0183x + 11.2458	0.9937

4.5. Pengujian Sensor *Chemocapacitor* Terhadap Perubahan Kelembaban Dengan Suhu Tetap

4.5.1. Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui bagaimana karakteristik respon kapasitansi untuk setiap sensor *chemocapacitor* terhadap perubahan kelembaban pada tingkat suhu tetap. Dengan mengetahui respon kapasitansi setiap sensor *chemocapacitor*, maka dapat diketahui tingkat sensitifitas sensor *chemocapacitor* pada tingkat kelembaban tertentu.

4.5.2. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian ini dilakukan dengan cara 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 27ºC, 30ºC, 35ºC, dan 40ºC.
3. Variasi suhu pada wadah sensor diatur menggunakan sistem kontrol suhu.
4. Setiap variasi suhu, nilai kelembabannnya diubah dari 20%, 30%, 40%, dan 50%.
5. Perubahan kapasitansi pada setiap pengujian diamati dan disimpan menggunakan program di komputer.

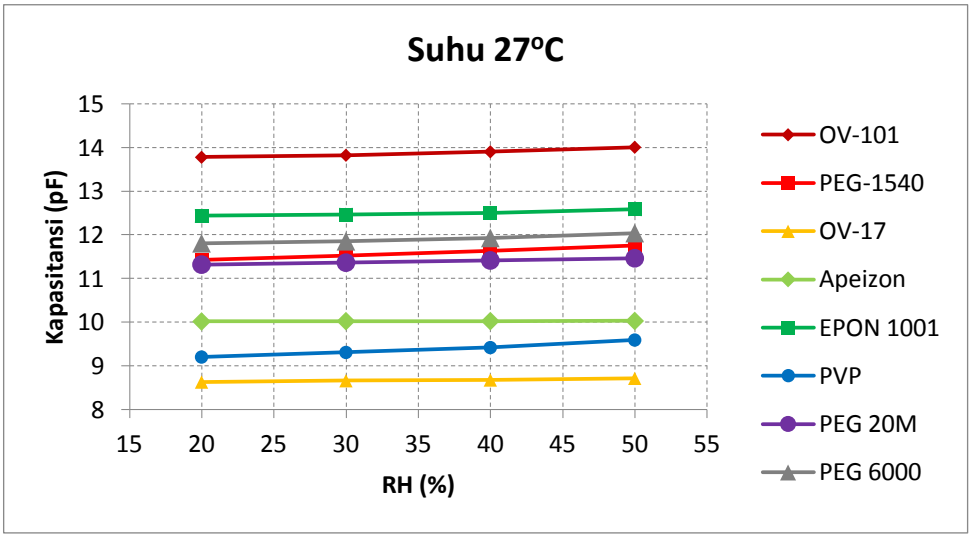
4.5.3. Hasil Pengujian dan Analisa

Perubahan suhu dilakukan jika pola perubahan kapasitansi pada setiap titik ukur suhu tidak mengalami perubahan (*steady state*). Nilai rata-rata kapasitansi pada kondisi *steady state* ini mewakili nilai kapasitansi untuk setiap titik ukur suhu. Pengamatan dilakukan pada variasi suhu 27^{o}C, 30^{o}C, 35^{o}C, dan 40^{o}C. Setiap kondisi suhu dilakukan perubahan kelembaban pada titik ukur 20%, 30%, 40%, dan 50%.

4.5.3.1 Hasil Pengujian dan Analisa pada Suhu 27^{o}C

Hasil pengujian sensor *chemocapacitor* pada suhu 27ºC dapat dilihat pada Gambar 4.10. Ketika kelembaan dinaikkan dari 20% sampai 50%, setiap lapisan polimer mengalami kenaikan nilai kapasitansi dengan laju kenaikan yang berbeda-beda.

Hasil regresi linier dari Gambar 4.10 ditunjukkan pada Tabel 4.7. Sensor *chemocapacitor* terlapis polimer PEG 20M menunjukan linieritas terbaik dengan R^2 sebesar 0,9991. Polimer PVP mempunyai sensitifitas tertinggi terhadap kelambaban yaitu sebesar 0,0128 pF/%RH dan Apeizon mempunyai sensitifias terendah terhadap kelembaban yaitu sebesar 0,004 pF/%RH. Apeizon merupakan tipe polimer non polar sehingga susah mengikat molekul uap air.



Gambar 4.10 Grafik pengujian sensor *chemocapacitor* pada suhu 27°C

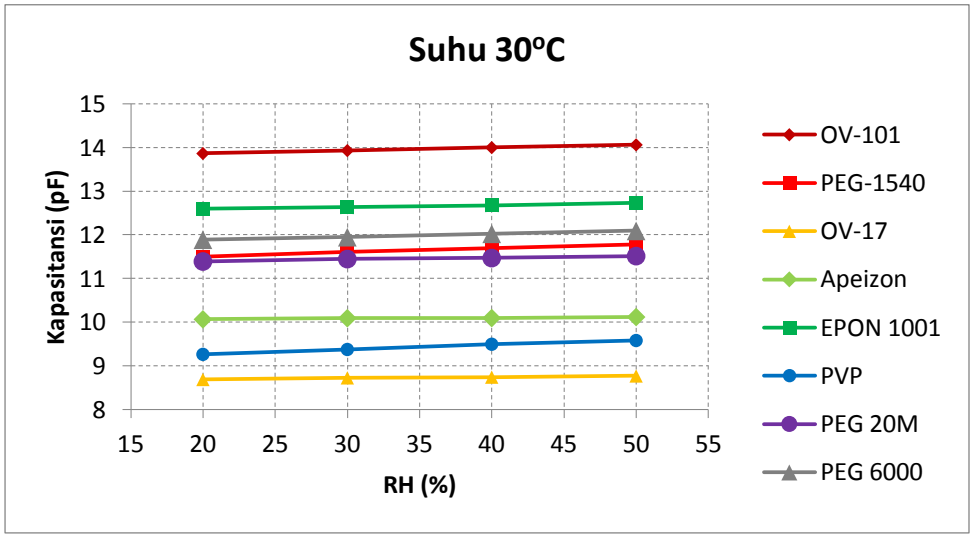
Tabel 4.7 Regresi linier perubahan suhu pada suhu 27°C

Suhu(°C)	Lapisan Polimer	Regresi Linier	R^2
27	OV-101	y = 0.0077x + 13.6092	0.9723
	PEG-1540	y = 0.0107x + 11.2096	0.9966
	OV-17	y = 0.0027x + 8.5737	0.9807
	Apeizon	y = 0.0004x + 10.0099	0.9018
	EPON 1001	y = 0.0048x + 12.328	0.9444
	PVP	y = 0.0128x + 8.9314	0.9848
	PEG 20M	y = 0.0049x + 11.2204	0.9991
	PEG 6000	y = 0.0078x + 11.6368	0.9662

4.5.3.2 Hasil Pengujian dan Analisa pada Suhu 30°C

Hasil pengujian sensor *chemocapacitor* pada suhu 30°C dapat dilihat pada Gambar 4.11. Ketika kelembaan dinaikkan dari 20% sampai 50%, setiap lapisan polimer mengalami kenaikan nilai kapasitansi dengan laju kenaikan yang berbeda-beda.

Hasil regresi linier dari Gambar 4.11 ditunjukkan pada Tabel 4.8. Sensor *chemocapacitor* terlapis polimer OV 101 menunjukan linieritas terbaik dengan R^2 sebesar 0,9996. Polimer PVP mempunyai sensitifitas tertinggi terhadap kelambaban yaitu sebesar 0,0107 pF/%RH dan Apeizon mempunyai sensitifias terendah terhadap kelembaban yaitu sebesar 0,0016 pF/%RH. Apeizon merupakan tipe polimer non polar sehingga susah mengikat molekul uap air.



Gambar 4.11 Grafik pengujian sensor *chemocapacitor* pada suhu 30°C

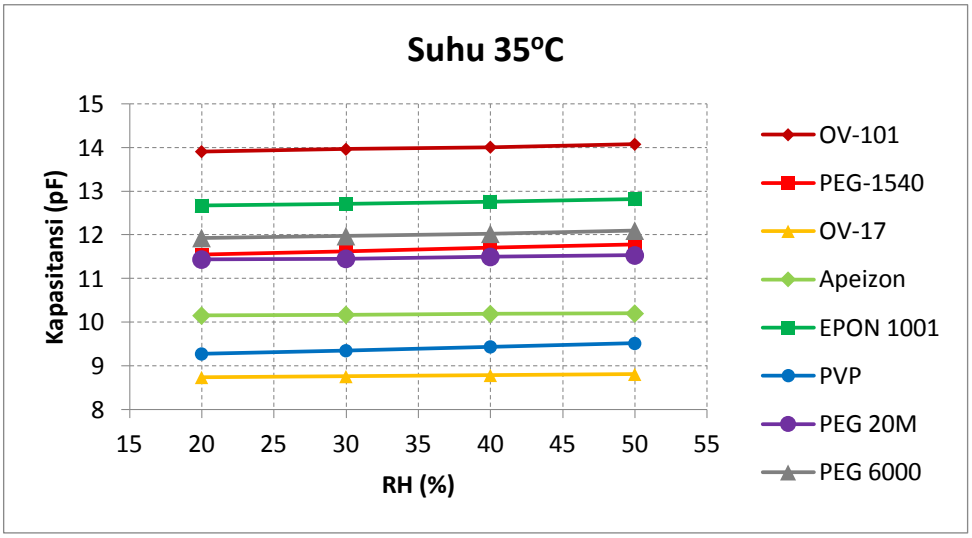
Tabel 4.8 Regresi linier perubahan suhu pada suhu 30°C

Suhu(°C)	Lapisan Polimer	Regresi Linier	R^2
30	OV-101	y = 0.0066x + 13.7322	0.9996
	PEG-1540	y = 0.0091x + 11.3237	0.9975
	OV-17	y = 0.0026x + 8.6403	0.9777
	Apeizon	y = 0.0016x + 10.0351	0.9354
	EPON 1001	y = 0.0046x + 12.4967	0.9840
	PVP	y = 0.0107x + 9.0532	0.9955
	PEG 20M	y = 0.0039x + 11.3172	0.9780
	PEG 6000	y = 0.0068x + 11.7494	0.9973

4.5.3.3 Hasil Pengujian dan Analisa pada Suhu 35°C

Hasil pengujian sensor *chemocapacitor* pada suhu 35°C dapat dilihat pada Gambar 4.12. Ketika kelembaan dinaikkan dari 20% sampai 50%, setiap lapisan polimer mengalami kenaikan nilai kapasitansi dengan laju kenaikan yang berbeda-beda.

Hasil regresi linier dari Gambar 4.10 ditunjukkan pada Tabel 4.9. Sensor *chemocapacitor* terlapis polimer PVP menunjukan linieritas terbaik dengan R^2 sebesar 0.9990. Polimer PVP mempunyai sensitifitas tertinggi terhadap kelambaban yaitu sebesar 0.0081 pF/%RH dan Apeizon mempunyai sensitifias terendah terhadap kelembaban yaitu sebesar 0.0016 pF/%RH. Apeizon merupakan tipe polimer non polar sehingga susah mengikat molekul uap air.



Gambar 4.12 Grafik pengujian sensor *chemocapacitor* pada suhu 35°C

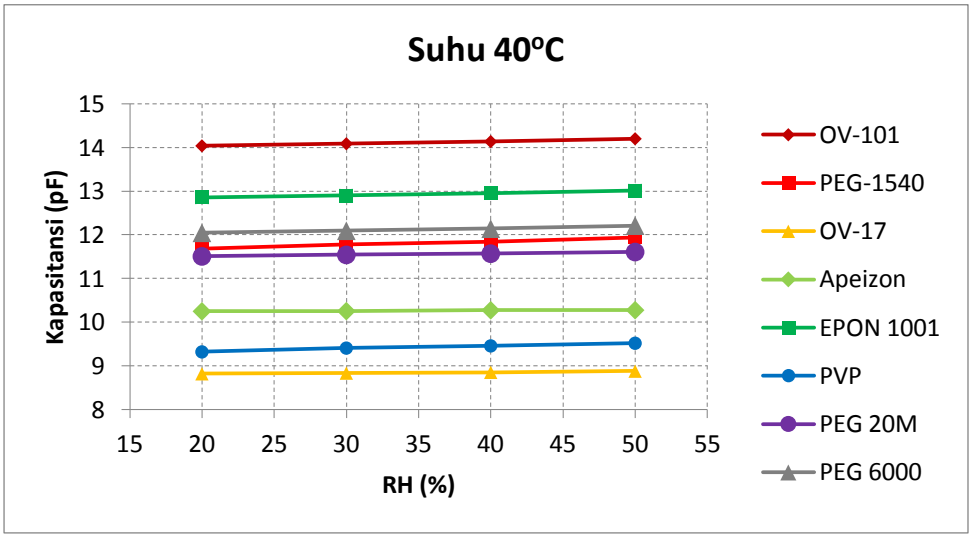
Tabel 4.9 Regresi linier perubahan suhu pada suhu 35°C

Suhu(°C)	Lapisan Polimer	Regresi Linier	R^2
35	OV-101	y = 0.0055x + 13.7947	0.9952
	PEG-1540	y = 0.0078x + 11.3886	0.9980
	OV-17	y = 0.0024x + 8.6845	0.9982
	Apeizon	y = 0.0016x + 10.1195	0.9839
	EPON 1001	y = 0.0048x + 12.5703	0.9892
	PVP	y = 0.0081x + 9.1077	0.9990
	PEG 20M	y = 0.0033x + 11.3627	0.9734
	PEG 6000	y = 0.0056x + 11.8102	0.9871

4.5.3.4 Hasil Pengujian dan Analisa Pada Suhu 40°C

Hasil pengujian sensor *chemocapacitor* pada suhu 40°C dapat dilihat pada Gambar 4.13. Ketika kelembaan dinaikkan dari 20% sampai 50%, setiap lapisan polimer mengalami kenaikan nilai kapasitansi dengan laju kenaikan yang berbeda-beda.

Hasil regresi linier dari Gambar 4.13 ditunjukkan pada Tabel 4.10. Sensor *chemocapacitor* terlapis polimer PEG 20M menunjukan linieritas terbaik dengan R^2 sebesar 0.9971. Polimer PEG 1540 mempunyai sensitifitas tertinggi terhadap kelambaban yaitu sebesar 0.0085 pF/%RH dan Apeizon mempunyai sensitifias terendah terhadap kelembaban yaitu sebesar 0.001 pF/%RH. Apeizon merupakan tipe polimer non polar sehingga susah mengikat molekul uap air.



Gambar 4.13 Grafik pengujian sensor *chemocapacitor* pada suhu 40°C

Tabel 4.10 Regresi linier perubahan suhu pada suhu 40°C

Suhu(°C)	Lapisan Polimer	Regresi Linier	R^2
40	OV-101	y = 0.0053x + 13.9297	0.9958
	PEG-1540	y = 0.0085x + 11.5105	0.9909
	OV-17	y = 0.002x + 8.7759	0.9827
	Apeizon	y = 0.001x + 10.2284	0.8908
	EPON 1001	y = 0.0053x + 12.7474	0.9948
	PVP	y = 0.0064x + 9.1999	0.9869
	PEG 20M	y = 0.0033x + 11.4418	0.9971
	PEG 6000	y = 0.0054x + 11.935	0.9888

4.6. Pengujian Sensor *Chemocapacitor* Terhadap Sampel Gas dan Pengaruh Perubahan Suhu

4.6.1. Tujuan Pengujian

Pengujian sensor *chemocapacitor* terhadap sampel gas dan perubahan suhu bertujuan untuk memperoleh hubungan antara perubahan suhu dan sampel gas terhadap perubahan kapasitansi masing-masing sensor. Sehingga diperoleh informasi mengenai sensitivitas sensor *chemocapacitor* terhadap tingkatan suhu dan sampel gas.

4.6.2. Prosedur pengujian

Prosedur pengujian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Wadah sensor terlebih dahulu dibersihkan dengan udara kering dari silika gel dari detik ke 0 sampai detik ke 100.
2. Sampel gas dialirkan ke wadah sensor dari detik ke 101 sampai detik ke 550.
3. Wadah sensor dibersihkan kembali dengan udara kering dari silika gel dari detik ke 551 sampai detik ke 800.
4. Mekanisme aliran udara kering dan sampel gas diatur menggunakan mekanik pengatur aliran udara.
5. Pengujian dilakukan dengan variasi suhu 27ºC, 30ºC, 35ºC, dan 40ºC.
6. Setiap variasi suhu dilakukan lima kali pengujian.
7. Hasil pengujian diamati dan disimpan menggunakan program di komputer.

4.6.3. Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Gas Etanol

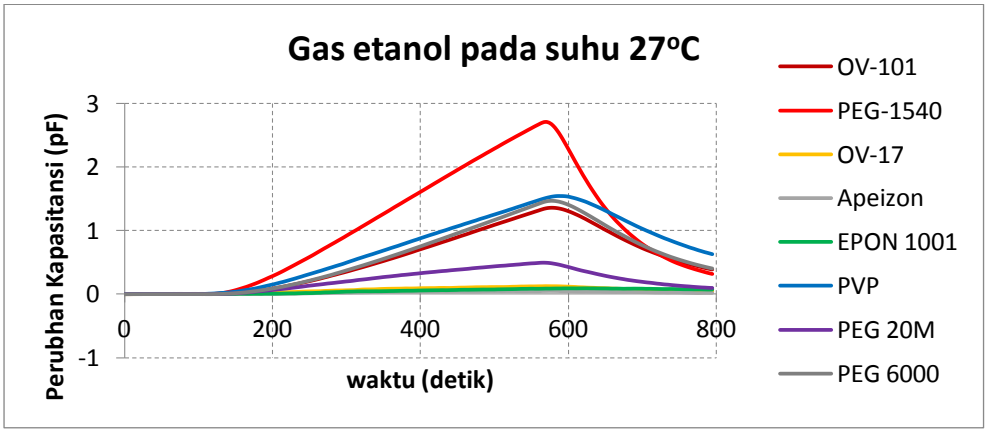
Hasil pengujian gas etanol pada suhu 27ºC, 30ºC, 35ºC, dan 40ºC, dilihat pada Gambar 4., dimana setiap lapisan polimer mempunyai respon berbeda-beda. PEG-1540 mempunyai nilai perubahan kapasitansi terbesar dari semua kondisi suhu yang di ujikan. Waktu dalam pengambilan data ketika berinteraksi dengan gas etanol selama 450 detik belum cukup untuk membuat nilai kapasitansi mencapai *steady state* untuk tiap lapisan polimer, hal ini berarti perubahan kapasitansi masih dapat naik apabila waktu pengambilan data lebih lama.

Tabel 4.11 adalah rata-rata perubahan kapasitansi yang berasal dari lima kali pengujian gas etanol terhadap setiap perubahan suhu. Data yang dianalisa adalah rerata perubahan tegangan dari detik ke-300 sampai detik ke-400. Data yang berasal dari Tabel 4.11 kemudian dibuat grafik regresi linear untuk mengetahui hubungan secara linear antara perubahan suhu dan nilai kapasitansi ketika berinteraksi dengan gas etanol. Grafik regresi linear dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan Regresi linear perubahan suhu pada gas etanol dapat dilihat pada Tabel 4.12.

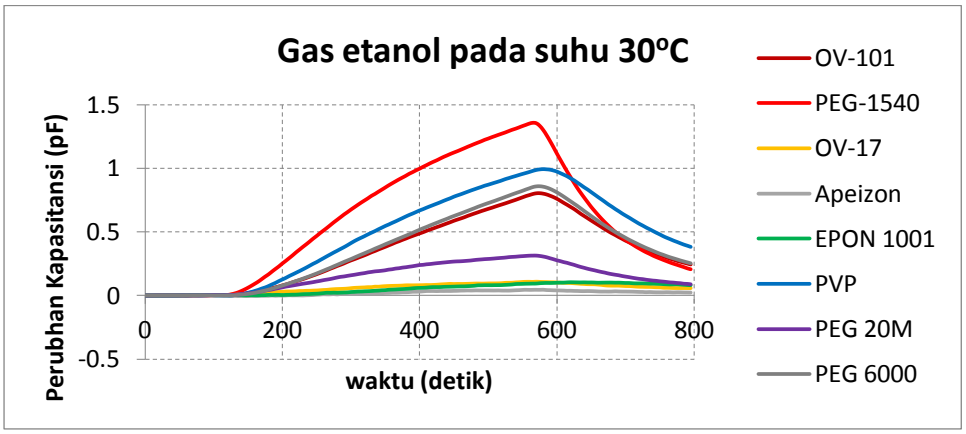
Berdasarkan hasil regresi linier, semakin besar perubahan suhu sensitifitas lapisan polimer ketika berinteraksi dengan etanol semakin menurun. Berdasarkan nilai gradien dari persamaan linier Tabel 4.12, semakin tinggi sensitifitas lapisan

polimer ketika berinteraksi dengan gas etanol, ketika suhu meningkat penurunan sensitifitasnya juga tinggi. Lapisan polimer EPON 1001 dan OV-101 memiliki linieritas perubahan suhu yang tidak baik, dimana R^2 = 0.7688, akan tetapi untuk lapisan polimer EPON 1001 ketika berinteraksi dengan gas etanol sensitifiasnya meningkat seiring dengan meningkatnya suhu.

Normalisasi data digunakan untuk melihat respon dari kedelapan lapisan polimer, sehingga dapat dilihat lapisan polimer yang memiliki respon tertinggi, sampai terendah. Normalisasi data berasal dari rata-rata perubahan kapasitansi pada Tabel 4.12. Berdasarkan normalisasi data pada Gambar 4.16 dapat diketahui bahwa urutan kesensifitasan lapisan polimer terhadap gas etanol dimulai dari yang paling sensitif adalah PEG-1440, PVP, PEG 6000, OV-101, PEG 20M, OV 17, EPON 1001, dan Apeizon.

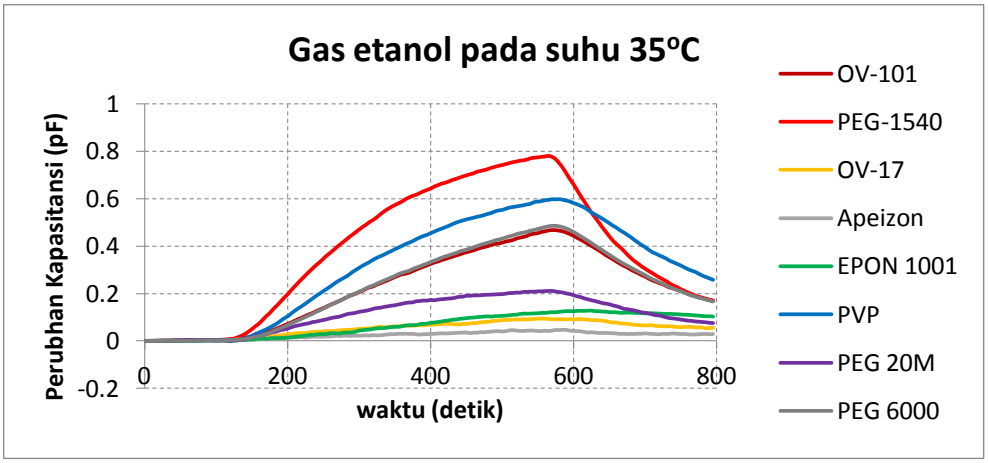


(a)

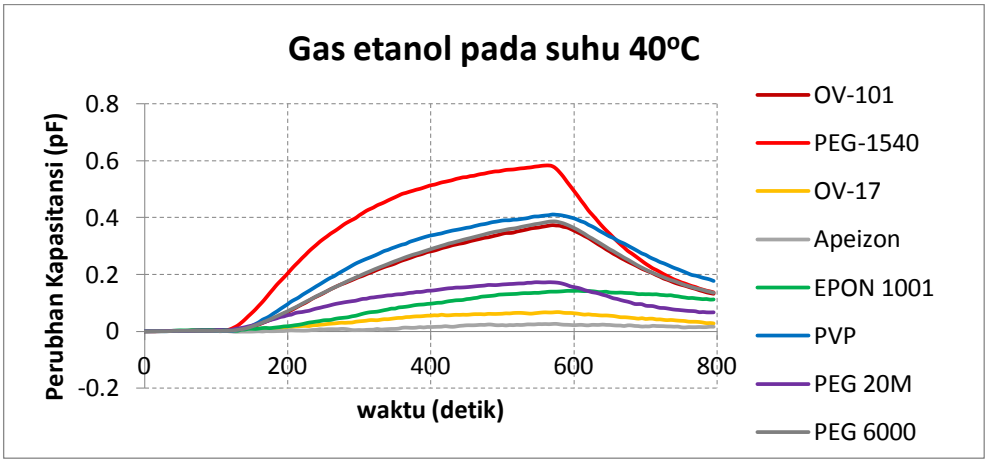


(b)

Gambar 4.14 Grafik respon sensor *chemocapacitor* terhadap gas etanol (a) suhu 27°C (b) suhu 30°C



(c)

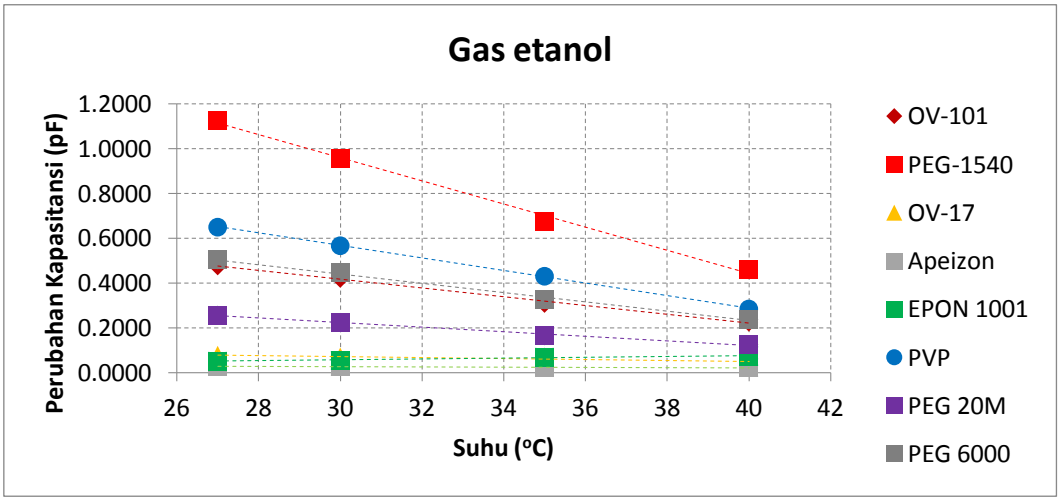


(d)

Gambar 4.14 Grafik respon sensor *chemocapacitor* terhadap gas etanol (c) suhu 35°C (d) suhu 40°C (lanjutan)

Tabel 4.11 Rata–rata perubahan kapasitansi gas etanol

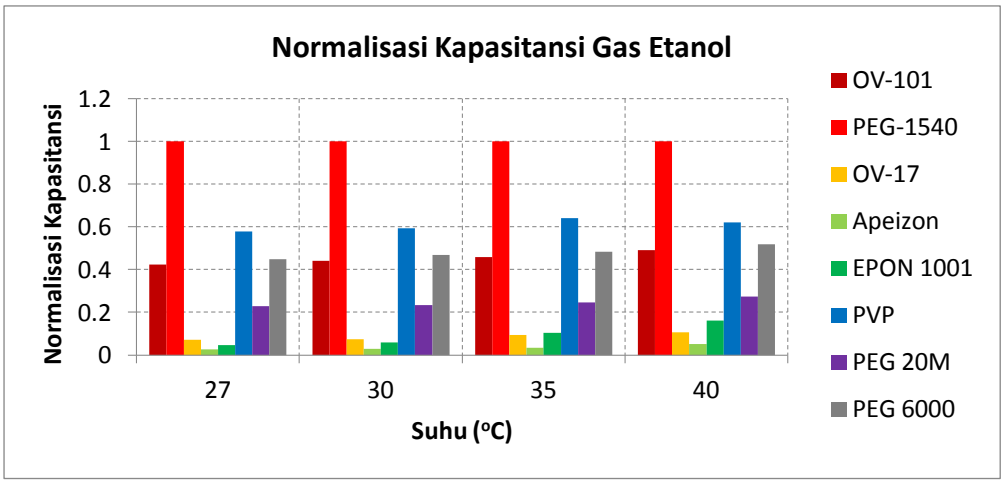
Gas	Suhu (°C)	Nilai Kapasitansi Lapisan Polimer (pF)							
		OV-101	PEG-1540	OV-17	Apeizon	EPON 1001	PVP	PEG 20M	PEG 6000
Etanol	27	0.4768	1.1262	0.0789	0.0295	0.0517	0.6501	0.2574	0.5039
	30	0.4210	0.9554	0.0713	0.0284	0.0550	0.5672	0.2231	0.4461
	35	0.3093	0.6735	0.0631	0.0231	0.0692	0.4310	0.1652	0.3255
	40	0.2258	0.4596	0.0493	0.0234	0.0742	0.2849	0.1255	0.2384



Gambar 4.15 Grafik regresi linier perubahan suhu pada sensor *chemocapacitor* ketika berinteraksi dengan gas etanol

Tabel 4.12 Regresi linier perubahan suhu pada gas etanol

Gas	Lapisan Polimer	Liniear	R^2
Etanol	OV-101	y = -0.0202x + 1.0187	0.7688
	PEG-1540	y = -0.0532x + 2.5406	0.9657
	OV-17	y = -0.0021x + 0.1364	0.907
	Apeizon	y = -0.0005x + 0.0437	0.8435
	EPON 1001	y = 0.002x - 0.0028	0.7688
	PVP	y = -0.0286x + 1.4201	0.9951
	PEG 20M	y = -0.0104x + 0.5341	0.9802
	PEG 6000	y = -0.0215x + 1.08	0.9637



Gambar 4.16 Normalisasi nilai rata-rata perubahan kapasitansi ketika berinteraksi dengan gas etanol pada variasi suhu

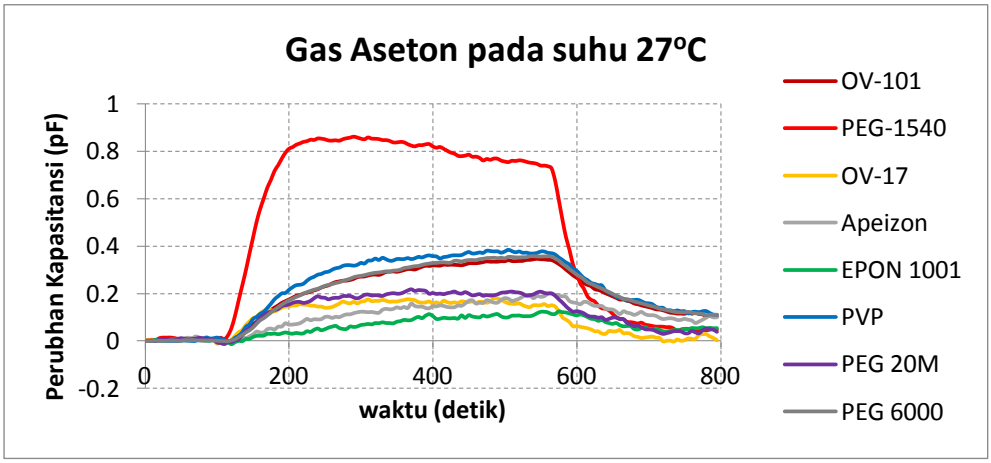
4.6.4. Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Gas Aseton

Hasil pengujian gas aseton pada suhu 27ºC, 30ºC, 35ºC, dan 40ºC, dilihat pada Gambar 4., dimana setiap lapisan polimer mempunyai respon berbeda-beda. PEG-1540 mempunyai nilai perubahan kapasitansi terbesar dari semua kondisi suhu yang di ujikan dan respons lapisan PEG 1540 dapat mencapai *steady state* dengan waktu *rise time* ± 100s.

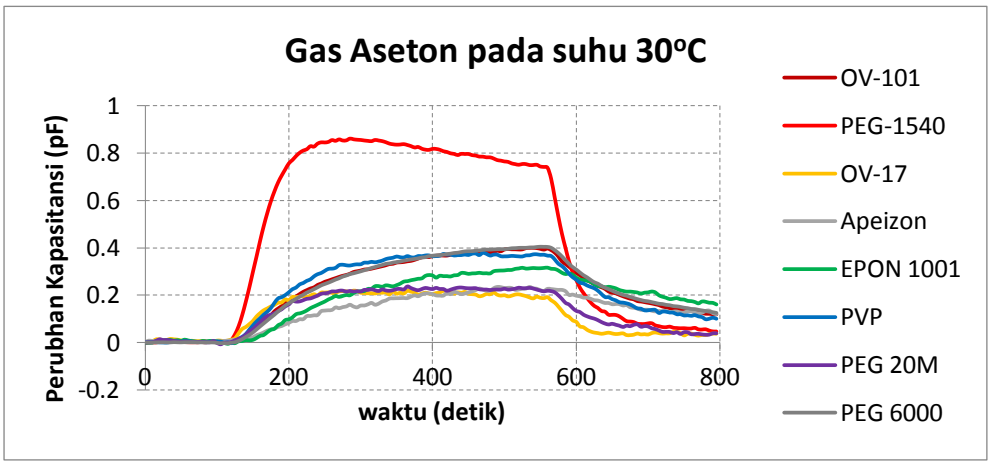
Tabel 4.13 adalah rata-rata perubahan kapasitansi yang berasal dari lima kali pengujian gas aseton terhadap setiap perubahan suhu. Data yang dianalisa adalah rata-rata perubahan tegangan dari detik ke-300 sampai detik ke-400. Data yang berasal dari Tabel 4.13, kemudian dibuat grafik regresi linear untuk mengetahui hubungan secara linear antara perubahan suhu dan nilai kapasitansi ketika berinteraksi dengan gas aseton. Grafik regresi linear dapat dilihat pada Gambar 4.18 dan Regresi linear perubahan suhu pada gas aseton dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Berdasarkan regresi linier Tabel 4.12, R^2 digunakan untuk mengetahui hubungan perubahan suhu terhadap nilai rata-rata perubahan kapasitansi ketika berinteraksi dengan gas aseton. Linieritas akan sangat bagus bila R^2 mendekati 1. Lapisan PEG 1540 mempunyai linieritas terbaik dengan $R^2 = 0.9660$. Lapisan Apeizon mempunyai linieritas terburuk dengan $R^2 = 0.6398$.

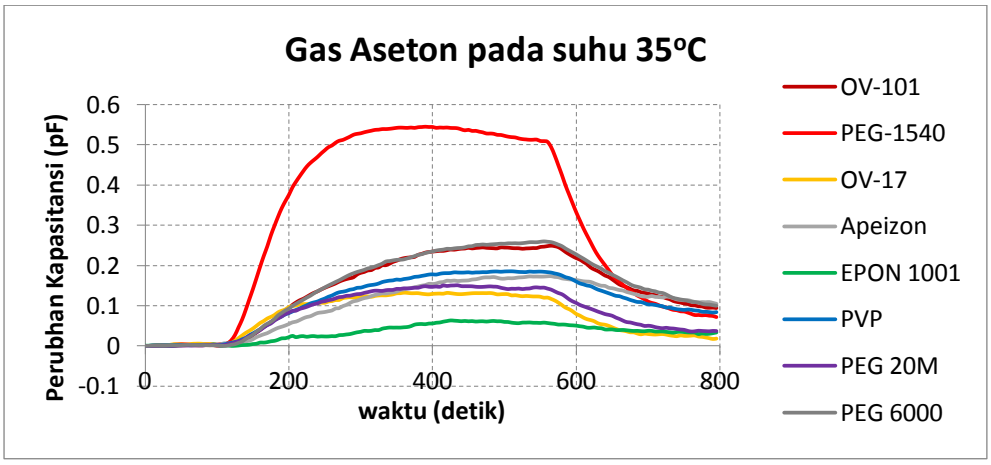
Normalisasi data digunakan untuk melihat respon dari kedelapan lapisan polimer, sehingga dapat dilihat lapisan polimer yang memiliki respon tertinggi, sampai terendah. Normalisasi data berasal dari rata-rata perubahan kapasitansi pada Tabel 4.12. Berdasarkan normalisasi data pada Gambar 4.19, dapat diketahui bahwa urutan kesensifitasan lapisan polimer terhadap gas aseton dimulai dari yang paling sensitif adalah PEG-1440, OV 101, PEG 6000, PVP, PEG 20M, OV 17, Apeizon, dan EPON 1001.



(a)

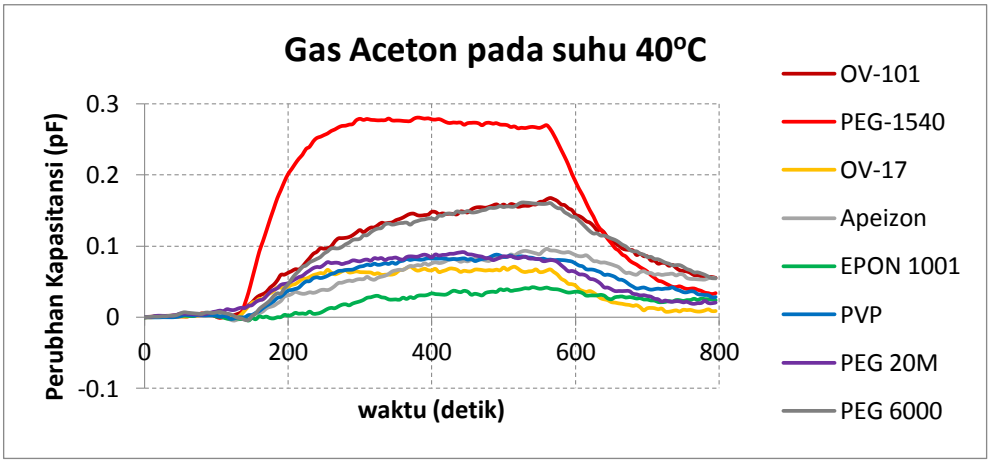


(b)



(c)

Gambar 4.17 Grafik respon sensor *chemocapacitor* terhadap gas aceton (a) suhu 27°C (b) suhu 30°C (c) suhu 35°C

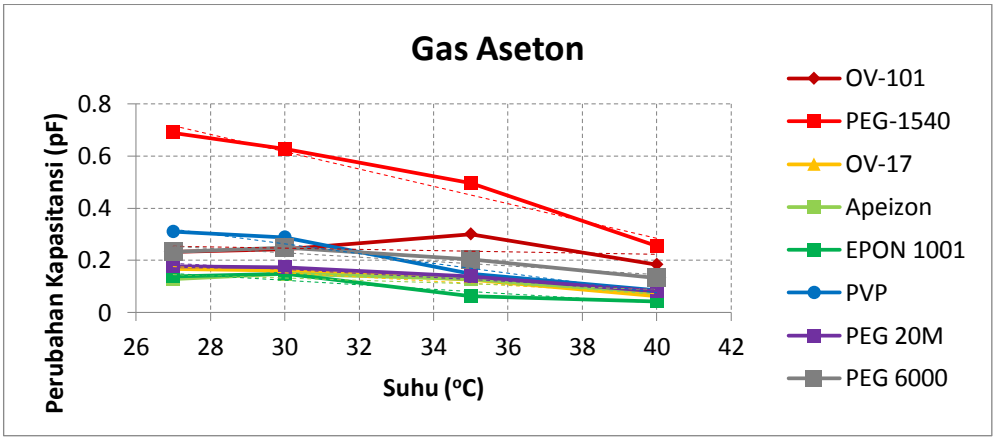


(d)

Gambar 4.17 Grafik Respon sensor *chemocapacitor* terhadap gas aceton (d) suhu 40°C (lanjutan)

Tabel 4.13 Rata–rata perubahan kapasitansi gas aseton

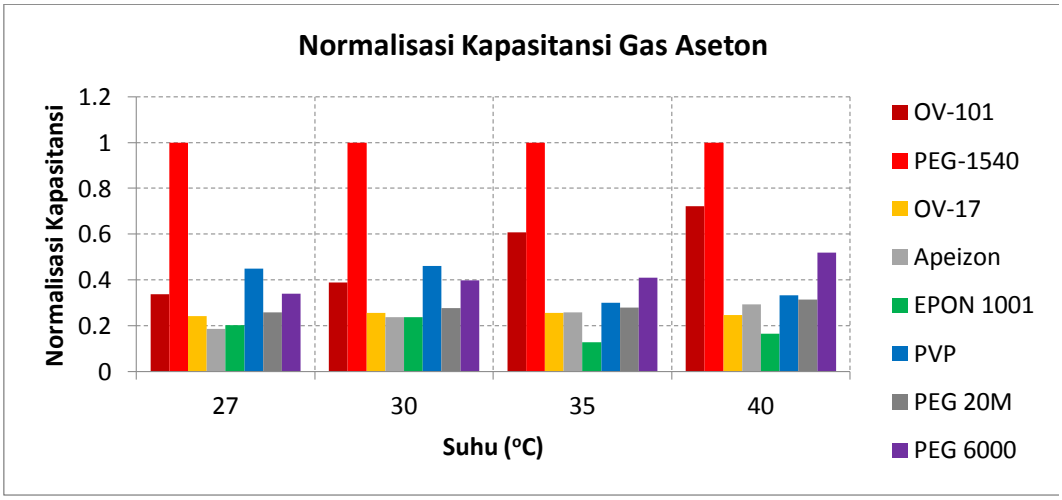
Gas	Suhu (°C)	Nilai Kapasitansi Lapisan Polimer (pF)							
		OV-101	PEG-1540	OV-17	Apeizon	EPON 1001	PVP	PEG 20M	PEG 6000
Aseton	27	0.2330	0.6894	0.1666	0.1274	0.1385	0.3099	0.1784	0.2334
	30	0.2433	0.6273	0.1606	0.1486	0.1490	0.2885	0.1738	0.2490
	35	0.3008	0.4960	0.1264	0.1275	0.0635	0.1483	0.1380	0.2034
	40	0.1840	0.2550	0.0629	0.0748	0.0422	0.0849	0.0803	0.1323



Gambar 4.18 Grafik regresi linier perubahan suhu pada sensor *chemocapacitor* ketika berinteraksi dengan gas aseton

Tabel 4.14 Regresi linier perubahan suhu pada gas aseton.

Gas	Lapisan Polimer	Liniear	R^2
Aseton	OV-101	y = -0.0024x + 0.3205	0.0840
	PEG-1540	y = -0.0331x + 1.6084	0.9660
	OV-17	y = -0.008x + 0.3946	0.9341
	Apeizon	y = -0.0044x + 0.2649	0.6398
	EPON 1001	y = -0.0087x + 0.3865	0.8742
	PVP	y = -0.0187x + 0.8255	0.9646
	PEG 20M	y = -0.0077x + 0.3963	0.9413
	PEG 6000	y = -0.0083x + 0.4788	0.8428



Gambar 4.19 Normalisasi nilai rata-rata perubahan kapasitansi ketika berinteraksi dengan gas aseton pada variasi suhu.

4.6.5. Hasil Pengujian dan Analisa Terhadap Gas N-Heksana

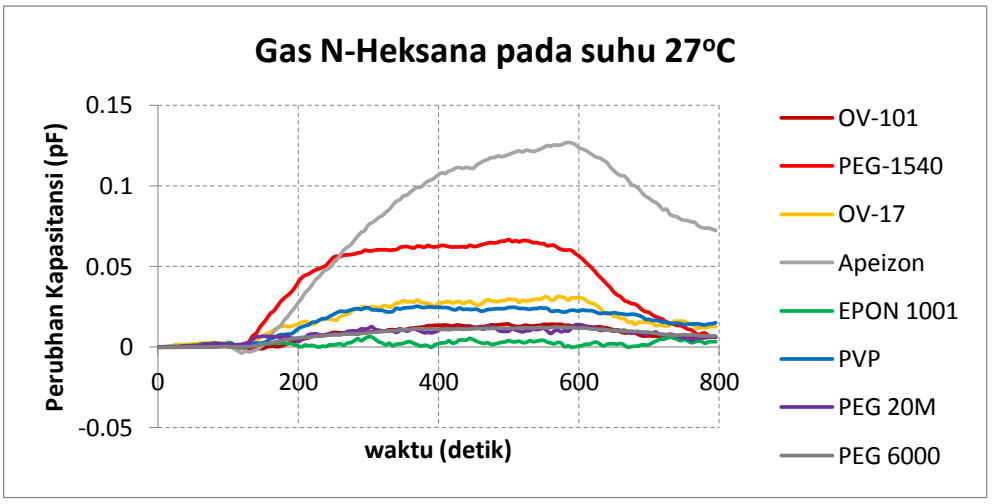
Hasil pengujian gas n-heksana pada suhu 27ºC, 30ºC, 35ºC, dan 40ºC, dilihat pada Gambar 4., dimana setiap lapisan polimer mempunyai respon berbeda-beda dengan nilai maksiumum perubahan kapasitansi yang dicapai relatif kecil jika dibandingkan dengan perubahan kapasitansi pada gas etanol dan aseton. Polimer apeizon mempunyai nilai perubahan kapasitansi terbesar dari semua kondisi suhu yang di ujikan dan respons lapisan PEG 1540 dapat mencapai *steady state* dengan waktu *rise time* ± 300s.

Tabel 4.15 adalah rerata perubahan kapasitansi yang berasal dari lima kali pengujian gas n-heksana terhadap setiap perubahan suhu. Data yang dianalisa adalah rerata perubahan tegangan dari detik ke-300 sampai detik ke-400. Data yang berasal dari Tabel 4.15 kemudian dibuat grafik mengetahui hubungan secara

linear antara perubahan suhu dan nilai kapasitansi ketika berinteraksi dengan gas n-heksana. Grafik perubahan suhu terhadap nilai rata-rata perubahan kapasitansi ketika berinteraksi dengan gas n-heksana dapat dilihat pada Gambar 4.21 dan Regresi linear perubahan suhu pada gas n-heksana dapat dilihat pada Tabel 4.16

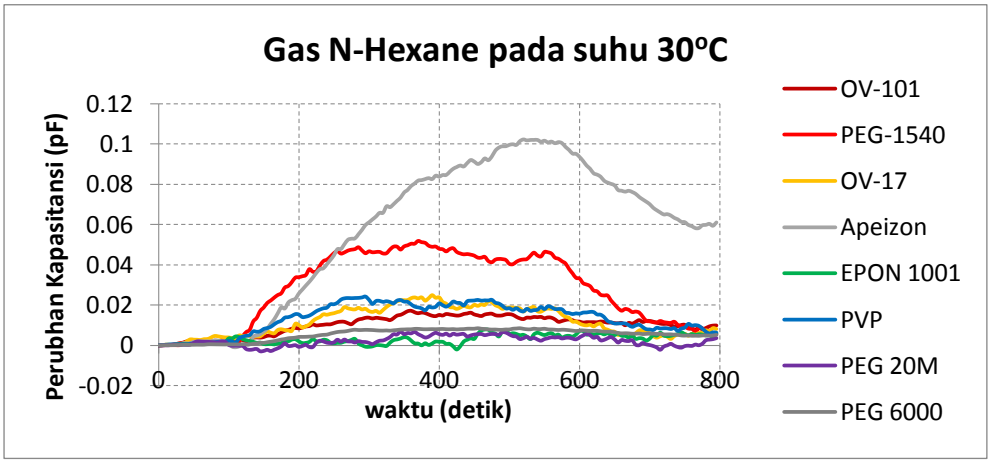
Berdasarkan regresi linier Tabel 4.16, R^2 digunakan untuk mengetahui hubungan perubahan suhu terhadap nilai rata-rata perubahan kapasitansi ketika berinteraksi dengan gas n-heksana. Linieritas akan sangat bagus bila R^2 mendekati 1. Semua lapisan polimer mempunyai linieritas yang sangat buruk ketika berinteraksi dengan gas n-heksana karena nilai R^2 kurang dari 0.9.

Normalisasi data digunakan untuk melihat respon dari kedelapan lapisan polimer, sehingga dapat dilihat lapisan polimer yang memiliki respon tertinggi, sampai terendah. Normalisasi data berasal dari rerata perubahan kapasitansi pada Tabel 4.15. Berdasarkan normalisasi data pada Gambar 4.22 dapat diketahui bahwa urutan kesensifitasan lapisan polimer terhadap gas etanol dimulai dari yang paling sensitif adalah Apeizon, PEG-1440, PVP, OV 17 ,OV 101, PEG 6000, PEG 20M, dan EPON 1001.

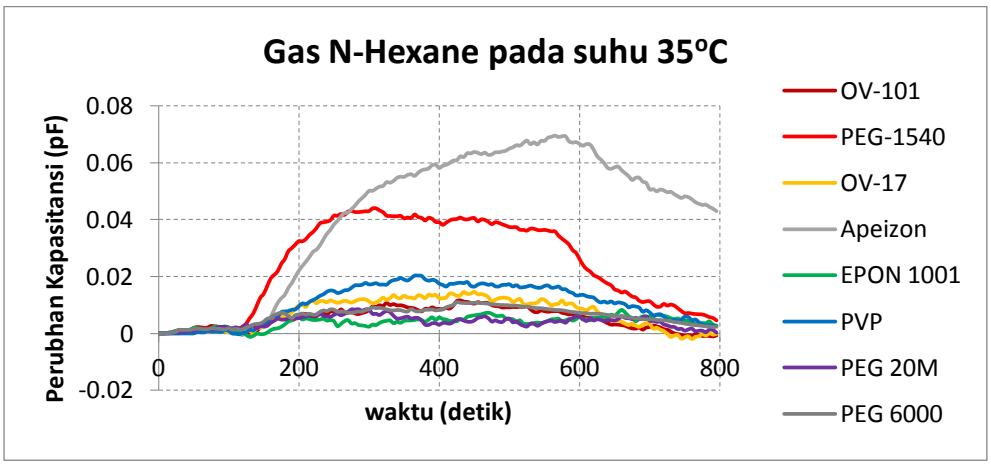


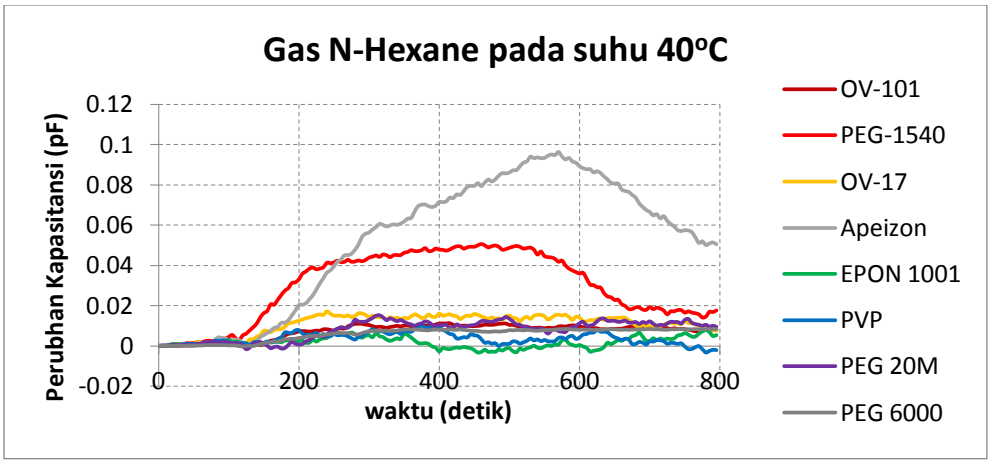
(a)

Gambar 4.20 Grafik respon sensor *chemocapacitor* terhadap gas N-Heksana (a) suhu 27^{o}C



(b)



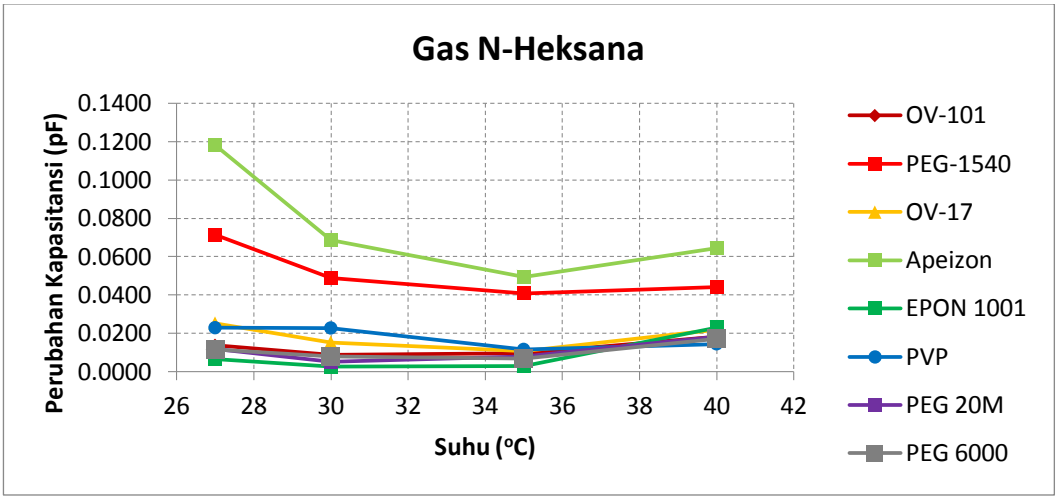


(d)

Gambar 4.20 Grafik respon sensor *chemocapacitor* terhadap gas N-Heksana (b) suhu 30°C (c) suhu 35°C (d) suhu 40°C (lanjutan)

Tabel 4.15 Rata–rata perubahan kapasitansi gas n-heksana.

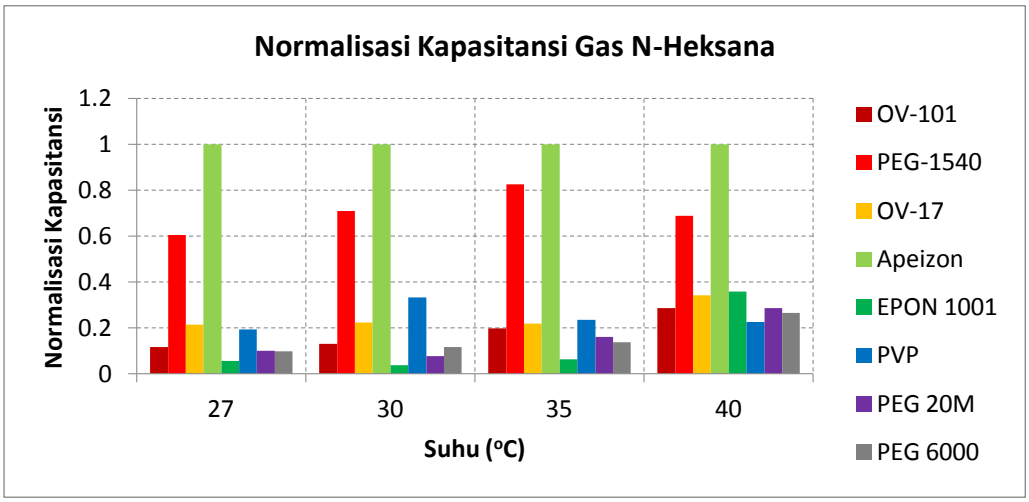
Gas	Suhu (°C)	Nilai Kapasitansi Lapisan Polimer (pF)							
		OV-101	PEG-1540	OV-17	Apeizon	EPON 1001	PVP	PEG 20M	PEG 6000
N-Heksana	27	0.0137	0.0715	0.0253	0.1182	0.0066	0.0229	0.0119	0.0116
	30	0.0089	0.0487	0.0153	0.0687	0.0026	0.0228	0.0053	0.0081
	35	0.0097	0.0408	0.0108	0.0495	0.0031	0.0116	0.0079	0.0068
	40	0.0183	0.0443	0.0220	0.0643	0.0230	0.0145	0.0183	0.0171



Gambar 4.21 Grafik perubahan suhu terhadap nilai rata-rata perubahan kapasitansi ketika berinteraksi dengan gas n-heksana.

Tabel 4.16 Regresi linier perubahan suhu pada gas n-heksana

Gas	Lapisan Polimer	Liniear	R^2
N-Heksana	OV-101	y = 0.0004x - 0.0004	0.2721
	PEG-1540	y = -0.0019x + 0.1131	0.6005
	OV-17	y = -0.0002x + 0.0259	0.0403
	Apeizon	y = -0.0037x + 0.1983	0.5123
	EPON 1001	y = 0.0012x - 0.0317	0.5286
	PVP	y = -0.0008x + 0.0453	0.6706
	PEG 20M	y = 0.0006x - 0.0084	0.3435
	PEG 6000	y = 0.0004x - 0.0023	0.2462



Gambar 4.22 Normalisasi nilai rata-rata perubahan kapasitansi ketika berinteraksi dengan gas n-heksana pada variasi suhu.

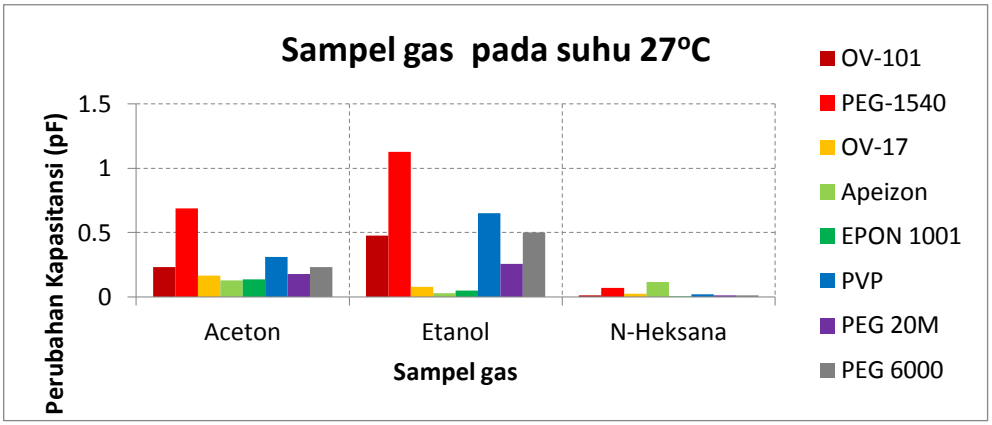
4.7. Perbandingan Ketiga Sampel Gas Terhadap Perubahan Suhu

4.7.1. Tujuan Pengujian

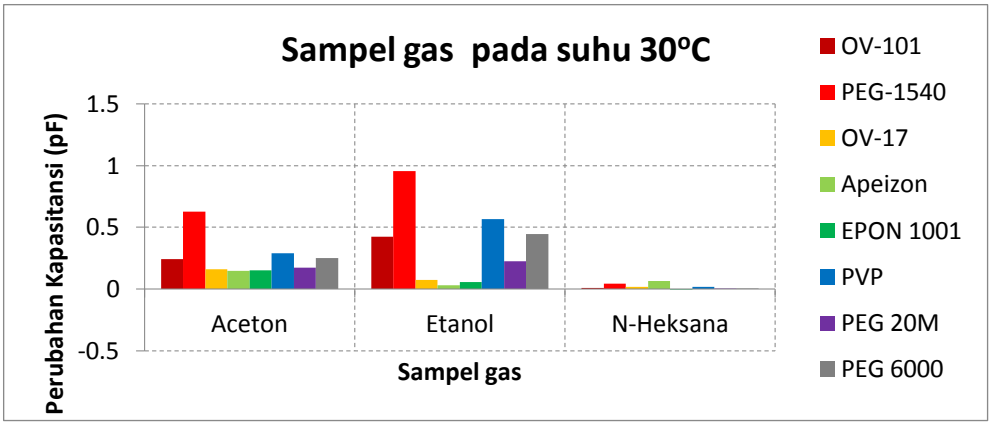
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah suhu mempengaruhi perubahan kapasitansi setiap sensor *chemocapacitor*. Pengujian ini juga bertujuan untuk memperoleh informasi hubungan antara perubahan suhu dengan perubahan kapasitansi pada sensor chemocapaitor terhadap sampel gas yang diujikan.

4.7.2. Hasil Pengujian dan Analisa

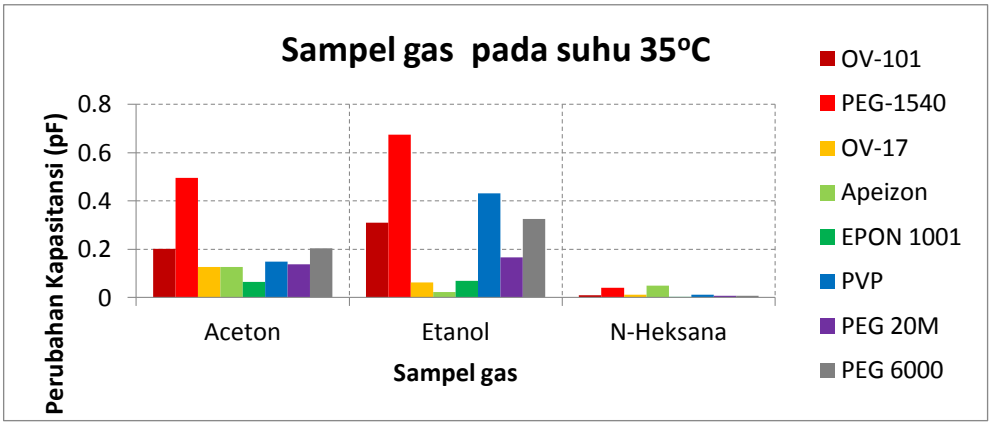
Berdasarkan Gambar 4.23, Gambar 4.24, Gambar 4.25, dan Gambar 4.26 sensor *chemocapacitor* saat pengujian pada suhu 27ºC, 30ºC, 35ºC dan 40ºC mempunyai respon paling baik terhadap gas aseton dan etanol sehingga sensor yang dirancang mempunyai respon yang bagus terhadap gas bertipe polar. Tabel 4.17 menunujukan polimer polar dan non polar yang mempunyai perubahan kapasitansi terbesar.



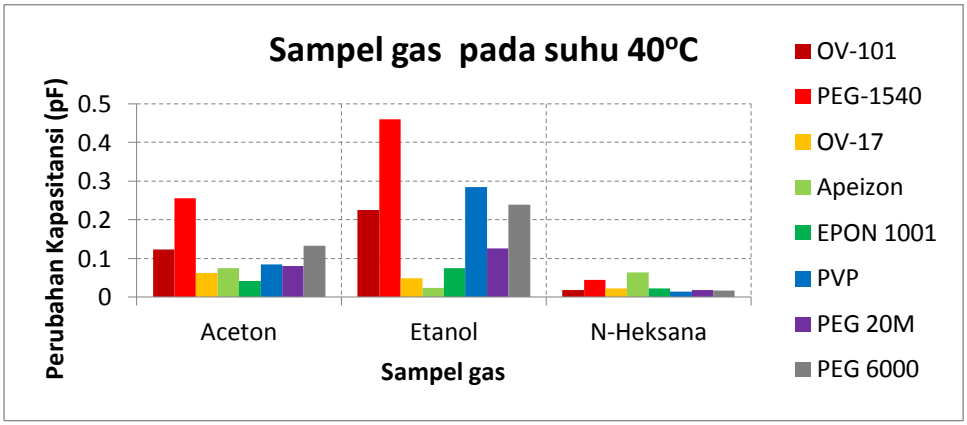
Gambar 4.23 Data rerata perubahan kapasitansi sensor *chemocapacitor* terhadap suhu 27ºC ketika berinteraksi dengan sampel gas.



Gambar 4.24 Data rerata perubahan kapasitansi sensor *chemocapacitor* terhadap suhu 30ºC ketika berinteraksi dengan sampel gas.



Gambar 4.25 Data rerata perubahan kapasitansi sensor *chemocapacitor* terhadap suhu 35ºC ketika berinteraksi dengan sampel gas.



Gambar 4.26 Data rerata perubahan kapasitansi sensor *chemocapacitor* terhadap suhu 40ºC ketika berinteraksi dengan sampel gas.

Tabel 4.17 Jenis polimer yang mempunyai respon terbaik terbaik terhadap gas uji

Gas	Pelarut	Polimer yang mempunyai respon terbaik	
		Polar	non polar
Etanol	Polar	PEG 1540	OV 101
Aseton	Polar	PEG 1540	OV 101
N-Heksana	Non polar	PEG 1540	Apeizon

Suhu semakin besar respon perubahan kapasitansinya semakin menurun hal ini karena ketika suhu naik nilai awal kapasitansi sebelum berinteraksi dengan gas , nilai kapasitansinya juga ikut naik, hal ini didasarkan pada pengujian sensor terhadap perubahan suhu dengan kondisi kelembaban tetap, kemudian ketika konsentrasi semakin besar perubahan kapasitansi juga semakin besar dan sebaliknya.

4.8. Pengujian Sensor *Chemocapacitor* Terhadap Perubahan Konsentrasi

4.8.1. Tujuan Pengujian

Tujuan dari pengujian adalah untuk mengetahui tingkat sensitifias dari masing-masing polimer untuk setiap sampel gas uji. Sehingga diperoleh informasi mengenai perubahan kapasitansi sensor *chemocapacitor* terhadap tingkatan konsentrasi.

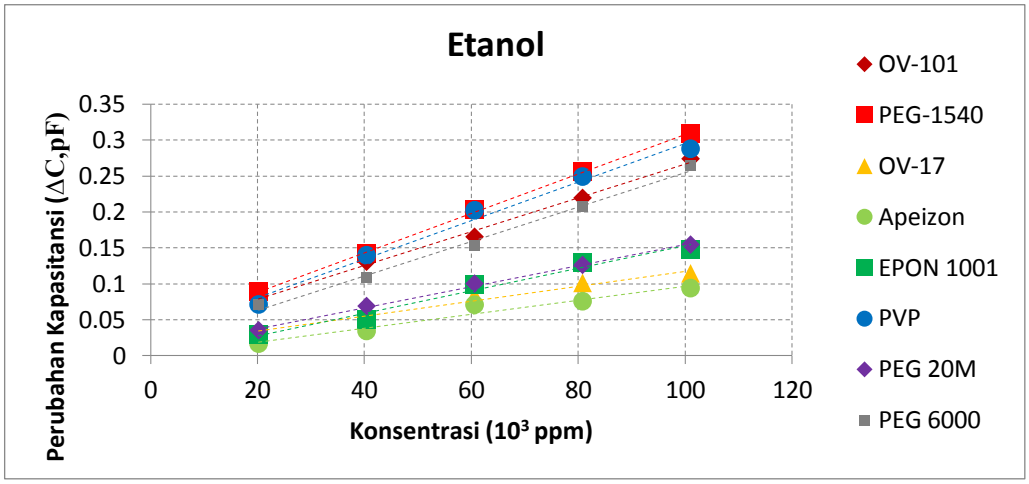
4.8.2. Prosedur pengujian

Prosedur pengujian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Wadah sensor terlebih dahulu dibersihkan dengan udara kering dari silika gel, dengan ecepatan aliran udara 0.1 LPM.
2. Sebelum melakukan pengujian perubahan konsentrasi semua katup dalam kondisi tertutup.
6. Injeksikan cairan sampel gas melalui port injeksi sebanyak 2 µl.
7. Amati perubahan kapasitansi jika sudah mencapai steady, state , injeksikan 2 µl, sehingga sekarang di dalam wadah ada 4 µl uap gas.
8. Lakukan terus sampai dalam wadah sensor terdapay 10µl.
9. Perubahan kapasitansi pada setiap pengujian diamati dan disimpan menggunakan program di komputer.

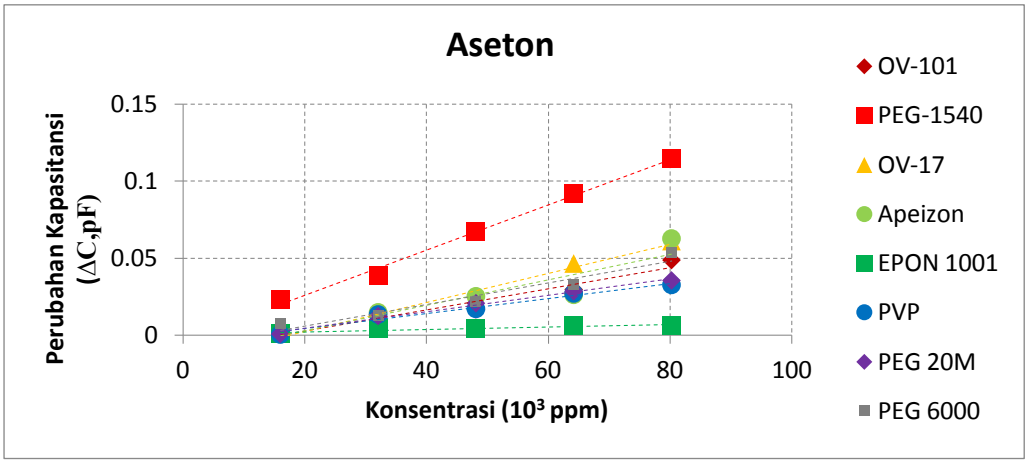
4.8.3. Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian perubahan konsentrasi untuk gas etanol dan aseton ditunjukkan pada Gambar 4.27 dan Gambar 4.28. Hasil regresi linier perubahan konsentrasi untuk gas etanol dan aseton ditunjukkan pada Tabel 4.18. untuk gas n-heksana tidak dapat dilakukan pengambilan perubahan konsentrasi dikarena hasil respon perubahan kapasitansinya tidak terlihat perbedaan dari tiap injeksi.



Gambar 4.27 Pengujian perubahan konsentrasi pada gas etanol

Berdasarkan nilai R^2 pengujian perubahan konsentrasi meningkat secara linier terhadap perubahan kapasitansi. Pengujian perubahan konsentrasi pada gas etanol, polimer PEG-1540 mempunyai sensitifitas paling tinggi yaitu 0,0027pF/10^3 ppm. Pengujian perubahan konsentrasi pada gas aseton PEG-1540 mempunyai sensitifitas paling tinggi yaitu 0,00147pF/10^3ppm.



Gambar 4.28 Pengujian perubahan konsentrasi pada gas aseton

Tabel 4.18 Regresi linier perubahan konsentrasi pada gas etanol dan aseton

Gas	Lapisan Polimer	Liniear	R^2
Etanol	OV-101	y = 0.0024x + 0.0314	0.9946
	PEG-1540	y = 0.0027x + 0.0333	0.9994
	OV-17	y = 0.001x + 0.0138	0.9821
	Apeizon	y = 0.001x - 0.0007	0.9510
	EPON 1001	y = 0.0016x - 0.0042	0.9759
	PVP	y = 0.0027x + 0.0269	0.9863
	PEG 20M	y = 0.0015x + 0.0081	0.9974
	PEG 6000	y = 0.0024x + 0.0151	0.9927
Aseton	OV-101	y = 0.00069x - 0.01111	0.9467
	PEG-1540	y = 0.00147x - 0.00362	0.9943
	OV-17	y = 0.00094x - 0.01637	0.9724
	Apeizon	y = 0.00082x - 0.01344	0.8590
	EPON 1001	y = 0.00008x + 0.00062	0.8817
	PVP	y = 0.00049x - 0.00533	0.9721
	PEG 20M	y = 0.00053x - 0.0061	0.9893
	PEG 6000	y = 0.0007x - 0.00815	0.9394

Penelitian awal ini menitikberatkan pada identifikasi gas sehingga sehingga menggunakan wadah sensor yang kecil, penggunaan wadah sensor yang kecil mengakibatkan nilai konsentrasi dalam ppm menjadi sangat besar walau dalam volume yang kecil, sehingga tingkat sensifitas yang dihasillkan belum bisa menggambarkan kondisi real dalam pengaplikasian. Oleh karena itu pada penelitian selanjutnya diharapkan dalam pengidentifikasi tidak hanya jenis gas tetapi juga kadar kosentrasinya dengan wadah sensor yang sesuai dengan pengaplikasian.

4.9. Pengujian *Neural Network*

4.9.1. 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.

4.9.2. 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 dua data dari masing –masing kondisi suhu (27^oC, $30\ ^oC$, $35\ ^oC$, dan $40\ ^oC$) sehingga total data yang digunakan dalam pembelajaran berjumlah delapan data. Setelah data dan target output NN di-load, kemudian tentukan nilai target kesalahan (*error target*), *learning rate* (miu), alpha dengan nilai yang diinginkan. Setelah semua siap, maka proses *learning* dapat dimulai dengan bobot acak pada awal proses. Jika proses *learning* telah selesai maka dapat diketahui iterasi pa setiap percobaan.

4.9.3. Hasil Pengujian dan Analisa

Pengujian mengunakan 1 *hidden layer* dengan variasi node hidden layer dan *mean square error* (MSE). Nilai MSE yang digunakan 0.01, 0.001, 0.0001, dan 0.00001 kemudian setiap nilai MSE divariasi node hidden layernya. Node *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 miu 0,6 dan alpha 0,3 digunakan untuk setiap pengujian . Hasil pengujian dengan nilai MSE yang bermacam-macam yang di *learning* dengan miu dan alpaha yang sama, maka dihasilkan iterasi yang berbeda-beda. Hasil pengujian NN ditunjukkkan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Hasil pengujian *neural network.*

MSE	Neuron hidden Layer	MIU	ALPHA	ITERASI
0.01	10	0.6	0.3	1021
	50	0.6	0.3	1277
	100	0.6	0.3	1674
0.001	10	0.6	0.3	2881
	50	0.6	0.3	2989
	100	0.6	0.3	3392
0.0001	10	0.6	0.3	15358
	50	0.6	0.3	12816
	100	0.6	0.3	13861
0.00001	10	0.6	0.3	115949
	50	0.6	0.3	87502
	100	0.6	0.3	90629

4.10. Pengujian *Artificial Neural Network* Sebagai Pengenalan Jenis Gas

4.10.1. Tujuan Pengujian

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

4.10.2. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan sebanyak empat kali untuk setiap sampel gas, dan setiap sampel gas memiliki empat kriteria perbedaan suhu, jadi total pengujian

untuk setiap sampel gas adalah 16. Sampel gas yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak tiga dan total keseluruhan adalah 48 kali pengujian untuk identifikasi. Urutan pengujian dimulai dari gas N-Heksana, etanol dan aseton.

4.10.3. Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian identifikasi ditunjukkan pada Tabel 4.20 sampai Tabel 4.23 untuk suhu 27^{o}C, 30^{o}C, 35^{o}C, dan 40^{o}C. Semua pengujian dilakukan dengan 1 hidden layer dengan jumlah node 100. Presentase keberhasilan dalam mengidentifikasi setiap jenis gas dengan variasi MSE adalah 100%.

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

Tabel 4.20 Pengujian untuk identifikasi pada suhu 27^{o}C

Jenis Gas	Pengujian	MSE			
		0,01	0,001	0,0001	0.00001
Etanol	1	Etanol	Etanol	Etanol	Etanol
	2	Etanol	Etanol	Etanol	Etanol
	3	Etanol	Etanol	Etanol	Etanol
	4	Etanol	Etanol	Etanol	Etanol
Aseton	1	Aseton	Aseton	Aseton	Aseton
	2	Aseton	Aseton	Aseton	Aseton
	3	Aseton	Aseton	Aseton	Aseton
	4	Aseton	Aseton	Aseton	Aseton
N-Heksana	1	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
	2	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
	3	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
	4	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
Rata-rata		100%	100%	100%	100%

Tabel 4.21 Pengujian untuk identifikasi pada suhu 30^{o}C

Jenis Gas	Pengujian	MSE			
		0,01	0,001	0,0001	0.00001
Etanol	1	Etanol	Etanol	Etanol	Etanol
	2	Etanol	Etanol	Etanol	Etanol
	3	Etanol	Etanol	Etanol	Etanol
	4	Etanol	Etanol	Etanol	Etanol
Aseton	1	Aseton	Aseton	Aseton	Aseton
	2	Aseton	Aseton	Aseton	Aseton
	3	Aseton	Aseton	Aseton	Aseton
	4	Aseton	Aseton	Aseton	Aseton
N-Heksana	1	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
	2	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
	3	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
	4	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
Rata-rata		100%	100%	100%	100%

Tabel 4.22 Pengujian untuk identifikasi pada suhu 35^{o}C

Jenis Gas	Pengujian	MSE			
		0,01	0,001	0,0001	0.00001
Etanol	1	Etanol	Etanol	Etanol	Etanol
	2	Etanol	Etanol	Etanol	Etanol
	3	Etanol	Etanol	Etanol	Etanol
	4	Etanol	Etanol	Etanol	Etanol
Aseton	1	Aseton	Aseton	Aseton	Aseton
	2	Aseton	Aseton	Aseton	Aseton
	3	Aseton	Aseton	Aseton	Aseton
	4	Aseton	Aseton	Aseton	Aseton
N-Heksana	1	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
	2	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
	3	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
	4	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
Rata-rata		100%	100%	100%	100%

Tabel 4.23 Pengujian untuk identifikasi pada suhu 40^{o}C

Jenis Gas	Pengujian	MSE			
		0,01	0,001	0,0001	0.00001
Etanol	1	Etanol	Etanol	Etanol	Etanol
	2	Etanol	Etanol	Etanol	Etanol
	3	Etanol	Etanol	Etanol	Etanol
	4	Etanol	Etanol	Etanol	Etanol
Aseton	1	Aseton	Aseton	Aseton	Aseton
	2	Aseton	Aseton	Aseton	Aseton
	3	Aseton	Aseton	Aseton	Aseton
	4	Aseton	Aseton	Aseton	Aseton
N-Heksana	1	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
	2	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
	3	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
	4	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana	N-Heksana
Rata-rata		100%	100%	100%	100%

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem pada penelitian dengan judul "SENSOR *CHEMOCAPACITOR* TERLAPIS POLIMER UNTUK IDENTIFIKASI UAP PELARUT ORGANIK MENGGUNAKAN *NEURAL NETWORK*", penulis dapat memberikan kesimpulan serta saran yang akan berguna bagi pengembangan penelitian ini.

5.1. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dihasilkan sensor *chemocapacitor* yang dilapisi polimer OV-101, PEG-1540, OV-17, APEIZON, EPON-1001, PVP, PEG-20M dan PEG-6000. Sensor *chemocapacitor* diujikan pada suhu 27ºC sampai 40ºC.dan kelembaban 20% sampai 50%. Pengujian dengan menggunakan parameter suhu dan kelembaban bertujuan untuk mengetahui perubahan kapasitansi sensor kapasitansi pada lingkungan yang berbeda–beda. Polimer EPON 1001 sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan PVP sangat sensitif terhadap perubahan kelembaban.

Pengujian dilakukan terhadap gas etanol, aseton dan n-heksana. Dari ketiga jenis gas yang menunjukkan respon paling besar adalah gas etanol dan aseton Polimer PEG-1540 mempunyai respon terbesar pada pengujian terhadap gas etanol dan aseton untuk jenis polimer polar. Polimer apeizon mempunyai respon terbesar pada pengujian terhadap gas n-heksana. Pengujian sensor terhadap perubahan suhu ketika berinteraksi dengan gas dihasilkan semakin besar suhu maka repson perubahan nilai kapasitansi tiap sensor menurun.

Pengujian perubahan konsentrasi terhadap gas etanol dan aseton, polimer PEG-1540 mempunyai sensitifitas sebesar $0{,}0027pF/10^3$ ppm untuk gas etanol dan $0{,}00147pF/10^3$ ppm untuk gas aseton.

Identifikasi jenis gas dilakukan menggunakan metode *neural network*. Terdapat tiga sampel gas dengan masing-masing empat kali pengujian. Pengujian juga dilakukan terhadap perubahan suhu sebanyak empat parameter, sehingga

pengujian yang dilakukan adalah 48 kali. Tingkat keberhasilan dalam melakukan pengujian adalah 100% untuk setiap kondisi suhu dengan ketentuan wadah sensor dalam keadaan bersih sebelum mengganti gas yang lain,.

.

5.2. Saran

Pada penelitian ini pelapisan polimer pada IDC belum memperhatikan tingkat ketebalan polimer, oleh sebab itu untuk penelitian selanjutnya sebaiknya sensor *chemocapacitor* diuji terhadap perubahan ketebalan lapisan polimer.

Pembuatan sensor *chemocapacitor* pada penelitian ini masih dalam skala cm oleh karena itu dalam penelitian selanjutnya dapat dibuat dalam skala mm sehingga sistem sensor *chemocapacitor* yang dibuat bisa bersifat portable.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. R. Mulyarto, W. S and W. I T, "Aplikasi Model IPPS (Industrial Pollution Projection System) Pada Estimasi Beban Polusi Industri Kota Surabaya," *Jurnal Teknologi Pertanian,* pp. 37-44, 2005.

[2] A. Srivastava, "Detection of volatile organic compounds (VOCs) using SnO2 gas-sensor array and artificial neural network," *Sensors and Actuators B ,* vol. 96 , p. 24–37, 2003.

[3] K. C. Persaud, "Polymers for chemical sensing," *Material Today,* vol. 8, no. 4, p. 38–44, 2005.

[4] F. Xiangsheng, Q. Guowei, G. Miao, P. Min and C. Yuquan, "An Improved Integrated Electronic Nose for Online Measurement of VOCs in Indoor Air," in *Proceedings IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference,* Shanghai, 2005.

[5] A. Botsialas, P. Oikonomou, D. Goustouridis, Th. Ganetsos, I. Raptis and M. Sanopoulou, "Miniaturized Chemocapacitor System for The Detection of Volatile Organic Compounds," *Sensors and Actuators B,* vol. 177, pp. 776-784, 2013.

[6] S. Patel, T. Mlsna, B. Fruhberger and E. Klaassen, "Chemicapacitive microsensors for volatile organic compound detection," *Sensors and Actuators B,* vol. 96, p. 541–553, 2003.

[7] B. Gunawan, M. Rivai and H. Juwono, "Characterization of Polymeric Chemiresistors for Gas Sensor," *Telkomonika,* vol. 10, no. 2, pp. 275-280, 2012.

[8] M. Penza, R. Rossi, M. Alvisi, G. Cassano and E.Serra, "Functional characterization of carbon nanotube networked films functionalized with tuned loading of Au nanoclusters for gas sensing applications," *Sensors and Actuators B,* vol. 140, p. 176–184, 2009.

[9] A. D'Amico and C. D. Natale, "A Contribution on Some Basic Definitions of Sensors Properties," *IEEE Jurnal Sensor,* vol. 1, no. 3, pp. 183-190, 2001.

[10] P. Oikonomou, A. Botsialas, A. Olziersky, I. Stratako, S. Katsikas, D. Dimas, G.Sotiropoulos, D. Goustouridis, I. Rapti and M. Sanopoulou, "Wireless sensor network based on a chemocapacitive sensor array for the real-time monitoring of industrial pollutants," *Procedia Engineering,* vol. 87, p. 564 – 567 , 2014.

[11] R. Igreja and C. Dias, "Dielectric response of interdigital chemocapacitors: The role of the sensitive layer thickness," *Sensors and Actuators B,* vol. 115, p. 69–78, 2006.

[12] P. Oikonomou, G. Patsis, A. Botsialas, K. Manoli, D. Goustouridis, N. Pantazis, A. Kavadias, E. Valamontes, T. Ganetsos, M. Sanopoulou and I. Raptis, "Performance simulation, realization and evaluation of capacitive sensor arrays for the real time detection of volatile organic compounds," *Microelectronic Engineering,* vol. 88, p. 2359–2363, 2011.

[13] R. Igreja and C. Dias, "Analytical evaluation of the interdigital electrodes capacitance for a multi-layered structure," *Sensors and Actuators A* , vol. 112, pp. 291-301, 2004.

[14] Mulyadi and M. Rivai, "Karakteristik Sensor Gas Berbasis Devais Surface Acoustic Wave Terlapis Polimer," in *Seminar Nasional Pascasarjana XI-ITS*, Surabaya, 2011.

[15] H.Rotzsche, Stasionary Phases in Gas Chromatography, New York: Elsevier Science Publisihing Company Inc, 1991.

[16] A. Device, "Extending the Capacitive Input Range of AD7745/AD7746," [Online]. Available: http://www.analog.com/media/en/reference-design-documentation/reference-designs/CN0129.pdf. [Accessed 16 November 2016].

[17] C. T. Kilian, Modern Control Technology : Component and Systems, New York: Delmar Thomson Learning, 2000.

[18] F. M. Ham and I. Kostanic, Principles of Neurocomputing for Science and Engineering, New York: McGraw-Hill Higher Education, 2000.

RIWAYAT HIDUP PENULIS

Apik Rusdiarna Indrapraja dilahirkan di Sleman, 27 September 1983. Merupakan anak pertama dari empat bersaudara pasangan Bapak Kasiyarno dan Ibu Istining Dasih Winarti. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Muhamadiyah Bayen pada tahun 1989-1995, kemudian melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Kalasan pada tahun 1995-1998. Selanjutnya penulis melanjutkan di Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Kalasan pada tahun 1998-2001. Setelah itu penulis menempuh pendidikan tinggi pada Program Sarjana di Universitas Ahmad Dahlan dan menyelesaikan pendidikan pada tahun 2006. Setelah menyelesaikan pendidikan tahap sarjana, penulis mendapat beasiswa untuk menempuh pendidikan di Program Magister Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan bidang keahliah Teknik Elektronika pada tahun 2014.