

APLIKASI LOGIKA FUZZY PADA PEMBUATAN PENJEJAK PANAS SATU SUMBU

Munadi¹⁾

Abstrak

Salah satu bentuk gelombang elektromagnet adalah radiasi panas. Radiasi panas dapat dihasilkan oleh sebagian besar mesin-mesin bergerak, seperti pesawat, mobil, ataupun bahkan dari gerakan manusia. Dengan memanfaatkan radiasi panas dari suatu objek, maka dapat dibuat sebuah tracking system. Dibidang pertahanan negara, tracking sistem sangat dibutuhkan untuk melengkapi senjata seperti missile. Dengan memanfaatkan radiasi panas, suatu missile secara otomatis akan dapat mengikuti keberadaan objek yang akan dihancurkan.

Dalam merancang sistem kontrol penjejak panas, ada beberapa metode yang bisa digunakan. Untuk kali ini menggunakan logika fuzzy. Sistem kontrol penjejak panas yang dalam aplikasinya menggunakan sistem fuzzy akan dibantu dengan piranti lunak MATLAB.

Sistem kontrol fuzzy memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan sistem kontrol konvensional diantaranya sistem kontrol fuzzy tidak dibutuhkan persamaan matematika yang terlalu rumit, lebih mudah digunakan untuk aplikasi sistem kontrol non linear.

Kata kunci: Penjejak Panas, Tracking System, Fuzzy, Non Linear Sistem

PENDAHULUAN

Dengan memanfaatkan radiasi panas dari suatu objek, dapat dibuat sebuah tracking system. Fungsi dari tracking system adalah untuk memberikan informasi posisi dan arah dari suatu target. Tracking system dapat dimanfaatkan pada berbagai bidang antara lain seperti alat deteksi adanya kebakaran, dengan tracking system akan dapat diketahui posisi letak sumber api, sehingga kebakaran dapat ditangani sedini mungkin.

LOGIKA FUZZY

Tujuan utama dari logika fuzzy adalah membuat komputer dapat berfikir seperti manusia. Dengan menggunakan logika fuzzy memungkinkan mesin untuk mengerti dan menjalankan konsep yang "samar" seperti panas, dingin, besar, kecil dan lain lain. Logika fuzzy juga bisa memberikan solusi yang nyata terhadap ketidaktepatan informasi.

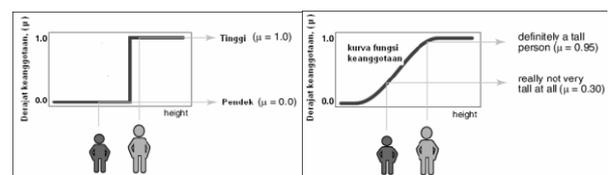
Logika fuzzy memiliki keunggulan dalam pemodelan kompleks, dan masalah sistem nonlinear, antara lain :

- Meniru pemikiran manusia dalam pengambilan atau membuat keputusan.
- Dapat digunakan untuk mengolah informasi yang samar.
- Tidak membutuhkan persamaan-persamaan matematika yang rumit.

Konsep Dasar Himpunan Fuzzy

Himpunan fuzzy adalah himpunan yang memungkinkan anggotanya memiliki nilai keanggotaan

antara 0 dan 1. Himpunan fuzzy bisa menjadi pencerminan cara berfikir manusia. Sebagai contoh untuk menyatakan tinggi badan seseorang, himpunan klasik hanya membedakannya dengan 2 nilai keanggotaan, yaitu yaitu 1 atau 0. Sedangkan pada himpunan fuzzy, nilai keanggotaan bisa dinyatakan antara 1 dan 0 (mengikuti kurva fungsi keanggotaan).



Gambar 1. Derajat keanggotaan himpunan klasik vs himpunan fuzzy

Dengan menggunakan himpunan fuzzy kita bisa menyatakan nilai suatu anggota tidak hanya tinggi atau pendek, tetapi juga agak tinggi atau agak pendek.

Fungsi Keanggotaan Himpunan Fuzzy

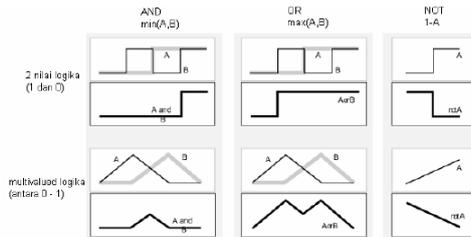
Fungsi keanggotaan himpunan fuzzy adalah suatu fungsi yang memetakan antara anggota/elemen dengan nilai keanggotaannya dalam suatu himpunan. Ada beberapa jenis fungsi keanggotaan dalam himpunan fuzzy antara lain fungsi keanggotaan linier naik, linier turun, segitiga, trapezium, kurva S naik, kurva S turun dan Gaussian.

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

Operator Logika Fuzzy

Pada logika *fuzzy*, fungsi keanggotaan tiap-tiap elemen adalah diantara 0 sampai dengan 1. Operasi logika AND digantikan dengan fungsi $\min(A,B)$, sedangkan OR digantikan dengan fungsi $\max(A,B)$.

Berikut adalah penyajian operasi logika *fuzzy* berupa grafik berdasarkan tabel kebenaran. Tabel logika menggunakan 2 nilai logika, yaitu 1 dan 0, sedangkan berikut menggunakan nilai logika antara 0 sampai dengan 1.



Gambar 2. Grafik operasi logika *fuzzy*

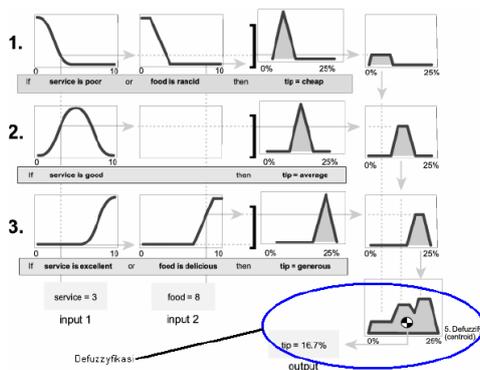
Aturan Fuzzy

Aturan *fuzzy* digunakan untuk memetakan himpunan-himpunan *fuzzy* untuk membentuk suatu keputusan. Bentuk umum dari suatu aturan *fuzzy* adalah sebagai berikut : IF x is A THEN y is B

Bagian dari aturan *fuzzy* "x is A" dinamakan *antecedent*, sedangkan bagian "y is B" dinamakan *consequent*. *Consequent* merupakan himpunan *fuzzy* output dari suatu aturan *fuzzy*. Dengan menggunakan fungsi implikasi, bisa didapatkan modifikasi himpunan *fuzzy* sesuai dengan keadaan *antecedent*.

Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses untuk mendapatkan kembali nilai tegas atau nilai output dari suatu sistem *fuzzy*. Ada beberapa metode yang bisa digunakan, dan digunakan metode Centroid yaitu metode yang menarik nilai titik centroid dari hasil penjumlahan area hasil implikasi *fuzzy*. Berikut adalah gambaran desain *fuzzy* dari awal (*fuzzyfikasi*) sampai dengan penarikan kesimpulan (*defuzzifikasi*) dengan menggunakan 3 aturan *fuzzy*:



Gambar 3. Alur desain *fuzzy*

PERANCANGAN SISTEM FUZZY

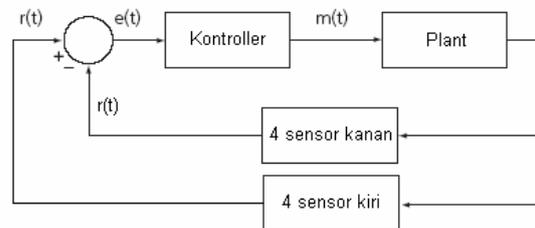
Untuk mendeteksi radiasi panas dari objek, dipilih *thermopile array* TPA81 sebagai sensor feedback yang merupakan kumpulan 8 unit sensor sejajar yang dapat membaca gelombang elektromagnet (infra-red) dengan panjang gelombang antara 2 - 22 μm . Sensor TPA81 menggunakan protokol I2C bus untuk berkomunikasi dengan *peripheral* lain.



Gambar 4. *Thermopile array* TPA81

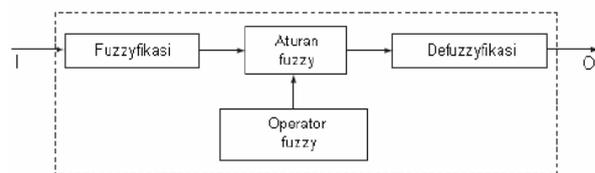
Untuk dapat mengikuti pergerakan objek, 8 sensor pada TPA81 dibedakan menjadi 2 kelompok yaitu sensor kanan dan kiri, kemudian dilakukan suatu perhitungan kesalahan (*error*) antara sensor kanan dan kiri. Posisi objek diketahui dari nilai kesalahan yang dihasilkan sensor kanan dan kiri. TPA81 dilengkapi dengan servo kontrol.

TPA81 dipasang pada sebuah *platform* 2 sumbu yang telah dimodifikasi sehingga hanya dapat bergerak satu sumbu saja secara horizontal. *Platform* merupakan *plant* yang akan dikontrol oleh controller. Motor servo digunakan sebagai aktuator penggerak.



Gambar 5. Diagram blok sistem penjejak panas

Selanjutnya adalah perancangan sistem kontrol *fuzzy* dengan menggunakan *Fuzzy Inference System (FIS)*. Perancangan ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik output terhadap input dari sistem *fuzzy* yang akan dibangun.



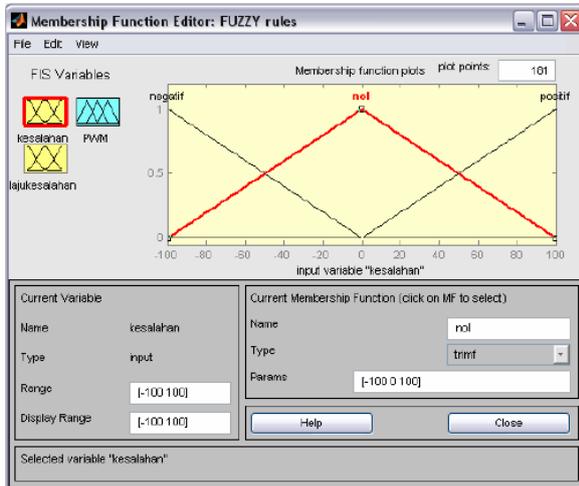
Gambar 6. Diagram blok controller *fuzzy*

Perancangan Model 1 Pembentukan Fungsi Keanggotaan

Tahapan pertama adalah membentuk fungsi keanggotaan dari input dan output sistem. Dan didefinisikan 2 buah fungsi keanggotaan *fuzzy* input,

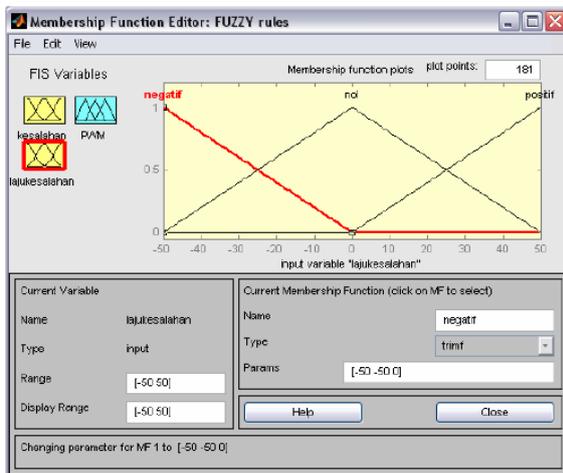
yaitu: kesalahan (error), dan laju kesalahan, serta 1 buah fungsi keanggotaan *fuzzy* output yaitu lebar pulsa motor servo (PWM).

Proses pembentukan fungsi keanggotaan kesalahan (*error*) dibagi lagi menjadi 3 himpunan *fuzzy*, yaitu negatif, nol, dan positif.



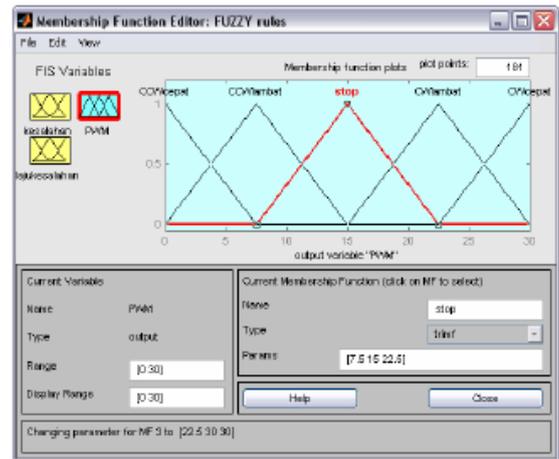
Gambar 7. Fungsi keanggotaan laju kesalahan

Selanjutnya untuk proses pembentukan fungsi keanggotaan laju kesalahan juga dibagi menjadi 3 himpunan yaitu himpunan negatif, nol dan positif.



Gambar 8. Fungsi keanggotaan laju kesalahan

Sedangkan pembentukan fungsi keanggotaan output (PWM) dibagi menjadi 5 buah himpunan *fuzzy* yaitu himpunan cw cepat, cw lambat, stop, cw lambat dan cw cepat.



Gambar 9. Fungsi keanggotaan output PWM

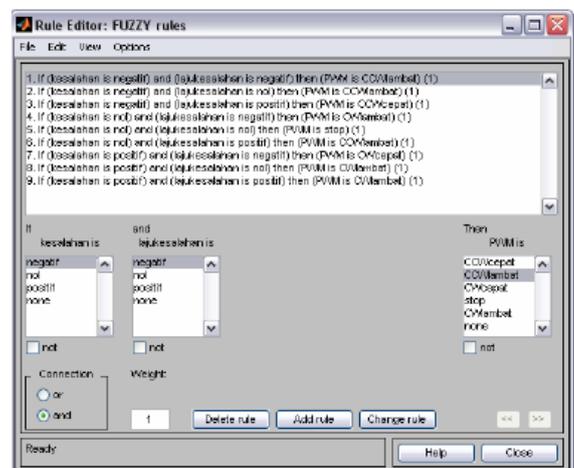
Pembentukan Aturan Fuzzy

Berdasarkan fungsi keanggotaan terdapat 2 fungsi input dan 1 fungsi output. Berikut adalah matrik pemetaan himpunan *fuzzy*.

		Kesalahan (error)		
		negatif	nol	positif
Laju kesalahan	negatif	1 cw lambat	2 cw lambat	3 cw cepat
	nol	4 cw lambat	5 stop	6 cw lambat
	positif	7 cw cepat	8 cw lambat	9 cw lambat

Gambar 10. Matrix hubungan fungsi keanggotaan input dan output

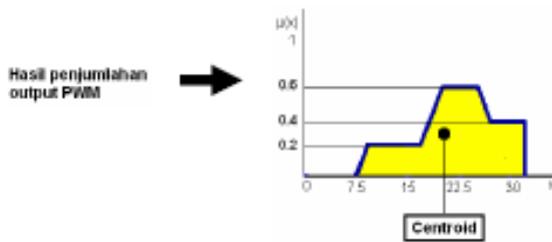
Pada sistem *fuzzy* penjejak panas ini digunakan operator AND($\max(a,b)$) antar himpunan input, yang berarti harus diambil nilai terendah (intersection) antar himpunan sebagai fungsi implikasi. Ada 9 aturan *fuzzy* yang bisa dibentuk.



Gambar 11. Pembentukan aturan fuzzy

Defuzzyfikasi

Berikut adalah proses dari mulai *fuzzyfikasi* sampai dengan *defuzzyfikasi* sebuah data. Misal: data kasalahan = 80, dan laju kesalahan = -20.



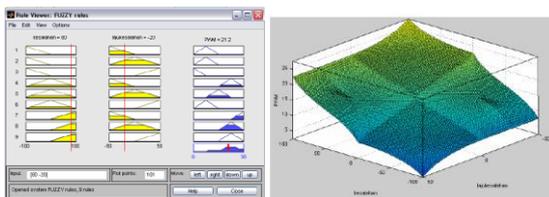
Gambar 12. Lokasi letak *centroid*

Lokasi titik *centroid* pada sumbu x pada gambar diatas merupakan hasil output dari keseluruhan sistem *fuzzy*.

Berikut ini menentukan letak posisi titik *centroid* :

$$\begin{aligned} \text{Titik centroid} &= \frac{\sum TC_{\text{himpunan}} \times W_{\text{himpunan}}}{\sum W_{\text{himpunan}}} \\ &= 23.72 \end{aligned}$$

Hasil ini tidak jauh berbeda dengan nilai yang dihasilkan MATLAB yaitu 21,2. Pada MATLAB, kita bisa mendapatkan letak titik centroid berdasarkan input yang diberikan. Selain itu juga bisa didapatkan grafik permukaan yang menggambarkan hubungan himpunan kasalahan, laju kesalahan, dan output PWM sistem *fuzzy*, sehingga bisa diketahui karakteristik output sistem *fuzzy* yang dibangun.



Gambar 13. *Defuzzyfikasi* model 1 dan grafik permukaan input vs output sistem

Perancangan Model 2

Pembentukan Fungsi Keanggotaan

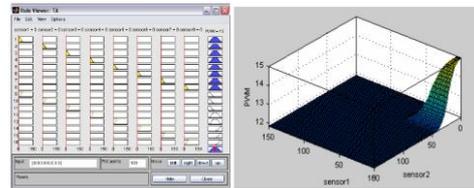
Variabel input untuk model 2 adalah variabel sensor 1 sampai dengan sensor 8. Pendefinisian fungsi keanggotaan sensor 1 sampai sensor 8 adalah sama. Fungsi keanggotaan input variabel sensor yaitu himpunan *small* dan *high*. Sedangkan pendefinisian variable output PWM antara lain himpunan *left*, *stop* dan *right*.

Pembentukan Aturan *Fuzzy*

Dari fungsi keanggotaan variabel input dan output dibuat 16 aturan.

Defuzzyfikasi

Proses perhitungan *defuzzyfikasi* model 2 sama dengan model 1. Berikut adalah hasil pengolahan model 2 :



Gambar 14. *Defuzzyfikasi* model 2 dan Grafik permukaan input vs output sistem

Perbandingan Model 1 dan Model 2

Model 1 dan model 2 masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan.

Tabel 1. Perbandingan model 1 dan model 2

Model 1	Model 2
Karena memperhitungkan error, maka besarnya panas target tidak berpengaruh.	Karena <i>fuzzyfikasi</i> dilakukan pada masing-masing sensor besarnya temperatur target menjadi berpengaruh
Proses eksekusi menjadi lebih lama, karena harus menghitung error dan laju error	Proses eksekusi lebih cepat karena tidak ada perhitungan matematis

Karena pada penjejak panas dibutuhkan proses eksekusi yang cepat maka dipilih model 2 sebagai controller.

Pembuatan Program Aplikasi Penjejak Panas

Program aplikasi penjejak panas dibuat dengan menggunakan software *Code Vision*. Struktur sistem *fuzzy* dibuat sesuai dengan rancangan *fuzzy* diatas.

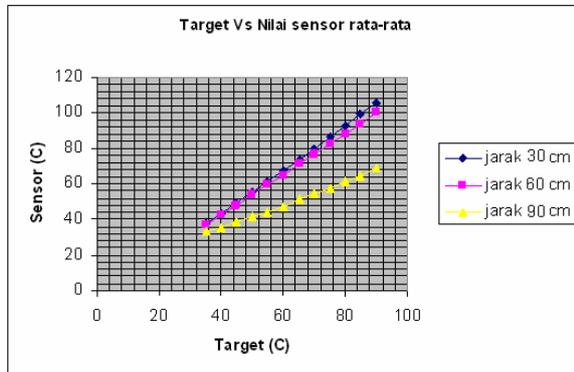


Gambar 15. Penjejak panas mengikuti gerakan tangan

PENGUJIAN SENSOR TPA81

Pengujian Sensitivitas Temperatur

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara temperatur objek dengan temperatur pembacaan pada sensor TPA81. Pada pengujian ini, objek panas diletakkan didepan sensor pada jarak tertentu, yaitu 30 cm, 60 cm, dan 90 cm.



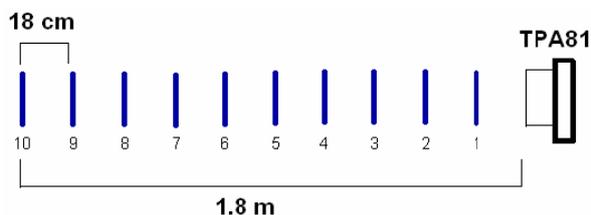
Gambar 16. Grafik pengujian sensitivitas temperatur rata-rata pada masing-masing jarak

Dari grafik diatas, bisa didapatkan sensitivitas sensor pada masing-masing jarak. Sensitivitas sensor menyatakan besarnya perubahan output terhadap perubahan input yang dinyatakan dengan kemiringan pada grafik. Berikut adalah perhitungan sensitivitas sensor untuk jarak 30 cm = 1,23, untuk 60 cm = 1,14 dan untuk 90 cm = $0,56 \frac{^{\circ}\text{C}_{\text{sensor}}}{^{\circ}\text{C}_{\text{target}}}$.

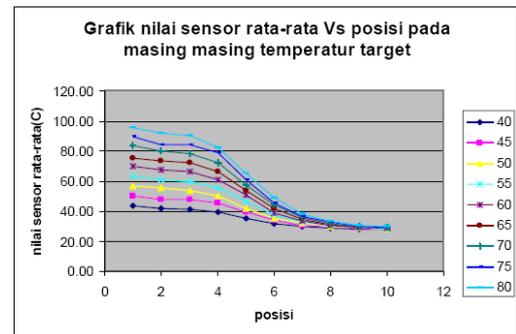
Pengujian Sensitivitas Jarak

Pengujian sensitivitas jarak bertujuan untuk mendapatkan hubungan antara temperatur nilai sensor terhadap jarak. Berikut adalah urutan prosedur pengujian :

- Menentukan jarak maksimum objek untuk suatu nilai temperatur. Ditentukan nilai temperatur 80°C dengan jarak maksimum 1.8 m.
- Membagi jarak maksimum dengan 10 variasi posisi.
- Mengambil data pengujian nilai sensor pada masing-masing posisi dan temperatur objek tertentu.



Gambar 17. Penentuan posisi objek

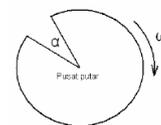


Gambar 18. Grafik pengujian sensitivitas jarak pada masing-masing temperatur rata-rata

Pada grafik diatas, pada masing-masing nilai temperatur objek, nilai temperatur sensor mengalami penurunan (kemiringan) paling besar pada posisi antara posisi 4,5 dan 6. Dari data tersebut dapat disimpulkan, untuk temperatur objek maksimum 80°C , sensor bisa memberikan nilai output yang baik hanya sampai posisi nomor 5, atau apabila dinyatakan dalam bentuk jarak adalah $5 \times 0,18 = 0,9 \text{ m} = 90 \text{ cm}$.

Pengujian Waktu Respon

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan sensor TPA81 untuk mengkonversi sinyal input (gelombang elektromagnet). Pada pengujian ini digunakan lingkaran terpotong (seperti pada gambar) yang diputar menggunakan motor DC.



Gambar 19. Lingkaran penghalang sensor

Sensor TPA81 dipasang pada salah satu sisi penghalang, sedangkan objek/target diletakkan pada sisi lainnya. Pada saat lingkaran penghalang diputar, maka waktu terbukannya penghalang dapat dihitung sebagai fungsi dari kecepatan putaran motor. Dengan demikian, waktu konversi dapat diketahui dengan mencari kecepatan putaran motor maksimum, sampai dengan sensor menghasilkan output berupa nilai temperatur objek. Untuk mengetahui kecepatan putaran motor digunakan rotary encoder, sedangkan untuk menampilkan kecepatan putaran motor digunakan LCD.

Pengujian Sudut Pandang Sensor (*Field Of View*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui lebar bidang sudut pandang sensor (*FOV*). Temperatur dan jarak target diset pada nilai yang tetap, yaitu 40°C dan 600 mm dari sensor. Sudut sensor diputar dengan menggunakan motor servo, pada setiap kelipatan sudut 6° nilai sensor dicatat.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat dikemukakan beberapa kesimpulan antara lain sistem kontrol *fuzzy* yang dipakai sebagai controller penjejak panas memiliki beberapa keunggulan, yaitu tidak membutuhkan persamaan matematika yang rumit dalam operasinya, bekerja dengan bahasa yang lebih mudah dimengerti, seperti pada pendefinisian fungsi keanggotaan : dingin, agak dingin, panas, agak panas dan mudah diterapkan dalam sistem kontrol non linear.

Thermopile TPA81 untuk aplikasi penjejak panas memiliki kemampuan sensitivitas temperatur sebesar $1,23 \text{ }^{\circ}\text{C}_{\text{sensor}}/\text{ }^{\circ}\text{C}_{\text{target}}$ pada jarak 300 mm, sebesar $1,14 \text{ }^{\circ}\text{C}_{\text{sensor}}/\text{ }^{\circ}\text{C}_{\text{target}}$ pada jarak 600 mm dan sebesar $0,56 \text{ }^{\circ}\text{C}_{\text{sensor}}/\text{ }^{\circ}\text{C}_{\text{target}}$ pada jarak 900 Mm. Oleh karena itu jangkauan efektif sensor adalah 900 mm. Dan *Field Of View* sensor adalah 18° .

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, "Penerapan Aneka IC", Binatronika, Bandung, 1984.
2. Atmel, "AVR 8bit ATMEGA8535", *Data Sheet*, Atmel Corp. <http://www.atmel.com>.
3. Borland, "C++ Builder HOW-TO", Waite Group Press Inc. 1997.
4. Catsoulis, John, "Designing Embedded Hardware", O'Reilly, 2002.
5. CodeVisionAVR, "User Manual", HP InfoTech S.R.L.,2001.
6. Ibrahim, M., Ahmad "Fuzzy Logic for Embedded Systems Applications", Newnes, USA, 2004.
7. "Interfacing the Serial / RS232 Port V5.0", Craig Peacock <http://www.senet.com.au/~cpeacock>, 1998.
8. Kurniantoro, "aplikasi metode *impuls* untuk pemosisian meja satu aksis dengan gesekan", Tugas Sarjana, Institut Teknologi Bandung, 2002.
9. "MBR1035, MBR1045 SWITCHMODE Power Rectifiers", ON Semiconductor, <http://onsemi.com>.
10. "Motion Sensing and Control", Hewlett-Packard.
11. Muljowidodo, Indra Djodikusumo, "Mekatronika", Higher Education Development Support Project, 1996.
12. Muljowidodo, Kurniantoro, "Improvement of Servo Positioning Accuracy by Impulse Modulation of Single Axis Table with Friction", Paper, Lab Otomasi & Sistem Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, ITB, 2002.
13. National Semiconductor, "DAC0830/DAC0832 8-Bit μP Compatible, Double-Buffered D to A Converters", *Data Sheet*, National Semiconductor Corporation, 1999.
14. Rathbun, David, "Control of Mechanical Systems Under the Influence of Nonlinear Friction", Slide dari Mechatronics, Robotics, and Control Seminar 2 June 2000.
15. Scherz, Paul, "Practical Electronics for Inventor", McGraw-Hill, 2000.
16. STMicroelectronics, "LM324 LOW POWER QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS", *Data Sheet*, STMicroelectronics, 1999.