



TESIS - TE142599

**PERANCANGAN OLFACTORY MOBILE ROBOT
UNTUK Mencari SUMBER KEBOCORAN GAS
DILUAR RUANGAN DENGAN IMPLEMENTASI
HOT-WIRE ANEMOMETER**

GAMMA ADITYA RAHARDI
07111550040002

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph. D.

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



TESIS - TE142599

**PERANCANGAN OLFACTORY MOBILE ROBOT
UNTUK Mencari SUMBER KEBOCORAN GAS
DILUAR RUANGAN DENGAN IMPLEMENTASI
HOT-WIRE ANEMOMETER**

GAMMA ADITYA RAHARDI
07111550040002

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D.

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

LEMBAR PENGESAHAN

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

oleh:

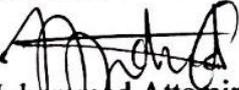
Gamma Aditya Rahardi
NRP. 07111550040002

Tanggal Ujian : 19 Desember 2017
Periode Wisuda : Maret 2018

Disetujui oleh:

- 
1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T. (Pembimbing I)
NIP: 196904261994031003
 2. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D (Pembimbing II)
NIP: 196512111990021002

 3. Dr.Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc. (Penguji)
NIP: 196409021989031003

 4. Ir. Totok Mujiono, M.IKom., Ph. D (Penguji)
NIP: 196504221989031001
 5. Muhammad Attamimi, B.Eng., M.Eng., Ph.D (Penguji)
NPP: 1985201711039


Dekan Fakultas Teknologi Elektro



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

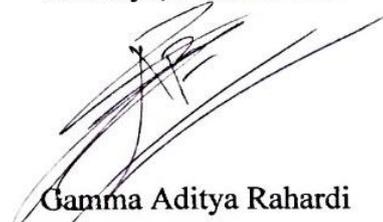
Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“PERANCANGAN OLFACTORY MOBILE ROBOT UNTUK MENCARI SUMBER KEBOCORAN GAS DILUAR RUANGAN DENGAN IMPLEMENTASI HOT-WIRE ANEMOMETER”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

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

Surabaya, Januari 2018



Gamma Aditya Rahardi
NRP. 07111550040002

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN OLFACTORY MOBILE ROBOT YANG DILENGKAPI HOT-WIRE ANEMOMETER UNTUK Mencari SUMBER KEBOCORAN GAS DILUAR RUANGAN

Nama mahasiswa : Gamma Aditya Rahardi
NRP : 07111550040002
Pembimbing : 1. Dr. Muhammad Rivai, ST.,MT
2. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D

ABSTRAK

Faktor penting, yang menjadi penghambat pada olfactory mobile robot untuk menemukan sumber kebocoran gas adalah pergerakan angin. Pergerakan angin bisa menyebabkan konsentrasi gas berkurang bahkan hilang. Hal ini menyebabkan pencarian sumber kebocoran gas membutuhkan waktu lama. Hot-wire anemometer adalah instrumen yang digunakan untuk mengetahui arah angin dengan menggunakan filamen kawat yang dipanaskan. Kawat panas yang digunakan pada penelitian ini adalah empat kawat nikelin dan kemudian diberi arus konstan 2,80 A. Suhu awal pada kawat nikelin adalah 60°C, yang diukur menggunakan sensor LM35. Neural Network digunakan untuk klasifikasi pada pengenalan pola terhadap perubahan suhu pada empat hot-wires. Perubahan suhu terjadi bila terdapat perpindahan panas yang disebabkan oleh hembusan angin. Logika fuzzy digunakan sebagai sistem kontrol pada olfactory mobile robot. Logika fuzzy yang telah dirancang, memiliki masukan berupa sensor gas semikonduktor dan anemometer kawat panas dengan keluaran berupa gerakan robot. Olfactory mobile robot dirancang menggunakan roda berbentuk rantai tank untuk bermanuver melintasi berbagai kontur tanah. Pencarian sumber kebocoran gas dilakukan pada ruang terbuka yang memiliki intensitas kecepatan angin tinggi. Penerapan anemometer pada olfactory mobile robot untuk mencari sumber kebocoran gas diharapkan dapat mempercepat proses pencarian yang lebih efektif dan tepat. Klasifikasi anemometer hot-wire dari uji coba pada sudut yang berbeda, dapat memberikan hasil terbaik pada sudut 60° yang memiliki tingkat kesalahan 11,96% untuk enam sudut yang diujikan. Hasil uji coba menunjukkan olfactory mobile robot dapat menemukan sumber gas dengan jarak 250 cm memerlukan waktu 107 detik. Secara keseluruhan, uji coba olfactory mobile robot dengan penerapan hot-wire memiliki tingkat keberhasilan 60%. Dalam penelitian ini, olfactory mobile robot menunjukkan waktu respon yang lambat dalam mendeteksi arah angin, yaitu sebesar 47 detik.

Kata kunci: *Fuzzy logic, Hot-wire anemometer, Neural network, Olfactory, Sensor gas semikonduktor*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN OF OLFACTORY MOBILE ROBOT EQUIPPED WITH HOT-WIRE ANEMOMETER TO SEARCH OUTDOOR GAS LEAK

By : Gamma Aditya Rahardi
Student Identity Number : 07111550040002
Supervisor(s) : 1. Dr. Muhammad Rivai, ST.,MT
2. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D

ABSTRACT

An important factor which inhibits the olfactory mobile robot to find the source of gas leak is wind movement. Wind movement can cause gas concentration to decrease, even disappear. This can prolong the searching of gas leakage sources. Hot-wire anemometer is an instrument used to determine wind direction by using heated wire filaments. The hot-wires used in this research are four nickeline wires which are given a constant current of 2.80 A. The initial temperature on the nickeline wire is 60°C, measured by the LM35 sensor. Neural Network is employed for classify the pattern recognition of temperature changes on four hot-wires. Temperature changes occur when there is heat transfer caused by wind gusts. Fuzzy logic is utilized as a control system on olfactory mobile robot. The designed fuzzy logic has input of semiconductor gas sensor and hot wire anemometer with output of robot movement. This olfactory robot is built using a tank-shaped wheel to maneuver across the various ground contours. The searching of gas leakage sources is performed outdoor that has high wind speed intensity. The use of anemometer on olfactory mobile robot to find the source of a gas leak is expected to accelerate the process more effectively and appropriately. The classification of hot-wire anemometers based on testing at different angles yields the best result at an angle of 60° which has an error rate of 11.96% for six tested angles. The tests result show that the olfactory mobile robot is able to find the gas source with a distance of 250 cm which takes 170 seconds. Overall, experiments on olfactory mobile robot using hot-wire implementation have a 60% success rate. In this research, olfactory mobile robot shows slow response time to detect wind direction, which is 47 seconds.

Key words: Fuzzy logic, Hot-wire anemometer, Neural network, Olfactory, Semiconductor gas sensor

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala limpahan rahmat dan hidayahnya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Perancangan Olfactory Mobile Robot Untuk Mencari Sumber Kebocoran Gas Di luar Ruangan Dengan Implementasi Hot-Wire Anemometer”. Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Pascasarjana Teknik Elektronika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tesis ini tidak dapat tersusun dengan baik tanpa bimbingan, bantuan dan dukungan dari banyak pihak yang diberikan kepada penulis. Oleh karena itu penulis memberikan ucapan terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT. dan Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah banyak berkontribusi selama proses pembuatan tesis sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik.
2. Dr.Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc., Dr.Ir. Totok Mujiono, M.Ikom. dan Muhammad Attamimi, B.Eng., M.Eng., Ph.D. selaku dosen penguji dalam ujian tesis yang telah memberikan saran-saran yang sangat bermanfaat bagi penulis.
3. Koordinator Pascasarjana Teknik Elektronika, Koordinator Pascasarjana Jurusan Teknik Elektro dan Ketua Jurusan Teknik Elektro sertakaryawan Pascasarjana Teknik Elektro yang telah membantu penulis dalam segala urusan administrasi selama menempuh kuliah di ITS.
4. Kedua orang tua Ibu dan ayah penulis, Dra. Nanik Sugirahayu dan Ir. Sunardi, M.T. yang sudah memberikan banyak dukungan, waktu, semangat dan doa untuk dapat menyelesaikan Tesis ini.
5. Kedua kakak penulis, Putri Amarantus Rahadiantari, Skm. dan Pria Alfisol Rahardi, SH., MH. yang sudah memberikan banyak dukungan semangat dan doanya untuk menyelesaikan tesis ini.

6. Istri Tercinta Nina Amelia, SE. yang sudah memberikan banyak dukungan semangat dan doanya untuk menyelesaikan tesis ini.
7. Keluarga besar penulis yang sudah memberikan dukungan dan doa atas terselesaikannya tesis ini.
8. Rekan-rekan S2 angkatan 2015 M. Aulia Rahman Sembiring dan Dwi Sasmita Pambudi yang sudah memberikan banyak pengalaman selama menempuh kuliah dan dukungan serta semangatnya dalam menyelesaikan tesis ini.
9. Rekan-rekan S2 angkatan 2014, 2015 genap dan rekan-rekan Lab. B402 yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tesis ini.
10. Seluruh pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini dengan baik.

Menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kata sempurna, maka kritik dan saran sangat penulis harapkan untuk perbaikan dimasa datang. Penulis berharap agar tesis ini dapat bermanfaat.

Surabaya, 11 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Kontribusi	5
1.6 Metodologi Penelitian	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Gas	7
2.2 <i>Robot Olfactory</i>	9
2.3 Robot Mobile <i>Olfactory</i> mencari lokasi kebocoran kimia	10
2.4 <i>Olfactory Mobile Robot</i> Berdasarkan Wireless Sensor	12
2.5 Hot-wire Anemometer	14
2.6 Hot-Wire Anemometer berdasarkan Sensor Hot-Film.	19
2.7 Neural Network	21

2.7.1	Tahap <i>Feedforward</i>	21
2.7.2	Tahap <i>Backpropagation</i>	23
2.8	Logika Fuzzy	24
2.9	Diagram <i>Fishbone</i>	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		31
Perancangan Penelitian Sistem.....		31
3.1	Studi Literatur <i>Olfactory Mobile Robot</i> dan <i>Hot-wire anemometer</i>	32
3.2	Perancangan Penelitian Sistem.....	32
3.3	Perancangan Mobile Robot Olfactory	34
3.3.1	Spesifikasi <i>Mobile Robot Olfactory</i>	34
3.4	Perancangang Software <i>Olfactory Mobile Robot</i>	37
3.4.1	Fuzzyfikasi Sistem.....	38
3.4.2	Rule Base	40
3.4.3	Metode Implikasi.....	40
3.4.4	Defuzzyfikasi.....	40
3.5	Perancangan sistem hot wire anemometer	42
3.5.1	Probe Hot-wire	42
3.5.2	Constant Current.....	44
3.5.3	Neural Network	44
3.6	Uji Sistem dan Analisa Data	47
3.7	Proses Evaluasi Performansi	47
3.8	Penulisan Paper	48
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		49
4.1	Pengujian Sensor gas pada <i>olfactory mobile robot</i>	49
4.2	Pencarian Sumber Kebocoran gas Menggunakan <i>Olfactory Robot</i>	50
4.3	Pengujian Hot-Wire Anemometer.....	53
4.3.1	Kalibrasi Data Menggunakan Wind Tunnel.....	54
4.3.2	Pengujian Menggunakan Metode Neural Network	56

4.3.3	Analisa Pengujian <i>Hot-wire Anemometer</i> Menggunakan <i>Neural Network</i>	60
4.4	Pencarian Sumber Gas Dengan Menambahkan <i>Hot-Wire</i>	61
BAB 5 PENUTUP		63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		65
LAMPIRAN		67
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		85

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kebocoran Pipa Gas PT. PGN Depok.....	2
Gambar 2.1 Lokasi Shale Gas dan Skematik Geologi dari Sumber Natural Gas	9
Gambar 2.2 <i>Olfactory Mobile Robot</i> (Emanuel, 2004).....	11
Gambar 2.3 Blok Diagram Sistem	11
Gambar 2.4 Hasil dari Pergerakan Robot.	11
Gambar 2.5 Desain <i>Robot Olfactory</i> Menggunakan Modul Sensor Nirkabel	13
Gambar 2.6 Denah Lokasi Percobaan	13
Gambar 2.7 Tipe sensor hot-wire.....	18
Gambar 2.8 Struktur Anemometer Tiga Sensor <i>MEMS</i>	19
Gambar 2.9 Hasil Pengukuran Tegangan Terhadap Kecepatan Angin.....	20
Gambar 2.10 Neural Network	21
Gambar 2.11 Proses Kendali Logika Fuzzy.....	25
Gambar 2.12 Proses Penalaran Max-Min	26
Gambar 2.13 Diagram Fishbone	29
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian	31
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem <i>Olfactory Mobile Robot</i> Dan Hot-Wire.....	32
Gambar 3.3 Design Roda Penggerak <i>Olfactory Mobile Robot</i>	34
Gambar 3.4 Rangkaian Hybrid Motor DC	35
Gambar 3.5 Motor Dc Yang Digunakan	35
Gambar 3.6 Penempatan Sensor Gas MQ-7	36
Gambar 3.7 Rangkaian <i>Power Supply</i>	36
Gambar 3.8 Spesifikasi <i>Olfactory Mobile Robot</i>	37
Gambar 3.9 Blok Diagram Fuzzy Gas	37
Gambar 3.10 Representasi Kurva Segitiga	38
Gambar 3.11 Representasi Kurva Segitiga Sensor Gas	38
Gambar 3.12 Representasi Kurva Segitiga Output Kecepatan Motor	41
Gambar 3.13 Diagram Blok Sistem Fuzzy	41

Gambar 3.14 Diagram Blok Sistem <i>Hot Wire Anemometer</i>	42
Gambar 3.15 Sistem <i>Hot-Wire Anemometer</i> (a) Nikelin Dililitkan Pada Sensor Suhu (b) Peletakan Sensor <i>Hot-Wire Anemometer</i>	43
Gambar 3.16 Skematik Arus Konstan	43
Gambar 3. 17 Arsitektur <i>Neural Network Hot-Wire Anemometer</i> Sudut 60°	44
Gambar 4.1 Sensor Gas MQ-7	50
Gambar 4.2 <i>Robot Olfactory</i> Dengan Implementasi Hot-Wire Anemometer	54
Gambar 4.3 Wind Tunnel Yang Digunakan Dalam Pengambilan Data.....	54
Gambar 4.4 Grafik Pola Angin Per Sudut 30°	55
Gambar 4.5 Grafik Sudut Per 45°	55
Gambar 4.6 Grafik Pola Arah Angin Terhadap Sudut 60°	55
Gambar 4.7 Grafik Pola Arah Angin Setiap Kenaikan Sudut 90°.....	56
Gambar 4.8 Proses Pengambilan Data Menggunakan Sumber Angin Kipas.....	58
Gambar 4.9 Penempatan Sumber Gas Sudut 0° dan Sumber Angin Sudut -60°.....	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil percobaan robot olfactory	14
Tabel 3.1 Rule base sistem fuzzy	40
Tabel 3.2 Nilai target pembelajaran setiap sudut 60°	45
Tabel 4.1 Hasil pengujian asap rokok terhadap jarak pada olfactory mobile robot	50
Tabel 4.2 Pencarian sumber gas di dalam ruangan tanpa metode fuzzy	51
Tabel 4.3 Pencarian sumber gas di luar ruangan tanpa metode fuzzy	51
Tabel 4.4 Hasil perhitungan fuzzy di arduino	52
Tabel 4.5 Pencarian sumber gas di dalam ruangan dengan metode fuzzy	52
Tabel 4.6 Pencarian sumber gas didalam ruangan dengan metode fuzzy	53
Tabel 4.7 Hasil pembacaan sensor hot-wire anemometer setiap sudut 30°	57
Tabel 4.8 Hasil pembacaan sensor hot-wire anemometer sudut setiap 45°	57
Tabel 4.9 Hasil pembacaan sensor hot-wire anemometer sudut setiap 60°	57
Tabel 4.10 Hasil pembacaan sensor hot wire anemometer setiap sudut 90°	58
Tabel 4.11 Pengujian berdasarkan jarak sumber angin didalam ruangan	59
Tabel 4.12 hasil pengujian berdasarkan jarak sumber angin diluar ruangan	60
Tabel 4.13 Pengujian olfactory mobile robot dengan <i>hot-wire</i>	62

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Anemometer merupakan perangkat untuk mengukur kecepatan angin yang sering digunakan dalam meteorologi dan aerodinamis. Kawat panas anemometer merupakan kawat halus yang dipanaskan sampai beberapa suhu di atas batas ambien, sehingga hambatan listrik pada konduktor akan berubah terhadap suhu. Udara atau angin yang mengalir melewati kawat dipanaskan cenderung dingin kawat, sehingga menurunkan resistensi.

Kecepatan angin dapat diketahui dengan menggunakan alat-alat pengukur angin. Alat pengukur kecepatan angin yang umum digunakan adalah anemometer (Lakitan, 1994). Karena mahalnya peralatan yang biasa digunakan, sehingga membuat masyarakat kebanyakan tidak dapat memiliki alat tersebut. Diketahui bahwa prinsip kerja dari alat pengukur kecepatan angin yang biasa digunakan, cukup sederhana yaitu baling-baling yang berjumlah tiga buah berputar pada suatu tiang yang dihubungkan dengan counter. Prinsip yang sederhana tersebut kita dapat mengembangkan alat ini, yaitu dengan merancang alat pengukur kecepatan angin dari bahan-bahan yang mudah didapat dan terjangkau harganya akan tetapi dapat bekerja secara optimal.

Kecepatan angin merupakan suatu kuantitas vektor yang mempunyai besaran. Kecepatan angin adalah perpindahan udara tiap satu satuan waktu dengan satuan meter/detik atau meter/menit. Kecepatan angin pada dasarnya ditentukan oleh perbedaan tekanan udara antara tempat asal dan tujuan angin (sebagai faktor pendorong) dan resistensi medan yang dilaluinya (Lakitan, 1994). Kecepatan angin berbanding lurus dengan tekanan udara. Sebagian besar anemometer ini umumnya tidak dapat merekam kecepatan angin dibawah 1 sampai 2 mil/jam karena ada faktor gesekan pada awal putaran

Saat ini telah banyak dikembangkan tentang hot-wire diantaranya adalah *Self Heated Thermo-resistive Element Hot-Wire Anemometer*, pengembangan ini menggunakan *microelectromechanical* sistem yang terdiri dari unsur-unsur

thermoresistif diatur dalam konfigurasi bridge differential (Richard Jozev Adamec, 2010). Pengendalian suhu untuk hot-wire anemometer dengan umpan balik tegangan linearisasi, Sensitifitas tinggi berdasarkan MEMS Hot-Film Sensor dan penggunaan arus yang konstan untuk kawat panas anemometer (Liu, 2013).

Ada Banyak Kandungan gas yang ada dalam udara dan tidak semua kandungan yang ada di udara aman bila dihirup oleh manusia. Jika udara yang terhirup oleh manusia tercemar dengan kandunga gas seperti CO, metana, dan NOx maka udara tersebut dapat meracuni tubuh manusia. Gas CO bisa membuat sesak nafas, bahkan dapat menyebabkan kematian bila udara yg tercemar telalu banyak dihirup oleh manusia.

Pada saat ini banyak industri yang mulai berkembang, oleh sebab itu maka semakin banyak gas berbahaya yang dihasilkan sehingga dapat mengancam kesehatan tubuh. Gas-gas tersebut akan mencemari udara yang ada di lingkungan sehingga tanpa sadar akan terhirup dan masuk ke dalam tubuh, kemudian secara bertahap tubuh akan merasakan dampaknya. Akan lebih berbahaya lagi jika gas-gas tersebut terkonsentrasi di dalam suatu ruangan, karena kemungkinan jumlah udara yang dihirup akan lebih banyak dan tubuh akan lebih cepat merasakan dampaknya.

Salah satu contoh kebocoran gas yang terjadi pada pipa milik PT.PGN di Depok bulan desember 2015 menyebabkan bau yang sangat menyegat di lingkungan tersebut. Kebocoran pipa gas dapat menimbulkan ledakan seperti yang terjadi pada pipa milik PT.PGN di Bogor bulan april 2016. Beberapa faktor yang



Gambar 1. 1 Kebocoran Pipa Gas PT. PGN Depok

menyebabkan kebocoran pipa gas adalah terjadi korosi pada pipa gas, bencana alam seperti pergeseran tanah atau terjadi tanah longsor dan kelalaian dari pekerja. Perawatan dan pemeriksaan secara berkala dapat mengurangi resiko terjadinya pada pipa gas (<http://news.okezone.com/read/2015/12/07/338/1262026/bau-gas-bocor-di-depok-menyebar-ke-dua-kecamatan>) diakses 20 juni 2016.

Pada saat ini pengembangan tentang pendeteksian gas telah banyak dilakukan oleh peneliti salah satunya adalah peneliti dari Philipina yaitu Emmanuel A. Gozales dkk tentang desain robot pencari kebocoran gas didalam ruangan. Pada umumnya robot yang digunakan oleh peneliti-peneliti sebelumnya hanya menggunakan parameter sensor gas untuk mendeteksi kebocoran gas. Hal ini sebenarnya sudah cukup untuk mendeteksi sumber kebocoran gas yang terjadi hanya saja pencarian sumber kebocoran gas ini memerlukan waktu yang lama karena udara disekitar dapat mengurangi tingkat sensitifitas pada sensor gas. Waktu yang dibutuhkan untuk mencari sumber kebocoran gas pada saat jarak 9.62m dibutuhkan waktu 232 s, jarak 16.02 m dibutuhkan waktu 302 s (Jiu, 2015). Hasil dari penelitian dengan sistem yang berbeda, pada jarak 1.9 m membutuhkan waktu 143 s (Qiangqiang Li, 2015).

Pengujian yang dilakukan selama ini masih berada didalam ruangan, ketika pengujian berada diluar ruangan maka gangguan lebih tinggi disebabkan oleh pergerakan angin yang dapat mengurangi konsentrasi kandungan pada gas yang akan dideteksi. Pergerakan angin merupakan sesuatu yang harus diperhatikan dalam mendeteksi sumber kebocoran gas.

Oleh karena itu penelitian ini akan menambahkan sebuah sensor hot-wire anemometer pada robot *olfactory* untuk mengetahui sumber kebocoran gas dengan cepat berdasarkan arah dari kandungan gas yang dibawa oleh angin. Ketika sensor gas tidak dapat mendeteksi konsentrasi gas dengan baik, maka hot-wire anemometer akan bekerja untuk mengetahui sumber dari angin yang berhembus membawa kandungan gas. Hot wire anemometer bekerja berdasarkan arah angin yang terdeteksi oleh kawat filamen yang diberi arus konstan sehingga resistansi dari filamen tersebut berubah nilainya.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang *olfactory* mobile robot yang dapat mendeteksi gas meskipun terdapat gangguan angin.
2. Bagaimana mendeteksi pergerakan dan arah angin.
3. Bagaimana merancang kontrol dalam pencarian sumber kebocoran gas dengan *olfactory* mobile robot dengan cepat

1.3 Tujuan

Penelitian yang diusulkan memiliki tujuan umum dan khusus. Tujuan umumnya adalah memberikan pengetahuan kepada civitas academica Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan masyarakat umum akan kegunaan sistem hot wire anemometer dan robot *olfactory* dalam proses pencarian letak kebocoran gas. Tujuan khusus penelitian mencakup beberapa poin.

1. Membuat *olfactory* mobile robot dengan implementasi Hot-wire untuk mendeteksi gas pada ruang terbuka yang rentan terhadap gangguan angin.
2. Mendeteksi arah angin sumber kebocoran gas dengan 4 sensor Hot-wire.
3. Mendeteksi sumber kebocoran gas secara cepat dengan kontrol fuzzy pada *olfactory* mobile robot yang dilengkapi anemometer.

Penelitian yang diusulkan memiliki manfaat yang mencakup beberapa point, diantaranya yaitu

1. *Olfactory* mobile robot digunakan untuk mencari sumber kebocoran gas diluar ruangan.
2. Tahan terhadap gangguan angin pada sensor gas yang terdapat di *olfactory* mobile robot.
3. Mempercepat pencarian sumber kebocoran gas diluar ruangan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah kecepatan angin tidak melebihi 10 mph dan suhu lingkungan yang digunakan adalah 24°C - 30°C.

1.5 Kontribusi

Penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam bidang industri dalam skala besar maupun industri dalam skala kecil yang erat kaitannya dengan penggunaan gas untuk mengetahui dengan cepat sumber kebocoran gas.

1.6 Metodologi Penelitian

Untuk memahami lebih jelas buku ini, maka materi-materi yang tertera pada buku tesis ini dikelompokkan menjadi beberapa sub bab dengan sistematika penyampaian sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN: Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, kontribusi, dan sistematika penulisan.

BAB II KAJIAN PUSTAKA: Bab ini menjelaskan tentang rangkuman singkat semua materi terkait yang terdapat di dalam berbagai referensi. Bab ini juga menjelaskan tentang teknik, peralatan atau teknologi yang akan dan/atau telah digunakan dalam penelitian yang akan/sedang dilaksanakan. Uraian yang ditulis diarahkan untuk menyusun kerangka pendekatan atau konsep yang diterapkan dalam penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN: Pada bagian ini diuraikan desain, metode, atau pendekatan yang digunakan dalam menjawab permasalahan penelitian untuk mencapai tujuan penelitian, serta tahapan penelitian secara rinci, singkat dan jelas. Uraian meliputi parameter penelitian, model yang digunakan, rancangan penelitian, teknik atau metode perolehan dan analisis data, gambar diagram alir tentang langkah penelitian untuk memperjelas metode penelitian tesis.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN: Bab ini menjelaskan secara terperinci dan tahap demi tahap tujuan penelitian dibahas dan dianalisis secara detail dan tajam, dengan menggunakan metode yang telah diberikan dalam metodologi penelitian, sampai diperoleh suatu hasil penelitian. Analisis dan pembahasan ini, dilakukan untuk semua tujuan yang telah ditetapkan pada tujuan penelitian.

BAB V PENUTUP: Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan analisa dan optimalisasi sistem berdasarkan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Diperlukan beberapa teori untuk mempermudah dalam proses pembuatan sistem. Sistem yang dibuat bertujuan untuk mengetahui letak kebocoran gas yang lebih baik daripada menggunakan robot *olfactory* tanpa menggunakan *hot wire anemometer*. Sehingga diperlukan pengetahuan tentang karakteristik *hot wire anemometer*, pengetahuan tentang robot *olfactory* yang diperlukan untuk proses pendeteksian gas

2.1 Gas

Gas alam adalah gas yang terjadi secara alami dari hidrokarbon bersifat daya tekan tinggi dan memiliki berat jenis spesifik yang rendah. Pada umumnya gas alam terkumpul dibawah tanah dengan berbagai macam komposisi yang terdapat dalam kandungan minyak bumi. Komposisi utama gas alam adalah metana, etana, propana, butana, isobutana dan sisanya pentane. Selain komposisi tersebut, gas alam juga mengandung helium, nitrogen, karbon dioksida, dan karbon-karbon lainnya. Untuk memudahkan pengangkutan (transportasi), gas alam dicairkan terlebih dahulu sehingga disebut gas alam cair atau LNG (*Liquified Natural Gas*). Gas campuran yang terdiri dari metana umumnya memiliki jumlah yang bervariasi lebih tinggi daripada gas alkana sebagian kecil dari karbon dioksida, nitrogen, hidrogen sulfida, atau helium. Gas tersebut terbentuk dari lapisan tanaman yang membusuk dan fosil hewan yang terkena panas dan tekanan yang diperoleh dari bawah permukaan bumi selama jutaan tahun. Energi pada tanaman awalnya diperoleh dari matahari kemudian disimpan dalam bentuk ikatan kimia dalam gas.

Gas alam yang merupakan bahan bakar fosil digunakan sebagai sumber energi untuk pemanas, memasak, dan pembangkit listrik. Hal ini merupakan sumber daya yang terbarukan.

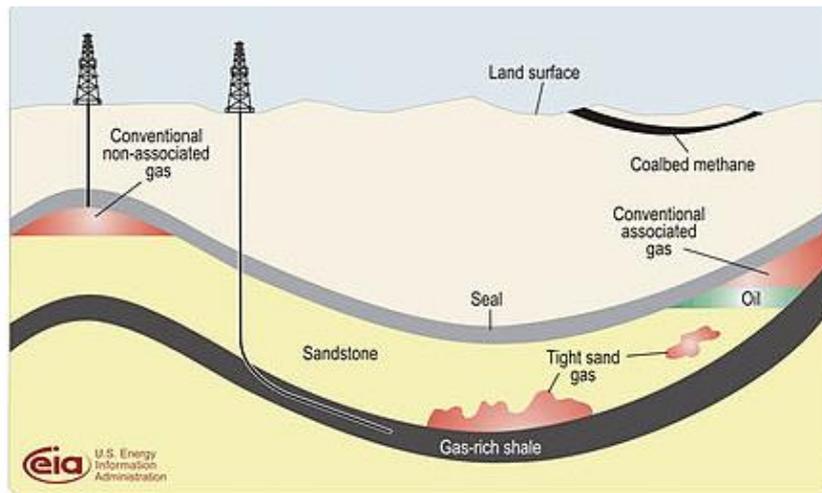
Gas alam ditemukan dalam formasi batuan bawah tanah atau berhubungan dengan reservoir hidrokarbon lainnya di tempat batubara dan sebagai metana. Minyak bumi adalah sumber daya dan bahan bakar fosil lain yang ditemukan di dekat dengan gas alam. Hal ini terbentuk ketika lapisan tanaman membusuk dan

fosil hewan yang terkena panas serta tekanan yang diperoleh dari bawah permukaan bumi selama jutaan tahun. Kebanyakan gas alam diciptakan dari waktu ke waktu oleh dua mekanisme yaitu biogenik dan termogenik. Gas biogenik adalah gas metan (CH_4) yang menyebar luas di bawah permukaan tanah dan mudah ditemui di berbagai lokasi. Teori pembentukan gas ini terdiri dari tiga proses, yaitu Adanya proses fermentasi bakteri anaerobik pada sampah organik seperti kotoran ternak dan sejenisnya, proses fermentasi bakteri asetat dan terjadinya proses reduksi gas CO_2 . Gas ini sering juga disebut sebagai biogas metan atau gas biomassa. Gas biogenik dibuat oleh metanogen organisme di rawa, tempat pembuangan sampah dan sedimen dangkal. Lebih dalam di inti bumi pada suhu dan tekanan yang lebih besar gas termogenik dibuat dari bahan organik yang terkubur.

Sebelum gas alam dapat digunakan sebagai bahan bakar gas alam harus diproses untuk menghilangkan kotoran termasuk air untuk memenuhi spesifikasi alami gas.

Ekstraksi industri pertama di dunia gas alam dimulai pada Fredonia, New York , Amerika Serikat pada tahun 1825. Pada tahun 2009, 66 triliun meter kubik (atau 8%) telah digunakan dari total $8,5 \times 10^{14}$ meter kubik diperkirakan sisa cadangan dipulihkan gas alam. Berdasarkan tingkat konsumsi 2015 dunia diperkirakan sekitar 3,4 triliun meter kubik gas per tahun, total estimasi sisa cadangan ekonomis dari gas alam akan bertahan 250 tahun pada tingkat konsumsi saat ini. Peningkatan tahunan dalam penggunaan 2-3% dapat mengakibatkan cadangan saat dipulihkan berlangsung kurang signifikan, mungkin sedikitnya 80 hingga 100 tahun.

Gas alam adalah salah satu sumber daya energi dan dapat ditemukan di daerah daratan (onshore) maupun di laut (offshore). Beberapa metode penyimpanan dari gas khususnya untuk proses industri dalam hal ini Liquefied Natural Gas (LNG) adalah diperlukan sebelum maupun sesudah dipindahkan melalui jalur pipa maupun transportasi laut.



Gambar 2. 1 Lokasi Shale Gas dan Skematik Geologi dari Sumber Natural Gas

Ada dua karakteristik utama dari penyimpanan gas yaitu berapa banyak yang dapat diinjeksikan, disimpan dalam tekanan rendah maupun tinggi sesuai dengan *CH-IV International* (2013), yaitu dari 2500 sampai 3600 psi disebut Compressed Natural Gas (CNG) dan lebih tinggi disebut Pressurized (LNG) kemudian. Definisi keamanan dari supply gas alam didalamnya termasuk batasan, ukuran, frekuensi dan pengaruh lain yang berkaitan dalam hal perubahan harga, kerusakan lingkungan.

Hal ini dapat dikategorikan menjadi empat buah sumber (Fevre, 2013) yaitu resiko teknis seperti kesalahan pengolahan dan kualitas dari gas selain itu resiko komersial seperti kontrak yang tidak sesuai dan harga pasar yang melonjak, bahaya terhadap manusia, perubahan kebutuhan sampai pengaruh intervensi politis.

2.2 Robot Olfactory

Robot olfactory adalah simulasi robot otomatis dari indera penciuman. *Robot olfactory* adalah sebuah aplikasi yang muncul dari teknik modern di mana robot atau sistem otomatis lainnya diperlukan untuk mengukur keberadaan konsentrasi gas atau bahan kimia tertentu di udara. Suatu sistem seperti ini sering disebut hidung elektronik.

Teknologi ini masih dalam tahap awal pembangunan, tetapi menjanjikan banyak aplikasi yang dapat dikerjakan, seperti:

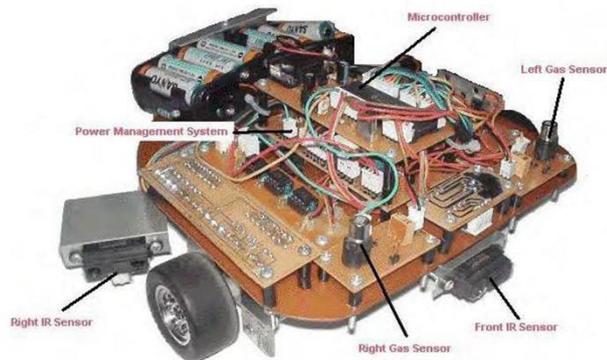
- Deteksi dan diagnosis dalam pengobatan.
- Pendeteksi bahan peledak atau zat berbahaya.
- Militer.
- Pemantauan lingkungan.
- Pendeteksian bahaya kebocoran racun.

Penciuman juga banyak digunakan oleh hewan untuk menemukan pasangan, mencari makanan, bertukar informasi, dan menghindari predator. Penciuman memainkan peran penting dalam kehidupan sifat kebanyakan hewan. Meskipun penginderaan bau jauh lebih sederhana daripada penglihatan atau pendengaran, navigasi dalam bidang difusi kimia masih belum dipahami dengan baik. Oleh karena itu, indera penciuman mulai dikembangkan dan digunakan di dalam komunitas robotika. Tujuan dari robot *olfactory* adalah untuk menemukan sumber dari bau yang dibawa dalam aliran fluida turbulen atau udara (Ali Marjowi, 2011).

2.3 Robot Mobile *Olfactory* mencari lokasi kebocoran kimia

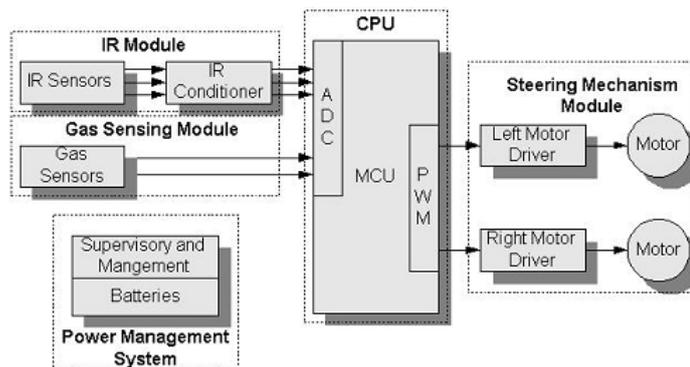
Emmanuel A. Gonzales (2004) melakukan penelitian tentang pencarian sumber gas yang berasal dari kimia dan menghindari rintangan. Penelitian ini menggunakan sensor gas TGS2620 dan sensor proximity.

Central Processing Unit berfungsi sebagai otak dari keseluruhan sistem. Hal ini terdiri dari mikrokontroler yang diprogram untuk mengumpulkan data analog dari lima sensor, dan untuk mengontrol motor dc navigasi robot. CPU juga reprogrammable dengan antarmuka modul ke PC melalui kabel RS-232. Hal ini juga diprogram untuk memberikan sinyal ke indikator terletak di platform mobile untuk perencanaan jalan dan tingkat visualisasi konsentrasi kimia.

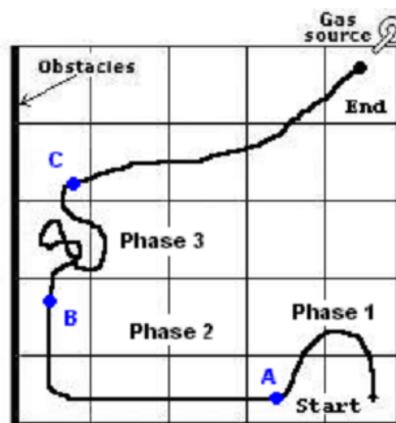


Gambar 2. 2 *Olfactory Mobile Robot* (Emanuel, 2004).

Desain dari *robot olfactory* telah dibahas dalam penelitian ini. Fitur yang luar biasa dari AMOR dalam penelitian ini adalah kemampuan untuk menemukan sumber kebocoran kimia, dan kemampuan mendeteksi serta menghindari rintangan di sepanjang jalan.



Gambar 2. 3 Blok Diagram Sistem



Gambar 2. 4 Hasil dari Pergerakan Robot.

Pada kenyataannya, gas-gas kimia, konsentrasi, dan difusi bisa mengubah respon dari *Autonomous Mobile Olfactory Robot (AMOR)* pada waktu tertentu karena keacakan gas diluar sehingga dapat membuat robot merespon tak menentu. Struktur untuk perbaikan masih tersedia pada algoritma pencarian gas kimia dan menghindari rintangan yang dengan memasukkan sensor kimia tambahan dan kecerdasan buatan seperti Fuzzy Logic untuk ketidakpastian pengukuran kimia dan deteksi kendala, dan Artificial Neural Networks (ANN) untuk pengenalan pola di bawah diskriminasi kimia.

Selain itu, penulis berhasil menunjukkan bahwa ide-ide untuk pengembangan *AMOR* berfungsi sebagai dasar untuk sukses di masa depan, seperti membuat *AMOR* canggih yang dapat digunakan sebagai robot electronic "anjing" untuk mencari kebocoran bahan kimia berbahaya di lingkungan.

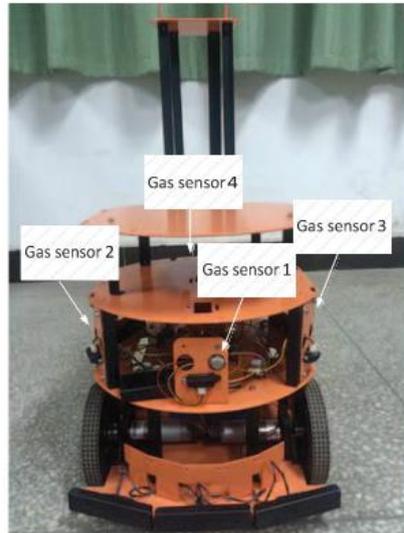
Pada Gambar 2.4 yang *AMOR* dijalankan pada posisi lebih dari 1.52 m menjauhi dari sumber. Pencarian pada tahap 1, robot menavigasi dengan dengan rintangan dan membutuhkan waktu untuk sampai ke sumber gas adalah 143 s (Emmanuel A. Gonzalez, 2004).

2.4 Olfactory Mobile Robot Berdasarkan Wireless Sensor

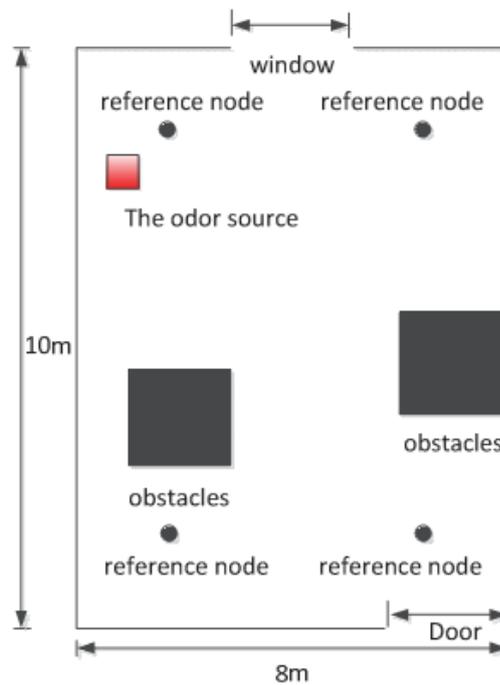
Qiangqiang li melakukan penelitian tentang Robot penciuman yang dikombinasikan dengan jaringan sensor nirkabel untuk mengetahui lokasi sumber bau. Robot ini merupakan perpaduan dari sensor gas, sensor inframerah dan sensor lainnya. Mobile robot dilengkapi dengan modul sensor nirkabel sehingga operator bisa memperoleh informasi dari sumber koordinat pada komputer personal (PC) secara langsung. Percobaan terkait menunjukkan bahwa metode dengan cepat bisa menemukan sumber kebocoran dan menemukan sumber bau.

Percobaan dilakukan di area 10m x 8m. Keamanan dan kenyamanan untuk bereksperimen, botol alkohol medis digunakan sebagai sumber bocor. Karena daerah laboratorium lebih besar dan difusi alkohol medis lambat, untuk mencapai arah bocor cepat, kipas angin listrik kecil bertiup ke dalam mulut kebocoran digunakan untuk mempercepat difusi gas, dua kotak dianggap sebagai hambatan dan simpul empat referensi membawa dengan sensor gas ditempatkan dalam ruangan. Salah satu simpul referensi dalam sumber bau dekatnya. lingkungan

percobaan umumnya diilustrasikan pada Gambar 2.6, di mana berbentuk kubus berwarna abu-abu diwakili rintangan, lingkaran abu-abu mewakili node referensi, dan kubus merah mewakili sumber bau (alkohol).



Gambar 2. 5 Desain *Robot Olfactory* Menggunakan Modul Sensor Nirkabel



Gambar 2. 6 Denah Lokasi Percobaan

Tabel 2. 1 Hasil percobaan *robot olfactory*

Percobaan ke-	Jarak sumber kebocoran	Waktu simulasi
1	0.10	186
2	0.13	197
3	0.21	176
4	0.18	181
5	0.23	207
6	0.15	213
7	0.17	194
8	0.27	183

Robot mulai mencari pada jarak 6 m dari sumber bau. Pada awalnya, robot itu statis. Ketika salah satu dari node referensi membawa dengan sensor gas terdeteksi, node referensi mengirim informasi ke robot mobile, mobile robot langsung bergerak menuju arah umum dari node referensi dan menggunakan sensor gas mendeteksi informasi dari gas. Jika robot menemui hambatan dalam pelacakan, itu akan menilai apakah hambatan itu sumber gas atau bukan. Dengan kata lain, robot membuat penilaian apakah konsentrasi daerah ini selalu lebih besar dari konsentrasi set threshold setelah tahan lama tetap berada di wilayah tersebut. proses pelacakan akan dilanjutkan sampai menemukan sumber bau (Qiangqiang Li, 2013).

Lokasi sumber gas jaringan sensor nirkabel diperkirakan memantau cakupan area dari informasi lingkungan. Pertama, robot langsung bergerak menuju ke arah sumber bau. Ketika mendeteksi, ia mulai melacak sampai sumber bau ditentukan dengan metode konsentrasi gradien

2.5 Hot-wire Anemometer

Hot-wire anemometer bekerja dengan menggunakan udara yang diketahui dinamis dan memindahkan panas tersebut. Kawat disuplai dengan arus yang konstan sehingga terjadi pemanasan. Hubungan untuk menghitung kecepatan udara berdasarkan pada jumlah daya yang dilepaskan oleh kawat dengan menghitung

jumlah energi yang hilang dapat dihitung dari perubahan suhu dalam kasus arus konstan. Jumlah panas yang hilang dari kawat adalah fungsi yang diketahui dari kecepatan udara di sekitarnya. anemometry termal adalah metode yang paling umum digunakan untuk mengukur kecepatan fluida sesaat. Teknik ini tergantung pada kehilangan panas konvektif dari unsur yang dipanaskan dengan listrik.

Semua perangkat termal diatur oleh hukum-hukum termodinamika. Termodinamika Hukum yang pertama adalah pernyataan dari kekekalan energi seperti pada Persamaan 2.1,

$$\sum E_o - \sum E_i + \sum E_s = 0 \quad (2.1)$$

Dimana :

$\sum E_o$ adalah energi yang meninggalkan kawat

$\sum E_i$ adalah energi pada sata kawat dipanaskan

$\sum E_s$ adalah energi yang tersimpan pada kawat.

Pada saat keadaan seimbang nilai $\sum E_s = 0$.

Mekanisme tiga energi panas yang mengatur perpindahan panas melalui, ke dalam dan keluar dari materi yang konduksi, konveksi dan radiasi.

Perpindahan panas secara konveksi adalah hal penting dari perpindahan panas untuk memungkinkan pengoperasian perangkat ini dan diminta untuk hasil yang signifikan. Konduksi dan perpindahan panas radiasi tidak akan membantu pengoperasian perangkat melainkan mengurangi sensitivitas dengan memperkenalkan Bias termal yang tidak perlu dan kehilangan panas dari elemen penginderaan. Konduksi dan radiasi kerugian, oleh karena itu perlu diminimalkan untuk mengurangi energi yang terbuang dan mencapai operasi daya rendah sesuai dengan Persamaan 2.2,

$$q = hA_s(T_s - T_f) \quad (2.2)$$

dimana :

h adalah koefisien konveksi pendinginan.

A_s adalah luas permukaan yang terkena fluida (M).

T_f adalah suhu dari fluida ($^{\circ}\text{C}$).

T_s adalah suhu permukaan kawat ($^{\circ}\text{C}$).

T_{ref} adalah suhu referensi ($^{\circ}\text{C}$).

Koefisien pendinginan konveksi digunakan untuk menyederhanakan Persamaan 2.2 sebagai tingkat perpindahan panas merupakan fungsi dari sifat material, penggunaan cairan, aliran yang efisiensi, dll. Diantaranya efisiensi aliran adalah fungsi dari geometri permukaan, kecepatan aliran dan viskositas fluida. Perbedaan antara cairan statis dan bergerak dibuat dengan variasi koefisien pendinginan konveksi sebagai variasi aliran panas yang tidak dapat ditentukan hanya dengan kecepatan fluida untuk semua cairan. Hal ini membuat "h" variabel yang kompleks dan biasanya diterima sebagai koefisien dengan rentang untuk bahan tertentu atau struktur di bawah kondisi yang telah ditetapkan dalam cairan dan tingkat aliran.

Perpindahan panas radiasi meningkat pesat dengan perubahan suhu. Ini jauh akan menyulitkan suhu terhadap respons daya perangkat dengan menambahkan kerugian termal yang berpotensi mendominasi dan praktis mengurangi sensitivitas perangkat ke tingkat operasi kerja. Menghindari potensi bahaya tersebut suhu operasi dari perangkat harus dijaga di bawah daerah di mana perpindahan panas radiasi dianggap sebagai modus yang signifikan dari kehilangan panas. Semua suhu disimpan di bawah daerah tersebut, radiasi benda hitam dapat dianggap diabaikan dan kehilangan panas dari perangkat dimodelkan oleh konveksi sendiri mengakibatkan hubungan suhu.

Kondisi batas dan model pendekatan seperti ini, analisis perangkat sangat sederhana. Jika radiasi dan memindahkan konduksi yang disimpan cukup kecil untuk dapat dianggap diabaikan. Mengingat sistem dalam kesetimbangan termal di mana $s = 0$ substitusi Persamaan 2.1 dengan Persamaan 2.2 sehingga akan menjadi sebuah Persamaan 2.3,

$$\sum E_i = hA_s(T_f - T_s) \quad (2.3)$$

Hal ini menunjukkan ketergantungan linier dari suhu sistem pada daya input E_i menjadi pemanasan joule elemen resistif sama dengan $P = I^2R$.

Asumsikan bahwa kawat, dipanaskan oleh input arus listrik, berada dalam kesetimbangan termal pada lingkungannya. Input daya listrik adalah sama dengan daya yang hilang karena konveksi perpindahan panas sehingga terbentuk Persamaan 2.4,

$$I^2 R_w = h A_s (T_f - T_s) \quad (2.4)$$

Kawat resistensi R_w merupakan fungsi dari suhu berdasarkan Persamaan 2.5,

$$R_w = R_{ref} [1 + \alpha(T_s - T_{ref})] \quad (2.5)$$

Dimana

I adalah arus (A).

R_w adalah hambatan (Ω).

R_{ref} adalah hambatan referensi (Ω).

h adalah koefisien konveksi pendinginan.

A_s adalah luas permukaan yang terkena fluida (M).

T_f adalah suhu dari fluida ($^{\circ}C$).

T_s adalah suhu permukaan kawat ($^{\circ}C$).

T_{ref} adalah suhu referensi ($^{\circ}C$).

Dalam koefisien perpindahan panas h adalah fungsi dari kecepatan fluida V_f menurut King's Law seperti pada Persamaan 2.6,

$$h = a + b \times v_f^c \quad (2.6)$$

dimana a , b dan c adalah koefisien konstan, v_f adalah kecepatan fluida. Dalam hukum King's "a" dan "b" tidak benar-benar konstan, tergantung pada diameter kawat dan temperatur fluida.



Gambar 2. 7 Tipe sensor hot-wire

Penggabungan dua persamaan yaitu Persamaan 2.5 dan Persamaan 2.6, maka dapat menghilangkan koefisien perpindahan panas "h" seperti pada Persamaan 2.7,

$$a + b \times v_f c = \frac{I^2 R_w}{A_s (T_s - T_f)} \quad (2.7)$$

Sensor silinder (kabel panas dan film panas) yang paling sering digunakan untuk mengukur kecepatan fluida adalah sensor flush (film panas) yang kebanyakan digunakan untuk mengukur *stres* dinding yang geser geser. Sensor *Hot-wire* dibuat dari panjang pendek kawat resistensi dan melingkar di bagiannya. Sensor *hot-film* terdiri dari lapisan tipis bahan yang telah diendapkan pada substrat non-conductor. Sensor panas film juga mungkin silinder juga dapat mengambil bentuk lain, seperti flush-mount.

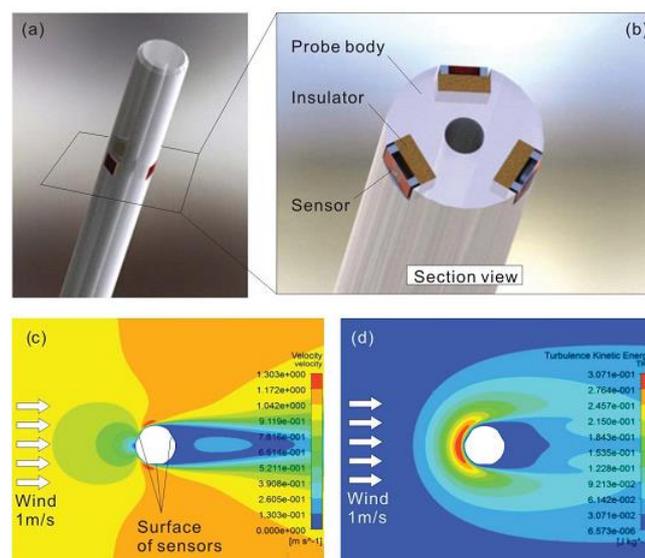
Sensor yang digunakan untuk pengukuran kecepatan dalam penelitian turbomachinery dari jenis silinder. Jumlah tersebut, sebagian besar adalah yang mudah untuk hot-wire karena fleksibilitas besar dari penggunaan di tempat terbatas turbomachinery yang sering bergerak. Pengoptimalan respon frekuensi anemometer, probe harus memiliki setidaknya inersia termal dan konsisten dengan persyaratan ukuran kecil. Untuk bekerja di gas, tungsten platinum berlapis dari 5 mm diameter yang paling umum digunakan sebagai elemen penginderaan meskipun ukuran dan bahan lainnya kadang-kadang digunakan (Bergman, 2011).

2.6 Hot-Wire Anemometer berdasarkan Sensor Hot-Film.

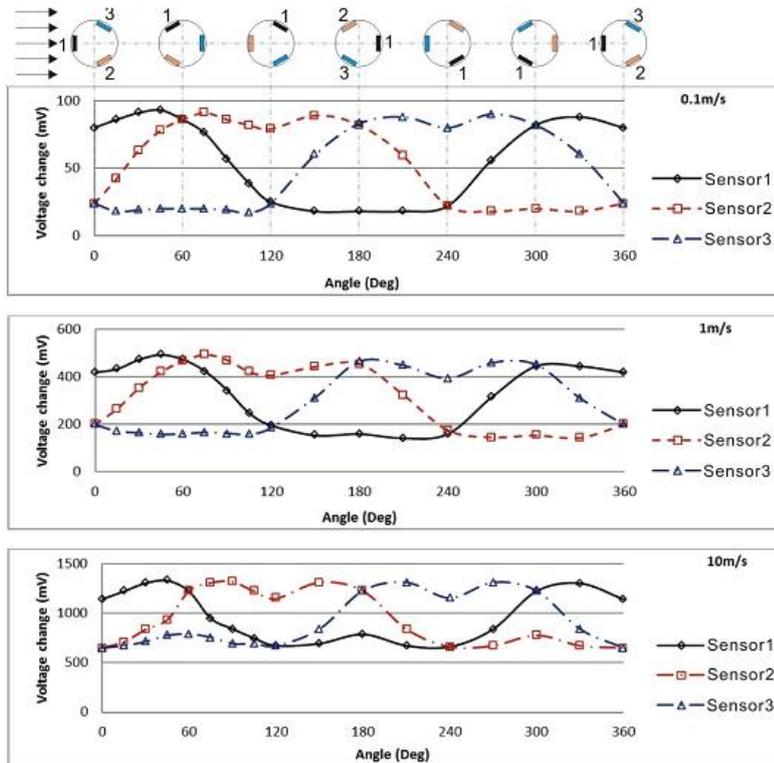
Hau Bing Liu melakukan penelitian tentang resolusi tinggi pemantauan aliran udara di lingkungan perkotaan yang membutuhkan penyebaran sejumlah besar anemometer dengan kemampuan pengukuran tepat dari kedua arah dan kecepatan angin dalam dua atau tiga dimensi. Terdapat banyak sensor yang dijual tetapi terlalu mahal dan besar untuk aplikasi ini. Hal ini diketahui bahwa sistem *microelectromechanical (MEMS)* anemometers berbasis sensor yang memiliki biaya produksi rendah untuk produksi massal. Karena filamen ini ultra-tipis dan struktur yang halus, sensor *hot-film* berbasis *MEMS* juga memiliki potensi untuk memperbarui *hot-wire* atau *hot-film* sensor yang sudah ada sebelumnya.

MEMS berbasis anemometer yang mengintegrasikan beberapa elemen penginderaan pada sebuah chip untuk mendeteksi kecepatan aliran udara dan arah angin menunjukkan sensitivitas yang rendah..

Dalam tulisan ini, penulis mengembangkan anemometer yang memiliki struktur *hot-film* chip sensor berbasis 3 *MEMS* yang dapat mendeteksi kecepatan aliran udara dan arah dengan sensitivitas yang tinggi sekaligus menjaga ukuran yang kompleks untuk probe (6-mm diameter). Prototipe anemometer dikalibrasi untuk mendeteksi kecepatan angin dengan akurasi 3,6% RMS dalam berbagai kecepatan angin 0,1 m/s - 10 m / s dan arah angin dari 0 ° sampai 360 ° dengan akurasi 1.20 derajat (*error RMS*).



Gambar 2. 8 Struktur Anemometer Tiga Sensor *MEMS*.



Gambar 2. 9 Hasil Pengukuran Tegangan Terhadap Kecepatan Angin.

Penelitian ini mengembangkan probe tertanam dengan tiga *MEMS* sensor *hot-film* untuk mendeteksi kecepatan dan arah angin, karakteristik dengan ukuran yang kompak, sensitivitas tinggi dan akurasi, respon cepat, dan biaya rendah.

Pada paper ini menggunakan prototipe anemometer untuk pemantauan angin, data hasil uji lapangan hampir sama dengan hasil data dari anemometer komersial. Studi perbaikan lebih lanjut dari *MEMS* sensor *hot-film* dengan tahapan penelitian yang baik membuat sebuah chip *MEMS* yang mengintegrasikan struktur probe dan beberapa sensor *hot-film* dengan karakter yang lebih baik seperti ukuran yang lebih kecil, konsumsi daya yang rendah, dan rentang kecepatan yang lebih tinggi. Selanjutnya kita akan mengintegrasikan probe *MEMS* anemometer dengan modul pengukuran berdasarkan mikroprosesor untuk membentuk sistem yang berdiri sendiri didukung oleh baterai dengan fungsi data logging untuk digunakan sebagai instrumen portabel. (Liu, 2013).

2.7 Neural Network

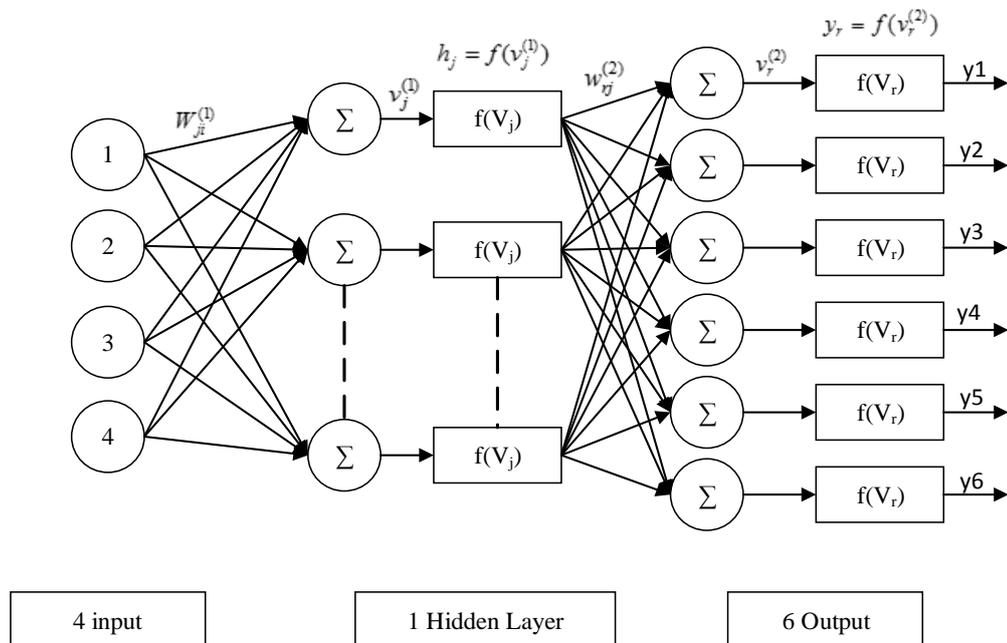
Neural Network (NN) terdiri dari elemen-elemen sederhana yang meniru sistem saraf biologis dari manusia. Salah satu algoritma dari NN yang digunakan sebagai identifikasi untuk menentukan sudut datangnya arah angin adalah algoritma pelatihan *backpropagation*.

Algoritma pelatihan *backpropagation* terdiri dari dua tahap, yaitu *feedforward* dan *backpropagation*. Pada Gambar 2.10 ditunjukkan model *Multilayer Perceptron Neural Network* (MLP NN). Algoritma pelatihan *backpropagation* menggunakan model MLP NN.

2.7.1 Tahap Feedforward

Pada tahap *feed forward*. Algoritma *feed forward* sebagai berikut :

1. Banyaknya masukan x , lapisan tersembunyi pertama (n neuron), dan lapisan keluaran y ditentukan.
2. Target error (E_{target}) yang diinginkan, target (d), fungsi laju pelatihan (μ_0) dan fungsi aktivasi (α).



Gambar 2.10 Neural Network

3. Proses pelatihan dilakukan inisialisasi bobot pada lapisan tersembunyi ($w_{ji}^{(1)}$), bobot pada lapisan keluaran ($w_{rj}^{(2)}$), bias lapisan tersembunyi ($b_j^{(1)}$), dan bias pada lapisan keluaran ($b_r^{(2)}$) secara acak, hal ini dilakukan pada iterasi pertama ($k = 1$), iterasi selanjutnya menggunakan hasil perbaikan bobot dan bias dari tahap *backpropagation*.
4. Masing-masing unit masukan ($x_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$) dimasukkan, untuk disebarkan ke unit-unit pada lapisan tersembunyi.
5. Hasil penjumlahan lapisan tersembunyi pada unit ke- j ($v_j^{(1)}$) digunakan Persamaan 2.8.

$$v_j^{(1)} = b_j^1 + \sum_{i=1}^n x_i w_{ji}^{(1)}, \quad j = 1, 2, \dots, h \quad (2.8)$$

6. Menghitung keluaran pada lapisan tersembunyi pada unit ke- j ($x_{out,j}^{(1)}$) dimana ($x_{out,j}^{(1)} = f(v_j^{(1)})$), dan $f(v_j^{(1)})$ merupakan fungsi aktivasi pada lapisan tersembunyi. Pada kasus identifikasi menggunakan fungsi aktivasi binary sigmoid, seperti pada Persamaan 2.9

$$f(v_j) = \frac{1}{1 + e^{-2\alpha v_j}} \quad (2.9)$$

7. Menghitung hasil penjumlahan lapisan keluaran unit ke- r ($v_r^{(2)}$) digunakan persamaan 2.10, kemudian menghitung keluaran pada lapisan keluaran pada unit ke- r (y_r) digunakan Persamaan 2.11

$$v_r^{(2)} = b_r^{(2)} + \sum_{j=1}^h x_{out,j}^{(1)} w_{rj}^{(2)}, \quad r = 1, 2, \dots, p \quad (2.10)$$

$$y_r = f(v_r^{(2)}) \quad (2.11)$$

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

8. Hasil dari proses *feedforward* adalah y_r

2.7.2 Tahap *Backpropagation*

Pada tahap *backpropagation*. Algoritma *backpropagation* ditunjukkan sebagai berikut:

1. Jalankan *feedforward*
2. Menghitung *error* (E) digunakan Persamaan 2.12.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{r=1}^p (d_r - y_r)^2 \quad (2.12)$$

3. Jika nilai $E > E_{target}$ (belum konvergen), dilakukan perbaikan terhadap nilai bobot dan bias tiap lapisan, kemudian tahap *feedforward* dilakukan mulai dari langkah 5. Jika konvergen maka proses *backpropagation* berhenti.
4. Jika menggunakan algoritma LMS (Least Mean Square), menghitung μ digunakan persamaan 2.13 dengan $\mu_0 > 0$ dan $\tau \gg 1$. Jika tidak menggunakan algoritma LMS, maka nilai $\mu = \mu_0$.

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + \frac{k}{\tau}} \quad (2.13)$$

5. Menghitung perbaikan nilai bobot dan bias pada lapisan keluaran digunakan Persamaan 2.14 dan 2.15, dimana nilai faktor pengendali pada lapisan keluaran ($\delta_r^{(2)}$) menggunakan persamaan 2.16 dengan $g(v_r^{(2)})$ merupakan $\frac{df(v_j)}{dv_j}$,

sehingga dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.17

$$w_{rj}^{(2)}(k+1) = w_{rj}^{(2)}(k) + \mu \delta_r^{(2)} x_{out,j}^{(1)} \quad (2.14)$$

$$b_r^{(2)}(k+1) = b_r^{(2)}(k) + \mu \delta_r^{(2)} \quad (2.15)$$

$$\delta_r^{(2)} = (d_r - y_r) g(v_r^{(2)}) \quad (2.16)$$

$$g(v_r^{(2)}) = \alpha f(v_r^{(2)}) [1 - f(v_r^{(2)})] \quad (2.17)$$

6. Menghitung perbaikan nilai bobot dan bias pada lapisan tersembunyi digunakan Persamaan 2.18 dan 2.19, dimana nilai faktor pengendali pada lapisan tersembunyi dihitung menggunakan Persamaan 2.20

$$w_{ji}^{(1)}(k+1) = w_{ji}^{(1)}(k) + \mu \delta_j^{(1)} x_i \quad (2.18)$$

$$b_j^{(1)}(k+1) = w_{ji}^{(1)}(k) + \mu \delta_j^{(1)} \quad (2.19)$$

$$\delta_j^{(1)} = \left(\sum_{r=1}^p \delta_r^{(2)} w_{rj}^{(2)} \right) \alpha f'(v_j^{(1)}) [1 - f(v_j^{(1)})] \quad (2.20)$$

2.8 Logika Fuzzy

Logika Fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam ruang output. Pada sistem yang sangat rumit, penggunaan logika fuzzy adalah salah satu pemecahannya. Sistem tradisional dirancang untuk mengontrol keluaran tunggal yang berasal dari beberapa masukan yang tidak saling berhubungan. Karena ketidaktergantungan ini, penambahan masukan yang baru akan memperumit proses kontrol dan membutuhkan proses perhitungan kembali dari semua fungsi. Kebalikannya, penambahan masukan baru pada sistem fuzzy, yaitu sistem yang bekerja berdasarkan prinsip-prinsip logika fuzzy, hanya membutuhkan penambahan fungsi keanggotaan yang baru dan aturan-aturan yang berhubungan dengannya.

Secara umum, sistem fuzzy sangat cocok untuk penalaran pendekatan terutama untuk sistem yang menangani masalah-masalah yang sulit didefinisikan dengan menggunakan model matematis. Misalkan, nilai masukan dan parameter sebuah sistem bersifat kurang akurat atau kurang jelas, sehingga sulit mendefinisikan model matematikanya.

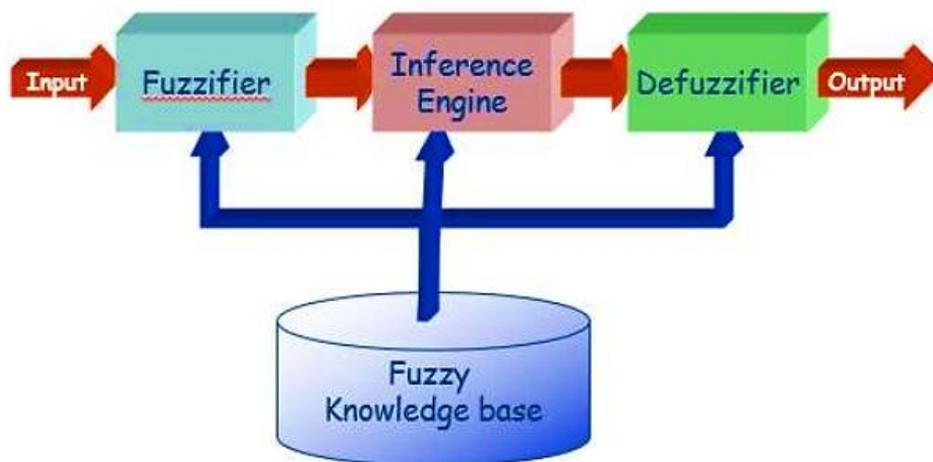
Sistem fuzzy mempunyai beberapa keuntungan bila dibandingkan dengan sistem tradisional, misalkan pada jumlah aturan yang dipergunakan. Pemrosesan awal sejumlah besar nilai menjadi sebuah nilai derajat keanggotaan pada sistem fuzzy mengurangi jumlah nilai menjadi sebuah nilai derajat keanggotaan pada sistem fuzzy mengurangi jumlah nilai yang harus dipergunakan pengontrol untuk membuat suatu keputusan. Keuntungan lainnya adalah sistem fuzzy mempunyai kemampuan penalaran yang mirip dengan kemampuan penalaran manusia. Hal ini disebabkan karena sistem fuzzy mempunyai kemampuan untuk memberikan respon berdasarkan informasi yang bersifat kualitatif, tidak akurat, dan ambigu.

Ada beberapa alasan penggunaan Logika Fuzzy :

1. Logika Fuzzy sangat fleksibel.
2. Logika Fuzzy memiliki toleransi.

3. Konsep logika fuzzy mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari penalaran fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti.
4. Logika fuzzy mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks.
5. Logika fuzzy dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
6. Logika fuzzy dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
7. Logika fuzzy didasarkan pada bahasa alami.(Sri Kusumadwi,2002)

Sistem kendali logika fuzzy terdiri dari beberapa tahapan seperti pada Gambar 2.4. Sistem kendali logika fuzzy disebut juga sistem Inferensi Fuzzy (Fuzzy Inference System/FIS) atau fuzzy inference engine adalah sistem yang dapat melakukan penalaran dengan prinsip serupa seperti manusia melakukan penalaran dengan nalurinya. Terdapat beberapa jenis FIS yang dikenal yaitu Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto. FIS yang paling mudah dimengerti, karena paling sesuai dengan naluri manusia adalah FIS Mamdani. FIS tersebut bekerja berdasarkan kaidah-kaidah linguistik dan memiliki algoritma fuzzy yang menyediakan sebuah aproksimasi untuk dimasukkan ke analisa matematik.



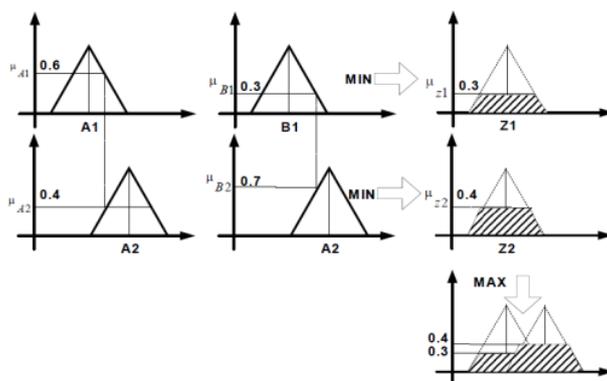
Gambar 2.11 Proses Kendali Logika Fuzzy

Proses dalam kendali logika fuzzy ditunjukkan pada Gambar 2.11. Input yang diberikan berupa bilangan tertentu dan output yang dihasilkan juga harus berupa bilangan tertentu. Aturan-aturan dalam bahasa linguistik dapat digunakan sebagai input yang harus dikonversikan terlebih dahulu, lalu melakukan penalaran berdasarkan aturan-aturan dan mengkonversi hasil penalaran tersebut menjadi output.

Aturan dasar dalam kendali logika fuzzy adalah aturan implikasi dalam bentuk “jika ... maka ...”. Aturan dasar tersebut ditentukan dengan bantuan seorang pakar yang mengetahui karakteristik objek yang akan dikendalikan. Contoh bentuk implikasi yang digunakan adalah sebagai berikut Jika $X = A$ dan $Y = B$ maka $Z = C$.

Pada tahapan ini nilai masukan untuk menentukan nilai keluaran sebagai bentuk pengambil keputusan. Sistem terdiri dari beberapa aturan, maka kesimpulan diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem fuzzy, yaitu max, additive dan probabilistik OR. Pada metode max, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah fuzzy, dan mengaplikasikannya ke output dengan menggunakan operator OR (union). Secara umum dapat ditulis dengan Persamaan 2.21,

$$\mu_{df}[x_i] \rightarrow \max(\mu_{df}[x_i], \mu_{kf}[x_i]) \quad (2.21)$$



Gambar 2.12 Proses Penalaran Max-Min

Selain itu, salah satu model penalaran yang banyak digunakan adalah max-min. Dalam penalaran ini, pertama-tama dilakukan proses operasi min sinyal keluaran lapisan fuzzyfikasi, kemudian diteruskan dengan operasi max untuk mencari nilai keluaran yang selanjutnya akan didefuzzyfikasikan sebagai bentuk keluaran pengendali. Operasi max-min tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut.

Metode Mamdani sering juga dikenal dengan nama Metode Max-Min. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk mendapatkan output, diperlukan 4 tahapan yaitu Pembentukan himpunan fuzzy, aplikasi fungsi implikasi (aturan), komposisi aturan dan penegasan (defuzzy).

Pada Metode Mamdani, baik variabel input maupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy. Pada Metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah Min.

.Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri-dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem fuzzy, yaitu: max, additive dan probabilitik OR (probor).

Pada metode max, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah fuzzy, dan mengaplikasikannya ke output dengan menggunakan operator OR (union). Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka output akan berisi suatu himpunan fuzzy yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap proposisi. Secara umum dapat dituliskan pada Persamaan 2.22,

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \max(\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i]) \quad (2.22)$$

dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i;-

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i;

Pada metode aditive (sum), solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan bounded-sum terhadap semua output daerah fuzzy. Secara umum dituliskan sebagai Persamaan 2.23,

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \min(1, \mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]) \quad (2.23)$$

dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i;

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i;

Pada metode probabilistik OR, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan product terhadap semua output daerah fuzzy. Secara umum dituliskan seperti pada Persamaan 2.24,

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow (\mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]) - (\mu_{sf}[x_i] \times \mu_{kf}[x_i]) \quad (2.24)$$

dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i;

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i;

Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut.

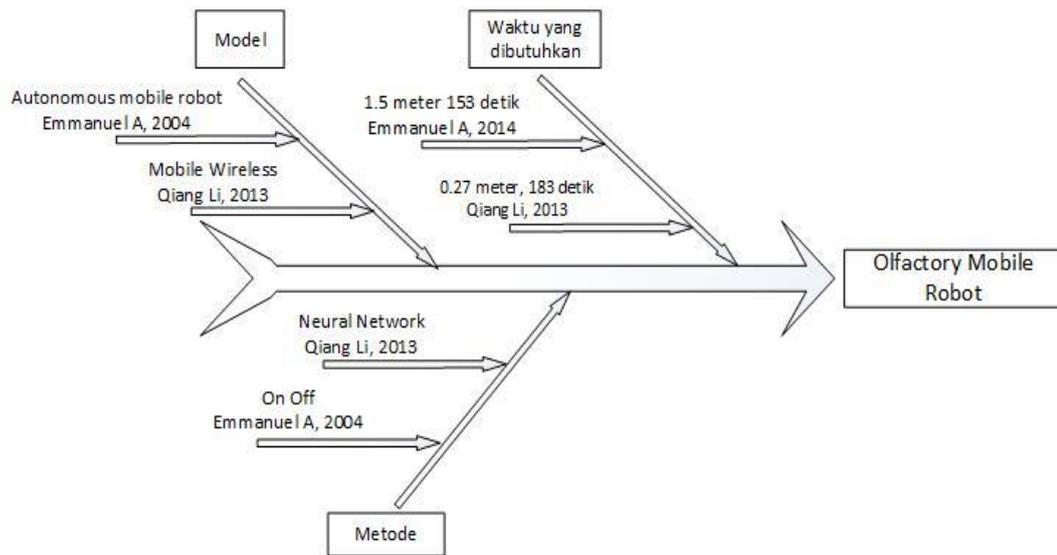
Sehingga jika diberikan suatu himpunan fuzzy dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai tertentu sebagai output. Ada beberapa metode defuzzifikasi pada komposisi aturan MAMDANI yaitu Metode Centroid, Metode Bisektor, MOM, LOM dan SOM.

2.9 Diagram Fishbone

Fishbone atau biasa disebut dengan diagram tulang ikan merupakan satu diagram yang menunjukkan penyebab-penyebab dari satu event atau kejadian yang spesifik. Pada bagian kepala dituliskan event atau topik yang akan dilakukan, sedangkan di bagian tulang ikan dituliskan kategori yang bisa berpengaruh terhadap even tersebut.

Fishbone dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.13. Diagram ini berdasarkan referensi yang berkaitan dengan topik yang akan diangkat pada penelitian yang akan dilakukan. Topik yang akan diangkat pada penelitian ini

adalah Implementasi hot-wire anemometer pada robot *olfactory* dengan menggunakan metode fuzzy. Dalam merealisasikan topik ini terdapat beberapa kategori yang bisa mempengaruhinya di antaranya Hot-wire anemometer yang akan dipilih, dan pendeteksian gas menggunakan robot *olfactory* dilakukan oleh Emanuel E. Gonzales pada tahun 2004 mendeteksi kebocoran gas pada bahan kimia dengan menggunakan metode kontrol on/off.



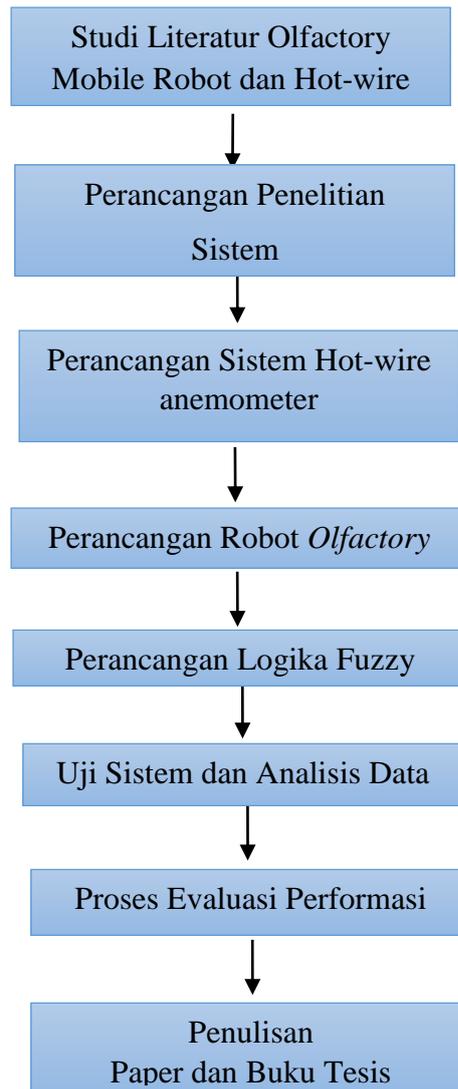
Gambar 2. 13 Diagram Fishbone

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini akan menggunakan metode eksperimental dalam merealisasikan sistem yang dirancang dengan ditunjukkan pada Gambar 3.1.



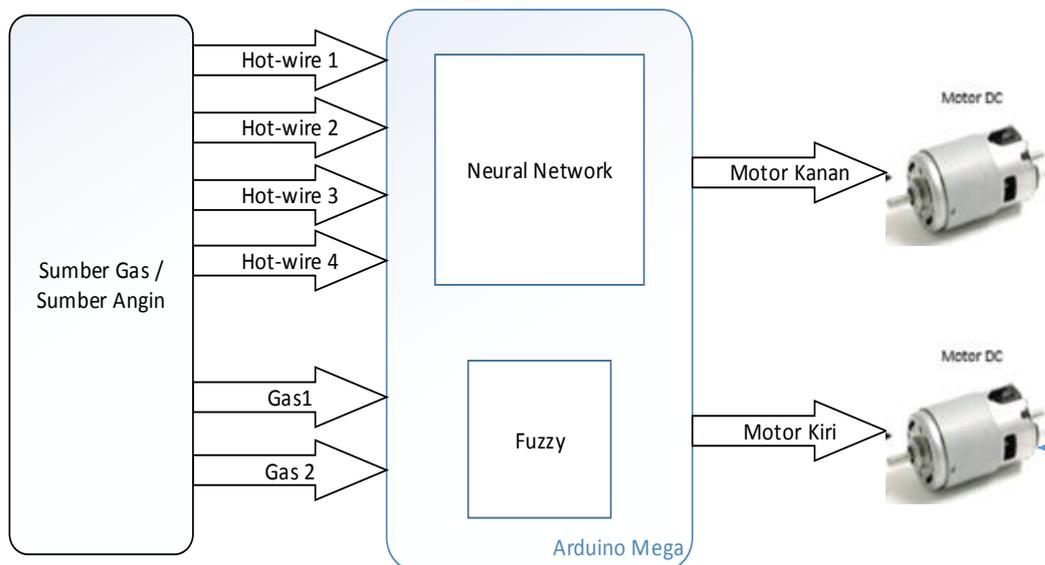
Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian

3.1 Studi Literatur *Olfactory Mobile Robot* dan *Hot-wire anemometer*

Studi literatur dalam penelitian *Olfactory mobile robot* dan *Hot-wire anemometer* terdiri dari studi literatur tentang gas, studi literatur tentang pergerakan robot olfactory dan pengenalan *Hot wire*. Studi literatur ini dilakukan dengan cara membaca literatur berupa jurnal, buku, dan informasi dari internet. Simulasi program juga dilakukan untuk memahami konsep dari apa yang akan dikerjakan. Dalam studi literatur penelitian ini dilakukan kurang lebih selama dua bulan.

3.2 Perancangan Penelitian Sistem

Integrasi sistem terdiri dari sistem hot-wire anemometer, sistem kendali gerak robot *olfactory* dan metode fuzzy. Hot-wire anemometer sebagai pendeteksi kecepatan dan arah angin untuk diproses dalam mikrokontroler setelah sensor gas TGS mendeteksi adanya kandungan gas dalam udara di ruangan. Pergerakan robot *olfactory* berdasarkan dari nilai-nilai fuzzy yang telah dihasilkan. Sensor jarak digunakan untuk mendeteksi jarak halangan robot dan sistem navigasinya. Setelah parameter-parameter terpenuhi maka sistem akan menjalankan rule base dari fuzzy untuk pergerakan dan akan menuju ke arah sumber kebocoran gas sesuai dengan arah angin yang paling kencang.



Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem Olfactory Mobile Robot Dan Hot-Wire

Pseudocode untuk sistem keseluruhan dipresentasikan sebagai berikut

```
// variable
gas1 = gas_sensor1;          gas2 = gas_sensor2;
wind1 = Temperature_sensor1; wind2 = Temperature_sensor2;
wind3 = Temperature_sensor3; wind4 = Temperature_sensor4;
frontDist = Ultrasonic_sensor1;   rightDist = Ultrasonic_sensor2;
leftDist = Ultrasonic_sensor3;

procedure OlfactoryMobileRobot ()
begin
  if ((gas1 >= 35) and (gas2 >= 35)) then
    begin
      OutputFuzzy = Fuzzy(gas1, gas2);
      Pwm = motorForward(outputFuzzy);
      DriveMotor(Pwm);
    end
  else
    begin
      OutputNN = Neural_network (wind1, wind2, wind3, wind4);
      Pwm = motorRotate(outputNN);
      DriveMotor(pwm);
      CheckObstacles();
    end
end

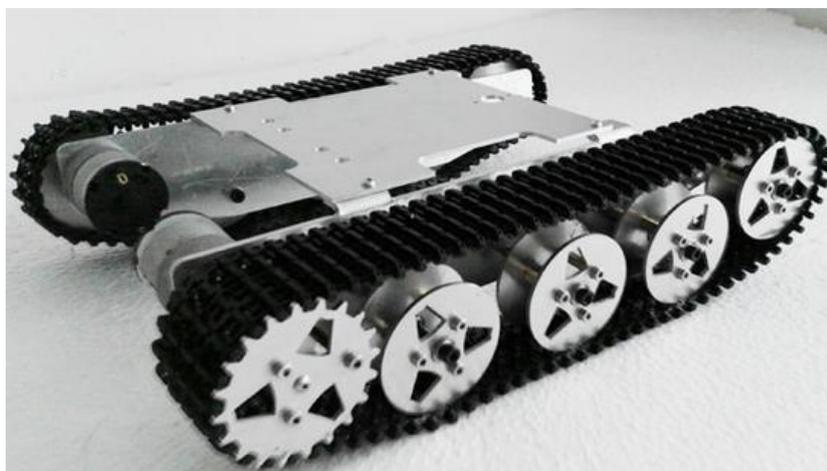
procedure CheckObstacles()
begin
  if (frontDist >= 20) then
    begin
      Pwm = motorForward(255);
      DriveMotor(pwm);
    end
  else if (rightDist <=20) then
    begin
      Pwm = motorRotate(15); // turn left 15 degress
      DriveMotor(pwm);
    end
  else if (leftDist <= 20) then
    begin
      Pwm = motorRotate(15); // turn Right 15 degress
      DriveMotor(pwm);
    end
  else
    begin
      Pwm = stop();
      DriveMotor(pwm);
    end
end
end
```

3.3 Perancangan Mobile Robot Olfactory

Olfactory mobile robot yang digunakan adalah robot beroda rantai mirip roda tank yang memiliki sensor gas. *Olfactory mobile robot* terdiri dari 2 sensor gas karbon monoksida, 3 sensor jarak dan 1 anemometer yang terdiri dari 4 hot-wire yang dililitkan pada 4 sensor suhu. Robot didesain dengan meletakkan 2 sensor gas di bagian depan dan 4 hot-wire di bagian tengah. Penggerak robot menggunakan 2 motor DC dibelakang. Rancangan mekanik *olfactory mobile robot* dapat dilihat pada Gambar 3.3.

3.3.1 Spesifikasi Mobile Robot Olfactory

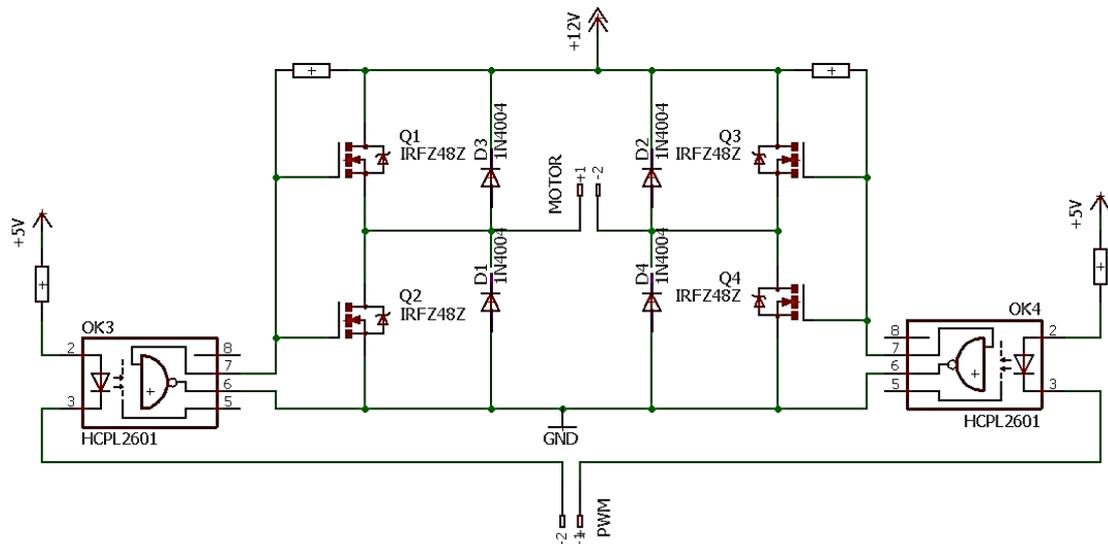
Olfactory mobile robot yang digunakan terbuat dari bahan *aluminium* pada *chasis* bagian bawah dan *acrylic* pada badan robot, untuk roda robot menggunakan jenis *tank track chain* berbahan plastik. *Olfactory mobile robot* memiliki ukuran panjang 29 cm, lebar 24.5 cm dan tinggi 28 cm. Penggunaan *tank track chain* pada roda robot ditujukan untuk melewati jalan yang memiliki kontur lantai atau tanah tidak rata sehingga robot dapat melewati dengan mudah dan tidak terhalang. Spesifikasi *olfactory mobile robot* secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 3.3. Sensor jarak yang digunakan adalah sensor *ultrasonic hc-sr04* yang berfungsi untuk mengetahui rintangan yang berada disekitar robot. Pendeteksian gas digunakan sensor TGS yang dapat mendeteksi gas karbon monoksida. Pemasangan sensor gas dipadukan dengan pemasangan kipas dc 12v untuk menghisap gas yang berada disekitar *olfactory mobile robot*.



Gambar 3. 3 Design Roda Penggerak *Olfactory Mobile Robot*

Olfactory mobile robot menggunakan 2 motor DC 12 volt dengan torsi masing – masing motor adalah 7 Kg dengan kecepatan putar 430 rpm. Rangkaian driver motor yang digunakan adalah modul L298D yang dapat menghasilkan arus maksimal sebesar 6A. Terdapat 2 buah optocoupler untuk mengantisipasi arus balik motor yang masuk ke rangkaian sistem yaitu mikrokontroler. Gambar rangkaian modul L298D hybrid dapat dilihat pada Gambar 3.4, untuk motor dc yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.5

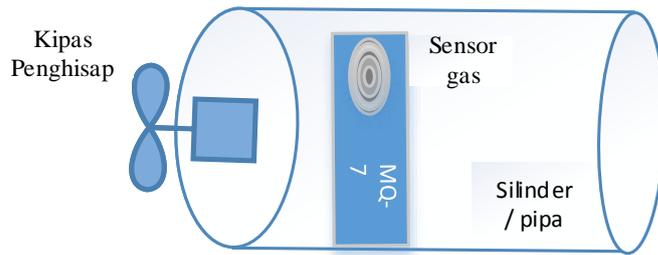
Sensor gas yang digunakan pada *olfactory mobile robot* adalah MQ-7 yang mendeteksi gas karbon monoksida. Penempatan sensor gas pada *olfactory mobile robot* diletakan pada sisi 45° kanan dan kiri robot. Pemilihan letak ini ditujukan agar sensor dapat mendeteksi gas dari sisi depan dan samping robot, untuk meningkatkan respon sensor gas maka dipasangkan kipas DC untuk menghisap udara yang mengandung gas karbon monoksida. Desain peletakan sensor gas yang menggunakan kipas dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3. 4 Rangkaian Hybrid Motor DC

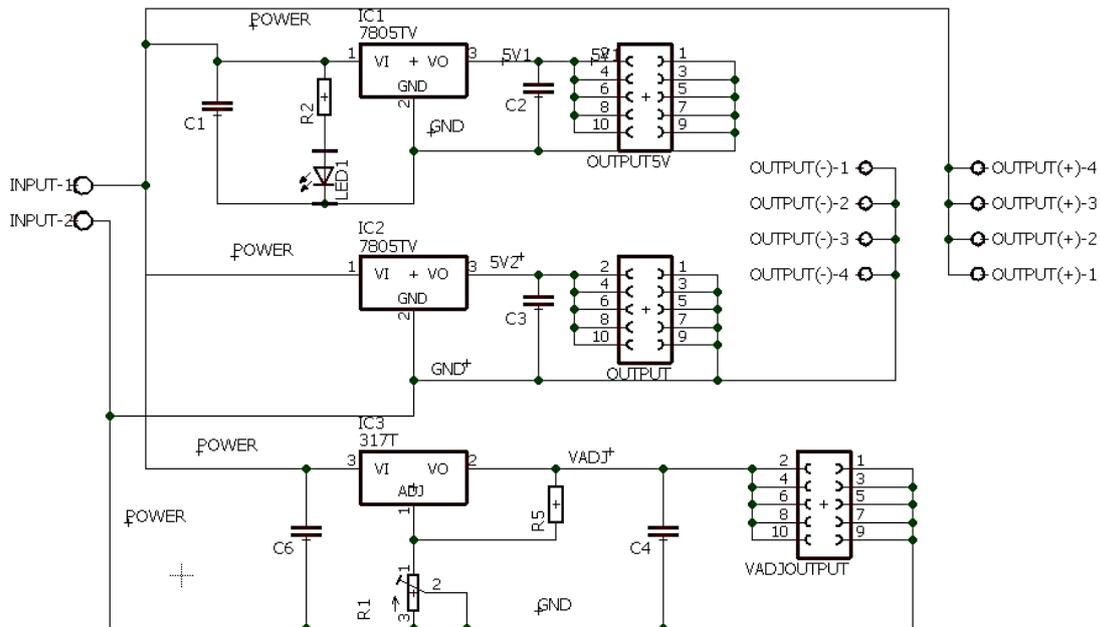


Gambar 3. 5 Motor Dc Yang Digunakan

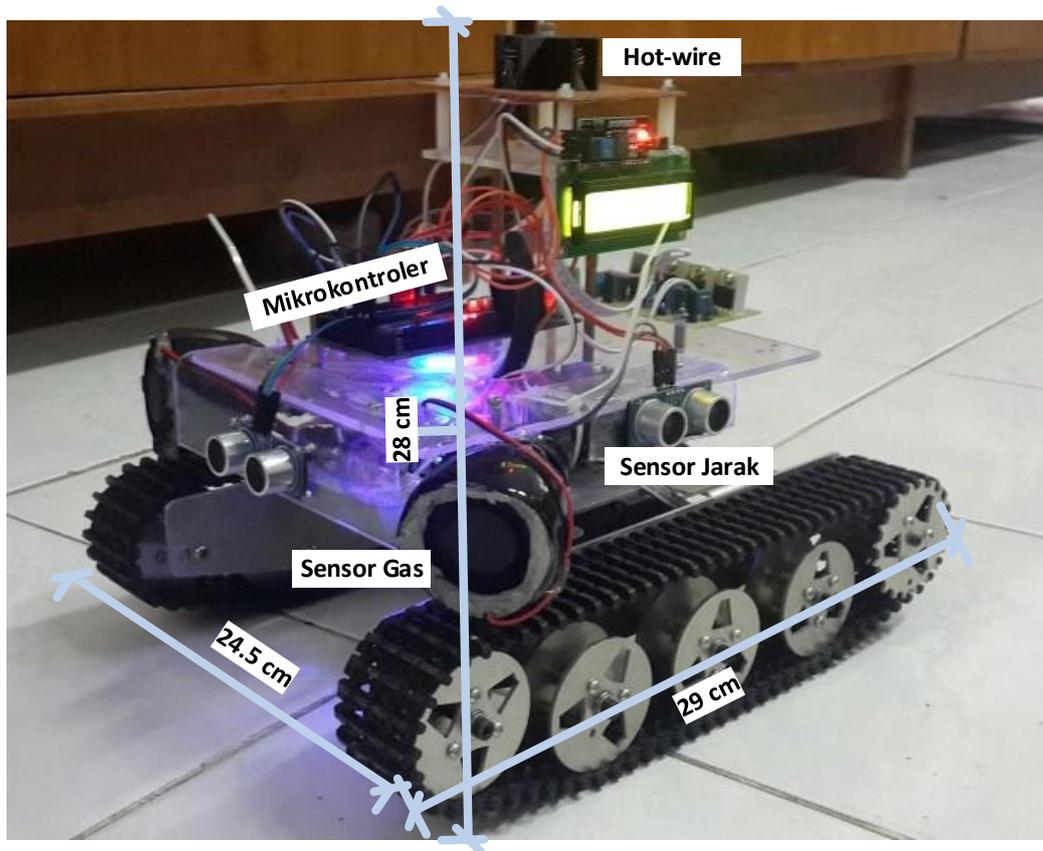


Gambar 3. 6 Penempatan Sensor Gas MQ-7

Semua rangkaian pada *olfactory mobile robot* diberi tegangan oleh 2 buah baterai *lithium polymer* 12 volt. Rangkaian *power supply* dapat dilihat pada Gambar 3.7 yang merupakan desain rangkaian untuk *olfactory mobile robot*. Rangkaian *power supply* menggunakan 2 ic regulator 7805 untuk mendapatkan tegangan 5v dan ic LM317 untuk mendapatkan tegangan 4v. penggunaan 2 ic regulator bertujuan untuk mengurangi beban dari ic sehingga kondisi temperature dari ic regulator tetap normal. Penggunaan Ic LM317 untuk mendapatkan tegangan yang bisa di adjust sesuai dengan rangkaian arus konstan pada *hot-wire anemometer*. Rancangan keseluruhan *olfactory mobile robot* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.8.



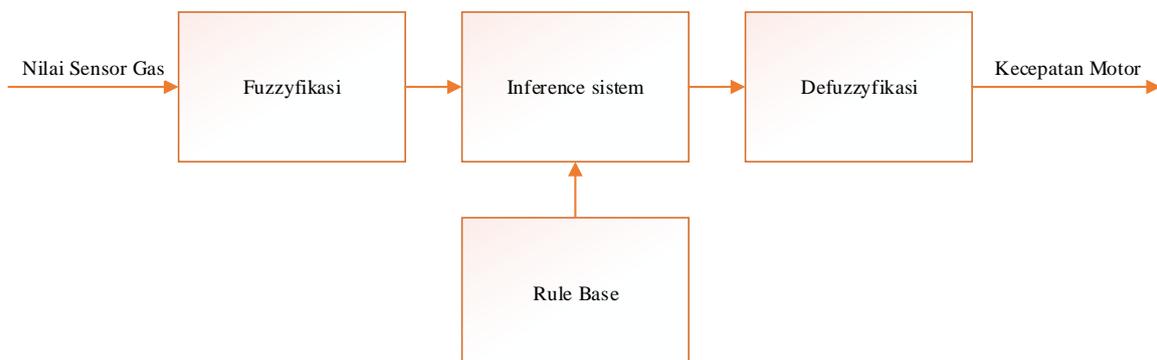
Gambar 3. 7 Rangkaian *Power Supply*



Gambar 3.8 Spesifikasi *Olfactory Mobile Robot*

3.4 Perancangang Software *Olfactory Mobile Robot*

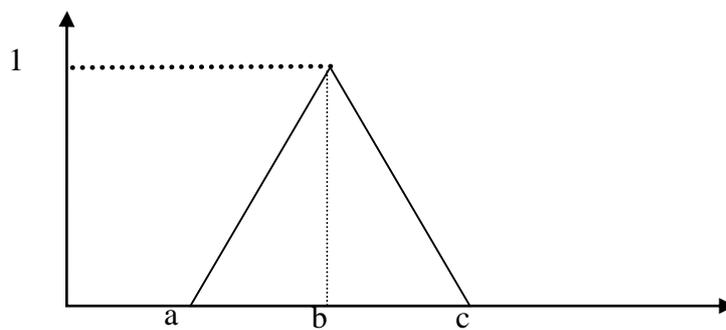
Pada blok diagram Gambar 3.9 menampilkan alur dari proses fuzzyfikasi sistem, rule base sistem, dan defuzzyfikasi sistem dari masukan berupa 2 sensor gas karbon monoksida yang kemudian akan menghasilkan kecepatan motor.



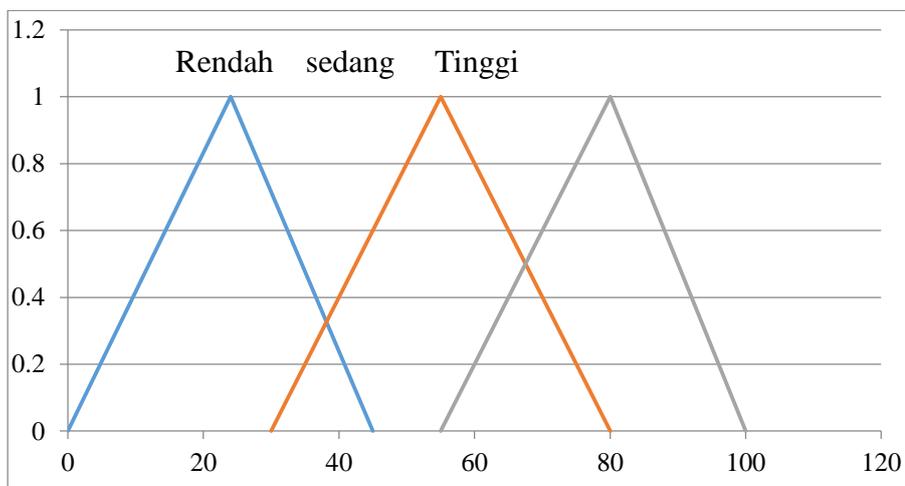
Gambar 3.9 Blok Diagram Fuzzy Gas

3.4.1 Fuzzyfikasi Sistem

Proses fuzzyfikasi berfungsi untuk merubah suatu besaran analog (crisp input) menjadi fuzzy input. Fuzzifikasi memiliki peranan untuk mentransformasikan bilangan tegas yang diperoleh dari sebuah pengukuran ke dalam penaksiran dari nilai subjektif, atau bisa didefinisikan sebagai pemetaan dari ruang masukan ke himpunan fuzzy dalam semesta pembicaraan masukan nyata. Untuk keperluan tersebut diperlukan suatu operator fuzzy. Sistem yang digunakan menggunakan fuzzyfikasi representasi Kurva segitiga. Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (linear). Pseudocode untuk fuzzyfikasi dipresentasikan sebagai berikut



Gambar 3. 10 Representasi Kurva Segitiga



Gambar 3.11 Representasi Kurva Segitiga Sensor Gas

Fungsi keanggotaan pada representasi kurva segitiga dinyatakan oleh Persamaan 3.1,

$$\begin{cases} 0 & \theta < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq \theta \leq b \\ \frac{x-c}{b-c} & b \leq \theta \leq c \\ 0 & \theta > c \end{cases} \quad (3.1)$$

Pada Gambar 3.8 merupakan representasi dari masukan sensor gas pada fuzzyfikasi. Nilai konsentrasi gas untuk karakteristik rendah adalah 0 ppm – 43 ppm, sedang adalah 25 ppm – 80 ppm dan tinggi adalah 55 ppm – 100 ppm.

$$\text{rendah: } \mu_g(\text{ppm}) = \begin{cases} 0 & \theta < 0 \\ \frac{\theta+0}{23} & 0 \leq \theta < 23 \\ \frac{\theta-40}{-20} & 23 \leq \theta \leq 43 \\ 0 & \theta > 43 \end{cases}$$

$$\text{sedang: } \mu_g(\text{ppm}) = \begin{cases} 0 & \theta < 25 \\ \frac{\theta+25}{30} & 25 \leq \theta < 50 \\ \frac{\theta-80}{30} & 50 \leq \theta \leq 80 \\ 0 & \theta > 80 \end{cases}$$

$$\text{tinggi: } \mu_g(\text{ppm}) = \begin{cases} 0 & \theta < 55 \\ \frac{\theta+55}{25} & 55 \leq \theta < 80 \\ \frac{\theta-100}{20} & 80 \leq \theta \leq 100 \\ 0 & \theta > 100 \end{cases}$$

3.4.2 Rule Base

Proses ini berfungsi untuk mencari suatu nilai fuzzy output dari fuzzy input. Prosesnya adalah suatu nilai fuzzy input yang berasal dari proses fuzzifikasi kemudian dimasukkan kedalam sebuah rule yang telah dibuat untuk dijadikan sebuah fuzzy output. Rule base dapat dilihat seperti pada Tabel 3.1.

3.4.3 Metode Implikasi

Dari data input *erorranemometer* dan *erorrgas*, dicari nilai *membership function* untuk masing-masing data. Setelah ditemukan nilai *membership function* dari masing-masing data, dicari daerah aktif pada table *fuzzy rule base*. Dari daerah aktif tersebut akan didapatkan *output membership function* dengan metode Mamdani, yaitu ditunjukkan pada Persamaan 3.2,

$$\mu_s(y) = \max[\min[\mu_{a1}(input(i)), \mu_{a2}(input(j))]] \quad (3.2)$$

3.4.4 Defuzzyfikasi

Defuzzifikasi merupakan cara untuk mendapatkan nilai tegas dari nilai fuzzy secara representatif. Secara mendasar defuzzifikasi adalah pemetaan dari ruang aksi kendali fuzzy yang didefinisikan dalam semesta pembicaraan keluaran ke dalam ruang aksi kendali nyata (non fuzzy). Proses ini berfungsi untuk menentukan suatu nilai crisp output. Prosesnya adalah sebagai berikut: suatu nilai fuzzy output yang berasal dari evaluasi rule diambil kemudian dimasukkan ke dalam suatu fungsi keanggotaan keluaran (membership function output).

Tabel 3.1 Rule Base Sistem Fuzzy

Gas ₁	Gas ₂	M _{ka}	M _{ki}
R	R	P	P
R	S	S	P
R	T	S	P
S	R	P	S
S	S	S	S
S	T	S	P
T	R	P	S
T	S	P	S
T	T	C	C

Dimana

P : Lambat

S : Sedang

C : Cepat

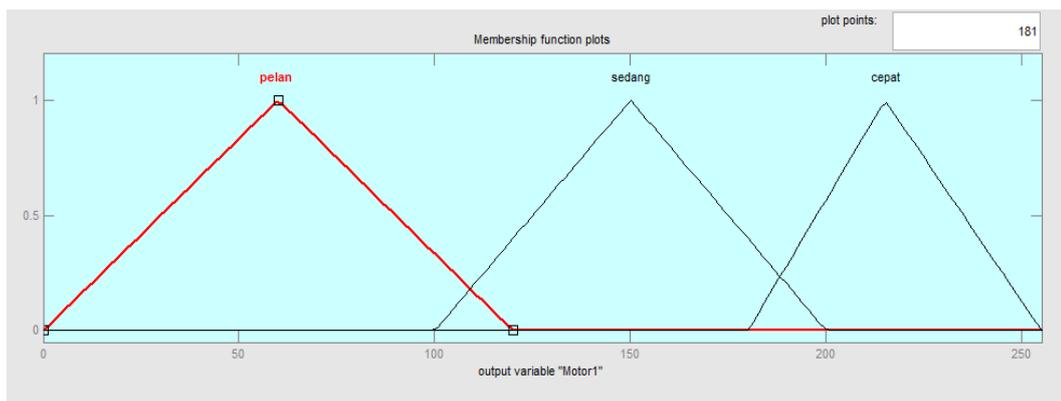
T : Tinggi

R : rendah

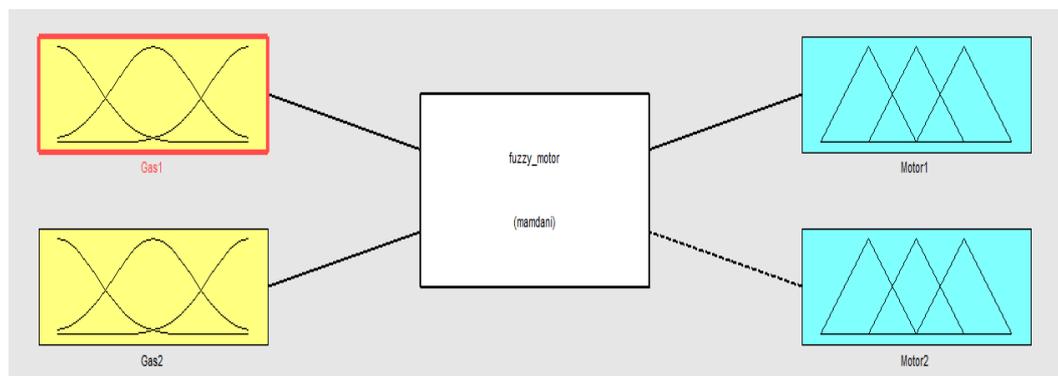
Besar nilai fuzzy output dinyatakan sebagai degree of membership function output. Nilai-nilai tersebut dimasukkan ke dalam suatu rumus untuk mendapatkan hasil akhir yang disebut crisp output. Crisp output adalah suatu nilai analog yang akan kita butuhkan untuk mengolah data pada sistem yang telah dirancang. Metoda ini mencari centre of gravity (COG) dari aggregate set seperti pada Persamaan 3.3,

$$Z^* = \frac{\int \mu_c(z) \cdot z dz}{\int \mu_c(z)} \quad (3.3)$$

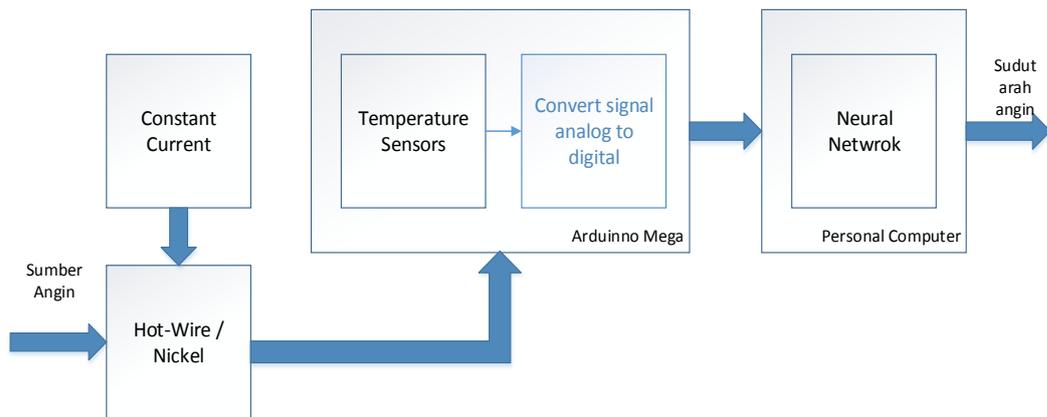
Integrasi Sistem fuzzy yang digunakan pada *olfactory mobile robot* dapat dilihat pada Gambar 3.10 yang memiliki 2 input fuzzy yaitu sensor gas 1 dan sensor gas 2, untuk keluaran adalah pergerakan motor 1 dan motor 2.



Gambar 3.12 Representasi Kurva Segitiga Output Kecepatan Motor



Gambar 3.13 Diagram Blok Sistem Fuzzy



Gambar 3.14 Diagram Blok Sistem *Hot Wire Anemometer*

3.5 Perancangan sistem hot wire anemometer

Pada dasarnya Sensor Hor-wire Anemometer terdiri dari beberapa bagian penting diantaranya sebagai berikut :

1. Probe.
2. Sumber arus konstan.
3. Neural Network

Penjelasan mengenai alur sistem *hot-wire* yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.11. Hot-wire diberi arus konstan yang kemudian menyebabkan perubahan panas. Sensor suhu yang terdapat pada hot-wire digunakan untuk mengetahui nilai perubahan suhu pada *hot-wire*. Penggunaan *neural network* ditujukan untuk mengenali perubahan pola yang dihasilkan oleh ke empat *hot-wire* anemometer

3.5.1 Probe Hot-wire

Probe yang digunakan pada *hot-wire anemometer* memiliki bahan nikelin yang kemudian dililitkan pada sensor suhu LM35. Perubahan suhu yang didapat dari sensor akan dibandingkan dengan nilai sensor lainnya. Bentuk lilitan pada LM35 dapat dilihat pada Gambar 3.12a sistem *hot wire* ini menggunakan keempat kawat nikelin yang terintegrasi.

Perbandingan nilai yang dihasilkan dari keempat sensor suhu akan membentuk hasil pola prediksi sudut datangnya angin / sumber angin. Peletakan ke keempat hot wire anemometer dapat dilihat pada gambar 3.12b.

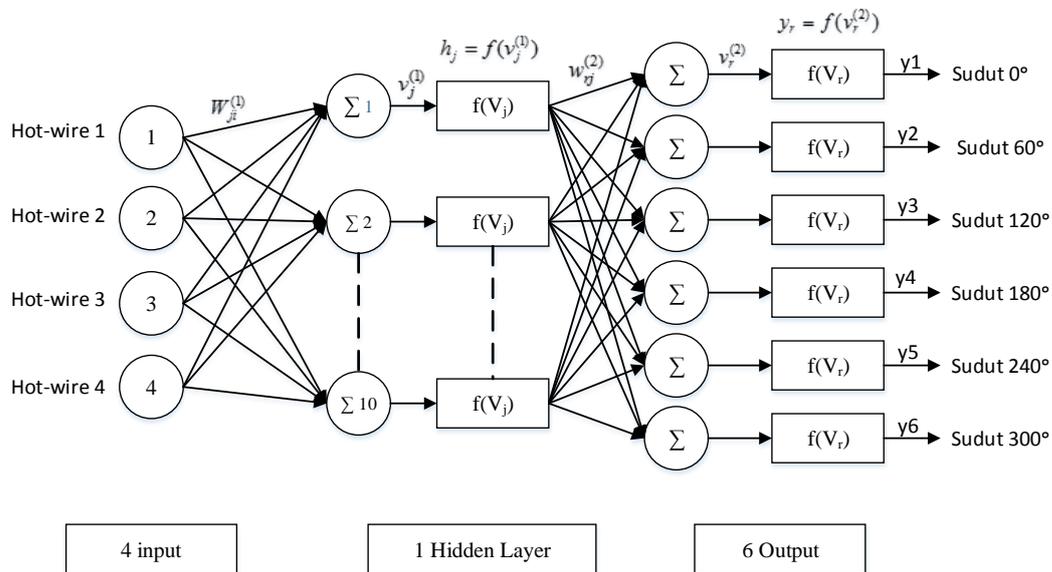
3.5.2 Constant Current

Arus konstan digunakan untuk membangkitkan panas dari kawat nikelin. Arus konstan yang dirancang menggunakan komponen IC LM317 dan konfigurasi resistor. Gambar rangkaian arus konstan dapat dilihat pada Gambar 3.13.

3.5.3 Neural Network

Pada penelitian ini, *neural network* (NN) digunakan untuk mengenali beberapa arah sudut yang diujikan yaitu setiap sudut 90° 60° 30° dari 360° . Arsitektur NN yang didesain dan digunakan pada penelitian ini terdiri dari tiga lapisan (*layer*), yaitu *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer*. *Input layer* terdiri dari 4 node masukan yang berasal dari 4 sensor suhu yang dililit hot-wire anemometer. Data dari *input layer* kemudian menjadi masukan ke *hidden layer* yang didesain 10 neuron. Kemudian keluaran dari *hidden layer* diteruskan ke *output layer* yang terdiri dari 4, 6 dan 12 buah neuron sesuai dengan jumlah sudut yang diidentifikasi.

Rancangan arsitektur NN dapat dilihat pada Gambar 3.14. Fungsi aktivasi adalah binary sigmod sehingga nilai target pada proses pembelajaran dibuat dalam bentuk nilai biner seperti pada Tabel 3.2.



Gambar 3. 17 Arsitektur *Neural Network* Hot-Wire Anemometer Sudut 60°

Tabel 3. 2 Nilai Target Pembelajaran Setiap Sudut 60°

No	Sudut arah angin	Target
1	0°	100000
2	60°	010000
3	120°	001000
4	180°	000100
5	240°	000010
6	300°	000001

Algoritma *backpropagation* diperlukan dalam proses identifikasi arah sudut datangnya angin, karena selama proses pembelajaran memiliki kemampuan untuk memperbaiki bobot pada layer tersembunyi. Berdasarkan pada Gambar 3.14 dapat dibuat program sebagai berikut.

```

procedure tform1.maju();
var
    i,j: integer;
begin
    {-----layer hidden-----}
    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;

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

```

Algoritma *backpropagation* diperlukan dalam proses identifikasi jenis gas, karena selama proses pembelajaran memiliki kemampuan untuk memperbaiki bobot pada layer tersembunyi. Berdasarkan Persamaan 2.12 sampai Persamaan 2.20 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 output)
  begin
    erkum[z]:= erkum[z]+(sqr(desired[i,z]-out2[i]));
    error2[i]:= (desired[i,z]-out2[i])*turunan2[i];
  end;

  erkum[z]:= (0.25)*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 hiden layer
  end;

end;

//=====update weight=====
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
    end;
  end;

```

```

        bias2[0,j]:=bias2[0,j]+(miu*error2[j]);
    end;
end;
end;

```

3.6 Uji Sistem dan Analisa Data

Pengujian sistem dilakukan beberapa tahap diantaranya pengujian dan analisa hot-wire anemometer, pengujian pencarian arah angin dengan *robot olfactory*, dan pengujian keseluruhan.

3.7 Proses Evaluasi Performansi

Proses evaluasi performansi dilakukan untuk mendapatkan hasil proses pencarian sumber kebocoran gas sesuai dengan yang diharapkan. Dalam penelitian ini hasil pengukuran dan pendeteksian dari setiap sensor yaitu kecepatan angin serta konsentrasi gas pada *olfactory mobile robot* dibandingkan dengan pengukuran menggunakan alat anemometer dan gas detektor. Dengan memvariasikan kecepatan angin dan konsentrasi gas, kemudian proses pengukuran dan pendeteksian dilakukan serta hasilnya dibandingkan, sehingga beberapa hasil evaluasi yang diharapkan tercapai. Adapun kriteria evaluasi performansi yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Evaluasi peforma akurasi

Proses evaluasi peforma akurasi dilakukan dengan mengamati nilai pengukuran dan pendeteksian dengan alat anemometer dan gas detektor, kemudian membandingkan dengan menggunakan desain *olfactory mobile robot* yang telah dibuat.

2. Evaluasi performa sensitivitas

Proses evaluasi performa sensitivitas dilakukan untuk mengamati sensitivitas *olfactory mobile robot* yang dibuat dengan mengamati setiap ada kebocoran gas pada skala kecil, kemudian membandingkan sensitivitas sensor yaitu *hot-wire anemometer* dan sensor gas dengan menggunakan alat anemometer dan gas detektor. Jika sensor mampu mendeteksi sumber kebocoran gas pada skala kecil dan proses pencarian cepat maka hasil evaluasi performa sensitivitas dapat dikatakan berhasil.

3. Evaluasi performa laju respon dan kestabilan sensor

Pada proses ini membandingkan laju respon pengukuran dari setiap sensor yaitu hot-wire anemometer dan sensor gas dengan menggunakan alat anemometer dan gas detektor. Selain itu kestabilan sensor juga dievaluasi untuk mendapatkan ketepatan dalam pengukuran.

3.8 Penulisan Paper

Pada bagian ini merupakan penulisan laporan yang memuat hasil penelitian yang telah dilakukan. Laporan disusun secara sistematis dalam lima bab yaitu Pendahuluan, Kajian pustaka dan dasar teori, Metoda penelitian, Hasil penelitian dan pembahasan serta Kesimpulan.

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 sensor gas dengan *olfactory mobile robot*
2. Pengujian pencarian sumber gas menggunakan *olfactory mobile robot*
3. Pengujian *hot-wire anemometer*
4. Pengujian pencarian sumber gas dengan menambahkan *hot-wire anemometer* pada *olfactory mobile robot*

4.1 Pengujian Sensor gas pada *olfactory mobile robot*

Sensor gas yang digunakan adalah sensor pabrikan dari *Hanwei Electronics CO.,Ltd.* yaitu sensor *MQ-7*. Sensor ini mendeteksi gas yang berjenis karbon monoksida (*CO*). tampilan bentuk sensor dapat dilihat pada Gambar 4.1

Pengujian sensor gas ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keakurasian sensor gas₁ dan sensor gas₂ pada *olfactory mobile robot* dengan jarak yang berbeda-beda dan pada posisi yang berbeda juga. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1. Pada tabel 4.1 dapat dilihat bahwa semakin jauh robot dari sumber gas maka tingkat konsentrasi gas semakin melemah sehingga robot akan kesulitan dalam mendeteksi sumber kebocoran gas pada ruangan terbuka.

Pada Tabel 4.1 hasil pengujian sensor gas diluar ruangan dapat dilihat bahwa semakin dekat sensor dengan sumber asap memiliki nilai yang relative tinggi meskipun terdapat hembusan angin dari alam, tetapi ketika sensor mulai menjauh nilai konsentrasi dari gas mulai menghilang mendekati nilai default dari sensor gas. Nilai default sensor gas₁ dalam pembacaan adc di arduino adalah 24 dan sensor gas₂ dalam pembacaan adc di arduino adalah 16. Nilai default sensor gas didapat pada kondisi ruangan bersih yang dianggap tidak memiliki kandungan gas karbon monoksida dengan pengujian di beberapa ruangan kemudian diambil nilai pembacaan terkecil dari setiap sensor dan dijadikan sebagai nilai default sensor gas.



Gambar 4. 1 Sensor Gas MQ-7

Tabel 4.1 Pengujian Asap Rokok Terhadap Jarak Pada *Olfactory Mobile Robot*

Jarak (cm)	Sudut (°)	Gas ₁ (adc)	Gas ₂ (adc)
15	0	270	262
40	60	188	190
80	45	125	178
110	30	114	152
150	90	62	80
200	0	48	42
250	0	25	18

4.2 Pencarian Sumber Kebocoran gas Menggunakan *Olfactory Robot*

Pengujian pencarian sumber kebocoran gas berdasarkan jarak sumber gas dengan sensor. Pengujian dilakukan dalam ruangan dan diberi sumber gas dengan jarak yang berbeda. Hasil uji coba pencarian sumber kebocoran gas terhadap robot dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

Pengujian *olfactory mobile robot* dilakukan agar robot dapat mencari sumber kebocoran gas dengan cara mengikuti sumber kebocoran gas. Pada percobaan ini metode fuzzy pada sensor gas belum diimplementasikan di *olfactory mobile robot*. Metode pencarian sumber kebocoran gas hanya menggunakan sistem on/off dan perbandingan sensor gas₁ dan sensor gas₂.

Tabel 4.2 Pencarian Sumber Gas Di Dalam Ruangan Tanpa Metode Fuzzy

Jarak (m)	Posisi sumber gas (sudut)	Waktu (detik)
0.7	0°	51
1	60°	60
1.5	-60°	72
2	0°	115

Tabel 4.3 Pencarian Sumber Gas Di Luar Ruangan Tanpa Metode Fuzzy

Jarak (m)	Posisi sumber gas (sudut)	Waktu (detik)
0.7	0°	87
1	60°	117
1.5	-60°	215
2	0°	Gagal

Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 merupakan hasil pengujian *olfactory mobile robot* menggunakan sumber gas karbon monoksida. Pengujian dilakukan didalam ruangan dan diluar ruangan. Pada pengujian didalam ruangan dapat dilihat pada Tabel 4.2 dimana waktu yang dibutuhkan untuk jarak 1 meter adalah 60 detik dan jarak untuk 2 meter membutuhkan waktu 115 detik. Pengujian diluar ruangan dapat dilihat pada Tabel 4.3 dimana waktu yang dibutuhkan untuk jarak 1 meter adalah 117 detik dan 2 meter robot tidak dapat mendeteksi sumber kebocoran gas hanya memutar-mutar dan menjauhi sumber gas. Hasil kedua percobaan dapat dilihat bahwa pengujian didalam ruangan membutuhkan waktu lebih cepat daripada pengujian diluar ruangan. Pengujian diluar ruangan banyak terjadi gangguan-gangguan angin yang dapat mengurangi sensitifitas pembacaan sensor gas, sehingga mempengaruhi kecepatan dalam mencari sumber kebocoran gas.

Pengujian *olfactory mobile robot* selanjutnya adalah menambahkan metode fuzzy kedalam sistem untuk mengatur kecepatan motor. Kecepatan motor

diatur berdasarkan tingkat konsentrasi sensor gas yang didapat. Pada *olfactory mobile robot* penggunaan sistem fuzzy untuk mempermudah dalam pergerakan robot dalam mendeteksi sumber kebocoran gas. Metode fuzzy yang digunakan memiliki 2 masukan sensor gas dan 2 keluaran pwm motor.

Pengujian ini dilakukan pada luar ruangan dan didalam ruangan menggunakan sumber gas karbon monoksida. Hasil dari fuzzy yang telah dirancang sebelumnya akan dihitung dan ditampilkan pada serial monitor. Pada tabel 4.4 dapat dilihat hasil dari perhitungan fuzzy yang digunakan di mikrokontroler arduino. Semakin sumber gas mendekat maka sensor gas akan mendeteksi rendah dan kecepatan motor juga akan pelan, sebaliknya jika sensor gas mendeteksi tinggi maka kecepatan motor akan cepat. Sehingga rancangan fuzzy yang dibuat telah sesuai dengan program di arduino.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Fuzzy Di Arduino

Gas1	Gas2	Motor1 (Pwm)	Motor2 (Pwm)
25	15	200	200
25	112	225	200
151	112	217	235
13	10	200	200
107	175	218	218
100	100	225	209
95	73	207	209
177	27	200	225
177	182	218	218

Tabel 4.5 Pencarian Sumber Gas Di Dalam Ruangan Dengan Metode Fuzzy

Jarak (m)	Posisi sumber gas (sudut)	Waktu (detik)
0.7	0°	48
1	60°	52
1.5	-60°	71
2	0°	93

Tabel 4.6 Pencarian Sumber Gas Didalam Ruangan Dengan Metode Fuzzy

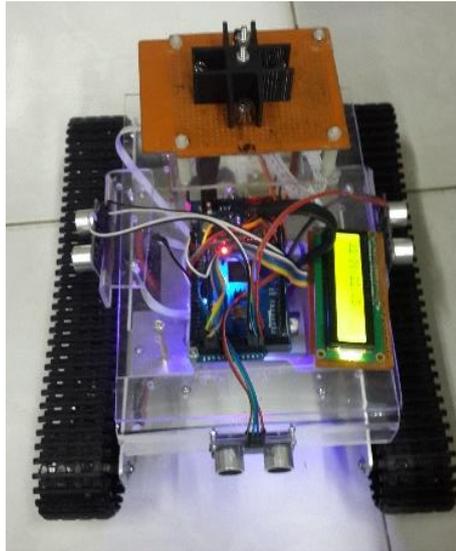
Jarak (m)	Posisi sumber gas (sudut)	Waktu (detik)
0.7	0°	84
1	60°	106
1.5	-60°	197
2	0°	Gagal

Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 merupakan hasil pengujian *olfactory mobile robot* menggunakan sumber gas karbon monoksida. Pada pengujian didalam ruangan dapat dilihat pada Tabel 4.5 dimana waktu yang dibutuhkan untuk jarak 1 meter adalah 52 detik dan jarak untuk 2 meter membutuhkan waktu 93 detik. Pengujian diluar ruangan dapat dilihat pada Tabel 4.6 dimana waktu yang dibutuhkan untuk jarak 1 meter adalah 106 detik dan 2 meter adalah 245 detik.

Hasil kedua percobaan *olfactory mobile robot* menggunakan fuzzy dan tanpa menggunakan fuzzy dapat dilihat bahwa hasil pengujian dengan menggunakan metode fuzzy membutuhkan waktu yang lebih cepat daripada pengujian tanpa menggunakan metode fuzzy. Pengujian diluar ruangan pada jarak 2 meter ketika tanpa menggunakan fuzzy tidak dapat berjalan menuju sumber gas, tetapi dengan penambahan metode fuzzy *olfactory mobile robot* dapat bergerak menuju sumber gas. Beberapa faktor penting dalam pencarian sumber gas diluar ruangan adalah tingkat kecepatan angin yang sangat mempengaruhi pergerakan dalam mencari sumber kebocoran gas. Pengaruh gangguan angin yang terjadi dapat mengurangi sensitifitas pembacaan sensor gas, sehingga mempengaruhi kecepatan dan tingkat akurasi dalam mencari sumber kebocoran gas.

4.3 Pengujian Hot-Wire Anemometer

Percobaan dilakukan dengan memberi sumber angin pada sudut-sudut yang sudah ditentukan yaitu dengan percobaan pada sudut setiap kenaikan 30°, 45°, 60° dan 90°. Uji coba pengambilan data sudut arah angin menggunakan wind tunnel. Model wind tunnel yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.1 Pengambilan data dilakukan dengan kecepatan angin yang berbeda dan sudut berbeda.



Gambar 4.2 *Robot Olfactory* Dengan Implementasi Hot-Wire Anemometer

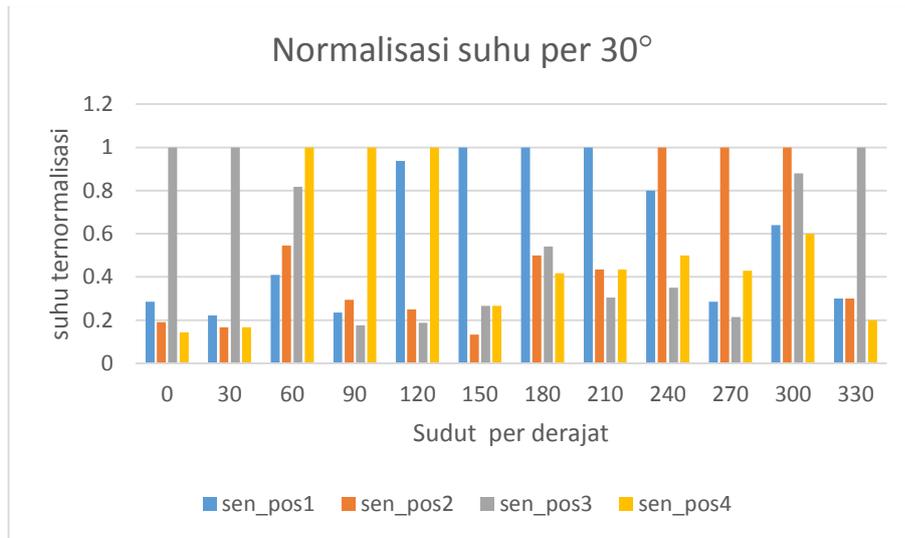
Pengambilan pola dengan sudut setiap 30° dapat dilihat hasilnya pada Gambar 4.3. Berdasarkan pada Gambar 4.3 pola sudut setiap 30° banyak memiliki kesamaan antara sudut lainnya sehingga memiliki kesulitan untuk mengenali pola. Pengambilan pola berikutnya pada setiap sudut 45° , sudut 60° dan setiap sudut 90°

4.3.1 Kalibrasi Data Menggunakan Wind Tunnel

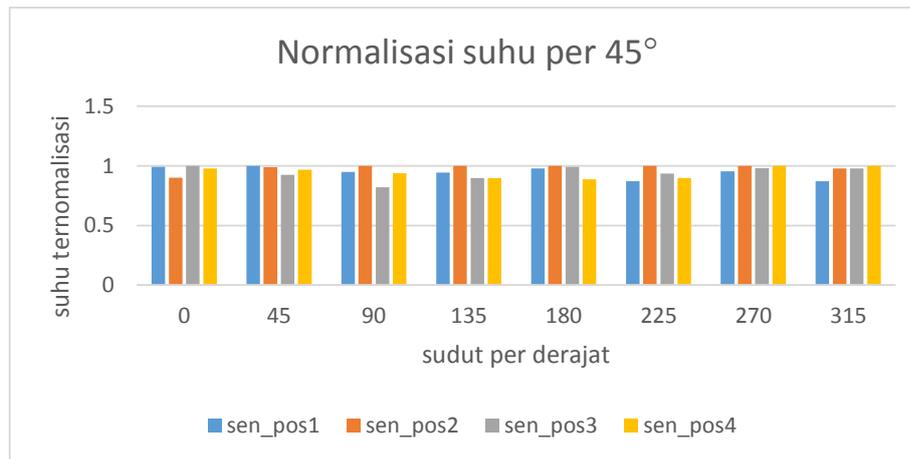
Hasil grafik pola dari kalibrasi angin menggunakan *wind tunnel* yang akan digunakan dalam proses pelatihan *neural network*, adapun pola-pola yang dihasilkan dari beberapa sudut diantaranya sudut setiap kenaikan 30° , 45° , 60° dan 90° .



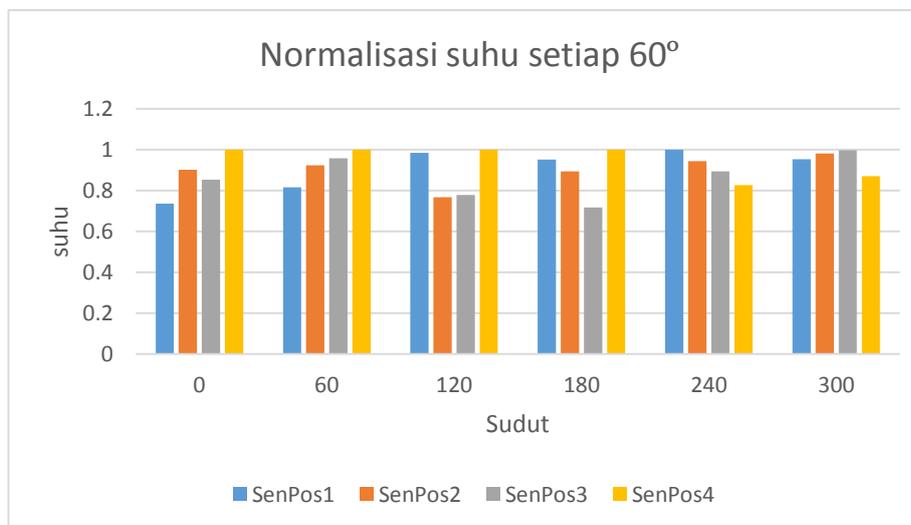
Gambar 4.3 Wind Tunnel Yang Digunakan Dalam Pengambilan Data



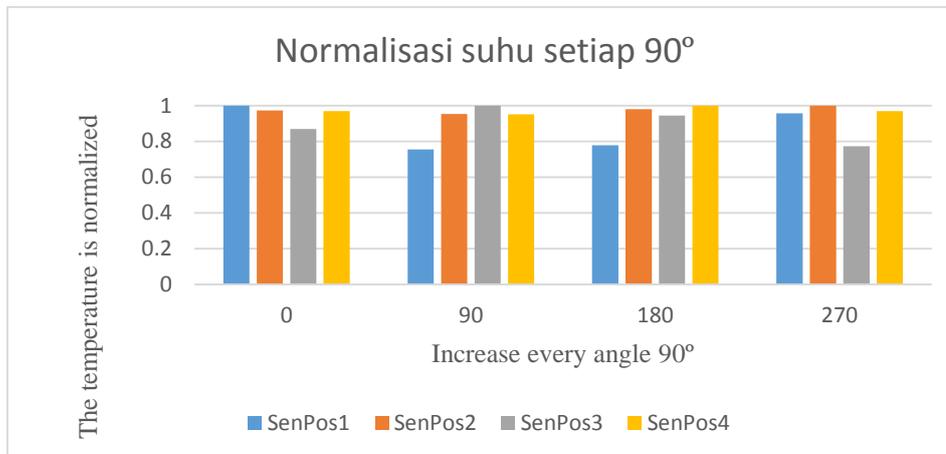
Gambar 4.4 Grafik Pola Angin Per Sudut 30°



Gambar 4.5 Grafik Sudut Per 45°



Gambar 4.6 Grafik Pola Arah Angin Terhadap Sudut 60°



Gambar 4.7 Grafik Pola Arah Angin Setiap Kenaikan Sudut 90°

Hasil pengambilan arah angin terhadap sudut tertentu menghasilkan bentuk pola-pola yang berbeda. Beberapa arah angin ada yang tidak dapat dikenali atau dibedakan pola dari sudutnya seperti pada Gambar 4.4 setiap sudut 30°. Gambar 4.4 ketika arah angin berada pada Sudut 0° dan sudut 30° memiliki bentuk pola yang hampir sama. Klasifikasi pola yang paling dapat dikenali adalah pada sudut setiap 60°. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali dengan 5 kecepatan angin yang berbeda pada setiap sudutnya. Kecepatan angin yang digunakan dalam pengambilan data yaitu 1.7 mph, 2.6 mph, 3.6 mph, 4.8 mph dan 6.2 mph. Hasil data yang didapat kemudian di hitung rata-rata dan dilakukan normalisasi pada setiap sudut. Dalam pengambilan pola, semakin lama pengambilan data suhu setiap hot-wire maka hasil yang didapat juga semakin bagus. Pengambilan data pola angin yang dilakukan adalah selama 37 detik. Waktu tersebut merupakan waktu tercepat yang dilakukan dalam pengambilan data.

4.3.2 Pengujian Menggunakan Metode Neural Network

Pengujian arah angin dengan metode Neural Network dilakukan setelah mendapatkan pola pelatihan yang telah diketahui sebelumnya. Pengujian tetap dilakukan dengan menggunakan wind tunnel. Pengujian bertujuan untuk mengetahui hasil dari pelatihan neural network dengan memasukan data hasil pelatihan kemudian di ujikan dengan sudut-sudut yang telah dilatihkan.

Tabel 4.7 Hasil Pembacaan Sensor Hot-Wire Anemometer Setiap Sudut 30°

Sudut	Pembacaan Hot-wire	Sudut	Pembacaan Hot-wire
0°	0°	180°	180°
30°	0°	210°	180°
60°	330°	240°	240°
90°	120°	270°	300°
120°	120°	300°	300°
150°	210°	330°	0°

Tabel 4.8 Hasil Pembacaan Sensor Hot-Wire Anemometer Sudut Setiap 45°

Sudut	Pembacaan Hot-wire
0	0°
45°	0°
90°	90°
135°	90°
180°	0°
225°	225°
270°	315°
315°	315°

Tabel 4. 9 Hasil Pembacaan Sensor Hot-Wire Anemometer Sudut Setiap 60°

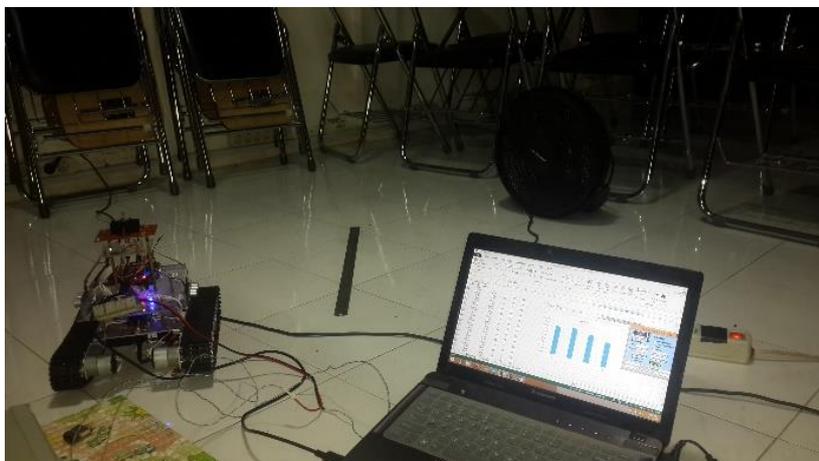
Sudut	Pembacaan hot-wire
0°	0°
60°	60°
120°	120°
180°	180°
240°	240°
300	300°

Tabel 4.10 Hasil Pembacaan Sensor Hot Wire Anemometer Setiap Sudut 90°

Sudut	Pembacaan hot-wire
0°	0°
90°	90°
180°	180°
270°	270°

Hasil pengujian pada sudut-sudut tertentu masih tidak dapat membedakan dan memiliki tingkat kesalahan yang besar. Pada table 4.7 sudut setiap kenaikan 30° memiliki tingkat kesalahan yaitu 60%. Pada table 4.8 kenaikan sudut setiap 45° juga memiliki tingkat kesalahan yang relative besar yaitu hampir mendekati 50%. Tingkat kesalahan pada sudut 60° dan 90° adalah 0%. Pada sudut ini sensor hot-wire dapat membaca pola dengan ketepatan 100%. Respon waktu yang dibutuhkan untuk pembacaan pola angin adalah 47 detik.

Berdasarkan pengujian menggunakan wind tunnel maka *hot-wire* anemometer ini menggunakan hasil data yang memiliki tingkat kesalahan kecil dalam memprediksi yaitu sudut 60° dan 90° tetapi sudut 90° memiliki sudut yang lebih sedikit sehingga data yang digunakan yaitu setiap kenaikan sudut 60° untuk diimplementasikan pada *olfactory mobile robot*. Pengujian selanjutnya menggunakan simulasi sumber angin buatan di luar *wind tunnel* dengan kipas. Pada Gambar 4.8 adalah proses pengambilan data menggunakan sumber angin kipas.



Gambar 4.8 Proses Pengambilan Data Menggunakan Sumber Angin Kipas

Tabel 4.11 Pengujian Berdasarkan Jarak Sumber Angin Didalam Ruangan

Jarak (cm)	Kec. Angin (mph)	Sudut Sebenarnya	Sudut Pembacaan	Jarak (cm)	Kec. Angin (mph)	Sudut Sebenarnya	Sudut Pembacaan
35	4.8	0	0	60	7.4	0	60
		60	60			60	60
		120	120			120	120
		180	180			180	180
		240	240			240	240
		300	300			300	240
60	1.4	0	0	100	0.3	0	0
		60	60			60	120
		120	120			120	120
		180	180			180	180
		240	240			240	240
		300	300			300	300

Hasil pengujian sensor *Hot-wire anemometer* didalam ruangan dapat dilihat pada Tabel 4.12 yang berdasarkan jarak dari sumber angin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap sudut dan 4.5 yang berdasarkan jarak dari sumber angin dapat dilihat tingkat kesalahan terbanyak terdapat pada sudut 300°. Pada sudut 300° keluaran yang dihasilkan yaitu berupa sudut 240°. Sensor ini memiliki tingkat kesalahan yaitu 11.90%.

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Berdasarkan Jarak Sumber Angin Diluar Ruangan

Jarak (cm)	Kec. Angin (mph)	Sudut Sebenarnya	Sudut Pembacaan	Jarak (cm)	Kec. Angin (mph)	Sudut Sebenarnya	Sudut Pembacaan
120	6.6	0	0	270	4.2	0	0
		60	60			60	60
		120	120			120	120
		180	180			180	180
		240	240			240	240
		300	240			300	240
340	3.4	0	60	100	0.3	0	0
		60	60			60	120
		120	120			120	120
		180	180			180	180
		240	240			240	240
		300	300			300	300

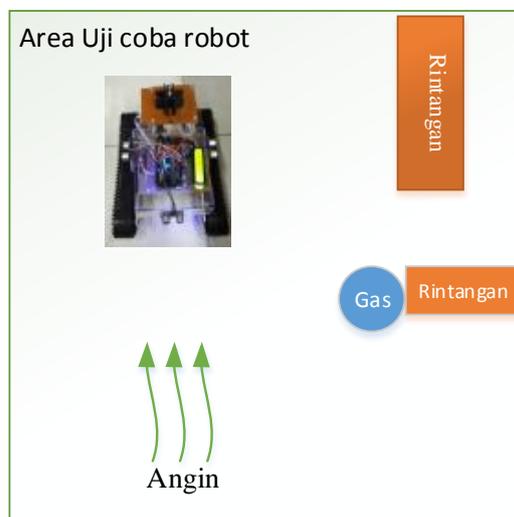
4.3.3 Analisa Pengujian *Hot-wire Anemometer* Menggunakan *Neural Network*

Hasil pengujian *Hot-wire anemometer* menggunakan *Neural Network* dapat dilihat yaitu semakin kecil pengambilan sudutnya maka nilai kesalahan akan semakin besar juga. Pengambilan sudut setiap kenaikan 30° dan sudut setiap 45° memiliki nilai kesalahan yaitu 50% sedangkan pada sudut setiap 60° dan sudut 90° memiliki nilai kesalahan 0% saat diujikan dengan menggunakan wind tunnel. Wind tunnel yang digunakan memiliki spesifikasi sumber angin tercipta dari kipas DC 24v dan laju angin didalam wind tunel searah.

4.4 Pencarian Sumber Gas Dengan Menambahkan *Hot-Wire*

Pengujian selanjutnya adalah mengkombinasikan hot-wire anemometer pada *olfactory mobile robot*. Penggunaan hot-wire ditujukan untuk membantu pembacaan sensor gas dalam mencari sumber kebocoran gas berdasarkan pergerakan angin. Berdasarkan pengujian *olfactory mobile robot* sebelumnya seperti pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.6 pada jarak 200 meter sensor gas sudah tidak dapat mendeteksi kandungan gas diudara sehingga robot tidak dapat mencari dan mendekat ke sumber gas. Oleh karena itu pengujian ini akan membandingkan hasil uji coba *olfactory mobile robot* yang menggunakan *hot-wire* dan tanpa *hot-wire*

Pengujian ini dilakukan diluar ruangan dengan memberi sumber gas *karbon monoksida* serta menambahkan sumber angin buatan yaitu kipas angin. Pengujian dilakukan dengan jarak sumber gas dan kecepatan angin yang berbeda-beda. Pengujian juga mengkombinasi letak dari sumber gas dan sumber angin seperti yang terlihat pada gambar 4.9 letak sumber angin berada pada sudut 0° dari robot dan letak sumber gas berada pada sudut -60° dari robot. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.13



Gambar 4. 9 Penempatan Sumber Gas Sudut 0° dan Sumber Angin Sudut -60°

Tabel 4.13 Pengujian Olfactory Mobile Robot Dengan *Hot-Wire*

Jarak (cm)	Kec. Angin (mph)	Posisi sumber angin	Posisi Sumber Gas	Waktu (detik)	Target
50	7.8	0°	0°	38	Berhasil
50	7.8	0°	60°	66	Berhasil
50	7.8	-60°	0°	54	Berhasil
50	7.8	180°	0°	102	Berhasil
100	5.6	60°	60°	97	Berhasil
100	5.6	0°	60°	85	Berhasil
100	5.6	-60°	0°	110	Berhasil
100	5.6	0°	180°	-	Gagal
150	4.2	0°	0°	120	Berhasil
150	4.2	0°	60°	144	Berhasil
150	4.2	-60°	0°	-	Gagal
150	4.2	180°	0°	-	Gagal
200	3.0	-60°	-60°	141	Berhasil
200	3.0	0°	180°	-	Gagal

Dapat dilihat dari hasil pengujian bahwa penggunaan anemometer dapat mempercepat dalam proses pencarian sumber kebocoran gas dan dapat membantu apabila sensor gas sudah tidak dapat mendeteksi adanya gas. Pada jarak 200cm sensor gas tanpa anemometer tidak dapat mencari kearah sumber gas tetapi setelah ditambahkan hot-wire, robot dapat berjalan kearah sumber gas. Ketika sumber angin dan sumber gas pada posisi tegak lurus atau segaris olfactory mobile robot kesulitan dalam mencari sumber gas, pergerakan olfactory mobile robot mendekat ke arah sumber angin.

Hal ini disebabkan oleh konsentrasi gas yang terbaca oleh sensor hilang terbawa oleh angin sehingga robot bergerak mengikuti sumber arah angin. Dari 14 pengujian, kesalahan dalam mencari sumber gas sebanyak 4 kali pengujian dan 10 kali pengujian dapat mendekat ke arah sumber gas. Kesalahan dalam mencari sumber gas terjadi ketika sumber angin dan sumber gas tegak lurus atau segaris seperti pada percobaan ke – 8 yang mana sumber gas terletak pada sudut 180° dan sumber angin terletak pada sudut 0° dari robot. Hot-wire anemometer yang digunakan memiliki respon pembacaan waktu cukup lama sekitar 47 detik.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini telah dibuat sebuah hot-wire untuk mengetahui arah angin. Hot-wire yang digunakan berbahan nikelin dengan panjang 8cm. Perbedaan suhu pada keempat hot-wire ini yang akan memprediksi datangnya arah angin. Neural Network yang digunakan adalah metode klasifikasi. Hot-wire ini di implementasikan terhadap robot olfactory untuk pencarian sumber kebocoran gas agar mendapatkan waktu efektif dalam pencarian. Secara garis besar hot-wire ini akan mendeteksi arah angin apabila sensor gas kehilangan konsentrasinya, sehingga untuk membuat robot tidak berada dalam control maka ditambahkan hot-wire anemometer untuk memprediksi arah datangnya sumber gas melalui hembusan angin. Percobaan untuk mendapatkan data hasil yang baik dilakukan dengan mencoba beberapa sudut yaitu 90° 60° 45° dan 30°. Dari percobaan yang telah dilakukan tersebut didapat hasil dari pembacaan sensor terbaik adalah pada sudut 90° dan 60°. Sehingga sudut 60° yang digunakan untuk implementasi olfactory mobile robot. Sudut 90° memiliki hasil yang baik juga tetapi sudut yang dihasilkan lebih sedikit dari sudut 60°. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pencarian arah angin dalam sudut per 60° yaitu tingkat keberhasilan 100% pengujian menggunakan wind tunnel. Pada pengujian menggunakan sumber angin kipas memiliki tingkat kesalahan sebesar 11.90%. Semakin sudut dipersempit maka tingkat kesalahan akan tinggi. Dari hasil pengujian diluar ruangan olfactory mobile robot pada jarak 200 cm tidak dapat mengetahui sumber gas atau asap, tetapi setelah digabungkan dengan hot-wire maka didapat waktu pencarian pada saat jarak 200 cm adalah 141 detik. Sehingga penambahan hot-wire anemometer dapat membantu pencarian sumber kebocoran gas ketika konsentrasi gas tidak terbaca oleh sensor gas.

5.2 Saran

Beberapa saran yang bisa diberikan untuk pengembangan penelitian ini adalah meningkatkan keakuratan hasil klasifikasi pembacaan arah angin dan kecepatan respon dalam mengenali arah angin. Penambahan data training pada neural network memungkinkan untuk hasil yang lebih akurat saat memprediksi arah

angin. Selain itu memperbaiki bahan yang digunakan pada hot-wire akan menghasilkan hasil yang lebih sempurna dan penambahan filter-filter yang dapat menstabilkan hasil dari hot-wire anemometer. P

 penggunaan suhu tinggi pada kawat nikelin yaitu 90°C - 150°C atau lebih memungkinkan *hot-wire anemometer* untuk peningkatan keakuratan dan respon pembacaan arah angin lebih cepat.

DAFTAR PUSTAKA

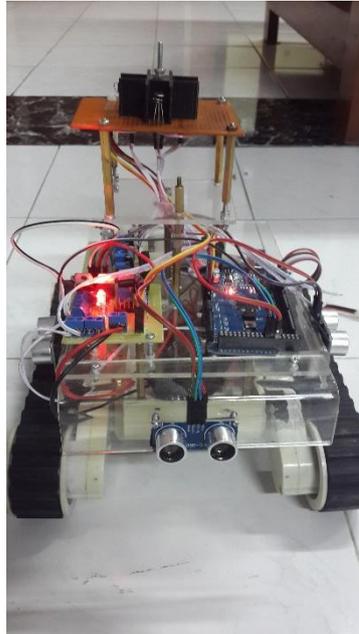
- A. Rusdiarna Indrapraja, Muhammad Rivai, A. Arifin, and D. Purwanto, "The detection of organic solvent vapor using polimer coated chemocapacitor sensor," *Journal of Physics*, 2017.
- Akkurt, M. Demirel, O.f. and Zaim, S.(2010),"Forecasting Turkey's Natural Gas Consumption by Using Time Series Methods", *European Journal Of Economicand Political Studies*.
- Begman, L., Theodore, David, P., Dewit, Adriene, S., Lavigne. (2011),*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley and Sons, New Jersey.
- Gonzales A. E., Floys M. G., Mascenon. (2004), "Design of autonomous Mobile Olfactory Robot for Chemical Source Localization".*IEEE Journal*, Vol. 11, hal. 475-478.
- H. Widyantara, Muhammad Rivai, and D. Purwanto, "Neural Network for Electronic Nose using Field Programmable Analog Arrays," *IJECE*, vol. 2, No. 6, pp. 739-747, December 2012.
- Hariato, Muhammad Rivai, and D. Purwanto, "Implementation of Electronic Nose in Omni-directional Robot," *IJECE*, vol. 3, No. 3, pp. 399-406, June 2013.
- <http://hallobogor.com/gas-milik-pgn-meledak-puluhan-pedagang-di-empang-pecah-berhamburan>, diakses 20 juni 2016
- <http://ik.pom.go.id/v2015/berita-keracunan/berita-keracunan-bulan-oktober-desember-2015>, diakses 19 mei 2016.
- <http://news.okezone.com/read/2015/12/07/338/1262026/bau-gas-bocor-di-depok-menyebar-ke-dua-kecamatan>, diakses 20 juni 2016.
- Jiu H. L., Jin-long L. (2014), "Odor Plume Source Localization with a Pioneer 3 Mobile Robot in an Indoor Airflow Enviroment".*IEEE Journal*, Vol. 18, hal. 209-219.

- Killian C.T. dan William, G.E.(2001), *Modern Control Technology: Components and Systems*, 2nd edition, Delmar Thomson Learning, Michigan.
- Kusumadewi, S. dan Hartati, S. (2006), *Neuro-fuzzy*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Lakitan, B.(1994),*Dasar-dasar Klimatologi*, PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Liu, B. H. dan Lin, N. (2013), “High Sensitivity, Miniature, Full 2-D Anemometer Based on MEMS Hot Film-Sensors”. *IEEE Journal*, Vol. 13, hal. 211-215.
- Marjowi A. dan Lino M. (2011), “Multi-Robot Olfactory search in structured environments”. *IEEE Journal*, Vol. 14, hal. 87-94.
- Muhammad Rivai, Rendyansyah, and D. Purwanto, “Implementation of Fuzzy Logic Control in Robot Arm for Searching Location of Gas Leak,” ISITIA, 2015.
- Qiangqiang L., Cheng L. (2015), ”Mobile Olfaction Robot Odor Source Localization Based on Wireless Sensors Networks”. *IEEE Journal*, Vol.8, hal. 112-115.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Gambar 1. Desain awal robot olfactory



Gambar 2. Desain Akhir robot yang digunakan dalam tesis ini



Lampiran 2

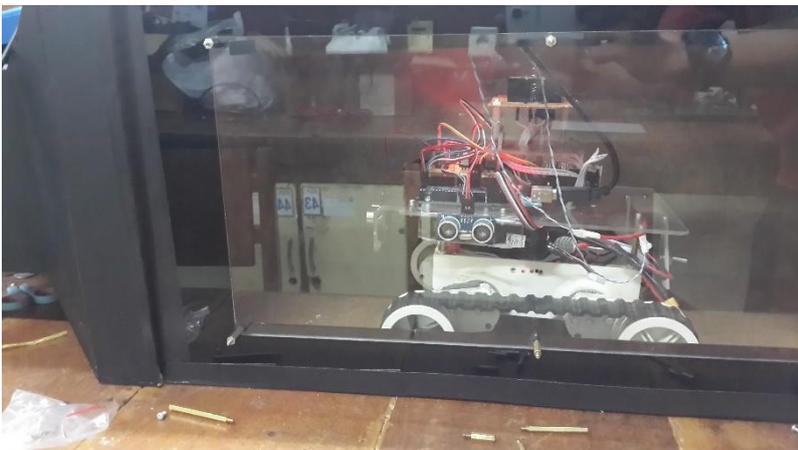
Gambar 3 Wind tunnel yang digunakan untuk pengambilan data dan pelatihan NN



Gambar 4 Proses pengambilan data



Gambar 5 Proses pengambilan data dan pelatihan NN



Lampiran 3

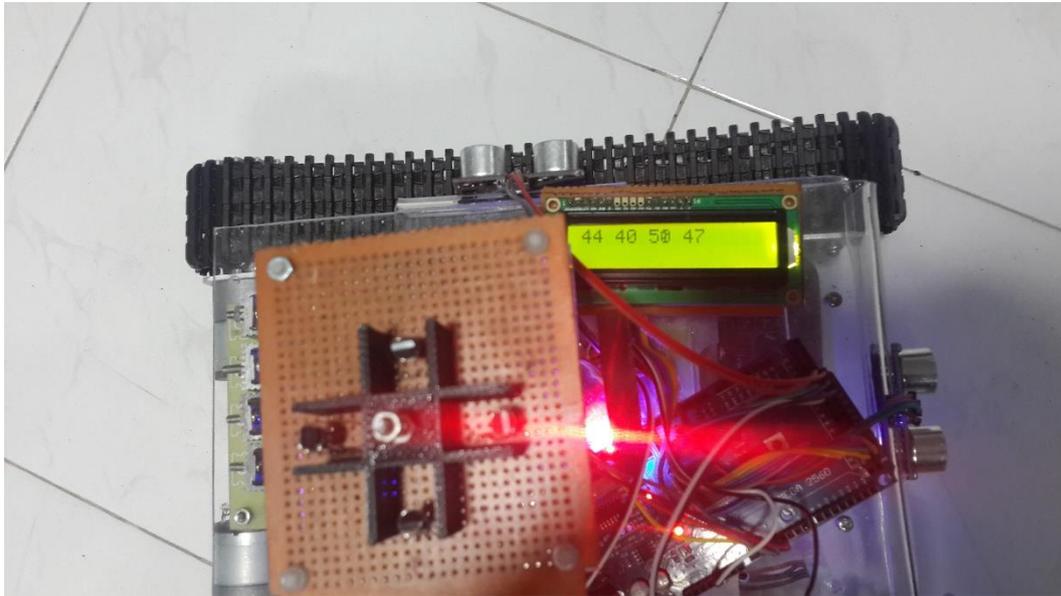
Gambar 6 Pengujian data menggunakan sumber angin buatan



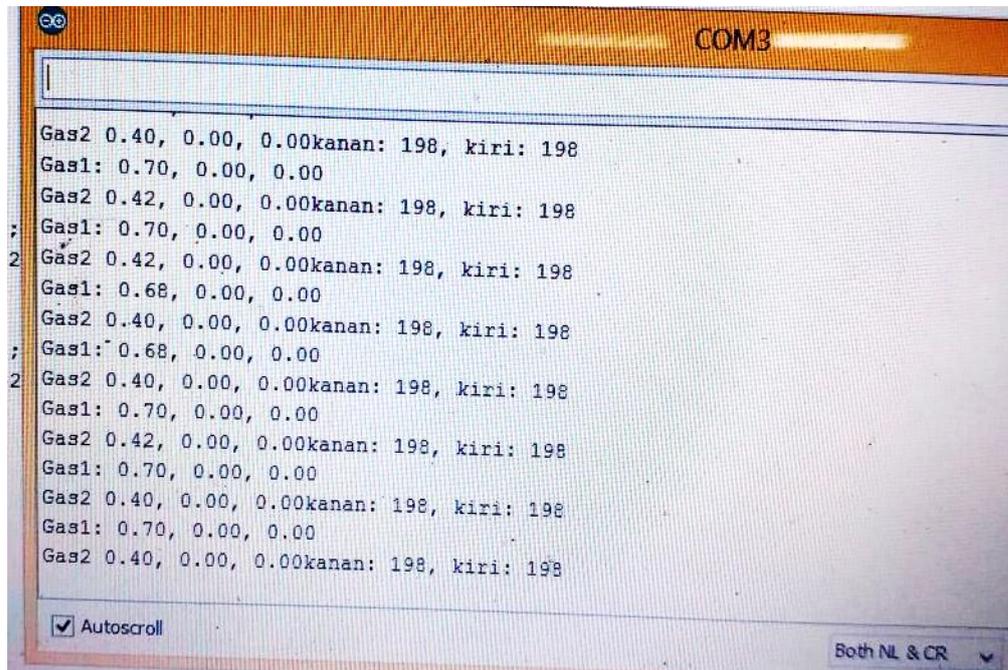
Gambar 7 Pengujian data menggunakan sumber angin buatan



Gambar 8 Tampilan nilai sensor hot-wire



Gambar 9 Tampilan pengambilan data fuzzy



Lampiran 4

Gambar 10 Tampilan Program Delphi untuk pelatihan NN

komunikasi [NN]

Load Input and Target

Load Input NN Load Target

Neural Network Parameter

Mu = 0.6
Alpha = 0.3
Desired Error = 0.01

start
Simpan

Actual Parameter

Actual Error =
Iterasi =

Uji Jaringan Syaraf Tiruan Offline Mode

Load Weight Alfa = 0.3
Load Input Mu = 0.6
Tes Error =

Out 0 =
Out 1 =
Out 2 =
Out 3 =
Out 4 =
Out 5 =
Out 6 =
Out 7 =

MSE =
Out 8 =
Out 9 =
Out 10 =
Out 11 =

Grafik Error Pembelajaran Terhadap Iterasi

Error

0

0 Iterasi

HASIL =

Lampiran 5

Listing Program Arduino Sistem

```
#define FOSC 16000000UL
#define konstantaSuhu 0.488
#define maxData 200
#define inData 4
#define outData 6 // nn output num of variable
#define interval 100 // in ms
#define maju LOW
#define mundur HIGH
#include <Ultrasonic.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);

Ultrasonic ulkiri(31, 30); Ultrasonic uldepan(33, 32); Ultrasonic
ulkanan(34, 35); // echo treiger

int enA = 10; int in1 = 8; int in2 = 9;
int enB = 11; int in3 = 13; int in4 = 12;
volatile uint16_t num=0;
int pinAnalog[inData]={A3, A2, A1, A0};
double sum[inData]={0,0,0,0};
volatile double dataSensor[inData];
boolean statSen = false;

void setup()
{
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  for(int i=8; i<14; i++)
  {
    pinMode(i,OUTPUT);
    digitalWrite(i,LOW);
  }
  Serial.begin(115200);

  lcd.setCursor(3,0);
  lcd.print("Hot-Wire ");
  lcd.setCursor(2,1);
  lcd.print("READY");
  delay(2000);
  //lcd.clear();
}
unsigned long prevTime=0;
void loop()
{
  unsigned long currTime=millis();
  if((!statSen)&&((currTime-prevTime)>=interval))
  {
    String pesan="";
    for(int i=0; i<inData; i++)
    {
      sum[i]+=readSensor(i);
    }
  }
}
```

```

        pesan+=String(sum[i])+"\t";
    }
    Serial.println(pesan+" data ke: "+num);
    prevTime=currTime;
    num=(num<maxData)?num+=1:0;
    statSen=(num==0)?true:false;
}

if(gasStat())
{
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("gas =");
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print(analogRead(A7));
    lcd.setCursor(9,1);
    lcd.print(analogRead(A8));

    if ((analogRead(A7) >= 500) && (analogRead(A8) >= 500) &&
        (uldepan.distanceRead() > 50))
    {
        motorKiri(180,maju);
        motorKanan(180,maju);
    }
    if ((analogRead(A7) >= analogRead(A8))&&
        (uldepan.distanceRead() > 50))
    {
        putar(-60);
        delay(1000);
    }
    if ((analogRead(A7) <= analogRead(A8))&&
        (uldepan.distanceRead() > 50))
    {
        putar(60);
        delay(1000);
    }
}
//else
if(!gasStat() && statSen)
{
    String pesan="";
    for( int i=0; i<inData; i++) // average the sensor
    {
        sum[i]/=maxData;
        pesan+=String(sum[i])+"\t";
    }
    Serial.println(pesan);
    double maxValue=max(sum[0],max(sum[1],max(sum[2],sum[3])));
    Serial.println(maxValue);

    for( int i=0; i<inData; i++) // average the sensor
    {
        sum[i]/=maxValue;

        Serial.println(sum[i]);
    }
    putar(nn(sum));
}

```

```

//*****listing program jalan*****

    if (uldepan.distanceRead() > 50)
    {
        statSen = false;
        motorKiri(180,maju);
        motorKanan(180,maju);
        delay(3000);
        berhenti();
        statSen = true;
    }
else if (uldepan.distanceRead() <= 50)
{
berhenti();
statSen = true;
}

    Serial.println(uldepan.distanceRead());
    clearArray(sum,sizeof(sum));
    delay(10000);
    statSen=!statSen;
    prevTime=millis();
}

}
void clearArray(double d[], uint16_t num)
{
    for( int i=0; i<num; i++)
    {
        d[i]=0;
    }
}
double readSensor(uint8_t index)
{
    return (analogRead(pinAnalog[index])*konstantaSuhu);
}
void bubbleSort(double data[], uint16_t num)
{
    for (uint16_t a=0; a<num; a++)
    {
        for (uint16_t b=0; b<num; b++)
        {
            if(data[b]>data[b+1])
            {
                double temp=data[b];
                data[b]=data[b+1];
                data[b+1]=temp;
            }
        }
    }
}
float getMax(double data[inData])
{
    static float temp=0;
    for(int a=0; a<inData;a++)
    {
        for(int b=0; b<inData; b++)
        {

```

```

        if (data[b]>data[b+1])
        {
            temp = data[b+1];
            data[b+1]=data[b];
            data[b]=temp;
        }
    }
}
return data[inData-1];
}
void motorKanan(uint8_t v, boolean dir)
{
    digitalWrite(in3, !dir);
    digitalWrite(in4, dir);
    analogWrite(enB, v);
}
void motorKiri(uint8_t v, boolean dir)
{
    digitalWrite(in1, !dir);
    digitalWrite(in2, dir);
    analogWrite(enA, v);
}
void berhenti()
{
    digitalWrite(in3, LOW);
    digitalWrite(in4, LOW);
    digitalWrite(in1, LOW);
    digitalWrite(in2, LOW);
    analogWrite(enA, 0);
    analogWrite(enB, 0);
}
#define timeDefine 845
void putar(float angle)
{
    if(angle>0)
    {
        motorKiri(255, mundur);
        motorKanan(255, maju);
    }
    else
    {
        motorKiri(255, maju);
        motorKanan(255, mundur);
    }
    float timeOut=(abs(angle/180));
    timeOut*=timeDefine;
    delay(timeOut);
    motorKanan(0, maju);
    motorKiri(0, maju);
}

boolean gasStat()
{
    int nilaiSen1=analogRead(A7);
    int nilaiSen2=analogRead(A6);
    if((nilaiSen1 >= 10) || (nilaiSen2 >= 10))
    return (true);
}

```

```

else
return (false);
}

```

Listing Program Arduino Neural Network Feedforward

```

#define alpha      0.3
#define node1     10
#define node2     6

float w1[inData][node1]={
{14.12504595,31.1699258,30.43413994,33.77410075,28.83626236,
33.88594409,14.32358752,2.772398236,-
33.32750073,-51.01251255},
{-0.998569635,39.03609011,-56.08013756,-
19.67043145,5.772708681,
-
6.569419852,9.451913143,7.147708791,11.8575149,11.91070491},
{43.30284359,-
3.433240487,70.24015769,44.22566364,-58.84924448,
19.81297365,18.95983213,10.57678284,-
8.283627474,61.26573129},
{-17.54202326,-55.35141306,16.27316963,-
19.67571038,-15.48400073,
-28.89372777,-26.07706147,-
4.60610035,22.01981514,16.23017406}
};
float w2[node1][node2]={
{-26.59597206,19.10783487,-11.8096947,-
21.5271939,14.19649624,29.72350333},
{-21.11511709,-45.80421678,-
41.83686565,9.833775298,40.70950224,29.90929369},
{-37.64468389,58.297235,47.45123269,-
46.83792417,-9.497335128,30.23368206},
{-36.91289,25.23964541,13.63055869,-
26.71152605,18.16638523,26.22307059},
{-14.5935546,-
47.06703024,7.915310077,31.50177176,32.85413743,-39.461567},
{-29.44483206,-10.62740657,6.780032505,-
13.62169778,23.36571854,27.4186407},
{-15.33850689,-6.590537089,-14.44687357,-
8.9203886,17.05860862,21.11103823},
{-6.772591006,1.379947975,-9.185452663,-
1.842086976,-0.850216871,8.133073463},
{25.23222634,10.13357229,-
18.81455324,5.818072788,-24.61136637,-20.14036814},
{26.79914086,37.79415992,-33.04652861,-
34.53468366,-44.31211504,44.95734911},
};
float bias1[node1]   ={-32.464,-9.379,-52.209,-29.231,35.955,-
14.876,-14.887,-14.604,5.211,-33.759};
float bias2[node2]   ={8.263,-68.964,-18.407,10.422,-73.456,-
116.950};
float output[outData];

float actFunc(float n)
{

```

```

    return(1/(1+exp(-1*alpha*n)));
}

float sumNode(float a, float b) // a=a+b
{
    return (a+b);
}
// i for input
// j for node 1
// k for node 2

int mn(double dataS[])
{
    uint8_t outputNN=0;
    static float nodeA[node1],
                nodeB[node2];
//===== layer 1 =====
    for(int j=0; j<node1; j++)
    {
        for(int i=0; i<inData; i++)
        {
            nodeA[j]=sumNode (nodeA[j], (dataS[i]*w1[i][j]));
        }
        nodeA[j]+=bias1[j];
        nodeA[j]=actFunc (nodeA[j]);
    }
//===== layer 2 =====
    for(int j=0; j<node2; j++)
    {
        for(int i=0; i<node1; i++)
        {
            nodeB[j]=sumNode (nodeB[j], (nodeA[i]*w2[i][j]));
        }
        nodeB[j]+=bias2[j];
        nodeB[j]=actFunc (nodeB[j]);
        /* Serial.print(nodeB[j]); Serial.print('\t');
        if(nodeB[j]>= 0.9 )
            bitSet(outputNN,j);
        else
            bitClear(outputNN,j);

        Serial.print(outputNN); Serial.print('\t');
        */
        //Serial.print(nodeB[j]); Serial.print('\t');
    }
    return (enumData (nodeB,node2));
}

uint8_t dbPengenalan[6][6]={
                                {1,0, 0, 0, 0, 0},
                                {0,1, 0, 0, 0, 0},
                                {0, 0, 1, 0, 0, 0},
                                {0, 0, 0, 1, 0, 0},
                                {0, 0, 0, 0, 1, 0},
                                {0, 0, 0, 0, 0, 1}
                                };
int dbPhase[6]={0,-60,-120,180,120,60}; //{0,60,120,180,240,300};

```

```

uint16_t enumData(float nilai[], uint8_t num )
{
    float errNum = 1,
          err = 0;
    uint8_t dbPos=0;
    for (int i=0; i<num; i++)
    {
        err=0;
        for(int j=0; j<num; j++)
        {
            err+=sqrt(abs(dbPengenalan[i][j]-nilai[j]));
        }
        err*=0.25;
        if(err<errNum)
        {
            errNum=err;
            dbPos=i;
        }
    }
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("sudut =");
    lcd.setCursor(9,0);
    lcd.print(dbPhase[dbPos]);
    return (dbPhase[dbPos]);
}

```

Listing Program NN pada Delphi

```

//=====neural network=====

function randomrange(low,high:double):double;
var temp:integer;
begin
    temp:=Random(1000);
    while temp=0 do
        temp:=Random(1000);
    result:=temp*(high-low)*0.001+low;
end;

//=====random weight=====
procedure TForm1.random_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]:= randomrange(0,1);
                    bias1[0,j]:= randomrange(0,1);
                end;
            end;
        end;
end;

```

```

for i:= 0 to n_hidden-1 do
begin
  for j:= 0 to n_output-1 do
  begin
    w2[i,j]:= randomrange(0,1);
    bias2[0,j]:= randomrange(0,1);
  end;
end;

end;
//=====propagasi maju=====
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;

//=====propagasi mundur=====
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]:= (0.25)*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;
//=====update weight=====
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;

procedure TForm1.Button21Click(Sender: TObject);
begin
ClearStringGrid(Grid1);

OpenDialog1.InitialDir:=ExtractFilePath(Application.ExeName)+'Data
\NN\';
if OpenDialog1.Execute then
begin
CSVToSG(Grid1,OpenDialog1.FileName);
SGToArray(Grid1,input_NN);
SetLength(erkum,Length(input_NN[0]));
end;

end;

procedure TForm1.Button11Click(Sender: TObject);

```

```

begin

OpenDialog1.InitialDir:=ExtractFilePath(Application.ExeName)+'data
\NN\';
  if OpenDialog1.Execute then
    begin
      CSVToArrayH(desired,OpenDialog1.FileName);
    end;
end;

procedure TForm1.Button18Click(Sender: TObject);
begin
  if button18.Caption= 'start' then
    begin
      button18.Caption:= 'stop';
      n_input:=Length(input_NN);
      n_output:=Length(desired);
      n_hidden:=10; // jumlah node
      SetLength(w1,n_input,n_hidden);
      SetLength(w2,n_hidden,n_output);

      SetLength(node1,n_hidden);
      SetLength(out1,n_hidden);
      SetLength(turunan1,n_hidden);
      SetLength(error1,n_hidden);
      SetLength(bias1,1,n_hidden);

      SetLength(node2,n_output);
      SetLength(out2,n_output);
      SetLength(turunan2,n_output);
      SetLength(error2,n_output);
      SetLength(bias2,1,n_output);

      random_weight();
      galat_total:= 1;
      iterasi:= 0;
      miu:= strtofloat(Edit9.Text);
      alfa:= strtofloat(Edit10.Text);
      galatmin:= strtofloat(edit11.Text);
      timer3.Interval:= 1;
      timer3.Enabled:= true;
    end
  else if button18.Caption= 'stop' then
    begin
      button18.Caption:= 'start';
      timer3.Enabled:= false;
    end;
end;

procedure TForm1.Button20Click(Sender: TObject);
var filename:string;
begin

SaveDialog1.InitialDir:=ExtractFilePath(Application.ExeName)+'Data
\NN\';
  if SaveDialog1.Execute then
    begin
      filename:=SaveDialog1.FileName;
    end;
end;

```

```

        Delete(filename, Pos('.csv', filename), Length(filename));
        ArrayToCSV(w1, filename+'_w1.csv');
        ArrayToCSV(w2, filename+'_w2.csv');
        ArrayToCSV(bias1, filename+'_bias1.csv');
        ArrayToCSV(bias2, filename+'_bias2.csv');
    end;
end;

procedure TForm1.Button23Click(Sender: TObject);
var filename:string;
begin
OpenDialog1.InitialDir:=ExtractFilePath(Application.ExeName)+'Data
\NN\';
    if OpenDialog1.Execute then
        begin
            filename:=OpenDialog1.FileName;
            Delete(filename, Pos('_', filename), Length(filename));
            CSVToArray(w1, filename+'_w1.csv');
            CSVToArray(w2, filename+'_w2.csv');
            CSVToArray(bias1, filename+'_bias1.csv');
            CSVToArray(bias2, filename+'_bias2.csv');
        end;
    end;

procedure TForm1.Button24Click(Sender: TObject);
begin
OpenDialog1.InitialDir:=ExtractFilePath(Application.ExeName)+'Data
\NN\';
    if OpenDialog1.Execute then
        begin
            CSVToArray(input_NN, OpenDialog1.FileName);
        end;
    end;

procedure TForm1.Button25Click(Sender: TObject);
var
    galat_MSE, err: double;
    pos_MSE: integer;
    i, j: Integer;
begin
Label34.Caption:='HASIL = ';
n_input:=Length(input_NN);
n_output:=6; // sesuai output
n_hidden:=10; // node untuk tes
SetLength(node1, n_hidden);
SetLength(out1, n_hidden);
SetLength(turunan1, n_hidden);
SetLength(error1, n_hidden);

SetLength(node2, n_output);
SetLength(out2, n_output);
SetLength(turunan2, n_output);
SetLength(error2, n_output);

galat_total:= 1;
iterasi:= 0;

```

```

miu:= strtofloat(Edit23.Text);
alfa:= strtofloat(Edit22.Text);
maju;

Edit18.Text:=FloatToStr(out2[0]);
Edit19.Text:=FloatToStr(out2[1]);
Edit15.Text:=FloatToStr(out2[2]);
Edit2.Text:=FloatToStr(out2[3]);
Edit3.Text:=FloatToStr(out2[4]);
Edit1.Text:=FloatToStr(out2[5]);
Edit4.Text:=FloatToStr(out2[6]);
galat_MSE:= 1;
pos_MSE:=0;

for i:= 0 to 5 do
begin
err:=0;
for j:= 0 to 5 do
begin
err:= err+(sqr(dbase_pengenalan[i,j]-out2[j]));
end;
err:= err*0.25;
if err< galat_MSE then
begin
galat_MSE:= err;
pos_MSE:= i;
end;
end;
edit25.Text:= floattostr(galat_MSE);
Label34.Caption:=label34.Caption+dbase_string[pos_MSE];
end;

procedure TForm1.Timer3Timer(Sender: TObject);
begin
if galat_total> galatmin then
begin
galat_total:= 0;
z:= 0;
while z< Length(erkum) do
begin
maju();
mundur();
update_weight();
galat_total:= galat_total+erkum[z];
z:= z+1;
end;
iterasi:= iterasi+1;
galat_total:= galat_total/length(erkum);
edit12.Text:= floattostr(galat_total);
edit17.Text:= inttostr(iterasi);
end
else
begin
button18.Caption:= 'start';
timer3.Enabled:= false;
end;
end;
end;

```

Halaman ini sengaja di kosongkan

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Gamma Aditya Rahardi dilahirkan di Jember, 28 Januari 1991. Merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara pasangan Bapak Ir. Sunardi, M.T. dan Ibu Dra. Nanik Sugirahayu. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Negeri Kapatihan 1 Jember pada tahun 1998 – 2003, kemudian melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Jember pada tahun 2003-2006. Selanjutnya penulis melanjutkan Sekolah Menengah Atas Negeri 2 Jember pada tahun 2006-2009. Setelah itu penulis menempuh pendidikan tinggi pada program Sarjana di Universitas Negeri Jember dan menyelesaikan pendidikan pada tahun 2014. Setelah menyelesaikan pendidikan tahap sarjana, penulis melanjutkan pendidikan di program Magister Fakultas Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh November dengan bidang keahlian Teknik Elektronika pada tahun 2015.