BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada bab ini berisi tentang uraian mengenai proses pengujian sistem yang telah dirancang pada bab sebelumnya. Pengujian tersebut meliputi pengujian sensor suhu TMP36 dengan Thermostat, pengujian sistem refrigerator dan pengujian sistem *defrost* dan logika *fuzzy*. Selanjutnya dari hasil pengujian tersebut akan dilakukan analisis untuk memastikan sistem dapat berjalan sesuai target yang diharapkan.

4.1 Pengujian Sensor Suhu TMP36

Pada proses ini akan dilakukan pengujian sensitifitas sensor suhu TMP36. Pengujian sensor suhu ini dibandingkan dengan suhu yang muncul pada thermostat. Berikut hasil dari pengujian bias dilihat pada tabel 4.1 dan Gambar 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian TMP36 dan Thermostat.

Suhu Hasil Pengujian Menggunakan TMP36	**Suhu Hasil Pengujian Menggunakan Thermostat**
-1^0C	-1.3^0C
-2^0C	-1.8^0C
-4^0C	-4.2^0C
-6^0C	-5.8^0C
-10^0C	-10.4^0C
-15^0C	-15.3^0C
-19^0C	-19.2^0C
-22^0C	-22.3^0C

Pada hasil tabel dan grafik diatas suhu yang dihasilkan sensor TMP36 dan suhu yang dihasilkan oleh thermostat perbandingannya tidak begitu jauh. Maka dari hasil tersebut bisa di hitung % *error* berikut perhitungannya :

nilai suhu Thermostat – nilai suhu LM35 /nilai suhu thermometer × 100%

(80.3 – 79)/ 86.5×100% = 1.6%

dari hasil perhitungan didapat nilai % *error* antara suhu yang dihitung thermostat dan suhu yang di hitung TMP36 adalah sebesar 1.6%

4.2 Pengujian Sistem Refrigerator

Pada pengujian sistem refrigerator ini dilakukan dengan cara menghidupkan kulkas selama 6 jam. Ada 3 kondisi pada pengujian ini yaitu:

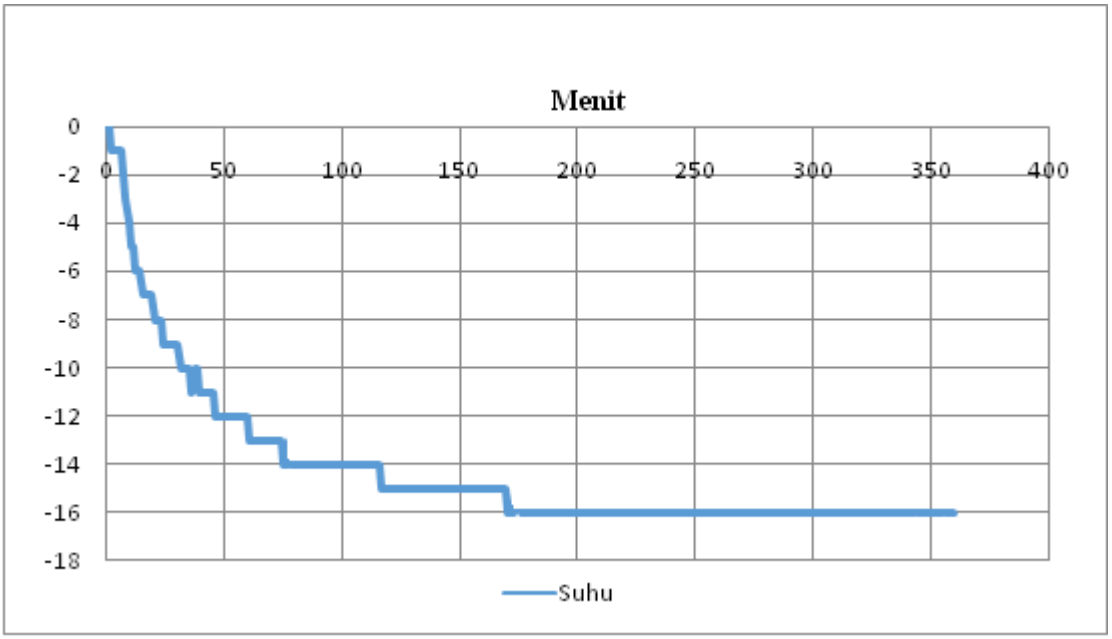
1. *Freezer* dalam keadaan kosong.
2. *Freezer* dalam keadaan di isi dengan sedikit makanan.
3. *Freezer* dalam keadaan penuh.

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai suhu maksimal pada *freezer* selama 6 jam. Proses ini dilakukan sesuai dengan sistem *defrost* yang umumnya dilakukan setiap 6 jam sekali.

4.2.1 Pengujian Saat *Freezer* Dalam Keadaan Kosong

Pada pengujian ini refrigerator akan dihidupkan selama 6 jam dengan kondisi *Freezer* dalam keadaan kosong. Data pada pengujian ini diambil setiap satu menit

sekali, data ini diambil melalui serial com dari arduino yang membaca sensor suhu TMP36. Hasilnya akan dibuat grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.2.

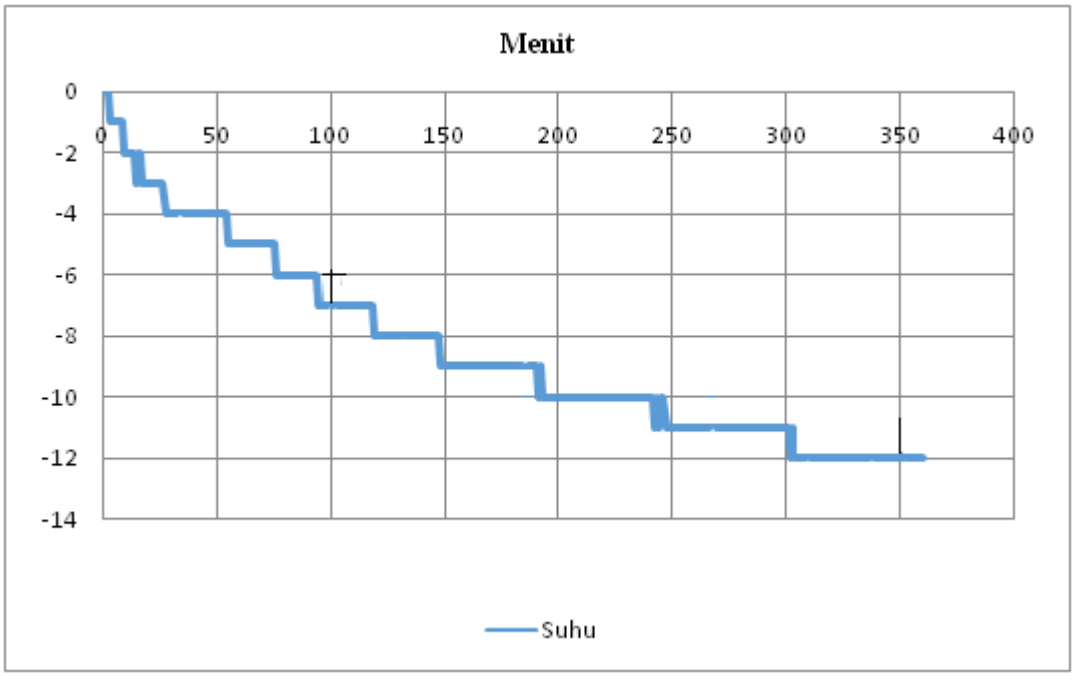


Gambar 4.2 Grafik Suhu Saat *Freezer* Dalam Keadaan Kosong

Dari grafik diatas data yang didapat selama 6 jam yaitu sebesar -16^{0}C, maka sistem *defrost* pada pengujian ini dimulai dari -16^{0}C.

4.2.2 Pengujian Saat *Freezer* Dalam Keadaan Di isi Sedikit Makanan

Pada pengujian ini refrigerator akan dihidupkan selama 6 jam dengan kondisi *Freezer* dalam keadaan di isi sedikit makanan. Data pada pengujian ini diambil setiap satu menit sekali, data ini diambil melalui serial com dari arduino yang membaca sensor suhu TMP36. Hasilnya akan dibuat grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.3.

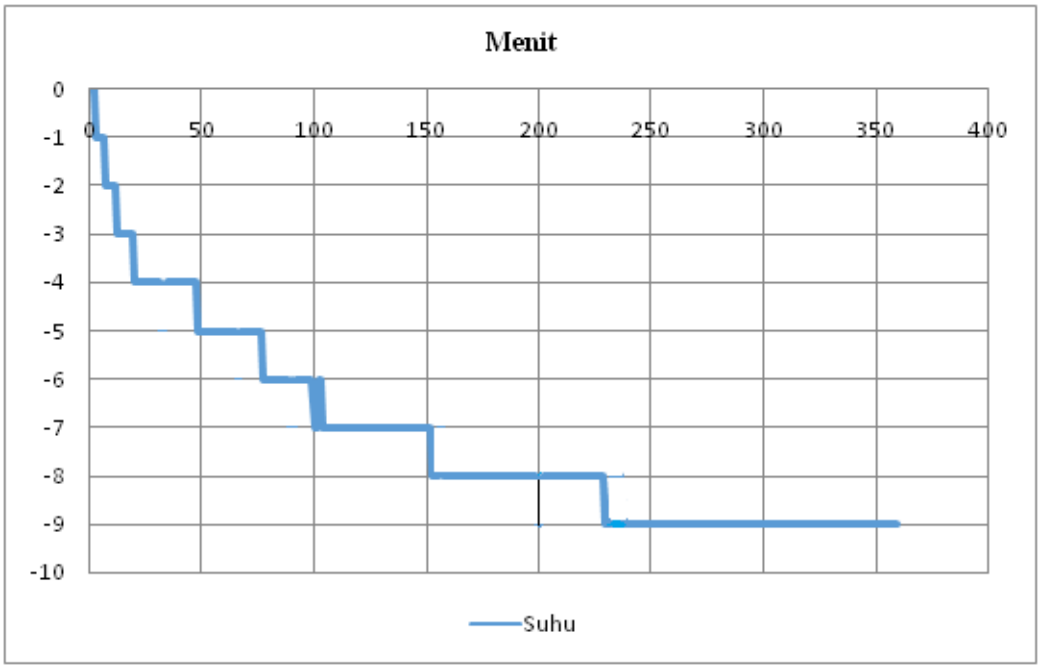


Gambar 4.3 Grafik Suhu Saat *Freezer* Dalam Keadaan Di isi Sedikit Makanan

Dari grafik diatas data yang didapat selama 6 jam yaitu sebesar -12^{0}C, maka sistem *defrost* pada pengujian ini dimulai dari -12^{0}C.

4.2.3 Pengujian Saat *Freezer* Dalam Keadaan Penuh

Pada pengujian ini refrigerator akan dihidupkan selama 6 jam dengan kondisi *Freezer* dalam keadaan di isi penuh makanan. Data pada pengujian ini diambil setiap satu menit sekali, data ini diambil melalui serial com dari arduino yang membaca sensor suhu TMP36. Hasilnya akan dibuat grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Suhu Saat *Freezer* Dalam Keadaan Di isi Penuh Makanan.

Dari grafik diatas data yang didapat selama 6 jam yaitu sebesar -9^0C, maka sistem *defrost* pada pengujian ini dimulai dari -9^0C.

4.3 Pengujian Sistem Defrost Otomatis Dan Logika *Fuzzy*

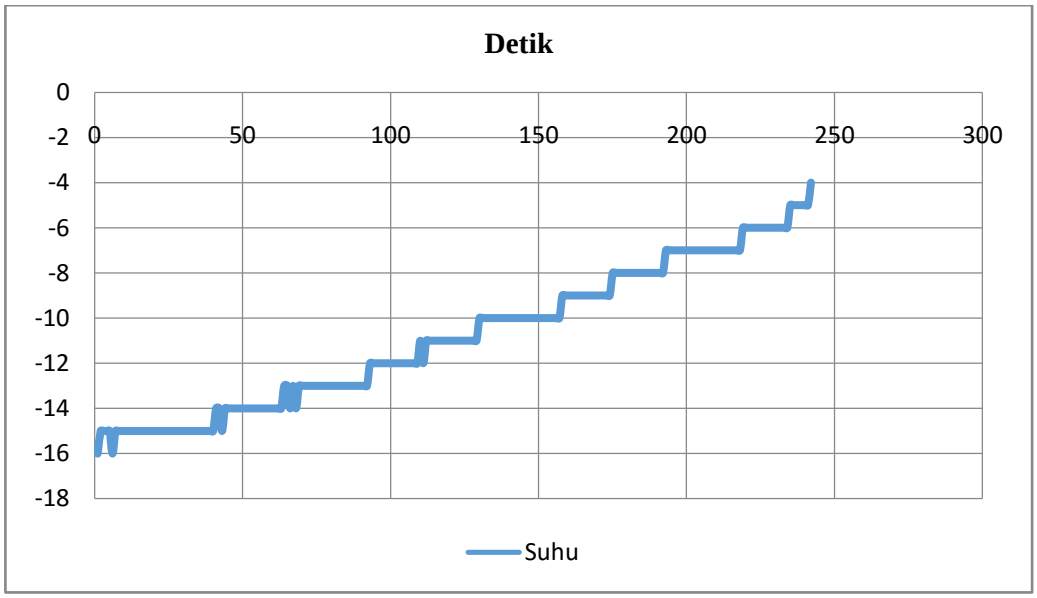
Pada proses ini dilakukan pengujian sistem *defrost* dan logika *fuzzy* menggunakan hasil perhitungan manual dan hasil pengujian. Ada 3 kondisi pada pengujian ini.

1. Proses *Defrost* saat *freezer* dalam keadaan kosong.
2. Proses *Defrost* saat *freezer* dalam keadaan di isi sedikit makanan.
3. Proses *Defrost* saat *freezer* dalam keadaan penuh.

Proses *defrost* ini dilakukan setelah sistem refrigerator bekerja selama 6 jam. Logika *fuzzy* disini berfungsi sebagai kontrol bukaan *control valve* pengujian dilakukan dengan cara memasukan nilai *input* T1 dan *input* T2, setelah *input* T1 dan T2 ditentukan, maka akan diketahui berapa persentase bukaan pada *control valve.*

4.3.1 Pengujian Sistem *Defrost* Saat *Freezer* dalam Keadaan Kosong

Pada pengujian ini dilakukan setelah sistem *refrigerator* bekerja 6 jam dengan kondisi *freezer* dalam keadaan kosong. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada gambar 4.5 dan tabel 4.2.



Gambar 4.5 Grafik Suhu *Freezer* dalam Keadaan Kosong Saat di *Defrost*

Tabel 4.2 Hasil *Defrost* Pada Saat *Freezer* Dalam Keadaan Kosong

NO	Suhu Maksimal Setelah 6 Jam (Input Delta Error)	T1 (Suhu Ideal)	T2 (Saat Kondisi Defrost)	Hasil Pengujian (Output)	Hasil Perhitungan (Output)	Selisih %Error
1	-16^{0}C	-6^{0}C	-16^{0}C	32,54%	32,67%	0.13%
2		-6^{0}C	-15^{0}C	32,60%	32,67%	0.07%
3		-6^{0}C	-14^{0}C	31,10%	32,19%	1.09%
4		-6^{0}C	-13^{0}C	26.80%	27.50%	0.7%
5		-6^{0}C	-12^{0}C	26.57%	27.50%	0.93%
6		-6^{0}C	-11^{0}C	23.54%	23.50%	0.04%
7		-6^{0}C	-10^{0}C	22.70%	23.50%	0.8%
8		-6^{0}C	-9^{0}C	17.89%	17.50%	0.39%
9		-6^{0}C	-8^{0}C	17.76%	17.50%	0.26%
10		-6^{0}C	-7^{0}C	16.80%	17.50%	0.7%
11		-6^{0}C	-6^{0}C	14.90%	15.50%	0.6%
12		-6^{0}C	-5^{0}C	14.32%	15.50%	1.18%
13		-6^{0}C	-4^{0}C	0%	0%	0%
Total						6.89%
Rata - rata						6.89/13 =0.53%

Berikut adalah contoh perhitungan manual persentase bukaan *control valve* dengan logika *fuzzy* menggunakan *membership function* dan *rule* diatas.

Dengan contoh kasus, dimana suhu pada *input* T1 -6^0C dan suhu pada T2 -15^0C.

Membership Function Input T1

- μ LE = (-5,-8,-12)

$$max\left(min\left(\frac{x-a}{b-a},\frac{c-x}{c-b}\right),0\right)=max\left(min\left(\frac{-6-(-5)}{-8-(-12)},\frac{-12-(-6)}{-12-(-8)}\right),0\right)=0.33$$

- μ ME = (-8,-12,-17)

$$max\left(min\left(\frac{x-a}{b-a},\frac{c-x}{c-b}\right),0\right)=max\left(min\left(\frac{-5-(-8)}{-12-(-8)},\frac{-17-(-5)}{-17-(-12}\right),0\right)=0$$

- μ HE = (-12,-17,-20)

$$max\left(min\left(1,\frac{x-a}{b-a}\right),0\right)=max\left(min\left(1,\frac{-5-(-12)}{-17-(-12)}\right),0\right)=0$$

Membership Function Input T2

- μ LDE = (-4,-9,-13)

$$max\left(min\left(\frac{x-a}{b-a},\frac{c-x}{c-b}\right),0\right)=max\left(min\left(\frac{-15-(-4)}{-9-(-4)},\frac{-13-(-15)}{-13-(-9)}\right),0\right)=0$$

- μ MDE = (-9,-13,-18)

$$max\left(min\left(\frac{x-a}{b-a},\frac{c-x}{c-b}\right),0\right)=max\left(min\left(\frac{-15-(-9)}{-13-(-9)},\frac{-18-(-15)}{-18-(-13}\right),0\right)=0$$

- μ HDE = (-13,-18,-21)

$$max\left(min\left(1,\frac{x-a}{b-a}\right),0\right)=max\left(min\left(1,\frac{-15-(-13)}{-18-(-13)}\right),0\right)=0.4$$

W1 = min (μ *Low*), (μ LDE) = 0

W2 = min (μ *Low*), (μ MDE) = 0

W3 = min (μ *Low*), (μ HDE) = 0.33

W4 = min (μ *Low*), (μ LDE) = 0

W5 = min (μ *Low*), (μ MDE) = 0

W6 = min (μ *Low*), (μ HDE) = 0

W7 = min (μ *Low*), (μ LDE) = 0

W8 = min (μ *Low*), (μ MDE) = 0

W9 = min (μ *Low*), (μ HDE) = 0

$$\frac{\begin{pmatrix} 0 \times 0.33 + 5 \times 0.33 + 10 \times 0.33 + 15 \times 0.33 + 20 \times 0.33 + 25 \times 0.33 + 30 \times \\ 0.33 + 35 \times 0.33 + 40 \times 0.33 + 45 \times 0.33 + 50 \times 0.33 + 55 \times 0.33 + 60 \times 0.33 + \\ 65 \times 0.33 + 70 \times 0.33 + 75 \times 0.33 + 80 \times 0.33 + 85 \times 0 + 90 \times 0 + 95 \times 0 + \\ 100 \times 0 \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} 0.33 + 0.33 + 0.33 + 0.33 + 0.33 + 0.33 + 0.33 + 0.33 + 0.33 + 0.33 \\ 0.33 + 0.33 + 0.33 + 0.33 + 0.33 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 \end{pmatrix}}$$

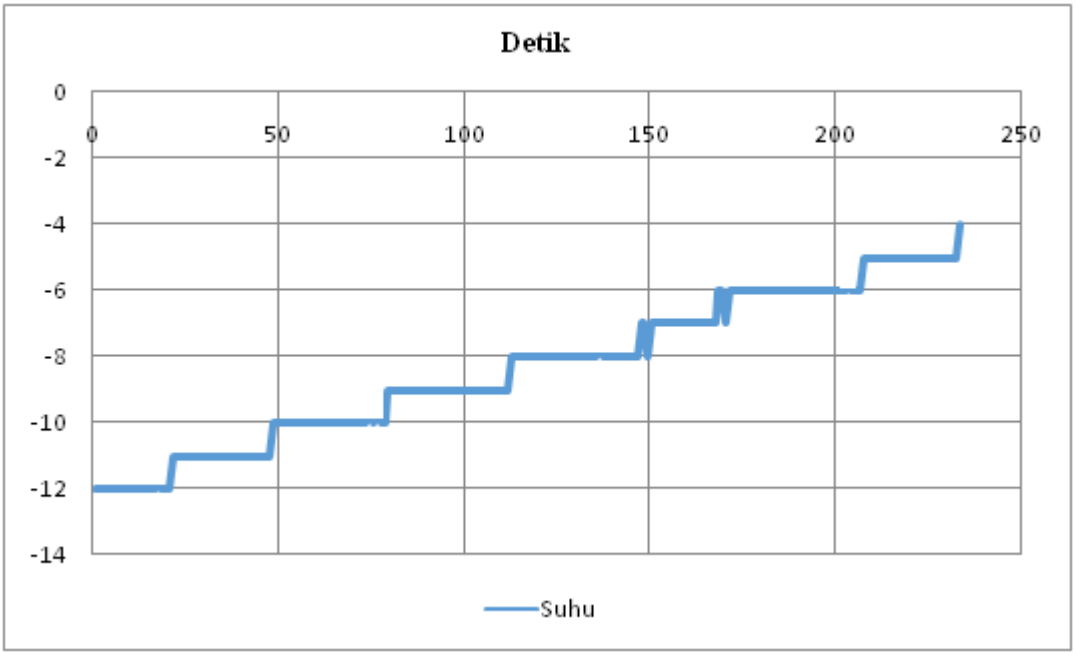
out = 32.67 %

Dari hasil perhitungan W3 mendapat nilai 0.33, maka pada saat T1 (suhu awal) -6^{0}C dan INPUT *delta error* -15^0*C* maka persentase bukaan *control valve* sebesar 32.67%.

Dari hasil grafik dan tabel diatas sistem *defrost* di mulai dari suhu -16^{0}C,suhu tersebut didapat pada saat refrigerator bekerja selama 6 jam. Setelah 6 jam maka sistem *defrost* akan bekerja dan sistem *defrost* berhenti pada suhu dibawah -6^{0}C. Waktu yang dibutuhkan pada sistem *defrost* ini yaitu kurang lebih sekitar 4,5 menit. Dari persentase bukaan *control valve* hasil perhitungan sudah sesuai dengan hasil pengujian, maka dapat disimpulkan hasil dari pengujian sistem *defrost* dan logika *fuzzy* sudah sesuai dengan yang diharapkan.

4.3.2 Pengujian Sistem *Defrost* Saat *Freezer* di isi Sedikit Makanan

Pada pengujian ini dilakukan setelah sistem *refrigerator* bekerja 6 jam dengan kondisi *freezer* dalam keadaan di isi sedikit makanan. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada gambar 4.6 dan tabel 4.3.



Gambar 4.6 Grafik Suhu *Freezer* dalam Keadaan Di isi Sedikit Makanan Saat di *Defrost.*

Tabel 4.3 Hasil *Defrost* Pada Saat *Freezer* Dalam Keadaan Diisi Sedikit Makanan

NO	Suhu Maksimal Setelah 6 Jam (Input Delta Error)	T1 (Suhu Ideal)	T2 (Saat Kondisi Defrost)	Hasil Pengujian (Output)	Hasil Perhitungan (Output)	Selisih %Error
1	-12^{0}C	-6^{0}C	-12^{0}C	27.66%	27.50%	0.16%
2		-6^{0}C	-11^{0}C	23.48%	23.50%	0.02%
3		-6^{0}C	-10^{0}C	22.75%	23.50%	0.75%
4		-6^{0}C	-9^{0}C	17.70%	17.50%	0.2%
5		-6^{0}C	-8^{0}C	16.53%	17,.50%	0.97%
6		-6^{0}C	-7^{0}C	16.39%	17.50%	1.11%
7		-6^{0}C	-6^{0}C	14.82%	15.50%	0.68%
8		-6^{0}C	-5^{0}C	0%	0%	0%
Total						3.89%
Rata - rata						3.89%/8 =0.48%

Berikut adalah contoh perhitungan manual persentase bukaan *control valve* dengan logika *fuzzy* menggunakan *membership function* dan *rule* diatas. Dengan contoh kasus, dimana suhu pada *input* T1 -6^{0}C dan suhu pada T2 -12^{0}C.

Membership Function Input T1

- μ LE = (-5,-8,-12)

$$max\left(min\left(\frac{x-a}{b-a},\frac{c-x}{c-b}\right),0\right)=max\left(min\left(\frac{-6-(-5)}{-8-(-12)},\frac{-12-(-6)}{-12-(-8)}\right),0\right)=0.33$$

- μ ME = (-8,-12,-17)

$$max\left(min\left(\frac{x-a}{b-a},\frac{c-x}{c-b}\right),0\right)=max\left(min\left(\frac{-6-(-8)}{-12-(-8)},\frac{-17-(-5)}{-17-(-12}\right),0\right)=0$$

- μ HE = (-12,-17,-20)

$$max\left(min\left(1,\frac{x-a}{b-a}\right),0\right)=max\left(min\left(1,\frac{-6-(-12)}{-17-(-12)}\right),0\right)=0$$

Membership Function Input T2

- μ LDE = (-4,-9,-13)

$$max\left(min\left(\frac{x-a}{b-a},\frac{c-x}{c-b}\right),0\right)=max\left(min\left(\frac{-12-(-4)}{-9-(-4)},\frac{-13-(-12)}{-13-(-9)}\right),0\right)=0.25$$

- μ MDE = (-9,-13,-18)

$$max\left(min\left(\frac{x-a}{b-a},\frac{c-x}{c-b}\right),0\right)=max\left(min\left(\frac{-12-(-9)}{-13-(-9)},\frac{-18-(-12)}{-18-(-13}\right),0\right)=0{,}75$$

- μ HDE = (-13,-18,-21)

$$max\left(min\left(1,\frac{x-a}{b-a}\right),0\right)=max\left(min\left(1,\frac{-12-(-13)}{-18-(-13)}\right),0\right)=0$$

W1 = min (μ *Low*), (μ LDE) = 0.25

W2 = min (μ *Low*), (μ MDE) = 0.33

W3 = min (μ *Low*), (μ HDE) = 0

W4 = min (μ *Low*), (μ LDE) = 0

W5 = min (μ *Low*), (μ MDE) = 0

W6 = min (μ *Low*), (μ HDE) = 0

W7 = min (μ *Low*), (μ LDE) = 0

W8 = min (μ *Low*), (μ MDE) = 0

W9 = min (μ *Low*), (μ HDE) = 0

$$\frac{\begin{pmatrix} 0 \times 0.25 + 5 \times 0.25 + 10 \times 0.25 + 15 \times 0.25 + 20 \times 0.25 + 25 \times 0.25 + 30 \times \\ 0.25 + 35 \times 0.25 + 40 \times 0.25 + 45 \times 0.33 + 50 \times 0.33 + 55 \times 0.33 + 60 \times 0.33 + \\ 65 \times 0.33 + 70 \times 0.33 + 75 \times 0 + 80 \times 0 + 85 \times 0 + 90 \times 0 + 95 \times 0 + \\ 100 \times 0 \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} 0.25 + 0.25 + 0.25 + 0.25 + 0.25 + 0.25 + 0.25 + 0.33 + 0.33 + 0.3 + 0.33 + 0.33 \\ 0.33 + 0.33 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 \end{pmatrix}}$$

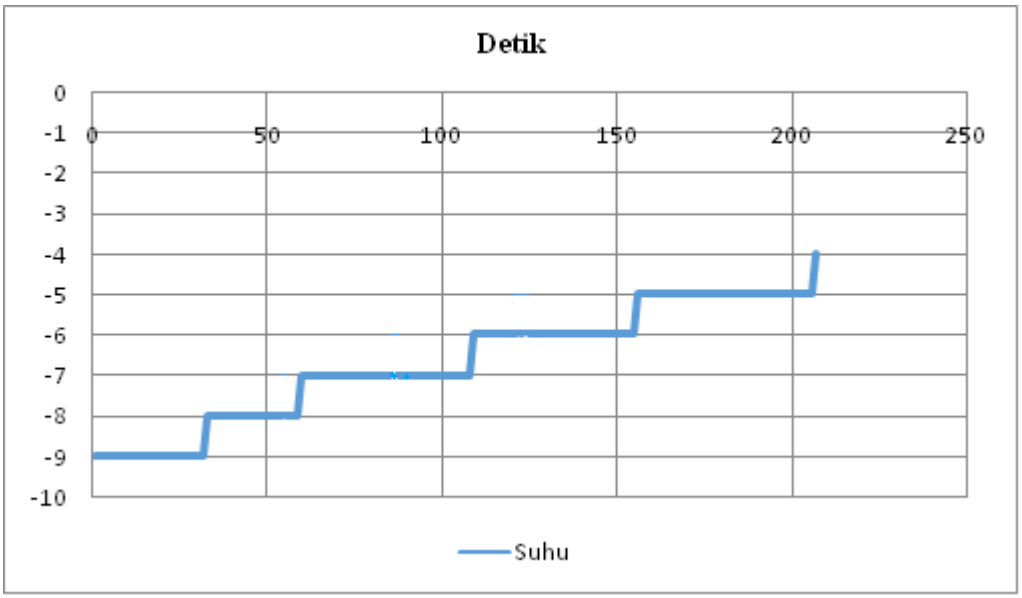
out = 27.50 %

Dari hasil perhitungan W1 dan W2 didapat nilai sebesar 0,33 dan 0,25 maka didapatkan bukaan *control valve* sebesar 27,50%.

Dari hasil grafik dan tabel diatas sistem *defrost* di mulai dari suhu -12^{0}C, suhu -12^{0}C didapat saat refrigerator bekerja selama 6 jam. Setelah 6 jam maka sistem *defrost* bekerja dan sistem *defrost* berhenti pada suhu kurang dari -6^{0}C waktu yang dibutuhkan pada sistem *defrost* ini yaitu kurang lebih sekitar 4 menit. Dari persentase bukaan *control valve* hasil perhitungan sudah sesuai dengan hasil pengujian, maka dapat disimpulkan hasil dari pengujian sistem *defrost* dan logika *fuzzy* sudah sesuai dengan yang diharapkan.

4.3.3 Pengujian Sistem *Defrost* Saat *Freezer* Dalam Keadaan Penuh

Pada pengujian ini dilakukan setelah sistem *refrigerator* bekerja 6 jam dengan kondisi *freezer* dalam keadaan di isi penuh. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada gambar 4.7 dan tabel 4.4.



Gambar 4.7 Grafik Suhu *Freezer* dalam Keadaan Penuh Saat di *Defrost*

Tabel 4.4 Hasil *Defrost* Pada Saat *Freezer* Dalam Keadaan Diisi Penuh

NO	Suhu Maksimal Setelah 6 Jam (Input Delta Error)	T1 (Suhu Ideal)	T2 (Saat Kondisi Defrost)	Hasil Pengujian (Output)	Hasil Perhitungan (Output)	Selisih %Error
1	-9^{0}C	-6^{0}C	-9^{0}C	16.86%	17.50%	0.64%
2		-6^{0}C	-8^{0}C	16.57%	17.50%	0.93%
3		-6^{0}C	-7^{0}C	16.34%	17.50%	1.16%
4		-6^{0}C	-6^{0}C	14.92%	15.50%	0.58%
5		-6^{0}C	-5^{0}C	14.65%	15.50%	0.85%
6		-6^{0}C	-4^{0}C	0%	0%	0%
Total						4.16%
Rata – rata						4.16%/6 =0.69%

Berikut adalah contoh perhitungan manual persentase bukaan *control valve* dengan logika *fuzzy* menggunakan *membership function* dan *rule* diatas. Dengan contoh kasus, dimana suhu pada *input* T1 -6^0C dan suhu pada T2 -5^0C.

Membership Function Input T1

- μ LE = (-5,-8,-12)

$$max\left(min\left(\frac{x-a}{b-a},\frac{c-x}{c-b}\right),0\right)=max\left(min\left(\frac{-6-(-5)}{-8-(-12)},\frac{-12-(-6)}{-12-(-8)}\right),0\right)=0.33$$

- μ ME = (-8,-12,-17)

$$max\left(min\left(\frac{x-a}{b-a},\frac{c-x}{c-b}\right),0\right)=max\left(min\left(\frac{-6-(-8)}{-12-(-8)},\frac{-17-(-5)}{-17-(-12}\right),0\right)=0$$

- μ HE = (-12,-17,-20)

$$max\left(min\left(1,\frac{x-a}{b-a}\right),0\right)=max\left(min\left(1,\frac{-6-(-12)}{-17-(-12)}\right),0\right)=0$$

Membership Function T2

- μ LDE = (-4,-9,-13)

$$max\left(min\left(\frac{x-a}{b-a},\frac{c-x}{c-b}\right),0\right)=max\left(min\left(\frac{-5-(-4)}{-9-(-4)},\frac{-13-(-5)}{-13-(-9)}\right),0\right)=0$$

- μ MDE = (-9,-13,-18)

$$max\left(min\left(\frac{x-a}{b-a},\frac{c-x}{c-b}\right),0\right)=max\left(min\left(\frac{-5-(-9)}{-13-(-9)},\frac{-18-(-5)}{-18-(-13}\right),0\right)=0$$

- μ HDE = (-13,-18,-21)

$$max\left(min\left(1,\frac{x-a}{b-a}\right),0\right)=max\left(min\left(1,\frac{-5-(-13)}{-18-(-13)}\right),0\right)=0$$

W1 = min (μ *Low*), (μ LDE) = 0

W2 = min (μ *Low*), (μ MDE) = 0

W3 = min (μ *Low*), (μ HDE) = 0

W4 = min (μ *Low*), (μ LDE) = 0

W5 = min (μ *Low*), (μ MDE) = 0

W6 = min (μ *Low*), (μ HDE) = 0

W7 = min (μ *Low*), (μ LDE) = 0

W8 = min (μ *Low*), (μ MDE) = 0

W9 = min (μ *Low*), (μ HDE) = 0

Dari hasil perhitungan W1 sampai W9 semua nilai minimal yang didapat sebesar 0 maka dapat di artikan bukaan *control valve* sebesar 0%.

Dari hasil grafik dan tabel diatas sistem *defrost* di mulai dari suhu -9^0C, suhu -9^0C didapat saat refrigerator bekerja selama 6 jam. Setelah 6 jam maka sistem *defrost* bekerja dan sistem *defrost* berhenti pada suhu kurang dari -6^0C waktu yang dibutuhkan pada sistem *defrost* ini yaitu kurang lebih sekitar 3,5 menit. Dari persentase bukaan *control valve* hasil perhitungan sudah sesuai dengan hasil pengujian, maka dapat disimpulkan hasil dari pengujian sistem *defrost* dan logika *fuzzy* sudah sesuai dengan yang diharapkan.