



**IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC* MAMDANI
PADA PENGATURAN TEMPERATUR *AQUASCAPE*
MENGUNAKAN *THERMOELECTRIC COOLER***

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro**

Oleh

Iqbal Fadlu Zaki

NIM.5301415045

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

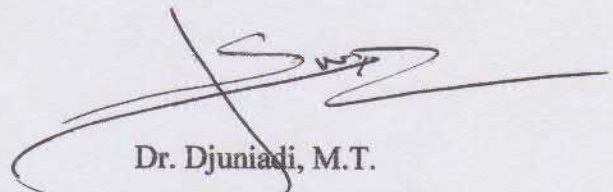
PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Iqbal Fadlu Zaki
NIM : 5301415045
Program Studi : S1 Pendidikan Teknik Elektro
Judul Skripsi : Implementasi *Fuzzy Logic* Mamdani Pada Pengaturan
Temperatur *Aquascape* Menggunakan *Thermoelectric
Cooler*

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke panitia ujian
Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Fakultass Teknik Universitas
Negeri Semarang.

Semarang, 3 Oktober 2019

Dosen Pembimbing,



Dr. Djuniadi, M.T.

NIP. 19630628199021001

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Implementasi *Fuzzy Logic Mamdani* Pada Pengaturan Temperatur *Aquascape* Menggunakan *Thermoelectric Cooler* telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 23 Oktober 2019

Oleh

Nama : Iqbal Fadlu Zaki
NIM : 5301415045
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro, S1

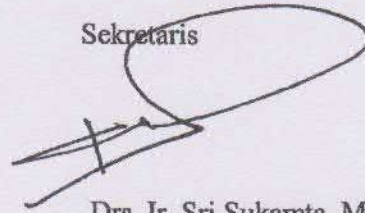
Panitia:

Ketua



Ir. Ulfa Mediaty Arief, M.T., IPM
NIP. 196605051997022001

Sekretaris



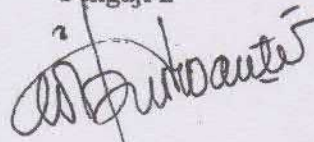
Drs. Ir. Sri Sukamta, M.Si, IPM
196605051998022001

Penguji 1



Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T.
NIP. 197805312005011002

Penguji 2



Dra. Dwi Purwanti, Ah.T., M.S.
NIP. 198210192014041001

Penguji 3/Pembimbing



Dr. Djuniadi, M.T.
NIP. 119630628199021001

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus M.T.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi yang dibuat penulis asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Semarang

Semarang, 3 Oktober 2019

Yang membuat pernyataan,



Isbat Fadlu Zaki
NIM. 5301415045

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

- Tuhan menciptakan alam dengan ekosistem yang sangat tertata, namun kita berkehendak seakan-akan berkuasa terhadap alam (Iqbal. 2019)
- Siapapun manusia pernah berbuat kesalahan, namun semua manusia bisa menjadi seorang pahlawan (Iqbal. 2019)

PERSEMBAHAN :

1. Almamater tercinta Universitas Negeri Semarang
2. Orang tua tercinta Bapak Ali Mustofa dan Ibu Siti Rukayatun atas segala dorongan, doa, dan restu yang selama ini menjadi penyemangat utama penulis.
3. Ilham Ulil Amry dan Ulifatun Nafiah yang selalu memberikan segala motivasi, bantuan, dan dukungannya.
4. Heri Muslihanto, Nico Tri Raharjo, Sella Rosdio, Agung Khumaidillah, Afrian Diansyah, yang memberikan banyak pengalaman dan pengetahuan bagi penulis..
5. Kakak Tingkat yang bersedia membantu dan memberikan arahan atas keluh kesah penulis, Musaropah dan Ryan Dany Setyo Pambudi.
6. Umat manusia yang pernah tersakiti hatinya baik sengaja maupun tidak senagaja, meminta maaf dan mengucapkan banyak terima kasih atas pembelajaran dan hikmah-Nya.
7. Keluarga besar Rombel 3 PTE 2015, teman berkeluh kesah yang tidak memberikan solusi namun memperparah, teman yang saling menjerumuskan dalam penderitaan, darkside Elektro 2015.
8. Teman-teman seperjuangan PPL IPT Karangpanas.
9. Teman-teman seperjuangan KKN Bandar 2015.
10. Teman-teman seperjuangan pencetak generasi muda Indonesia menuju Indonesia Emas 2045.

RINGKASAN

Iqbal Fadlu Zaki. 2019. **Implementasi Fuzzy Logic Mamdani Pada Pengaturan Temperatur Aquascape Menggunakan Thermoelectric Cooler**. Dr. Djuniadi, M.T. Pendidikan Teknik Elektro S1, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Fuzzy logic adalah metodologi sistem *control* pemecahan masalah, yang cocok untuk diimplemntasikan pada sistem yang sederhana. Aspek pemeliharaan ekosistem pada *aquascape* harus diperhatikan. Temperatur adalah salah satu parameter penting dalam *aquascap*. Penelitian ini bertujuan untuk membuat alat sebagai pengatur temperatur pada *aquascape* yang menggunakan *waterblock* yang didinginkan menggunakan *thermoelectric cooler*, digabungkan dengan sistem kontrol otomatis *fuzzy logic* sebagai pengambil keputusan.

Metode penelitian yang digunakan yaitu metode rekayasa (*engginering*). Peneliti menggunakan sensor DS18B20 sebagai infromsai temperatur air *aquascape* dan menggunakan *teromelectric cooler* sebagai pendingin *waterblock*. Pengolahan data menggunakan Arduino Mega2560 dengan program *fuzzy logic*, keluaran berupa PWM motor DC dan *thermoelectric cooler*.

Set point temperatur yang diinginkan pada *aquascape* adalah 25°C dengan waktu yang dibutuhkan selama 76 menit untuk mencapai *set point* dari temperatur 29°C, hasil penerapan menghasilkan *respon* sistem dengan *rise time* 25 menit, *settling time* 61 menit, *peak time* 100 menit, *overshoot* 3,24°C, *steady state* 24,94°C, *error steady state* 0,24%.

Kata Kunci : *fuzzy logic, temperatur, aquascape, thermoelectric cooler*.

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “**Implementasi *Fuzzy Logic Mamdani* pada Pengaturan Temperatur *Aquascape* Menggunakan *Thermoelectric Cooler*”**. Skripsi disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat Nya di yaumul akhir nanti, Amin.

Penyelesaian karya tulis tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M. Hum Rektor Universitas Negeri Semarang
2. Dr. Nur Quddus, M.T. Dekan Fakultas Teknik
3. Ir. Ulfa Mediaty Arief, M.T, IPM Ketua Jurusan Teknik Elektro
4. Dr. Djuniadi, M.T. dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan skripsi ini
5. Ir. Ulfah Mediaty Arief M.T Kaprodi Pendidikan Teknik Elektro
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
7. Semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan

Semarang, 3 Oktober 2019



Iqbal Fadlu Zaki
NIM. 5301415045

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
RINGKASAN	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LISTING CODE	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	8
1.3 Batasan Masalah.....	8
1.4 Rumusan Masalah	9
1.5 Tujuan	9
1.6 Manfaat	10
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	11
2.1 Kajian Pustaka.....	11
2.2 Teori Penunjang	15
2.2.1 <i>Aquascape</i>	15
2.2.2 <i>Temperatur Pada Aquascape</i>	20
2.2.3 <i>Logika Fuzzy Mamdani</i>	22
2.2.4 <i>Fuzzy Logic Controller</i>	28
2.2.5 <i>Perangkat Pengatur Aquascape</i>	32
BAB III METODE PENELITIAN	48
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	48
3.2 Desain Penelitian.....	48
3.2.1 <i>Perencanaan (Planning)</i>	50
3.2.2 <i>Perancangan (Design)</i>	53
3.3 Teknik Uji Coba Pengumpulan Data	70
3.4 Teknik Analisis Data.....	73

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	74
4.1 Hasil Penelitian	74
4.1.1 <i>Pembangunan (Construc)</i>	74
4.1.1.1 <i>Pembangunan dan Pengujian Power Supply (Catu Daya)</i>	74
4.1.1.2 <i>Pembangunan dan Pengujian Sensor Temperatur DS18B20</i>	76
4.1.1.3 <i>Pembangunan dan Pengujian PWM Motor DC</i>	78
4.1.1.4 <i>Pembangunan dan Pengujian Thermoelectric Cooler</i>	80
4.1.1.5 <i>Pembangunan dan Pengujian Perhitungan Fuzzy</i>	82
4.1.2 <i>Penerapan (Applied)</i>	97
4.2 Pembahasan.....	100
4.2.1 Pembahasan Catu Daya.....	100
4.2.2 Pembahasan Sensor Temperatur	100
4.2.3 Pembahasan PWM Motor DC.....	102
4.2.4 Pembahasan <i>Thermoelectric Cooler</i>	103
4.2.5 Pembahasan Perhitungn <i>Fuzzy Logic Control Mamdani</i>	103
4.2.6 Pembahasan <i>Fuzzy Logic Control</i> untuk Mendinginkan <i>Aquascape</i> ..	104
4.2.7 Pembahasan Analisis <i>Control</i> dengan Penelitian Sebelumnya	106
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	108
5.1 Simpulan	108
5.2 Saran.....	108
DAFTAR PUSTAKA	110
LAMPIRAN.....	113

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kadar CaCO ₃ dan Derajat Kesadahan Air	18
Tabel 2. Perbedaan <i>fuzzy controller</i> tipe Mamdani dan Sugeno	30
Tabel 3. Karakteristik Arduino	37
Tabel 4. Membership <i>Input</i> Temperatur	51
Tabel 5. Membership <i>Output</i> PWM.....	51
Tabel 6. Membership <i>Output</i> Peltier.....	52
Tabel 7. Alat dan Bahan.....	53
Tabel 8. Penjelasan Pin L293D	56
Tabel 9. Keterangan Pin IC 78xx.....	58
Tabel 10. Keterangan Rangkaian Catu Daya	58
Tabel 11. <i>Membership</i> Temperatur Air.....	63
Tabel 12. <i>Membership output</i> Kipas DC	65
Tabel 13. <i>Membership output</i> Peltier.....	65
Tabel 14. Percobaan Catu Daya 9 Volt.....	70
Tabel 15. Percobaan Catu Daya 5 Volt.....	71
Tabel 16. Tabel Pengukuran Sensor Temperatur DS18B20	71
Tabel 17. Pengujian Motor PWM	72
Tabel 18. Pengujian <i>Thermoelectric Cooler</i>	73
Tabel 19. Pengujian Rangkaian dengan Kondisi Berbeda.....	73
Tabel 20. Hasil Pengujian Catu Daya 9 Volt	75
Tabel 21. Hasil Pengujian Catu Daya 5 Volt	75
Tabel 22. Hasil Pengujian Sensor DS18B20	77
Tabel 23. Hasil Pengujian PWM Motor Dengan Driver Motor L293D	79
Tabel 24. Hasil Pengujian <i>Termoelectri Cooler</i> Tanpa Beban	81
Tabel 25. Hasil Pengujian <i>Fuzzy Logic Control</i> Untuk Mendinginkan <i>Aquascape</i>	98
Tabel 26. Hasil <i>Fuzzy Logic Control</i> Dari Nilai <i>Set point</i> Menuju <i>Set point</i>	99
Tabel 27. Hasil Kontrol <i>on/ off</i> Dari Nilai <i>Set point</i> Menuju <i>Set point</i>	99
Tabel 28. Perbedaan <i>Output Defuzzi</i>	103
Tabel 29. Analisis Respon Transien Sistem.....	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bagian – bagian Sistem <i>Fuzzy</i>	23
Gambar 2. <i>Fuzzy logic controller</i> pada Sistem	23
Gambar 3. Fuzzifikasi Nilai temperatur	24
Gambar 4. Defuzzifikasi metode COA	27
Gambar 5. Defuzzifikasi metode MOM.....	28
Gambar 6. <i>Fuzzy controller</i> yang diaplikasikan pada sistem <i>open loop</i>	30
Gambar 7. <i>Fuzzy controller</i> yang diaplikasikan pada sistem <i>close loop</i>	31
Gambar 8. Modul <i>Thermoelectric Cooler</i>	32
Gambar 9. Papan Arduino Mega2560.....	37
Gambar 10. Sensor Suhu DS18B20	39
Gambar 11. Relay.....	41
Gambar 12. Motor DC 5V	42
Gambar 13. Kipas DC 12V	43
Gambar 14. Rangkaian Motor Driver DC IC L293D	44
Gambar 15. Konstruksi Pin Driver Motor DC IC L293D.....	45
Gambar 16. Waterblok	46
Gambar 17. Diagram Blok Pengaturan Temperatur <i>Aquascape</i>	54
Gambar 18. Diagram Alir Prinsip Kerja Sistem	54
Gambar 19. Rancangan Sensor DS18B20	55
Gambar 20. Rancangan Rangkaian IC L293D.....	56
Gambar 21. Rancangan Rangkaian <i>Relay</i>	57
Gambar 22. Rangkaian Catu Daya 9 Volt.....	58
Gambar 23. Rangkaian Catu Daya 5 Volt.....	59
Gambar 24. Rancangan Rangkaian Display LCD 16x2.....	59
Gambar 25. Skema Alat Pengatur Temperatur Air <i>Aquascape</i>	60
Gambar 26. Rancangan Rangkaian Alat Pengatur Temperatur air <i>Aquascape</i>	60
Gambar 27. Desain Sistem <i>Fuzzy Logic</i>	63
Gambar 28. <i>Membership Input</i> Temperatur Air	64
Gambar 29. <i>Membership Output</i> Kipas	66
Gambar 30. <i>Membership Output</i> Peltier	66
Gambar 31. <i>Rules Editor Output</i>	68
Gambar 32. <i>Rules Viewer</i>	69
Gambar 33. Rangkaian Catu Daya 5 Volt dan 9 Volt.....	74
Gambar 34. Sensor Temperatur DS18B20	76
Gambar 35. Rangkaian <i>Driver</i> Motor L293D.....	78
Gambar 36. Hasil Pengujian sinyal PWM dengan Nilai 100.....	79
Gambar 37. Hasil Pengujian sinyal PWM dengan Nilai 150.....	79
Gambar 38. Hasil Pengujian sinyal PWM dengan Nilai 175.....	79
Gambar 39. Hasil Pengujian sinyal PWM dengan Nilai 200.....	80
Gambar 40. Hasil Pengujian sinyal PWM dengan Nilai 255.....	80
Gambar 41. <i>Thermoelectric Cooler</i> dan <i>Heatsink</i>	80

Gambar 42. Pengujian <i>Thermoelectric Cooler</i>	81
Gambar 43. Daerah <i>Input</i> Variabel Temperatur	83
Gambar 44. Implikasi <i>Output</i> PWM	83
Gambar 45. Implikasi <i>Output Peltier</i>	84
Gambar 46. Luas Daerah <i>Defuzifikasi</i> PWM	85
Gambar 47. Luas Daerah <i>Defuzifikasi</i> Peltier	85
Gambar 48. <i>Rule Viewer</i> Nilai <i>Defuzzifikasi</i>	88
Gambar 49. Pemasangan Alat Pada <i>Aquascape</i>	97
Gambar 50. Grafik Beda Temperatur Inframerah dan Sensor DS18B20	101
Gambar 51. Grafik Hubungan Nilai PWM 8bit dengan Tegangan	102
Gambar 52. Grafik Pengaturan Temperatur <i>Aquascape</i> menuju <i>set point</i>	105

DAFTAR LISTING CODE

<i>Listing Code 1. Source Code Library dan Float</i>	89
<i>Listing Code 2. Source Code Fuzzifikasi</i>	90
<i>Listing Code 3. Source Code Fuzzifikasi</i>	91
<i>Listing Code 4. Source Code Void Fuzzifikasi</i>	92
<i>Listing Code 5. Source Code Void Rule</i>	93
<i>Listing Code 6. Source Code Void Defuzzifikasi</i>	94
<i>Listing Code 7. Source Code Void Setup</i>	95
<i>Listing Code 8. Source Code Void Loop dan Display</i>	96

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data <i>Sheet</i> Sensor DS18B20	113
Lampiran 2. <i>Thermoelectric Cooler</i>	114
Lampiran 3. IC LM7805	115
Lampiran 4. IC LM7809	116
Lampiran 5. Usulan Pembimbing	117
Lampiran 6. Usulan Topik Skripsi	118
Lampiran 7. Usulan Pembimbing	119
Lampiran 8. Surat Penetapan Dosen Pembimbing Skripsi	120
Lampiran 9. Surat Tugas Seminar Proposal.....	121
Lampiran 10. Berita Acara Seminar Proposal Skripsi	122

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi digital yang berkembang sangat pesat pada beberapa tahun terakhir dan menghasilkan berbagai hal yang dapat membantu meringankan pekerjaan manusia (Tsauri, 2019:1), salah satunya adalah logika *fuzzy*.

Fuzzy logic adalah metodologi sistem *control* pemecahan masalah, yang cocok untuk diimplemmentasikan pada sistem, mulai dari sistem yang sederhana, sistem kecil, *embedded* sistem, jaringan PC, *multi channel* atau *workstation* berbasis akuisisi data, dan sistem *control* (Soleh, 2013:2). Metodologi ini dapat diterapkan pada perangkat keras, perangkat lunak, atau kombinasi dari perangkat keras dan perangkat lunak.

Logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Jan Lukasiewicz pada tahun 1930, namun pertama kali dipromosikan oleh Lotif Zadeh pada tahun 1962 melalui jurnal "*Fuzzy set*". Logika *fuzzy* terdiri dari tiga tahap utama: fuzzifikasi, inferensi dan defuzzifikasi (Azzahar *et al*, 2013:1).

Logika *fuzzy* telah banyak diterapkan dalam berbagai bidang antara lain perdagangan, pertanian, perkebunan, ekonomi, kedokteran, industri, dan sebagainya (Rahmawati, 2015: 1). Sistem logika *fuzzy* juga diaplikasikan pada peralatan rumah tangga seperti AC, mesin cuci, *video recorders*, *television auto contrast and brightness control cameras*, *auto focusing and jitter control*, *vacuum*

cleaners, microwave ovens, palmtop computers, dan sebagainya (Bandypadhyay, 2003: 458).

Perawatan pada sebuah *aquascape* sangat dibutuhkan dengan perhatian yang khusus, karena *aquascape* menekankan selain tanaman dan ikan, ada penekanan pada subtract, tipe pencahayaan yang sesuai untuk fotosintesis tanaman air, filter yang cocok (filitasi), penambahan karbondioksida terlarut dalam air (CO₂), pupuk yang sesuai, penanganan lumut/*algae*, perawatan rutin, kualitas air yang sesuai, hingga perawatan lanjutan (EB Kuncoro, 2008:5)

Aquascape merupakan akuarium yang berisi dekorasi tanaman air, batu, dan kayu yang diatur menyerupai *landscape* alam. *Aquascape* dibuat untuk menciptakan sebuah pemandangan di dalam air, sehingga aspek teknis pemeliharaan ekosistem yang ada di dalam akuarium harus sangat diperhatikan.

Menurut Taufik Widjaja (2013:2) dalam buku “Pesona Taman Dalam Akuarium” faktor-faktor ini meliputi penyaringan (filtrasi), mempertahankan kadar karbondioksida (CO₂) pada tingkat yang cukup untuk mendukung fotosintesis bawah air, substrat dan pemupukan, pencahayaan, dan kontrol algae.

Aquascape di Indonesia terus berkembang, berbagai tanaman hias air tawar mulai banyak dikembangkan dan dibudidayakan oleh para petani dan penghobi. *Aquascape* tidak hanya memelihara ikan, akan tetapi menghias akuarium dengan tanaman hidup seperti pada alamnya. Indonesia adalah negara tropis dengan kekayaan flora dan fauna yang berlimpah, akan tetapi terdapat beberapa kendala yang dihadapi oleh para penghobi *Aquascape* salah satunya yaitu temperatur panas

di beberapa daerah di Indonesia. Temperatur sangat berpengaruh pada kesehatan *Aquascape*, selain berdampak pada tanaman, temperatur juga memegang peran pada ekosistem di aquarium (Peter Hiscock, 2013:14).

Temperatur air merupakan faktor pembatas kehidupan bagi semua makhluk hidup, jika ikan tropis dipaksa hidup pada temperature yang melewati batas dingin minimum ikan akan cenderung pasif, metabolisme tubuh menurun, sehingga menjadi kurus dan pada kondisi lanjutan bisa menjadi kematian, sebaliknya jika ikan dipaksa hidup di temperatur panas atau lebih dari temperatur maksimal akan mengakibatkan ikan lebih cepat bernafas, tersenggal-senggal serta bisa mengakibatkan kematian.

Temperatur air yang terlalu panas atau dingin akan menurunkan laju respirasi maupun fotosintesis pada tanaman, mengganggu penggunaan energi untuk tumbuh berkembangnya tanaman. Parameter lain sudah dapat dipenuhi, apabila temperatur tidak dapat dipenuhi, kesehatan ikan dan tanaman tidak akan optimal. Untuk menjaga agar temperatur air stabil pada 25°C, pemakaian sistem pendingin (*chiller*) diperlukan pada aquarium (Laurence Suryanata, 2007:62).

Temperatur yang tinggi menyebabkan tanaman cenderung berwarna hijau tua atau kecoklatan, berdaun tipis dan akar tidak tumbuh sempurna walau tetap tumbuh, faktor tersebut harus diperhatikan karena tanaman adalah komponen utama dari *Aquascape*, tanaman air selain sebagai dekorasi alami juga berperan dalam keseimbangan ekosistem. Keberadaan tanaman air di dalam aquarium yaitu melindungi ikan dari bahaya amonia dan logam-logam berat, mengontrol

pertumbuhan alga, menyetabilkan pH karena reaksi fotosintesis membutuhkan asam (H^+) yang banyak, selain itu menyediakan oksigen dalam perairan, meningkatkan aktivitas biologis, bakteri pendekomposisi dalam aquarium, mengurangi kabrondioksida bebas yang dapat menyebabkan menipisnya oksigen terlarut.

Peningkatan temperatur pada *Aquascape* akibat dari pencahayaan dan lingkungan yang mengakibatkan temperatur meningkat berdampak berkurangnya oksigen terlarut dalam air, karena kemampuan air mengikat oksigen berkurang. Oksigen bisa masuk ke dalam air jika kerapatan molekul-molekul air rendah. Sebaliknya, semakin tinggi temperatur air maka semakin tinggi kerapatan molekul air dan akibatnya oksigen sulit untuk masuk ke dalam massa air, dan oksigen hanya di dapat di permukaan air sehingga ikan harus naik ke permukaan air untuk mendapatkan oksigen dan nafas tersenggeal-senggal. Perubahan temperatur yang terlalu drastic dapat menimbulkan gangguan terhadap laju respirasi, aktivitas jantung, aktivitas metabolisme dan aktivitas lainnya, pada temperatur tinggi ikan akan kekurangan oksigen dan sistem enzim tidak dapat berfungsi dengan baik, menyebabkan timbulnya stress (Afianto dan Liviawati, 1992:25).

Peningkatan temperatur mengakibatkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi, dan volatilitas, peningkatan temperatur juga menyebabkan penurunan kelarutan gas dalam air, misalnya gas O_2 , CO_2 , N_2 , CH_4 , dan sebagainya (Effendi, 2003:57). (Effendi, 2003:57) peningkatan temperatur juga menyebabkan kecepatan metabolisme dan respirasi organisme air, dan selanjutnya mengakibatkan peningkatan konsumsi oksigen, peningkatan temperatur perairan sebesar $10^{\circ}C$

meningkatkan konsumsi oksigen oleh organisme akuatik sebesar 2 – 3 kali lipat. Jadi peningkatan temperatur 1°C meningkatkan konsumsi oksigen lebih dari 10%.

Temperatur yang tinggi juga bisa meningkatkan konsentrasi kandungan amonia yang merupakan penyebab utama kematian ikan, Amonia adalah gas nitrogen yang berasal dari kotoran ikan, sisa-sisa pakan, dan ikan mati yang tidak diambil. Amonia merupakan gas beracun dan kompetitor kuat bagi oksigen dalam darah ikan, ditambah jika pH air tinggi dan temperatur, maka semakin tinggi pula konsentrasi amonia sehingga kuat pula daya racunnya (EB Kuncoro, 2008:20).

Menurut Edi Atmawinata (2007:31) dalam kadar amoniak 6 ppm dalam sebuah akuarium air tawar, angka kematian dapat meningkat sebesar 50%. Amonia berpengaruh pada ikan dengan jalan menghilangkan kemampuan darah untuk dapat membawa oksigen. Hal ini membuat ikan merasa tertekan (stess) dan menurunkan daya tahan tubuh ikan terhadap berbagai penyakit karena infeksi bakteri.

Cara mendapatkan temperatur yang ideal dengan karakteristik ekosistem di dalam *Aquascape*, penghobi *Aquascape* menggunakan chiller untuk menjaga temperatur air pada *Aquascape*, akan tetapi dengan harga yang begitu tinggi menjadi kendala yang cukup dipertimbangkan dalam masalah ekonomi.

Beberapa terobosan dilakukan penghobi *Aquascape* untuk mendinginkan atau mendapatkan temperatur di dalam *Aquascape* sesuai yang diinginkan, salah satunya menggunakan *Thermoelectric cooler*, karena *Thermoelectric cooler* yang lebih murah dari chiller, namun pada penggunaan *Thermoelectric Cooler* yang dilakukan penghobi *Aquascape* masih dengan cara manual untuk menghidupkan dan

mematikan *Thermoelectri Cooler* yaitu dengan sistem kontrol *On/Off*, sehingga membutuhkan operator alat yang selalu *stand by* memantau temperature *aquascape* agar mengetahui kapan alat harus dihidupkan dan dimatikan.

Seperti penelitian yang dilakukan Bagus Anggoro Mukti (2018) menggunakan peltier (*Thermoelectric cooler*) sebagai pendingin air untuk *aquascape*, *Thermoelectric cooler* dikontrol menggunakan sistem *on-off* di mana ketika temperatur mendeteksi di atas 26°C maka kipas dan peltier akan aktif, dan sebaliknya ketika temperatur dingin tercapai dibawah 26°C maka kipas dan peltier akan nonaktif.

Perubahan temperatur air di dalam *aquascape* tidaklah *instan* atau *non-linear*, jika temperatur sudah mencapai batas maksimal temperatur di dalam air alat baru bekerja akan butuh waktu untuk menurunkan temperatur, itulah sebabnya sebelum temperatur batas maksimum alat harus sudah bekerja dan jika temperatur akan mencapai batas minimum alat harus sudah berhenti, maka itu menurut peneliti menggunakan metode *Fuzzy Logic* adalah metode yang paling tepat pada alat ini.

Ramanathan (2014) melakukan penelitian yang berjudul "*Fuzzy Logic Controller for Temperatur Regulation Process*" *Fuzzy Logic Control* dirancang untuk kontrol temperatur, hasil dari *Fuzzy Logic Control* dievaluasi dan dibandingkan dengan kontrol PID, didapatkan fuzzy logic controller lebih baik dibandingkan pengendali PID konvensional, diamati bahwa fuzzy logic controller lebih cepat dari kontrol PID konvensional, fuzzy logic controller juga mendekati dalam manusia berfikir dan membuat keputusan.

Penelitian yang dilakukan Gaurava dan Amrit Kaur (2012), membandingkan PID konvensional dan *Fuzzy Logic Controller* untuk *Liquid Flow Control* yang mendapatkan hasil bahwa pengontrol PID konvensional tidak dapat digunakan untuk kontrol proses *non-linear* seperti aliran fluida, maka dari itu kontrol berbasis logika *fuzzy* yang diusulkan dapat menjadi pilihan yang lebih baik.

Beberapa penelitian yang menggunakan sistem *Fuzzy logic* sebagai pengontrol temperature. Salah satunya penelitian yang dilakukan Setiawan Romadhan (2014) menggunakan control *Fuzzy* untuk pengaturan suhu cairan dengan *settling point* temperature yang diinginkan pada proses pembuatan sari buah adalah 63°C - 74°C .

Penelitian lain yang dilakukan Steven Bandong, dkk. (2015) membuat rancang bangun sistem kontrol suhu dan ketinggian air untuk pemijahan ikan dengan menggunakan logika *fuzzy*, sistem kontrol dapat mengontrol suhu pada suhu rata-rata 26°C dari suhu $25,4^{\circ}\text{C}$ dengan nilai NRMSE 0,008. Penelitian ini untuk *fuzzy logic* menggunakan metode Mamdani, menurut Ana (2011:82) Metode Mamdani mudah dipahami, sederhana, diperkenalkan terbalih dahulu dan lebih terkenal.

Penelitian yang dilakukan Ayuningtias (2017) Menganalisis perbandingan *Logic Fuzzy* metode *Tsukamoto*, *Sugeno*, dan *Mamdani*, didapatkan hasil yang telah dihitung bahwa metode *fuzzy Mamdani* mempunyai tingkat *error* yang lebih kecil sebesar 19,76% dibandingkan dengan metode *Tsukamoto* sebesar 39,03% dan *Sugeno* sebesar 86,41% pada prediksi jumlah pendaftar mahasiswa baru.

Permasalahan tersebut dibuatlah alat yang dapat membantu untuk menjaga kesetabila temperatur pada *Aquascape* menggunakan *thermoelectric cooler*. Di

mana alat ini akan menggunakan kendali cerdas yaitu *Fuzzy Logic Mamdani* guna menjaga temperatur agar tidak melewati batas minimal dan maksimal pada ekosistem yang ada di dalam *Aquascape* sesuai dengan karakteristik ikan dan tanaman yang ada di dalam *aquascape*.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian-uraian pada latar belakang tentang *aquascape*, maka dapat dibuat suatu identifikasi masalah adalah:

1. Memilih dan mengatur metode pencahayaan yang tepat sesuai dengan kebutuhan pencahayaan terhadap tanaman.
2. Pengaturan pH air pada *aquascape* yang sesuai dengan karakteristik tempat tinggal ikan dan tanaman.
3. Cara memasukan karbondioksida terlarut kedalam *aquasscape* sesuai dengan kebutuhan tanaman untuk berfotosintetis tanpa meracuni atau membuat ikan mabuk yang menyebabkan kematian.
4. Pengaturan temperatur yang setabil pada *aquascape* sesuai dengan karakteristik ikan dan tanaman untuk mencapai ekosistem yang baik pada *aquasccape*

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah, perlu adanya batasan masalah sehingga ruang lingkup masalah lebih jelas. Adapun batasan masalah yang diambil dalam penelitian ini mengacu pada pengaturan temperatur *aquascape* di mana batasan masalah sebagai berikut:

1. *Aquascape* ini menggunakan tangka akuarium berukuran 26 cm x 15 cm x 20 cm
2. Menggunakan *Thermoelectric cooler* sebagai pendingin air dengan *waterblock*.
3. Menggunakan motor DC 5V untuk mengalirkan air di dalam *Aquascape* menuju *waterblock*
4. Menggunakan sensor DS18B20 sebagai pendeteksi temperature.
5. Penelitian ini tidak menghitung waktu dan massa air yang diperlukan dalam pengaturan temperature.
6. Alat ini hanya membahas menurunkan temperature pada *Aquascape* dan tidak membahas menaikkan temperature air.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang ada, maka dapat dirumuskan masalah yang diselesaikan yaitu:

1. Bagaimana implemtasi logika *Fuzzy Mamdani* pada pengaturan temperature *Aquascape* menggunakan *Thermoelectric cooler*.

1.5 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menerapkan logika *Fuzzy Mamdani* pada alat pengatur temperatur *aquascape* menggunakan *Thermoelectric cooler*

1.6 Manfaat

Berdasarkan tujuan penelitian, manfaat yang diharapkan dalam penelitian adalah:

1. Penelitian diharapkan dapat dijadikan alat untuk *Aquascape* yang lebih praktis dan sederhana, serta dapat menjaga kestabilan temperatur dalam *aquascape* dengan memanfaatkan *thermal electrical cooler* serta sensor DS18B20 menggunakan metode *fuzzy logic*.
2. Penelitian dijadikan bahan ajar mahasiswa Teknik Elektro dan dapat menjadi inspirasi dalam pembuatan alat di bidang *aquascape* yang lain dengan memanfaatkan *thermal electrical cooler*, sensor DS18B20, dan metode *fuzzy logic*.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian *implementasi fuzzy logic mamdani* pada pengaturan temperature *aquascape* menggunakan *thermoelectric cooler* membutuhkan kajian mengenai metode, cara dan hasil penelitian yang sudah terlaksana. Hal ini digunakan sebagai acuan pelaksanaan penelitian selanjutnya sebagai pengantar terkait *Thermoelectrical Cooler, Fuzzy Logic, dan Pengaturan Temperatur Aquascape*. Penelitian “Implementasi *Fuzzy Logic Mamdani* Pada Pengaturan Temperatur *Aquascape* Menggunakan *Thermoelectric Cooler*”. Berikut ini beberapa kajian yang berkaitan sebagai acuan penelitian:

1. Jurnal penelitian *Fuzzy temperatur Control of A Thermoelectric Cooler* (2006) oleh Aly, Ayman dan Abo El-Lail membahas tentang penggunaan pengontrol *Fuzzy Logic* sebagai penngontrol desain untuk mengatur temperatur dingin. Model TEC dianggap sempurna tanpa mempertimbangkan faktor lingkungan yang berpengaruh pada sistem.
2. Samuel Victor Zacharias (2013) tugas akhir yang membuat Alat Pendingin Air Menggunakan 4 *Thermal electrical cooler* membahas tentang pengujian alat pendingin aiir menggunakan 4 petier dengan rangkaian paralel dilakukan dengan melakukan beberapa variasi, volume air 400 ml, 300 ml, 200 ml. dari percobaan yang alat pendingin yang dilakukan didapatkan kesimpulan : (1) alat pendingin air dengan menggunakan modul termoelektrik (*thermal electrical cooler*) berhasil dibuat dan mampu

mendinginkan air dengan baik. (2) Alat pendingin dengan menggunakan 4 buah modul *thermal electrical cooler* yang telah dibuat mampu mendinginkan air dengan volume air 400 ml, 300 ml, 200 ml, dalam waktu yang berbeda dengan pencapaian suhu air terendah sebesar 19,5°C.

3. Menggunakan Kontrol *Fuzzy* untuk Pengaturan Suhu Cairan Berbasis ATmega16 yang dibuat oleh (Romadhan, 2014) dengan latar belakang metode konvensional tidak dapat memberikan konsistensi suhu yang baik serta tidak memenuhi syarat pasteurisasi, maka itu dibuatlah otomatisasi dalam pembuatan sari buah untuk mendapatkan hasil yang optimal. Otomatis sistem pada alat ini mencakup proses penakaran bahan utama, pencampuran bahan, pengadukan bahan, pengaturan suhu dan lama pemanasan sari buah. Metode kontrol dalam pengendalian suhu saat proses pemanasan menggunakan kendali *fuzzy*. *Settling point* suhu yang diinginkan pada proses pembuatan sari buah adalah 63°C - 74°C, dengan lama pemanasan sekitar 15-30 menit. Hasil pengujian yang diperoleh bahwa pengendalian suhu *heater* menggunakan kendali *fuzzy* pada alat pembuat sari buah otomatis menghasilkan respon sistem dengan *rise time* dan *settling time* kecil serta nilai *maksimum overshoot* yang masih dalam batas toleransi yakni 5%.
4. Tugas Akhir yang dilakukan Johan (2014) dengan judul Model Pengatur Temperatur Air Laut Otomatis Dengan *Water Block* Berbasis *Microcontroller* Atmega 8535 membahas tentang pengontrolan temperatur air dilakukan dengan alat bantu *microcontroller* ATmega8535 sebagai

pengolahan data dan *thermal electrical cooler* sebagai elemen pengubah temperatur air yang dikontrol.

5. Jurnal oleh Palka, Heru Sagito dan Meqorry Yusfi (2016) yang berjudul Sistem Kontrol Temperatur air pada Proses Pemanasan dan Pendingin dengan Pompa sebagai Pengoptimal membahas tentang kontrol temperatur air pada proses pemanasan dan pendinginan menggunakan dua buah *thermal electrical cooler* dengan pompa sebagai pengoptimal, menggunakan *keypad* 3x4 untuk memberikan intup nilai temperatur yang diinginkan. Sensor LM35 sebagai pendeteksi perubahan nilai temperatur air. Sistem kontrol on-off aktif untuk mengontrol temperatur sampai nilai yang sesuai. Sisi panas dan sisi dingin elemen *thermal electrical cooler* dimanfaatkan sebagai pemanas dan pendingin. Proses pemindahan kalor terjadi secara konduksi melalui *waterblock* dan secara konveksi melalui pompa. Kemampuan elemen *thermal electrical cooler* menurun seiring bertambahnya massa air dan meningkat dengan bertambahnya jumlah elemen *thermal electrical cooler* yang digunakan.
6. Jurnal Analisis Pemanfaatan Dua Elemen *Thermal electrical cooler* Pada Pengontrolan Temperatur Air (2017) oleh Yusfi, Meqorry. dkk. Membahas tentang kemampuan satu elemen *thermal electrical cooler* dalam melakukan pendinginan dan temperatur ruangan mempengaruhi kemampuan pendinginan dalam mendinginkan beban, pengujian kemampuan dua elemen *thermal electrical cooler* dalam melakukan pendinginan secara serie dan paralel dari hasil yang didapatkan bahwa

kemampuan proses pendinginan secara serie dan paralel tidak jauh berbeda, namun secara teori kemampuan dihubungkan secara seri lebih baik daripada dihubungkan secara paralel karena hubungan secara seri tidak akan menerima arus yang terbagi melainkan arus yang maksimal, sehingga kemampuan dalam mendinginkan air juga akan maksimal.

7. Bagus Anggoro Mukti (2018) dalam tugas akhirnya yang berjudul Perancangan Pengendali LED RGB dan Sistem Pendingin Air Berbasis *Thermoelectrical cooler* Untuk *Aquascape* membahas tentang sistem kontrol suhu dan pencahayaan, menggunakan sensor suhu DS18B20, Arduino UNO, Mosfet IRLB3034, dan pendingin berupa kipas dan *thermal electrical cooler*. Pada arduino telah diprogram suhu tertinggi yaitu 26°C. ketika sensor mendeteksi suhu terukur di atas atau sama dengan 26°C maka kipas dan *thermal electrical cooler* akan aktif, sebaliknya ketika suhu dingin tercapai di bawah 26°C maka kipas dan *thermal electrical cooler* akan nonaktif.

Dari beberapa penelitian yang digunakan sebagai kajian pustaka bahwa *thermoelectric cooler* dapat digunakan pada pengaturan temperature *aquascape*. Permasalahan dalam pengaturan temperature *aquascape* adalah sifat temperature yang non-linear. *Fuzzy logic control* dibutuhkan untuk mengatasi permasalahan temperature yang mempunyai sifat non-linear. Berdasarkan kajian pustaka, *thermoelectric cooler* dan *fuzzy logic* telah banyak diterapkan dalam pengaturaan temperature air dan mendapatkan hasil yang diinginkan. Pada penelitian ini

merancang, mendesain, membuat, dan menerapkan *thermoelectric cooler* sebagai pendingin air *aquascape* dengan *implementasi fuzzy logic*.

2.2 Teori Penunjang

2.2.1 Aquascape

Aquascape adalah seni mengatur tanaman, air, batu, baru karang, koral, kayu secara alami dengan penataan yang indah sehingga member efek berkebin di dalam akuarium, *aquascape* dibuat untuk menciptakan sebuah pemandangan di dalam akuarium. *Aquascape* biasanya diengkapi dengan flora dan fauna agar seperti ekosistem pada aslinya di alam, namun *aquascape* bisa tanpa flora dan fauna, atau hanya menata tanaman saja, bisa hanya dengan menata batu atau komponen lain tanpa ada tanaman, karena dalam dunia *Aquascape* ada beberapa style yang mempunyai ciri khas masing-masing

Menurut Yulianto (2001:1) hamparan berbagai jenis tanaman air dengan unsur-unsur pembentuknya inilah yang disebut dengan *aquascape* atau sering pula disebut *underwater garden*. Tujuan utama dari *Aquascape* adalah untuk menciptakan pemandangan alam di dalam air, jika terdapat ekosistem di dalam air maka aspek teknis pemeliharaan ekosistem yang ada di dalam *aquascape* harus sangat diperhatikan. Banyak faktor penting yang harus seimbang pada ekosistem *aquascape* antara lain:

1. Pencahayaan sebagaimana di alam, tanaman membutuhkan sumber cahaya untuk tumbuh, di dalam sebuah setup *aquascape*, lampu digunakan sebagai sumber cahaya yang lebih terkendali dibandingkan dengan matahari di alam

aslinya. Cahaya dibutuhkan tanaman untuk berfotosintesis, sebuah proses yang vital yang membuat tanaman membuat energi yang kemudian disimpan digunakan untuk tumbuh, tanpa cahaya yang cukup proses fotosintesis akan melemah dan kesehatan tanaman berkurang. Dengan menyediakan cahaya yang cukup, dikombinasikan dengan faktor-faktor yang dibutuhkan untuk berfotosintesis tanaman dapat melakukan proses ini di taraf yang optimal.

2. Substrat adalah salah satu bagian yang harus diperhatikan, karena tanaman menggunakan substrat bukan hanya untuk tempat berakar tetapi juga untuk sumber nutrisi dan beberapa tanaman menggunakan substrat sebagai tempat bereproduksi. Kesulitan yang ditemui saat bercocok tanam seringkali disebabkan oleh ketidakcocokan jenis substrat dengan jenis tanaman. Substrat juga tempat untuk mikroorganisme berkembang biak dan bisa menyimpan nutrisi.
3. Filter adalah kunci utama kejernihan dan kestabilan ekosistem di dalam *aquascape*. Filter memiliki tiga jenis, pertama filter mekanis di mana hampir semua jenis filter yang digunakan berfungsi sebagai filter mekanis yaitu bertujuan untuk menyaring atau menangkap kotoran yang mengalir melalui media filter, semakin rapat media filter semakin banyak kotoran yang dapat disaring. Kedua yaitu filter biologis dengan filter biologis berarti disediakan tempat ikan bagi pertumbuhan bakteri untuk mengurai ammonia dan nitrit yang berbahaya bagi kehidupan ikan menjadi nitrit yang lebih tidak berbahaya.

Bakteri pengurai sebenarnya juga tumbuh di dalam *aquascape* seperti di pasir, batu-batuan, hingga tanaman air namun jumlah itu tidak cukup untuk mengurai amonia dan nitrit yang terbentuk di dalam *aquascape*. Terakhir filter kimia di sini filter kimia fungsi utamanya bukan untuk menyaring kotoran namun untuk membuat kualitas air *aquascape* menjadi seperti yang diinginkan beberapa contoh filter kimia yaitu: karbon aktif, peas (humus), ion exchange resin, reverse osmosis, ultra violet, manganese green sand, pasir aktif, zeolite.

4. Kualitas air merupakan salah satu parameter penting dalam dunia *aquascape*, mengingat air adalah sumber kehidupann bagi makhluk hidup. Kualitas air menyatakan tingkat keseriusan air untuk dipergunakan bagi pemebuhan tertentu kehidupan manusia, seperti untuk air minum, mengairi tanaman, minuman ternak dan sebagainya (Arsyad, 1989). Ada beberapa faktor penentu kualitas air dalam *aquascape*, yaitu:
 - a. Keasaman Air (pH), Kondisi pH yang sesuai untuk *aquascape* tergantung pada jenis tanaman dan ikan di dalamnya, kebanyakan ikan dan tanaman di dalam *aquascape* hidup pada pH netral (7) namun ikan siklid dari afrika menyukai air yang bersifat basa sementara ikan siklid amerika menyukai air bersifat asam, namun di Indonesia sebagian besar hidup pada kondisi netral (7).
 - b. Kekerasan Air atau kesadahan air adalah banyak kandunga berbaai macam mineral (Ca, Mg, Sr, Fe, dan Mn) dalam air. Kandungan mineral yang tinggi disebabkan oleh banyaknya kandungan kalsium yang terdapat sebagai

kalsium karbonat. Jika terlalu lunak, kekerasan air dapat dinaikan dengan cara menaikkan pH atau dengan cara pemberian material yang mengandung endapan kalsium karbonat (zeolite, batu karang, pecahan koral, limestone, dan lain-lain). Dan untuk menurunkan kekerasan air dapat dilakukan dengan cara menurunkan pH, atau dengan cara pengendapan dengan hidrate lime ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) atau melalui proses pertukaran kation dengan menggunakan kation Na (zeolite)

Tabel 1. Kadar CaCO_3 dan Derajat Kesadahan Air

Kadar CaCO_3 (mg/l)	Tingkat Kekerasan ($^\circ\text{dH}$)	Kategori
0-50	0-3	Lunak
50-100	3-6	Agak Lunak
100-200	6-12	Sedang
200-300	12-16	Agak Sedang
300-450	16-25	Keras
>450	>25	Sangat Keras

Sumber: Buku *Aquascape* pesona taman akuarium air tawar, 2008:17.

- c. Temperatur air merupakan faktor pembatas kehidupan bagi semua makhluk hidup, jika ikan tropis dipaksa hidup pada temperatur dingin ikan akan cenderung pasif, metabolisme tubuh menurun, sehingga menjadi kurus dan pada kondisi lanjutan bias menjadi kematian, sebaliknya jika ikan dipaksa hidup pada temperatur panas mengakibatkan ikan lebih cepat bernafas, tersenggal-senggal serta bias mengakibatkan kematian.

Bagi tanaman air, temperatur air yang terlalu panas atau dingin akan menurunkan laju respirasi maupun fotosintesis. Hal ini akan mengganggu pada proses fotosintesis di mana gangguan dalam penggunaan energi untuk tumbuh.

- d. Oksigen terlarut adalah banyaknya oksigen yang terlarut dalam massa air melalui proses difusi, Proses difusi itu sendiri tentu saja terjadi ketika adanya pergerakan partikel suatu zat, baik itu zat padat, cair maupun gas dari suatu tempat yang berkonsentrasi tinggi ke yang berkonsentrasi rendah yang mana pastinya melewati suatu membran. Oksigen bisa masuk ke dalam air jika kerapatan molekul-molekul air rendah. Sebaliknya, semakin tinggi temperatur air maka semakin tinggi kerapatan molekul air dan akibatnya oksigen semakin sulit masuk ke dalam massa air.
- e. Karbon Dioksida merupakan respirasi/pernafasan ikan. Senyawa ini dibutuhkan tanaman air untuk fotosintesis. Kandungan CO_2 merupakan faktor pembatas kehidupan ikan, semakin kecil kadarnya semakin baik, namun tidak untuk tanaman air karena digunakan untuk fotosintesis. Kandungan CO_2 dapat diabaikan, jika di dalam akuarium hanya memelihara ikan saja, jika ada tanaman air, pertahankan CO_2 kurang dari 40 ppm. lebih dari itu ikan bisa mabuk atau mati, walaupun untuk tanaman sangat menguntungkan. Besar kandungan CO_2 terlarut yang diperlukan sangat tergantung pada jenis tanaman air yang dipelihara, namun pada umumnya kisaran 10-30 ppm sudah sangat baik bagi tanaman air.
- f. Kandungan Amonia merupakan penyebab utama kematian ikan apapun jenis ikan. Amonia (NH_3) adalah gas nitrogen yang berasal dari kotoran ikan, sisa-sisa pakan, pupuk cair, dan ikan mati yang tidak diambil. Amonia merupakan gas beracun dan kompetitor kuat bagi oksigen dalam darah ikan,

ditambah jika pH air tinggi dan temperatur, maka semakin tinggi pula konsentrasi amonia sehingga kuat pula daya racunnya.

2.2.2 Temperatur Pada *Aquascape*

Temperature air merupakan faktor pembatas kehidupan bagi semua makhluk hidup. Temperatur adalah salah satu syarat terpenting dalam *aquascape*. Walaupun semua parameter lain sudah dapat dipenuhi dengan baik, namun jika temperaturnya tidak dapat dipenuhi sesuai populasi yang ada maka ekosistem tidak akan berjalan dengan lancar.

Menurut Edi Atmawinata (2007:30) ikan air dingin secara umum dipelihara dalam rentang 50°F - 70°F atau 10°C - 21°C, sebagian besar ika air tawar dan air asin berada dalam rentang 75°F - 80°F atau 24°C - 27°C. Edi Atmawinata juga menyatakan (2007:30) bahwa “pemahaman lingkungan tempat spesies ikan di alam liar berperan penting dalam pengaturan aquarium, khususnya pengaturan temperaturnya.

Secara umum ikan telah beradaptasi untuk hidup pada temperature tertentu. Temperature ikan sangat tergantung pada jenis ikan dan asal ikan lahir, walaupun ada beberapa ikan yang bisa menyesuaikan diri dengan lingkungan yang baru.

Temperature rendah di bawah populasi ikan bisa menyebabkan ikan mengalami letaregi, kehilangan nafsu makan, dan menjadi rentan terhadap penyakit, dalam kasus temperature terlalu panas membuat kadar oksigen terlarut dalam air menurun karena kerapatan molekul air semakin tinggi, sehingga membuat oksigen sulit untuk masuk ke dalam massa air. Peningkatan temperatur juga akan

mempercepat laju respirasi dan dengan demikian laju pengguna oksigen juga akan meningkat (Afianto dan Liviawati, 1992), menurut Effendi (2003) peningkatan temperatur sebesar 1°C meningkatkan konsumsi oksigen sekitar 10%.

Temperature yang terlalu panas atau dingin akan menurunkan laju respirasi maupun fotosintesis, mengganggu pada proses fotosintesis di mana gangguan dalam penggunaan energi untuk tumbuh. Keberadaan tanaman di dalam *aquascape* harus yang diperhatikan kelangsungan hidupnya karena tanaman berperan penting dalam ekosistem *aquascape*. Keberadaan tanaman air di dalam aquarium yaitu melindungi ikan dari bahaya amonia dan logam-logam berat, mengontrol pertumbuhan alga, menysabilkan pH karena reaksi fotosintesis membutuhkan asam (H+) yang banyak. selain itu menyediakan oksigen dalam perairan, meningkatkan aktivitas biologis, bakteri pendekomposisi dalam aquarium, mengurangi kabrondioksida bebas yang dapat menyebabkan menipisnya oksigen terlarut.

Temperatur yang tinggi juga bisa meningkatkan konsentrasi kandungan amonia yang merupakan penyebab utama kematian ikan, Ammonia merupakan gas beracun dan kompetitor kuat bagi oksigen dalam darah ikan, ditambah jika pH air tinggi dan temperatur, maka semakin tinggi pula konsentrasi amonia sehingga kuat pula daya racunnya (EB Kuncoro, 2008).

Menurut Edi Atmawinata (2007:31) dalam kadar amoniak 6 ppm dalam sebuah akuarium air tawar, angka kematian dapat meningkat sebesar 50%. Ammonia berpengaruh pada ikan dengan dalam menghilangkan kemampuan darah

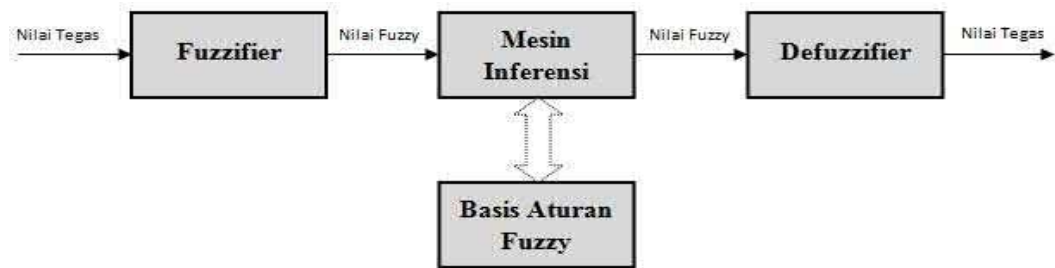
untuk dapat membawa oksigen. Ini menyebabkan ikan stress dan menurunkan daya tahan tubuh ikan terhadap berbagai penyakit karena infeksi bakteri.

2.2.3 Logika *Fuzzy* Mamdani

Sistem *fuzzy* ditemukan pertama kali oleh Prof. Lotfi Zadeh pada pertengahan tahun 1965. Teori ini merupakan perluasan teori himpunan tegas, didasarkan pada cara manusia mempersepsikan suatu nilai yang tidak pasti seperti mempersepsikan temperatur dengan istilah panas atau dingin bukan dengan nilai derajatnya. Teori ini berkembang cukup pesat dengan aplikasi pada berbagai bidang. Sistem kendali *fuzzy* yang merupakan aplikasi teori *fuzzy* pada bidang kendali, pertama kali diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani tahun 1974 yang merancang sistem kontrol pada mesin uap. (Ana, 2011: 3)

Sistem *fuzzy* adalah sistem yang bekerja dengan besaran atau nilai *fuzzy* dan menggunakan logika *fuzzy*. Sebuah sistem *fuzzy* akan memiliki bagian-bagian yakni fuzzifikasi, mesin inferensi, basis aturan dan defuzzifikasi seperti ditunjukkan pada gambar 1. Bagian fuzzifikasi diperlukan untuk mengubah nilai *input* ke *fuzzy* yang umumnya berupa suatu angka atau nilai tegas diubah ke besaran *fuzzy*.

Bagian basis aturan berisi aturan-aturan logika *fuzzy* yang digunakan oleh mesin inferensi sebagai acuan dalam mengambil kesimpulan atau memutuskan suatu *output* terhadap *input* yang masuk ke nilai *fuzzy*. Karena *output* dari mesin inferensi masih berupa nilai *fuzzy*, maka bagian defuzzifikasi diperlukan untuk mengubah nilai *fuzzy* tersebut ke nilai tegas yang siap dikirim ke sistem atau *plant* lain.

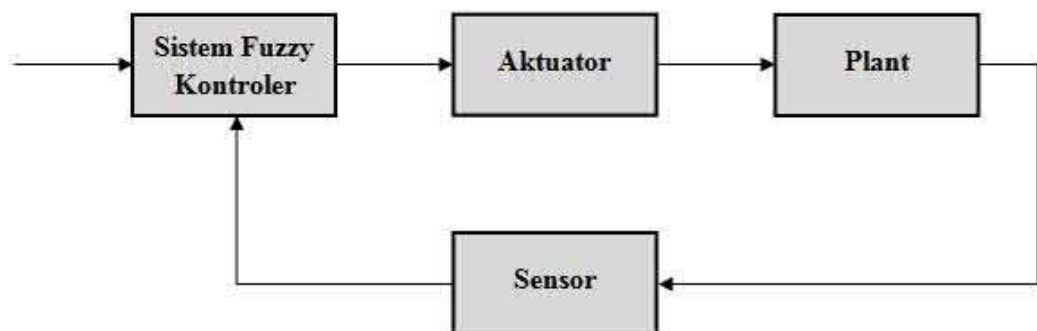


Gambar 1. Bagian – bagian Sistem *Fuzzy*

(Sumber: Buku Sistem Kendali Cerdas, 2011:80)

2.2.3.1 Fuzzifikasi

(Ana, 2011:66) Fuzzifikasi merupakan proses mengubah ke nilai variable ke numerik nilai variabel linguistik. Fuzzifikasi merupakan pemetaan dari ruang *input* ke himpunan *fuzzy* yang didefinisikan pada semesta pembicaraan variabel *input*. Proses fuzzifikasi dilihat pada gambar 2

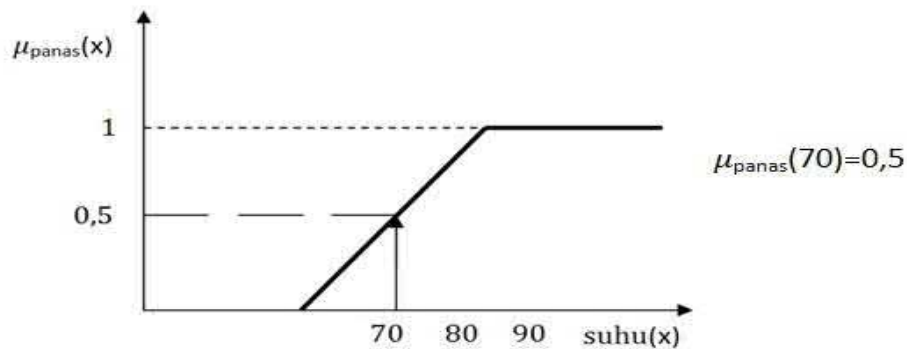


Gambar 2. *Fuzzy logic controller* pada Sistem

(Sumber: Buku Sistem Kendali Cerdas, 2011:66)

Sebuah sistem *fuzzy controller* (FLC) digunakan untuk mengendalikan temperatur sistem pemanas dengan diagram kerja ditunjukkan pada gambar 2.9. variabel *input* FLC merupakan temperatur terukur misalkan dinotasikan sebagai x . temperatur x yang berupa variabel numerik mempunyai interval nilai 25° hingga 100° . Variabel temperatur dinyatakan sebagai variabel linguistik dengan lima nilai

linguistik yaitu dingin, agak dingin, sedang, agak panas dan panas. Misalkan sensor temperatur menghasilkan pembacaan data 70°, maka proses fuzzifikasi nilai numerik temperatur 70° pada nilai linguistik panas dapat diilustrasikan pada gambar10.



Gambar 3. Fuzzifikasi Nilai temperatur

(Sumber: Buku Sistem Kendali Cerdas, 2011:67)

Pada sistem *fuzzy* setiap nilai linguistik dari suatu variabel dinyatakan dalam sebuah himpunan *fuzzy*. Beberapa bentuk himpunan *fuzzy* yang sering digunakan pada sistem *fuzzy* diantaranya:

a. Triangular/segitiga

$$\mu_f(x) = \begin{cases} 0 & , \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & , \text{for } a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & , \text{for } b \leq x \leq c \\ 0 & , \text{for } x > c \end{cases}$$

b. Trapezoidal

$$\mu_f(x) = \begin{cases} 0 & , \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & , \text{for } a \leq x \leq b \\ 1 & , \text{for } b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c} & , \text{for } c \leq x \leq d \\ 0 & , \text{for } x > d \end{cases}$$

c. Gaussian

$$\mu_f(x) = e^{-(x-c_f)^2/w}$$

d. Bell-shaped

$$\mu_f(x) = \frac{1}{1 + (x - c_f)^2}$$

2.2.3.2 Mekanisme Interferensi pada FLC

Aturan kendali *fuzzy* dinyatakan dengan kumpulan aturan IF – THEN yang mana anteseden dan konsekuennya berupa variabel linguistik. Kumpulan aturan kendali *fuzzy* merupakan relasi *input output* dari sebuah sistem. Bentuk umum dari aturan kendali *fuzzy* pada sistem *multi-input-single-output* (MISO) adalah:

$$R^i : \text{IF } x \text{ is } A_i, \dots, \text{ AND } y \text{ is } B_i, \text{ THEN } z \text{ is } C_i$$

yang mana x dan y merupakan variabel linguistik *input* yang merepresentasikan variabel keadaan sistem (*state variable*) sedangkan z merupakan variabel linguistik keluaran yang merepresentasikan variabel kendali (*control variable*).

A_i, \dots, B_i , dan C_i berturut – turut merupakan nilai linguistik variabel x, \dots, y , dan z pada semesta U, \dots, V dan W . Persamaan 2.19 merupakan sistem *fuzzy* tipe mamdani. Variasi tipe pada persamaan 2.19 adalah persamaan 2.20 yakni konsekuen (keluaran) dinyatakan sebagai fungsi dari variabel keadaan x, \dots, y :

$$R^i : \text{IF } x \text{ is } A_i, \dots, \text{ AND } y \text{ is } B_i, \text{ THEN } z = f_i(x, \dots, y)$$

yang mana $f_i(x, \dots, y)$ merupakan fungsi variabel keadaan x, \dots, y . Persamaan di atas merupakan sistem *fuzzy* tipe sugeno.

Aturan kendali *fuzzy* pada persamaan 2.19 dan 2.20 mengevaluasi keadaan proses/sistem (yakni state, state error, state error integral, dan lain-lain). Pada saat

t dan menghitung serta memutuskan aksi kendali sebagai fungsi dari variabel keadaan $x, \dots y$.

Inference engine merupakan inti dari FLC dalam memodelkan cara berpikir manusia dalam konsep logika *fuzzy* dan *approximate reasoning*. *Generalized Modus Ponens* (GMP) memegang peranan penting dalam proses inferensi ini. Aplikasi *fuzzy reasoning* pada FLC dan GMP dapat ditulis sebagai:

Premise 1 : IF x is A, THEN y is B

Premise 2 : x is A'

Konsekuensi : y is B'

yang mana A, A', B, dan B' merupakan predikat *fuzzy* atau himpunan *fuzzy* yang menyatakan nilai linguistik dari variabel x dan y yang masing-masing didefinisikan pada semesta U, U, V dan V. pada umumnya aturan kendali *fuzzy* (premise 1 pada persamaan 2.21) merupakan relasi *fuzzy* yang dinyatakan dengan implikasi *fuzzy* $R = A \Rightarrow B$.

2.2.3.3 Defuzzifikasi

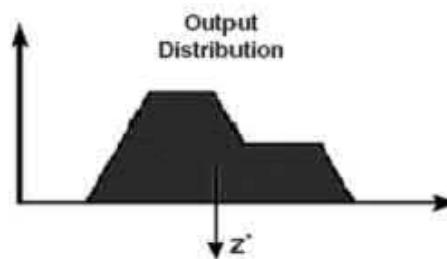
Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* (Kusumadewi, 2010:40)

(Ana, 2011:72) Defuzzifikasi merupakan pemetaan dari ruang aksi kendali *fuzzy* yang didefinisikan pada semesta pembicaraan keluaran ke ruang aksi kendali *nonfuzzy* (*numeric*). Proses ini penting karena pada aplikasi praktis, aksi kendali *numeric* diperlukan untuk melakukan pengendalian.

Strategi defuzzifikasi membantu menemukan aksi kendali *nonfuzzy* yang paling baik dalam mewakili distribusi peluang aksi kendali *fuzzy* hasil inferensi. Tetapi tidak terdapat satupun prosedur yang sistematis dalam memilih strategi defuzzifikasi tersebut. Metode defuzzifikasi paling umum digunakan adalah *centre of area* (COA) dan *mean of maximum* (MOM).

Metode COA yang lebih sering digunakan menentukan pusat gravitasi (titik berat) distribusi peluang aksi kendali. Pada kasus semesta pembicaraan diskrit, metode COA dirumuskan sebagai berikut:

$$Z^*_{COA} = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_C(Z_j)Z_j}{\sum_{j=1}^n \mu_C(Z_j)}$$



Gambar 4. Defuzzifikasi metode COA

(Sumber: www.google.com, 2019)

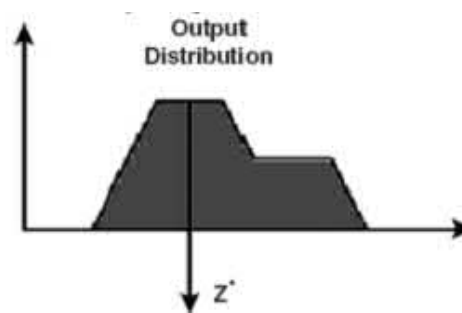
Z_j merupakan nilai numerik aksi kendali pada level kuantisasi ke- j dan $\mu_C(Z_j)$ merupakan nilai derajat keanggotaan pada himpunan *fuzzy* C .

Jika semesta pembicaraan kontinu, metode COA dirumuskan:

$$Z^*_{COA} = \frac{\int_z \mu_C(z)dz}{\int_z \mu_C(z)dz}$$

Metode MOM menentukan aksi kendali yang mewakili nilai rata-rata (mean) dari aksi kendali lokal yang fungsi keanggotaannya mencapai maksimum. Pada kasus semesta pembicaraan diskrit aksi kendali dapat dinyatakan sebagai rumus berikut:

$$Z^*_{\text{MOM}} = \sum_{j=1}^m \frac{z_j}{m}$$



Gambar 5. Defuzzifikasi metode MOM

(Sumber: www.google.com, 2019)

yang mana z_j merupakan nilai support dimana fungsi keanggotaan mencapai nilai maksimum $\mu_c(z_j)$ dan m adalah banyaknya nilai *support* tersebut.

Dari kedua metode tersebut COA dan MOM, COA terbukti lebih baik. Metode MOM menghasilkan kondisi transien yang lebih baik, sedangkan COA menghasilkan *steady state* yang lebih baik. Metode defuzzifikasi yang digunakan pada alat pengering seledri ini menggunakan metode COA.

2.2.4 Fuzzy Logic Controller

Fuzzy Logic Controller (FLC) merupakan sistem *fuzzy* yang diaplikasikan secara khusus dalam bidang kendali. Sudah banyak aplikasi yang menerapkan FLC dari peralatan rumah tangga seperti kulkas, mesin cuci, penghisap debu, oven, penyejuk udara (AC), peralatan otomotif seperti sistem pengereman otomatis,

transmisi otomatis dan masih banyak lagi. FLC banyak diaplikasikan pada sistem kendali karena sifatnya yang lebih humanis dibandingkan dengan sistem kendali klasik karena FLC mempresentasikan pengetahuan operator atau pakar dalam mengoperasikan atau mengendalikan plant/sistem yang akan dikendalikan.

2.2.4.1 Tipe *Fuzzy Controller*

Fuzzy controller merupakan sistem *fuzzy* yang diaplikasikan sebagai sistem kendali. Variabel *input* pada *fuzzy controller* umumnya berupa nilai selisih antara nilai referensi *output* dengan nilai *output* actual yang disebut nilai error. Sedangkan *output fuzzy controller* adalah perintah kendali yang diberikan ke actuator atau penggerak. Struktur *fuzzy controller* sama dengan sistem *fuzzy* pada umumnya. Berdasarkan tipe konsekuensi yang digunakan pada *fuzzy rule-base*, tipe *fuzzy controller* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu tipe Mamdani dan tipe Sugeno.

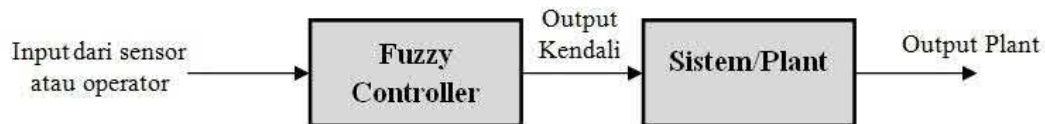
(Ana, 2011: 81) *Fuzzy controller* tipe Mamdani lebih tepat digunakan jika model *plant* tidak diketahui secara pasti, tetapi terdapat operator atau pakar yang mengetahui perilaku dan karakteristik sistem yang dikendalikan. *Fuzzy controller* tipe Sugeno lebih cocok digunakan pada kondisi tidak terdapat operator atau pakar, tetapi model matematis *plant* diketahui. Tipe ini lebih tepat digunakan pada sistem kendali linier. Tipe ini juga lebih dipilih pada sistem nonlinier dan kendali adaptif karena kemampuannya dalam hal beradaptasi dan mudah dianalisis secara matematis. Perbandingan kedua tipe *fuzzy controller* ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Perbedaan *fuzzy controller* tipe Mamdani dan Sugeno

	Tipe Mamdani	Tipe Sugeno
Persamaan	Memiliki bagian anteseden yang sama	
Perbedaan	Bagian konsekuen adalah himpunan <i>fuzzy</i>	Bagian konsekuen adalah singleton atau fungsi linier dari variabel <i>input</i>
Keunggulan	<ul style="list-style-type: none"> - Mudah dipahami oleh pakar - Sederhana - Diperkenalkan lebih dahulu dan lebih terkenal 	<ul style="list-style-type: none"> - Komputasi lebih efektif - Lebih luas dianalisis secara matematis - Menjamin kontinuitas permukaan <i>output</i>

(Sumber: Buku Sistem Kendali Cerdas, 2011:81)

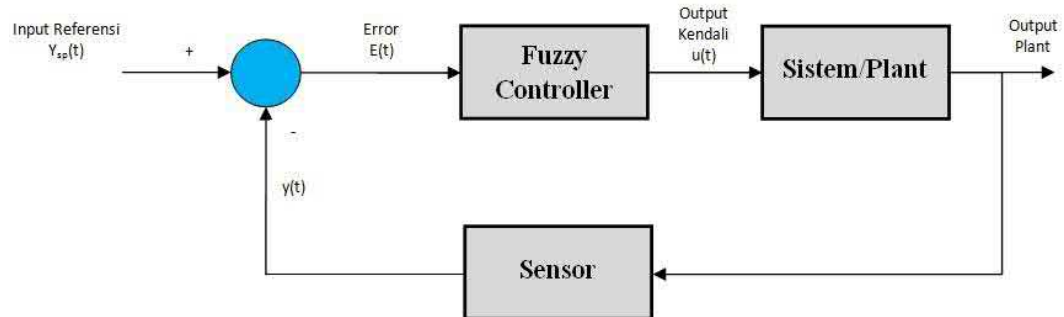
2.2.4.2 *Open loop Fuzzy Controller*

Gambar 6. *Fuzzy controller* yang diaplikasikan pada sistem *open loop*

(Sumber: Buku Sistem Kendali Cerdas, 2011:82)

Fuzzy controller dapat diterapkan pada sistem kendali *open loop* seperti pada gambar 2.13, contohnya pengendali pada *vacuum cleaner*. Pengendali *vacuum cleaner* berfungsi mengatur daya hisap debu dari permukaan yang dibersihkan. Daya hisap tersebut dapat dinyatakan dengan variabel linguistik: “sangat kuat”, “kuat”, “sedang”, “lemah” dan “sangat lemah”. *Input* kendali *vacuum cleaner* adalah banyaknya debu yang terdapat disuatu permukaan yang dinyatakan dengan variabel linguistik: “sangat kotor”, “kotor”, “agak kotor”, “hampir bersih” dan “bersih”. Pengendali *vacuum cleaner* dapat mengubah daya hisap berdasarkan tingkat kotor yang ada dipermukaan.

2.2.4.3 Close loop Fuzzy Controller



Gambar 7. Fuzzy controller yang diaplikasikan pada sistem *close loop*

(Sumber: Buku Sistem Kendali Cerdas, 2011:85)

Fuzzy kontroler yang diimplementasikan secara *closed loop* merupakan pengendali dengan struktur umpan balik seperti ditunjukkan pada gambar 2.14 pada struktur tersebut dapat didesain *fuzzy* kontroler yang bekerja menyerupai sistem kendali PID. Dalam hal ini harus dipilih variabel *input*, variabel keadaan, maupun *output* sistem/*plant* yang akan dikendalikan sebagai bagian dari anteseden aturan maupun konsekuen aturan. Variabel keadaan yang bisa dipilih sebagai anteseden aturan *fuzzy* adalah *error* (e), *change of Error* (Δe) dan *sum of Error* (Σe)

Variabel *input* sistem yang merupakan *output* pengendali dan merupakan bagian konsekuen aturan *fuzzy* dapat berupa *change of output* (Δu) dan *output Control* (u)

Sinyal *error* adalah selisih antara nilai sinyal referensi dengan *output* aktual sistem, dirumuskan sebagai:

$$e(t) = y_{sp}(t) - y(t)$$

Sedangkan sinyal *change of error* dirumuskan sebagai:

$$\Delta e(t) = e(t) - e(t - 1)$$

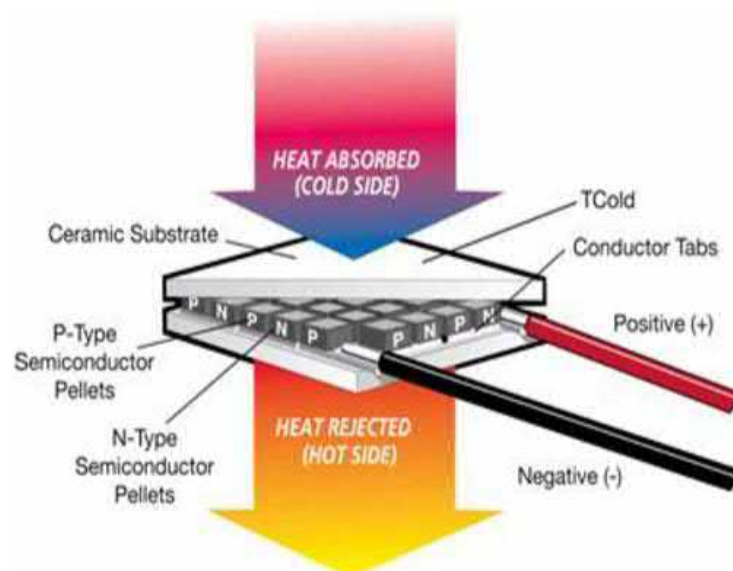
Sedangkan sinyal *Sum Error* dirumuskan sebagai:

$$\Sigma e(t) = \sum_{k=0}^t e(k)$$

2.2.5 Perangkat Pengatur *Aquascape*

2.2.5.1 *Thermoelectric Cooler* (Peltier)

Thermoelektrik merupakan perangkat/alat yang mampu mengubah energi listrik menjadi suatu gradient temperature. Elemen peltier / *thermoelectric cooler* dipakai karena dapat digunakan untuk proses pemanasan atau pendingin (Pathak, dkk. 2003). Pendingin *thermoelectric cooler* juga sering disebut pendingin peltier auto pompa panas solid-state yang memanfaatkan efek peltier, saat TEC/Peltier dilewati arus maka alat ini akan memindahkan panas dari satu sisi ke sisi lainnya, biasanya menghasilkan perbedaan panas sekitar 40°C - 70°C (Santoso, 2015:1). Efek peltier pertama kali ditemukan oleh Jean Charles Peltier pada tahun 1834 dengan membalikkan fenomena dari efek *Seeback*.



Gambar 8. Modul *Thermoelectric Cooler*

(Sumber: www.google.com, 2019)

Thermo-Electric dibangun oleh dua buah semikonduktor yang berbeda, satu tipe N dan yang lainnya tipe P, (semikonduktor harus berbeda karena semikonduktor harus memiliki kerapatan electron yang berbeda dalam rangka untuk bekerja), kedua semikonduktor diposisikan parallel secara termal dan ujungnya digabungkan dengan lempeng pendingin biasanya lempeng tembaga atau aluminium. Interkoneksi konduktor diletakkan di bagian atas dan di bagian bawah semikonduktor.

Elektron dari material yang kekurangan elektron (P) bergerak ke material yang kelebihan elektron (N), mengakibatkan konektor akan menyerap energi sehingga bagian yang menyerap energi akan menjadi sisi dingin dari peltier, di bagian lain ketika elektron bergerak dari N menuju P maka konektor akan melepas energi sehingga menjadi sisi panas dari peltier. Ketika dua konduktor dihubungkan kontak listrik, electron mengalir dari satu konduktor yang mempunyai elektron kurang terikat ke konduktor yang mempunyai elektron yang lebih terikat, hal ini adalah tingkat perbedaan Fermi antara dua konduktor.

Perbedaan Fermi adalah istilah untuk menggambarkan bagian atas tingkat energi electron pada temperatur nol absolut, ini berasal dari statistic Fermi-Direc. Ketika dua konduktor dengan tingkat Fermi yang berbeda digabungkan, electron akan mengalir dari konduktor dengan tingkat yang lebih tinggi ke tingkat yang lebih rendah, hingga perubahan potensial elektrostatik membawa dua tingkat Fermi menjadi nilai yang sama (Santoso, 2015:1)

Besarnya kalor (Q) yang dilepas atau diserap tergantung dari koefisien *seebeck* (α), arus mengalir (I) dan temperature (T), secara matematis dituliskan dengan persamaan berikut.

$$q = \alpha \times I \times T$$

Temperatur merupakan temperatur absolut atau temperatur dalam satuan °K. Saat arus listrik (I) mengalir maka terjadi perbedaan temperature antara sisi yang panas dengan sisi yang dingin. Begitu ada perbedaan temperature maka efek *seebeck* terjadi sehingga beda potensial yang terjadi seperti berikut.

$$V = I \times R + \alpha \times \Delta T$$

Di mana V adalah beda potensial (Volt), R adalah hambatan listrik dari modul termoelektrik (Ohm), dan ΔT merupakan perbedaan temperature. Adanya perbedaan temperatur ini menjadikan perpindahan kalor. Panas akan merambat secara konduksi dari permukaan yang panas ke permukaan yang dingin, perambatan tersebut bersifat *irreversible* dan disebut efek konduktivitas. Perpindahan kalor secara konduksi sangat dominan, maka termoelektrik diasumsikan bahwa konveksi dan radiasi antara kedua sisi modul diabaikan. Oleh karenanya dapat dituliskan:

$$q_{cond} = \frac{\Delta T}{\theta}$$

q_{cond} adalah besarnya perpindahan kalor konduksi, θ adalah hambatan termal. Arus listrik melalui suatu beban, maka ada kalor yang dihasilkan yang dinamakan *joule heating* yang besarnya;

$$q_{joule} = I^2 R$$

Perhitungan besarnya kalor yang diserap dan kalor yang dibuang maka semua energi termal harus diperhitungkan, karena itu persamaan kesetimbangan energi pada penyerapan kalor menjadi berikut;

$$q_{abs} = \alpha IT_c - \frac{\Delta T}{\theta} - \frac{I^2 R}{2}$$

Persamaan efek peltier bernilai yang positif karena inilan menyerap kalor, kemudian konduksi bernilai negatif karena kalor dari sisi panas pindah ke sisi dingin. Pada bagian *joule heating* besarnya dibagi menjadi dua karena dianggap total hambatan pada modul termoelektrik R, dan pada termoelektrik terdapat dua sisi sehingga $\frac{1}{2} R$ berada di bagian dingin dan $\frac{1}{2} R$ pada bagian panas. Persamaan energi sisi panas, energi yang diemisikan dapat ditulis;

$$q_{em} = \alpha IT_h - \frac{\Delta T}{\theta} - \frac{I^2 R}{2}$$

Fenomena peyerapan dan pembuangan kalor pada termoelektrik merupakan salah satu sistem pompa kalor, kalor dapat dipaksa mengalir dari temperature yang rendah ke temperature yang lebih tinggi dengan memberikan daya listrik, karena itu berlaku persamaan;

$$q_{em} = q_{abs} + VI$$

Pendingin termoelektrik dapat menjadi pendingin alternatif yang menggantikan *chiller*. Berbagai keunggulan yang terdapat pada modul termoelektrik, penggunaan termoelektrik pada era teknologi yang berkembang sangat pesat telah melingkupi banyak bidang aplikasi, misalInnya teknologi militer,

peralatan komersial dan industri, serta teknologi bidang medis. Namun ada beberapa kekurangan dari peltier, antara lain:

Keterbatasan kemampuan pendingin, Penyebabnya dingin yang dihasilkan bersamaan dengan panas dalam rentang jarak yang sangat sempit. Bagaimanapun juga kedua temperatur saling berlawanan dan saling mempengaruhi sehingga menyebabkan adanya energi yang terbuang. Efisiensinya rendah. Efisiensi peltier sekitar 10 – 15%. Berbeda dengan pendingin sistem konvensional yang mampu mencapai 40 - 60%

2.2.5.2 Mikrokontroler Arduino

Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat *open-source*, diturunkan dari wiring platform, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Syahwil (2013:60) menyatakan, bahwa Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik *open source* yang terdapat komponen utama, yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Mikrokontroler merupakan chip atau IC yang bias deprogram menggunakan computer. Tujuan dari menanamkan program pada mikrokontroler yaitu agar rangkaian elektronik dapat membaca sebuah *input*, memproses *input*, kemudia menghasilkan *output* sesuai yang dikehendaki atau yang diinginkan. Arduino pada umumnya terdiri dari dua bagian, yaitu *Hardware* berupa papan *input/output (I/O)* yang *open-source* dan Software Arduino yang juga *open-source*, diantaranya meliputi *Software* Arduino IDE untuk menulis program serta *driver* untuk koneksi dengan computer.

2.2.5.2.1 Arduino Mega

Arduino Mega 2560 adalah papan rangkaian elektronik *open-source* yang terdapat sebuah chip mikrokontroler di dalamnya yang berbasis ATmega2560 yang memiliki fitur-fitur pada table 3.



Gambar 9. Papan Arduino Mega2560

(Sumber: www.google.com, 2019)

Tabel 3. Karakteristik Arduino

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

(sumber: www.google.com, 2019)

2.2.5.2.2 Arduino Software (IDE)

Arduino IDE adalah *software* yang sangat canggih ditulis dengan menggunakan Java. Menurut (Evans, 2017) Arduino terdiri dari editor program, compiler, uploader. *Editor* program adalah sebuah *windod* yang disediakan untuk pengguna program menulis dan mengedit program dalam bahasa *Processing*.

Comiler merupakan sebuah modul yang mengubah kode program (bahasa *processing*) menjadi kode biner. Sebuah mikrokontroler tidak bisa mengartikan atau memahami bahasa *processing*. Mikrokontroler hanya bisa memahami kode biner, maka dari itu *compiler* sangat diperlukan. *Uploader* merupakan sebuah modul yang emuat kode biner dari komputer menuju ke dalam *memory* di dalam mikrokontroler.

2.2.5.3 Sensor

Sensor adalah jenis tranduser yang digunakan untuk mengubah besaran mekanis, magnetis, panas, dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik, sensor digunakan pada saat melakukan pengukuran atau pengendalian. Menurut Endra (2006:44) sensor adalah perangkat atau komponen yang bertugas mendeteksi gerakan atau fenomena lingkungan yang diperlukan oleh sistem kontroler.

2.2.5.3.1 Sensor DS18B20

DS18B20 adalah sensor yang berfungsi untuk mendeteksi temperature yang merupakan jenis sensor digital seri terbaru dari Maxim IC, yang asal pembuatnya adalah Dallas Semiconductor, lalu diambil alih oleh Maxim Integrated Products.

Sensor DS28B20 merupakan salah satu sensor oneWire atau jika terdapat banyak sensor yang disusun secara paralel data dari keluaran setiap sensor tersebut dapat dibaca hanya dengan menggunakan satu kabel. Setiap sensor yang diproduksi memiliki kode unik sebesar 64-Bit yang disematkan pada masing-masing *chip*, sehingga memungkinkan penggunaan sensor kedalam jumlah besar hanya melalui satu kabel saja (*single wire data bus/1 wire protocol*).



Gambar 10. Sensor Suhu DS18B20

(Sumber: www.google.com, 2019)

Pada gambar merupakan sensor suhu DS18B20 yang dilengkapi dengan *water proof* sehingga dapat digunakan untuk mengukur temperature di dalam air.

Fitur dari sensor suhu DS18B20

1. Antarmuka *1-wire* yang unik, hanya membutuhkan satu pin port untuk komunikasi.
2. Mempunyai kemampuan *multidrop* menyederhanakan aplikasi penginderaan suhu yang terdistribusi.
3. Setia sensor memiliki kode pengenalan unik 64-bit yang tertanam di *onboard* ROM.

4. Bias diumpankan daya melalui jalur data, rentang dayanya 3 V hingga 5.5 V.
5. Mengukur temperature mulai dari -55°C hingga 125°C.
6. Memiliki akurasi +/- 0.5°C pada rentang -10°C hingga 85°C.
7. Resolusi sensor mulai 9 hingga 12 bit.
8. Bias mengkonversi data temperature 12-bit digital word hanya dalam 750 milidetik (maksimal).
9. Memiliki konfigurasi alarm yang bias diatur (*non-volatile*).
10. Bisa digunakan untuk fitur pencari alarm dan alamat sensor yang temperaturnya di luar batas (*temperature alarm condition*).
11. Penggunaanya bisa dalam lingkunga kendali termostatis, sistem industry, produk rumahan, thermometer, atau sistem apapun yang memerlukan pembacaan temperatur.

Pencarian kesalahan selisih pada hasil pengukuran pada sensor ini digunakan rumus sebagai berikut:

$$\frac{(\text{suhu terbaca} - \text{suhu sebenarnya})}{\text{suhu terbaca}} \times 100\%$$

$$\text{Contoh: } \frac{(28,56 - 28,7)}{28,56} \times 100\% = 0,49\%$$

2.2.5.4 Relay

Relay adalah komponen elektronik yang berupa sebuah saklar yang dikendalikan oleh arus listrik, relay merupakan komponen elektromekanikal yang terdiri dari 2 bagian yaitu elektromagnet (*coil*) dan mekanikal (kontak

saklar/*switch*). Prinsip kerja relay menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu menggerakkan kontak saklar, sehingga dengan arus listrik yang kecil dapat menghantarkan listrik bertegangan lebih tinggi, atau dengan kata lain armature besi akan tertarik menuju inti jika arus listrik mengalir melewati kumparan.

Menurut Randy Castra (2010:100) komponen relay electromagnet adalah *switch* mekanik yang dipasang bersamaan dengan angker elektromagneti dan kumparan, jika arus melalui gulungan, maka medan magnet selanjutnya menarik jangkar untuk menutup atau membuka, bila tidak ada arus maka relay akan bergerak ke posisi semula.



Gambar 11. Relay

(Sumber: www.google.com, 2019)

2.2.5.5 Motor DC 5V

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik (Renreng, 2012:351). Motor DC merupakan jenis motor yang menggunakan tegangan searah sebagai sumber tenaga. Dengan memberikan beda tegangan pada kedua terminal, motor menjadi berputar pada satu arah, jika polaritas tegangan dibalik maka akan putaran arah motor menjadi terbalik.

Polaritas dari tegangan yang diberikan pada dua terminal menentukan arah putaran motor sedangkan besar dari beda tegangan pada kedua terminal menentukan kecepatan motor.



Gambar 12. Motor DC 5V

(Sumber: www.google.com, 2019)

Motor DC memiliki 3 komponen utama, yaitu:

1. Kutub Medan, Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan utara dan kutub selatan. Garis magnetic energi membesar melintasi ruang terbuka diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet.
2. Dinamo (*Current* Elektromagnet), Dinamo yang berbentuk silinder dihubungkan ke penggerak untuk menggerakkan beban. Pada motor DC yang kecil, dynamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, hingga kutub utara dan kutub selatan magnet berganti lokasi.
3. *Commutator*, komponen *commulator* adalah komponen yang pasti ditemukan dalam motor DC, *commutator* berguna untuk transmisi arus antara dinamo dan sumber daya tegangan.

Prinsip kerja motor DC didasarkan pada prinsip yaitu jika sebuah konduktor yang dialiri arus listrik dalam medan magnet, maka tercipta gaya pada konduktor tersebut yang cenderung membuat konduktor berotasi, arah medan magnet ditentukan oleh aliran arus pada konduktor.

2.2.5.6 Kipas DC

Kipas DC adalah kipas motor yang menggunakan *Hall Sensor* yaitu untuk menggantikan komutator dalam sistem motor DC. Kipas DC yang sering digunakan pada peralatan elektronik sehari-hari dengan *input* tegangan berkisar 5 Volt DC, 12 Volt DC, 24 Volt DC, 48 Volt DC.



Gambar 13. Kipas DC 12V

(Sumber: www.google.com, 2019)

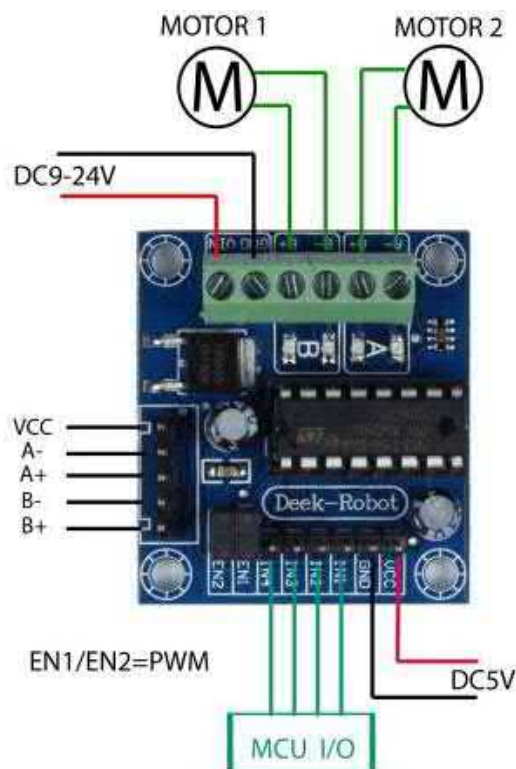
Kipas DC tersusun dari beberapa komponen:

1. PCB ass'y, merupakan rangkaian elektronik untuk menghasilkan daya yang dapat memutar baling-baling (*impeller*) kipas.
2. *Core* ass'y, merupakan lilitan yang dapat menghasilkan tenaga dorong (*force*), guna memutar *impeller*.
3. *Impeller* ass'y, yaitu baling-baling yang bisa berputar.

Komponen lainnya, housing, *bearing* (*ball bearing*, *slave bearing*), *spring*, *washer* (pengunci)

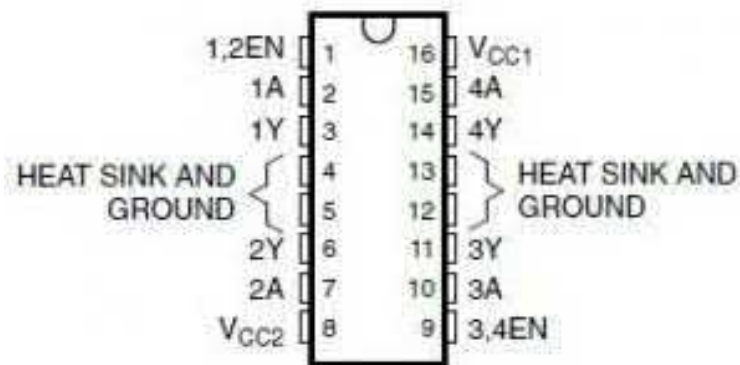
2.2.5.7 Motor Driver L293D

IC L293D adalah sebuah IC yang didesain khusus sebagai driver motor DC dan dapat dikendalikan dengan rangkaian TTL maupun mikrokontroler. Motor DC yang dikontrol dengan driver IC L293D dapat dihubungkan ke *ground* ataupun sumber tegangan, karena di dalam driver IC L293D system driver yang digunakan adalah totem pool. Dalam 1 chip IC L293D terdiri dari 4 buah driver motor DC yang berdiri sendiri dengan kemampuan mengalirkan arus 1A tiap drivernya. IC L293D dapat digunakan untuk membuat driver H-bridge untuk 2 buah motor DC.



Gambar 14. Rangkaian Motor Driver DC IC L293D

(Sumber: www.google.com, 2019)



Gambar 15. Konstruksi Pin Driver Motor DC IC L293D

(Sumber: www.google.com, 2019)

Fungsi Pin Driver Motor DC IC L293D

1. Pin EN (Enable, EN1.2, EN3.4) untuk memungkinkan driver menerima perintah untuk menggerakkan motor DC
2. Pin *Input* (1A, 2A, 3A, 4A) pin *input* sinyal kendali motor DC
3. Pin *Output* (1Y, 2Y, 3Y, 4Y) jalur *output* masing-masing driver yang dihubungkan ke motor DC
4. Pin VCC (VCC1, VCC2) jalur *input* tegangan sumber driver motor DC, di mana VCC1 adalah jalur *input* tegangan rangkaian *control driver* dan VCC2 adalah jalur *input* sumber tegangan untuk motor DC yang dikendalikan.
5. Pin *Ground* adalah jalur yang harus dihubungkan ke *ground*.

Fitur Driver Motor DC IC L293D

1. *Driver* motor DC IC L293D mempunyai fitur yang lengkap untuk sebuah kendali driver motor DC, sehingga dapat diaplikasikan dalam beberapa teknik motor DC dan untuk mengendalikan beberapa jenis motor DC.
2. *Wide Supply-Voltage range* 4.5V to 36V
3. *Separate Input-Logic Supply*

4. *Internal ESD Protection*
5. *Thermal Shutdown*
6. *High-Noise-Immunity Inputs*
7. *Functionally Similar to SGS L293 and L293D*
8. *Output Current 1A per Channel (600mA for L293D)*
9. *Peak Output Current*

2.2.5.8 Waterblok

Waterblok terbuat dari bahan aluminium, dipasangkan dengan peltier untuk mendinginkan air yang mengalir di dalamnya. Fungsinya untuk sirkulasi air yang akan memindahkan temperature panas atau dingin dari peltier, sehingga bisa menetralkan teperatur pada sisi peltier. Sistem kerja sama seperti heatsink, atau bisa dikatakan prinsipnya sama dengan heatsink.



Gambar 16. Waterblok

(Sumber: www.google.com, 2019)

2.2.5.9 Power Supply

Power Supply atau *Adaptor* merupakan rangkaian yang berguna mengubah tegangan listrik AC yang bertegangan tinggi menjadi tegangan listrik DC yang lebih

rendah, namun ada juga adaptor yang mengubah tegangan listrik rendah menjadi tegangan listrik yang tinggi.

Menurut Randy Castra (2010:91) *power supply* merupakan sirkuit yang dikhususkan untuk mengubah arus listrik bolak-balik yang menjadi arus searah. Dalam Teknik elektronika, *power supply* sangat banyak digunakan untuk menghidupkan perlengkapan yang memerlukan arus searah, bukan arus bolak-balik.

Beberapa jenis adaptor yang ada:

1. *Step Down* dan *Step Up*, adaptor *step down* adalah adaptor bisa mengubah tegangan tinggi AC menjadi tegangan AC rendah. Sedangkan adaptor *step up* adalah adaptor yang mengubah tegangan AC yang rendah menjadi tegangan AC yang tinggi.
2. *DC Converter* adalah adaptor yang mengubah tegangan DC yang tinggi menjadi tegangan DC yang lebih rendah.
3. *Power Supply* adalah adaptor yang mengubah tegangan listrik AC yang mempunyai tegangan tinggi menjadi tegangan DC yang lebih rendah.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa;

Telah dibuat sebuah alat implementasi dari *fuzzy logic Mamdani* untuk pengatur temperatur *aquascape* menggunakan *thermoelectric cooler* yang bekerja dengan optimal untuk menjaga temperatur pada *aquascape* yang mempunyai ukuran 26x16x19. Saat pra kondisi dari temperature 29°C untuk menuju *set point* dibutuhkan waktu 74 menit. Saat operasional dibutuhkan waktu 33 menit pada sistem *fuzzy logic mamdani* untuk menuju temperatur *set point* dengan *rise time* 25 menit, *settling time* 61 menit, *peak time* 100 menit, *overshoot* 3,24°C, *steady state* 24,94°C, *error steady state* 0,24%. Alat yang terdiri dari *hardware* yang menggunakan Arduino Mega, Driver motor L293D, Sensor DS18B20, *Thermoelectric Cooler*, Pompa DC dan Kipas DC. Serta Fuzzy logic Mamdani yang diimplementasikan pada program *software* Arduino IDE.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk penelitian lebih lanjut antara lain;

1. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan untuk membuat sistem kontrol pemanas untuk *aquascape*.

2. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan pada sistem monitoring untuk informasi *aquascape* dengan jangkauan yang cukup luas dengan bantuan *Smart Phone*.
3. Penelitian selanjutnya dapat mengganti *driver* (H-Bridge) L293D dengan *driver* yang lain dikarenakan terdapat drop tegangan yang cukup besar pada waktu pengujian, yaitu sebesar 2,11 V.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianto dan Liviawati. 1992. *Pengendalian Hama dan Penyakit Ikan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Aly, A.A. & El-Lail, A.S.A. 2006. *Fuzzy Temperature Control of a Thermoelectric Cooler. Proceedings of the IEEE Internasional Conference on Industrial Technology*. 1580-1585
- Ana, Ratna Wati Dwi. 2011. *Sistem Kendali Cerdas*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Arsyad, S. 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Atmawinata, Edi. 2007. *Rahasia dan Seluk Beluk Aquarium*. Bandung: Yrama Widya.
- Atta, Raghied M. 2018. *Thermoelectric Cooling*: 247-259
- Ayuningtias, L.P., Irfan, M., & Jumadi. 2017. *Analisis Perbandingan Logic Fuzzy Metode Tsukamoto, Sugeno, dan Mamdani (Studi Kasus: Prediksi Jumlah Pendaftaran Mahasiswa Baru Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung*. Jurnal Teknik Informatika. 9-16
- Azahar, T.M., I., Ratnawati., Rasyidah, Shariffah Nur., Nadiah, Nur Atiqah. *Odor recognition Using Fuzzy Logic Algorithm. Internasional Journal of Engginerig & Technologu*, 13(5):1-4
- Bandyopadhyay, M.N. 2003. *Control Engineering: Theory and Practice*. New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited.
- Budi, Santoso Nurhadi. 2015. *Mengenal Thermo-Elekctric (Peltier)*:1-5
- Castra, Randy. 2010. *Kamus Elektronika: Kumpulan Istilah Elektronika Super Lengkap*. Yogyakarta: Pelangi Ilmu.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Evans, brian w. 2007. *Arduino programing notebook*. USA. Diakses pada 4 Maret 2019, dapat dilihat pada web https://archive.org/details/arduino_notebook/page/n1
- Gaurav and Amrit Kaur. 2012. *Comparison Between Conventional PID and Fuzzy Logic Controller for Liquid Flow Control: Performance Evaluation of Fuzzy Logic and PID Controller by Using MATLAB/Simulink. Internasional Journal of Innovative Technology and Exploring Engginerig (IJITEE)*. 84-88

- Hiscock, Peter. 2003. *Encyclopedia Of Aquarium Plants*. Canada:Interpet Publishing.
- Johan. 2014. *Model Pengatur Temperatur Air Laut Otomatis Dengan Water Block Berbasis MicrocontrollerAtmega8535*. Bengkulu: Universitas Bengkulu.
- Kuncoro, Eko Budi. 2008. *Aquascape, Pesona Taman Akuarium Air Tawar*. Yogyakarta: Kanisius.
- Kusumadewi, Sri dan Hari Purnomo. 2004. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Maturidi, Ade Djohar. 2014. *Metode Penelitian Teknik Informatika. Edisi Pertama Cetakan Kedua*. Sleman: Deepublish.
- Mukti, Anggoro Bagus. 2018. *Perancangan Pengendali LED RGB Dan Sistem Pendingin Air Berbasis Peltier Untuk Aquascape*. Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Pathak, A. and Goel, V. *Heat Pump Design Using Peltier Element for Temperature Control of The Flow Cell*. International Journal of Computer Science, Engineering and Applications(IJCSEA). 2013 June; 3(3): 41-47
- Palka, H., M.Y. & J.F. 2016. *Sistem Kontrol Temperatur Air pada Proses Pemanasan dan Pendinginan dengan Pompa sebagai Pengoptimal*. JFU. FMIPA: Unad.ac.id. 5(3) 222-227
- Pitowarno, Endra. 2006. *ROBOTIKA: Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Rahmawati, Dea Ayu. 2015. *Penerapan Fuzzy Logic Dengan Menggunakan Metode Mamdani Untuk Memprediksi Kualitas Kopi*. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Ramanathan, P. 2014. *Fuzzy Logic Controller for Temperature Regulation Process*. Middle-East Journal of Scientific Research 20(11): 1524-1528
- Romadhon, S., dkk. 2014. *Menggunakan Kontrol Fuzzy Untuk Pengaturan Suhu Cairan Berbasis ATMEGA16*. Semarang: Universitas Diponegoro Semarang.
- Soleh, M. 2013. *Sistem Pakar Penentuan Selera Konsumen Terhadap Menu Kopi Dengan Metode Fuzzy Logic*. Semarang: Universitas Dian Nuswantoro.

- Sugiyono. 2015. *Metode Penelitian Kombinasi (Mix Methods)*. Bandung: Alfabeta
- Suryanata, L. 2007. *Aquarium & Aquascaping*. Jakarta: Aquarista.
- Syahwil, Muhammad. 2013. *Panduan Mudah Simulasi dan Praktik Mikrokontroler Arduino*. Yogyakarta: Andi
- Tsauri, Muhammad Sufyan. 2019. *Implementasi Algoritma Kriptografi Rail Fence Untuk Mengamankan Teks Ujian*. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Widjaja, Taufik. 2013. *Aquascape. Pesona taman dalam akuarium*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Yulianto, Vincentius. 2001. *Aquascape: menata taman dalam akuarium*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Yusfi, M., Gandi, F. & Palka, H.S. 2017. *Analisis Pemanfaatan Dua Elemen Peltier Pada Pengontrolan Temperatur Air*. 2(April): 9-14
- Zacharis, Samuel Victor. 2013. *Alat Pendingin Air Menggunakan 4 Peltier*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.