

repository.ub.ac.id

**PERANCANGAN KONTROLER FUZZY
UNTUK PENGENDALIAN pH, SUHU DAN KEJERNIHAN AIR
PADA BUDIDAYA LOBSTER AIR TAWAR
(FRESHWATER CRAYFISH)**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

GALIH TANJUNG TETUKO
NIM. 0210633041 - 63

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2007**

repository.ub.ac.id

**PERANCANGAN KONTROLER FUZZY
UNTUK PENGENDALIAN pH, SUHU DAN KEJERNIHAN AIR
PADA BUDIDAYA LOBSTER AIR TAWAR
(FRESHWATER CRAYFISH)**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:

GALIH TANJUNG TETUKO
NIM. 0210633041 - 63

Diperiksa dan disetujui:

Pembimbing I

Ir. Purwanto, MT.
NIP. 131 574 847

Pembimbing II

Fitriana Suhartati, ST. MT.
NIP. 132 206 527



repository.ub.ac.id

**PERANCANGAN KONTROLER FUZZY
UNTUK PENGENDALIAN pH, SUHU DAN KEJERNIHAN AIR
PADA BUDIDAYA LOBSTER AIR TAWAR
(FRESHWATER CRAYFISH)**

Disusun oleh:

**GALIH TANJUNG TETUKO
NIM. 0210633041 – 63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 9 Agustus 2007

DOSEN PENGUJI

**Ir. Dipl-Ing. Moch. Rusli
NIP. 131 653 473**

**Ir. Erni Yudaningtyas, MT
NIP. 131 879 035**

**Rusmi Ambarwati, ST, MT.
132 258 188**

**Goegoes, ST, MT.
NIP. 132 318 316**

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

**Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom
NIP. 131 879 033**

PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Alhamdulillah Robbil ‘Alamin, segala puja dan puji syukur kehadiran Allah SWT atas Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “PERANCANGAN KONTROLER *FUZZY* UNTUK PENGENDALIAN PH, SUHU DAN KEJERNIHAN AIR PADA BUDIDAYA LOBSTER AIR TAWAR (*FRESHWATER CRAYFISH*)” ini dengan baik.

Dalam penyusunan laporan ini penulis banyak mendapatkan masukan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Ir. Heru Nurwarsito M.kom, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Rudi Yuwono, ST, M.Sc, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Dipl. Ing. Ir. M Rusli, selaku KKDK Kontrol.
4. Ir. Purwanto, MT, selaku pembimbing I yang telah membantu dalam bimbingan tugas akhir ini.
5. Fitriana Suhartati, ST, MT, selaku dosen pembimbing II yang telah membantu dalam bimbingan tugas akhir ini.
6. Seluruh Dosen dan karyawan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.
7. Bapak, Ibu, Kakak dan adikku tercinta yang memberi Do’a, kasih sayang, perhatian dan dukungan moral serta spiritual.
8. Teman-teman Elektro UB 2002 atas dukungan, bantuan dan Do’a nya.
9. Ka. Lab Sistem Kontrol, rekan-rekan asisten atas dukungan, bantuan dan Do’a nya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan dan penulisan laporan Skripsi ini masih banyak kekurangan dan kekeliruan, untuk itu penulis mengharapkan masukan, kritik dan saran demi kelengkapan dan kesempurnaan laporan ini. Semoga tugas akhir ini memberikan manfaat bagi kita semua. Amin.

Wassalamualaikum, Wr. Wb.

Malang, Agustus 2007

Penulis

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Abstrak	ii
Daftar Isi	iii
Daftar Gambar.....	v
Daftar Tabel	vi
BAB I. Pendahuluan	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Ruang Lingkup.....	3
1.5. Sistematika Pembahasan	3
BAB II. Tinjauan Pustaka	
2.1. Suhu	5
2.2. Derajat Keasaman (pH)	5
2.3. Kekeruhan (Turbidity)	7
2.4. Logika Fuzzy.....	8
2.4.1. Himpunan <i>Fuzzy</i>	9
2.4.2. Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy</i>	9
2.4.3. Operasi Himpunan <i>Fuzzy</i>	12
2.4.4. Variabel Linguistik (Linguistic Variable).....	13
2.4.5. Kontrol Logika <i>Fuzzy</i>	13
2.4.5.1. Fuzzifikasi	14
2.4.5.2. Aturan <i>Fuzzy</i> “If-Then”	14
2.4.5.3. Defuzzifikasi.....	16
2.4.6. Struktur Kontroler Logika <i>Fuzzy</i> Dasar.....	18
2.5. Sensor Suhu Elektronik.....	18
2.6. Sensor Derajat Keasaman (pH)	19
2.7. LED.....	20
2.8. Sensor Kejernihan.....	21
2.9. Mikrokontroler ATmega8535	21
2.9.1. Deskripsi Pin.....	22
2.9.2. MEMORI.....	24
2.9.3. Instruksi – instruksi.....	25
2.9.4. ADC pada Mikrokontroler ATmega8535	26
2.10. <i>Operational Amplifier</i> (Op-Amp)	29
2.11. LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>).....	30
BAB III. Metodologi Penulisan	
3.1. Studi Literatur	33
3.2. Perancangan dan Peralisasian Alat	33
3.3. Pengujian Alat dan Analisis	34
3.4. Pengambilan Kesimpulan dan Penyusunan Laporan Tugas Akhir.....	35
BAB IV. Perencanaan dan Pembuatan Alat	
4.1. Perancangan Sistem	36



4.1.1. Blok Diagram Alat.....	36
4.1.2. Prinsip Kerja Alat	37
4.2. Perancangan Perangkat Keras.....	37
4.2.1. Perancangan Modul Pengukur pH	37
4.2.2. Perancangan Modul Pengukur Suhu.....	40
4.2.3. Perancangan Modul Pengukur Kejernihan.....	42
4.2.4. Mikrokontroler	42
4.2.5. Rangkaian Relay	44
4.3. Perancangan Perangkat Lunak.....	45
4.3.1. Perancangan Algoritma <i>Fuzz</i>	45
4.3.2. Perancangan Algoritma Perangkat Lunak	49

BAB V. PENGUJIAN DAN ANALISA

5.1 Pengujian Rangkaian Pengukur Suhu	51
5.1.1 Peralatan pengujian	51
5.1.2 Pengujian.....	51
5.1.3 Hasil Pengujian.....	52
5.2 Pengujian Rangkaian Pengukur pH.....	53
5.2.1 Peralatan Pengujian.....	53
5.2.2 Pengujian.....	53
5.2.3 Hasil Pengujian.....	54
5.3 Pengujian Rangkaian Sensor Kejernihan	54
5.3.1 Peralatan Pengujian.....	55
5.3.2 Pengujian.....	55
5.3.3 Hasil Pengujian.....	55
5.4 Pengujian Rangkaian Aktuator	
5.4.1 Peralatan Pengujian.....	56
5.4.2 Pengujian.....	56
5.4.3 Hasil Pengujian.....	56
5.5 Pengujian ADC	56
5.5.1 Peralatan Pengujian.....	56
5.5.2 Pengujian.....	57
5.5.3 Hasil Pengujian.....	57
5.6 Pengujian Mikrokontroler dan LCD.....	59
5.6.1 Peralatan Pengujian.....	59
5.6.2 Pengujian.....	59
5.6.3 Hasil Pengujian.....	59
5.7 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan	
1. Analisa pH	61
2. Analisa suhu	68
3. Analisa Kejernihan.....	72

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan.....	75
6.2 Saran	75

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

RINGKASAN

GALIH TANJUNG TETUKO, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang, Agustus 2007. **Perancangan Kontroler *Fuzzy* Untuk Pengendalian pH, Suhu Dan Kejernihan Air Pada Budidaya Lobster Air Tawar (*Freshwater Crayfish*).**

Pembimbing: Ir. Purwanto, MT dan Fitriana Suhartati, ST. MT.

Lobster Air Tawar merupakan hewan air yang memiliki nilai ekonomis tinggi dan banyak diminati orang untuk dibudidayakan. Kualitas air seperti pH, suhu dan kejernihan merupakan bagian terpenting pada budidaya Lobster Air Tawar. Dengan adanya alat pengendalian pH, Suhu Dan Kejernihan Air diharapkan dapat menghasilkan lobster yang berkualitas. Pengendalian secara manual sangatlah kurang praktis, sehingga digunakan pengendalian secara otomatis menggunakan elektronika digital dengan metode kontrol logika *fuzzy* yang penggunaannya sangatlah mudah dan praktis. Penerapan sistem kontrol logika fuzzy dapat mempermudah model matematis sistem fisik yang kompleks dan rumit, karena konsep dasar dari kontrol logika fuzzy adalah proses pengambilan keputusan yang didasar pada pengalaman manusia sehingga model matematis yang kompleks dan rumit tidak diperlukan.

Alat ini memiliki tiga jenis sensor yaitu sensor suhu, pH dan kejernihan. Range pengaturan suhu antara 24°C-32°C, range pengaturan pH antara 6-8 dan pengaturan kejernihan pada tingkat jernih. Proses pengolahan data dan pemberi perintah pada aktuator seperti *heater*, pompa asam, pompa basa dan pompa penjernih sebagai penggerak plan dilakukan oleh mikrokontroler ATmega8535. Hasil pengaturan dari alat ini berupa nilai suhu, pH dan kejernihan yang akan ditampilkan pada layar LCD.

Kata kunci: kontrol, logika *fuzzy*, mikrokontroler, pengaturan, pengendalian, sensor, pH, suhu, kejernihan.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Lobster Air Tawar merupakan hewan air yang hidup di sungai dan di rawa-rawa serta danau. Hewan ini mampu hidup pada selang parameter air yang lebar, tidak toleran terhadap kandungan oksigen terlarut yang rendah bahkan pada air keruh. Lobster ini juga memiliki nilai ekonomis tinggi karena dapat digunakan sebagai makanan alternatif untuk dikonsumsi maupun lobster hias. Kandungan gizi tinggi, pemasaran yang mudah, tidak memerlukan lahan luas dan biaya pemeliharaan relatif kecil menyebabkan lobster ini diminati banyak orang untuk dibudidayakan.

Dalam budidaya Lobster Air Tawar, air merupakan media yang terpenting. Kondisi air sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan hidup lobster air tawar. Kualitas air yang baik akan membuat pertumbuhan lobster menjadi baik dan terhindar dari berbagai macam jenis penyakit sehingga dapat menghasilkan lobster yang berkualitas.

Beberapa hal yang dapat mempengaruhi kualitas air dalam budidaya lobster air tawar adalah tingkat keasaman (pH), suhu dan kejernihan air. Air yang akan dipakai dalam pembudidayaan sebaiknya terhindar dari kandungan penyakit atau pestisida maupun limbah industri. Kualitas air yang baik ini dapat dilihat dari kejernihan / tingkat kekeruhan air tersebut. Air yang keruh dapat membuat Lobster Air Tawar mengalami gangguan pernapasan sehingga dapat menyebabkan kematian. Keasamaan air (pH) yang baik untuk budidaya lobster air tawar berkisar antara 6 sampai 8 (Cuncun S, 2006: 20). Keasamaan ini dapat dijaga dengan total alkalinitas, jumlah plankton yang tidak berlebihan, kebersihan dari dasar kolam dan pemakain *buffer* pH yang sesuai. Keasamaan air tawar yang tinggi ini juga dapat dilakukan penggantian sebagian dari air pada kolam tersebut secara berkala. Sedang suhu air yang baik antara 24 s/d 32°C (Cuncun S, 2006: 18). Pada jenis Lobster hias suhu akan dapat mempengaruhi kecerahan warna kulit. Apabila suhu air lebih rendah atau lebih tinggi dari range yang telah disebutkan akan

mengakibatkan pertumbuhan lobster jadi lebih lambat dan dapat menyebabkan kematian.

Selama ini untuk mendapatkan lobster yang bermutu biasanya pengontrolan pH, suhu, dan kejernihan dilakukan secara manual dan berkala. Pengontrolan secara manual ternyata kurang praktis dan kurang akurat. Oleh karena itu dibutuhkan satu sistem pengontrolan yang praktis dan lebih akurat. Salah satunya dengan menggunakan teknologi Fuzzy. Logika fuzzy yang ditemukan sejak pertengahan 1960-an oleh profesor Lotfi Zadeh telah mampu menjawab ketidakmampuan teknologi digital dalam mengenali perubahan parameter yang tidak jelas. Penelitian lanjutan dari Bart Kosko dkk, teknologi Fuzzy yang dikembangkan untuk penerapan kontrol sehingga menyebabkan munculnya alat-alat yang lebih handal dan lebih canggih dari pada alat yang menggunakan teknologi digital konvensional sehingga dapat mempermudah aktivitas manusia. Penerapan sistem kontrol logika fuzzy dapat mempermudah model matematis sistem fisik yang kompleks dan rumit, karena konsep dasar dari kontrol logika fuzzy adalah proses pengambilan keputusan yang didasar pada pengalaman manusia sehingga model matematis yang kompleks dan rumit tidak diperlukan.

Sesuai dengan latar belakang di atas maka tugas akhir ini menerapkan teknologi Logika Fuzzy untuk membentuk suatu komponen elektronika dan merancang suatu sistem pengontrolan yang diajukan sebagai skripsi / tugas akhir yang berjudul “Perancangan Kontroler *Fuzzy* Untuk Pengendalian pH, Suhu Dan Kejernihan Air Pada Budidaya Lobster Air Tawar (*Freshwater Crayfish*).

1.2. Rumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang diatas berkaitan dengan proses pembuatan alat pengendalian pH, suhu dan kejernihan air pada Budidaya Lobster Air Tawar maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

- a) Bagaimana merancang dan membuat suatu rangkaian yang dapat mengkonversi besaran fisik pH, suhu dan kejernihan air menjadi besaran tegangan.

- b) Bagaimana membuat kontroler logika *fuzzy* untuk pengendalian pH, suhu, dan kejernihan air pada budidaya lobster air tawar.

1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah merancang kontroler logika *fuzzy* pada pembudidayaan lobster air tawar untuk pengendalian pH, suhu dan kejernihan air sehingga sesuai dengan nilai yang ditentukan.

1.4. Ruang Lingkup

Dalam perancangan tugas akhir ini hanya menitikberatkan pada perancangan dan pembuatan alat. Untuk mengoptimalkan hasil akhir maka permasalahan dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut :

- a) Sensor pH yang digunakan adalah elektroda gelas.
- b) Sensor suhu yang digunakan adalah IC LM 35.
- c) Sensor kejernihan yang digunakan adalah LDR.
- d) Pada perancangan alat ini digunakan aquarium 70 x 30 x 25 cm sebagai tempat menampung air.
- e) Mikrokontroler yang di gunakan adalah ATmega8535 dari Atmel.
- f) Pengaturan pH dalam range 6 – 8.
- g) Pengaturan Suhu air dalam range 24 s/d 32°C.

1.5. Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Bab I : Pendahuluan

Bab ini berisi tentang uraian latar belakang, rumusan masalah, tujuan, ruang lingkup dan sistematika pembahasan.

Bab II : Tinjauan Pustaka

Menjelaskan tentang teori dasar yang berisi tentang penjelasan suhu, derajat keasaman (pH), logika fuzzy, prinsip dasar mikrokontroler, sensor suhu, sensor pH, LED, sensor kejernihan, dan display LCD.

Bab III: Metodologi Penelitian

Menjelaskan tentang metodologi penelitian, perencanaan dan pembuatan alat dan cara pengujian alat.

Bab IV: Perencanaan dan Pembuatan Alat

Menjelaskan tentang blok diagram perancangan dan pembuatan alat yang meliputi prinsip kerja, spesifikasi alat dan perancangan *hardware*.

Bab V : Pengujian dan Analisis

Menjelaskan tentang pengujian dan analisa yang meliputi pengujian tiap-tiap bagian dan pengujian secara keseluruhan.

Bab VI: Kesimpulan dan Saran

Memberikan kesimpulan dan saran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Untuk mempermudah dalam memahami cara kerja rangkaian maupun dasar-dasar perencanaan alat, maka perlu penjelasan dan uraian teori penunjang yang digunakan dalam tugas akhir ini. Teori-teori penunjang yang dijelaskan dalam bab ini diantaranya meliputi: Suhu, Derajat Keasaman (pH), Kejernihan Air, Logika Fuzzy, Sensor Suhu, Sensor Derajat Keasaman (pH), Sensor Kejernihan, Mikrokontroler ATmega8535 dan LCD.

2.1. Suhu

Suhu memegang peranan di suatu perairan. Selain berpengaruh terhadap viskositas dan densitas air, suhu juga akan mempengaruhi kelarutan gas-gas dalam air dan akan mempengaruhi pertumbuhan semua organisme dalam air.

Temperatur air yang ideal dalam pemeliharaan lobster air tawar adalah 24-32°C. Temperatur dibawah atau diatas angka tersebut sangat membahayakan kehidupan lobster air tawar. Jika temperatur lebih rendah dari angka tersebut, proses penetasan telur akan berlangsung lebih lama. Proses penetasan telur secara normal membutuhkan waktu lima minggu, tetapi jika temperaturnya rendah bisa molor menjadi tujuh atau delapan minggu. Selain itu, temperatur yang terlalu rendah menyebabkan aktivitas lobster jauh berkurang atau tidak banyak bergerak sehingga nafsu makannya juga tidak terlalu besar. Hal ini mengakibatkan pertumbuhan lobster lambat (Cuncun S, 2006: 18). Penurunan suhu secara perlahan, seperti terjadi apabila heater tidak berfungsi, jarang menimbulkan shock, meskipun demikian temperatur hendaknya dikembalikan ke kondisi semula.

2.2. Derajat Keasaman (pH)

Dalam sebuah larutan terkandung tiga sifat air yang meliputi basa, netral dan asam. Ketiga sifat tersebut dapat diketahui dengan mengetahui kadar pH dari tiap-tiap larutan dengan melakukan pengukuran menggunakan metode dan alat ukur tertentu. pH adalah ukuran kuantitatif (jumlah) dari kadar keasaman atau

basa dari suatu larutan. Notasi "p" diambil dari kata "power", dan "H" dari kata "Hydrogen", sehingga pH adalah singkatan dari "power Hydrogen".

pH merupakan suatu ekpresi dari konsentrasi ion hidrogen (H^+) di dalam air. Besarannya dinyatakan dalam minus logaritma dari konsentrasi ion H . Sebagai contoh, kalau ada pernyataan pH 6, itu artinya konsentrasi H dalam air tersebut adalah 0.000001 bagian dari total larutan. Karena untuk menuliskan 0.000001 (bayangkan kalau pH 14) terlalu panjang maka orang melogaritmakan angka tersebut sehingga menjadi -6. Tetapi karena ada tanda - (negatif) dibelakang angka tersebut, yang dinilai kurang praktis, maka orang mengalikannya lagi dengan tanda - (minus) sehingga diperoleh angka positif 6. Oleh karena itu, pH diartikan sebagai "-(minus) logaritma dari konsentrasi ion H ". $pH = -\log(H^+)$.

Yang perlu diperhatikan adalah bahwa selisih satu satuan angka pH itu artinya perbedaan konsentrasinya adalah 10 kali lipat. Dengan demikian, apabila selisih angkanya adalah 2 maka perbedaan konsentrasinya adalah $10 \times 10 = 100$ kali lipat. Sebagai contoh pH 5 menunjukkan konsentrasi H sebanyak 0.00001 atau $1/100000$ (seperseratus ribu) sedangkan pH 6 = 0.000001 atau $1/1000000$ (sepersejuta). Dengan demikian kalau kita menurunkan pH dari 6 ke 5 artinya kita meningkatkan kepekatan ion H^+ sebanyak 10 kali lipat. Kalau kita misalkan pH itu gula, maka dengan menurunkan pH dari 6 ke 5, sama artinya bahwa larutan tersebut sekarang 10 kali lebih manis dari pada sebelumnya.

Tidak semua makhluk bisa bertahan terhadap perubahan nilai pH, untuk itu alam telah menyediakan mekanisme yang unik agar perubahan tidak terjadi atau terjadi tetapi dengan cara perlahan. Sistem pertahanan ini dikenal sebagai kapasitas pem-buffer-an.

pH sangat penting sebagai parameter kualitas air karena ia mengontrol tipe dan laju kecepatan reaksi beberapa bahan di dalam air. Selain itu ikan dan makhluk-makhluk akuatik lainnya hidup pada selang pH tertentu, sehingga dengan diketahuinya nilai pH maka kita akan tahu apakah air tersebut sesuai atau tidak untuk menunjang kehidupan mereka.

Besaran pH berkisar dari 0 (sangat asam) sampai dengan 14 (sangat basa/alkalis). Nilai pH kurang dari 7 menunjukkan lingkungan yang asam

sedangkan nilai diatas 7 menunjukkan lingkungan yang basa (alkalin). Sedangkan pH = 7 disebut sebagai netral, lihat tabel 2.1

Tabel 2.1. kisaran umum pH

1-6	Asam
7	Netral
8-14	Basa

Sumber: www.o-fish.com

Fluktuasi pH air sangat di tentukan oleh alkalinitas air tersebut. Apabila alkalinitasnya tinggi maka air tersebut akan mudah mengembalikan pH-nya ke nilai semula, dari setiap "gangguan" terhadap pengubahan pH. Dengan demikian kunci dari penurunan pH terletak pada penanganan alkalinitas dan tingkat kesadahan air (<http://www.o-fish.com/Air/kemasaman.php>).

Derajat keasamamn pH yang baik untuk lobster air tawar ada pada kisaran 6-8. Jika pH berada di luar kisaran tersebut, air perlu dimodifikasi dengan teknik tertentu. Jika pH terlalu rendah atau terlalu tinggi maka dapat dinaik-turunkan menggunakan obat-obatan, seperti pH up dan pH down yang dijual dipasaran (Cuncun S, 2006: 20).

2.3. Kekeruhan (Turbidity)

Kekeruhan atau turbidity merupakan sifat optik yang terjadi karena diakibatkan hamburan cahaya oleh partikel menyebar (melayang) dan terurai secara halus dalam medium dispersi. Partikel yang menyebar tersebut dapat berupa zat-zat organik yang terurai secara halus, jasad renik, lumpur tanah dan zat koloid yang tidak dapat mengendap. Dalam pemeliharaan lobster air tawar, jika air terlalu keruh bisa mengakibatkan penyumbatan saluran pernapasan pada lobster (Cuncun S, 2006: 21). Ada beberapa metode untuk mengetahui tingkat kekeruhan air tersebut, diantaranya :

- Pengukuran efek ekstingsi yaitu kedalam dimana cahaya tidak tampak.
- Pengukuran intensitas cahaya yang diteruskan oleh suatu cairan keruh.
- Pengukuran intensitas cahaya yang dihamburkan tegak lurus terhadap arah pancaran cahaya (metode *nephelometri*).

Metode pertama adalah metode yang dipakai oleh Jackson pada abad ke-19 dengan rancangannya berupa Jackson Candle Turbidity Meter yang memakai lilin

sebagai sumber cahaya dan gelas ukur yang mempunyai skala pembacaan yang menunjukkan sampai mana lilin tersebut tidak dapat kelihatan. Hasil pengukuran ini dinyatakan dalam Jackson Turbidity Unit (JTU). Saat ini metode ini jarang dipakai karena beberapa kekurangan diantaranya : sulitnya mendapat cairan standart dan hasil pembacaan yang masih membutuhkan ketelitian penglihatan yang sering berbeda tiap-tiap orang.

2.4. Logika Fuzzy

Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 mengemukakan suatu himpunan yang disebut himpunan *fuzzy* (*fuzzy set*) untuk menerangkan suatu logika bertingkat. Logika ini kemudian dikenal dengan logika *fuzzy*. Logika ini menjadi dasar dari semua logika, dengan mengabaikan banyaknya tingkat kebenaran yang diasumsikan. Zadeh memilih kata “*fuzzy*” untuk merepresentasikan suatu nilai logika kontinyu antara 0 (pasti salah) dan 1 (pasti benar).

Ciri utama dari logika *fuzzy* adalah adanya peluang untuk memanfaatkan toleransi ketidakpastian (*inexactness*) dan ketidaktepatan (*imprecision*). Perbedaan antara logika *fuzzy* dengan logika klasik adalah pada manipulasi simbolik dan numerik. Logika *fuzzy* dalam hal ini dapat menangani baik manipulasi simbolik maupun manipulasi numerik. Sedangkan logika klasik hanya dapat menangani manipulasi simbolik.

Zadeh mengatakan bahwa logika *fuzzy* diarahkan untuk menyediakan sebuah sistem formal berorientasi komputasi yang berisi konsep dan teknik untuk menghubungkan mode penalaran aproksimasi (*approximate reasoning*) dengan penalaran eksak (*exact reasoning*). Logika *fuzzy* menjadi alat matematik yang membuat komputer mampu memodelkan sistem-sistem yang tidak terdefinisi secara tepat. Logika ini menjadikan komputer dapat membuat keputusan dari data-data yang tersedia walaupun tingkat keakuratannya sangat rendah.

Sebuah sistem berbasis logika *fuzzy* dapat mengurangi ketidakakuratan yang terjadi pada sistem klasik. Himpunan klasik (*crisp set*) memiliki persyaratan keanggotaan yang membatasi nilai anggota-anggota himpunannya hanya pada satu atau nol saja. Batasan dari logika ini terdefinisi dengan tajam pada angka nol dan satu, sehingga tingkat keakuratannya menjadi rendah. Sedangkan pada

himpunan *fuzzy*, sebuah himpunan unsur-unsur atau anggota himpunan dapat menjadi anggota himpunan dengan tingkat keanggotaan antara nol dan satu. Ada transisi yang bertahap dari unsur yang menjadi anggota atau bukan anggota himpunan dalam sebuah himpunan *fuzzy*.

2.4.1 Himpunan Fuzzy

Himpunan didefinisikan sebagai kelompok objek-objek tertentu yang disebut elemen. Himpunan *fuzzy* didefinisikan dalam semesta himpunan X , himpunan *fuzzy* ditentukan oleh fungsi keanggotaan yang memetakan anggota X ke daerah keanggotaan yang selalu berada dalam interval $[0,1]$. [Jun Yan, 1994: 15].

Jika X merupakan kumpulan objek, $X=\{x\}$ dengan X disebut semesta pembicaraan dan x merupakan anggota dari X , sebuah himpunan fuzzy A pada X digambarkan sebagai sekumpulan pasangan yang diurutkan:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (2.1)$$

dengan μ_A adalah fungsi keanggotaan yang memetakan X ke interval $[0,1]$, yaitu

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1] \quad (2.2)$$

Jika penyokong himpunan *fuzzy* (x) hanya sebuah titik tunggal, maka $A = \mu_1 / x$, disebut sebuah *fuzzy* tunggal (*singleton fuzzy*).

Himpunan *fuzzy* yang dinyatakan dengan gabungan *fuzzy* tunggal diekspresikan sebagai

$$A = \mu_1 / x_1 + \mu_2 / x_2 + \dots + \mu_n / x_n \quad (2.3)$$

$$A = \sum \mu_A(x_i) / x_i$$

Bila X bersifat kontinyu dan tak terbatas :

$$A = \int_x \mu_A(x) / x \quad (2.4)$$

2.4.2 Fungsi Keanggotaan Fuzzy

Fungsi keanggotaan menotasikan nilai kebenaran anggota himpunan. Interval nilai yang digunakan untuk menentukan fungsi keanggotaan, yaitu nol dan satu. Tiap fungsi keanggotaan memetakan elemen himpunan *crisp* ke semesta himpunan *fuzzy*. [G. Klir dan Bo Yuan, 1995: 11].

Ada dua cara untuk menentukan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy*, yaitu secara numerik dan secara fungsional. [Jun Yan, 1994: 17].

- Pendefinisian secara numerik, mengekspresikan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* sebagai suatu vektor angka yang tergantung pada tingkat diskritisasi.
- Pendefinisian secara fungsional, mendefinisikan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* dalam ekspresi analitik yang mengikuti tingkatan tiap elemen dalam pendefinisian semesta himpunan yang dihitung.

Pada himpunan *fuzzy*, semua informasi terkandung dalam fungsi keanggotaannya. Oleh karena itu penting untuk mengetahui bagian-bagian pada sebuah fungsi keanggotaan *fuzzy*.

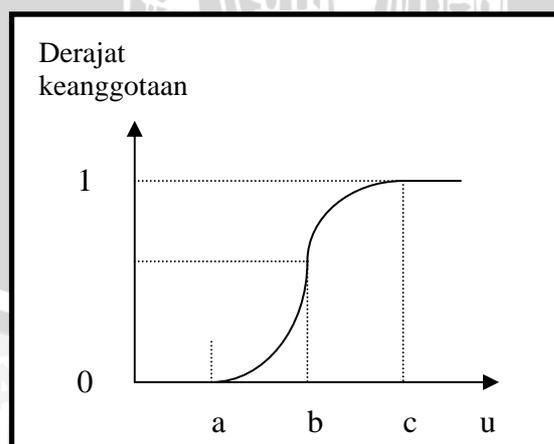
Ada beberapa fungsi keanggotaan dalam logika *fuzzy*. Adapun yang sering digunakan adalah bentuk fungsi-S, fungsi- π , fungsi T (triangular). Contoh berikut ini adalah tiga macam keanggotaan yang dinyatakan dengan fungsi keanggotaan S, π dan T (triangular).

a. S-function

Definisi S-function adalah sebagai berikut :

$$S(u,a,b,c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ 2\left(\frac{u-a}{c-a}\right) & a \leq u \leq b \\ 1-2\left(\frac{u-a}{c-a}\right) & b \leq u \leq c \\ 1 & u > c \end{cases} \quad (2.5)$$

Bentuk diagramatik S-function ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1. S-Function

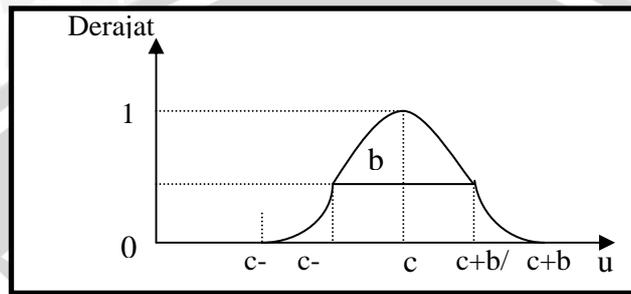
Sumber: Jun Yan, 1994:18

b. π -Function

Definisi π -Function adalah sebagai berikut :

$$\pi(u; b, c) = \begin{cases} S(u; c - b, c - \frac{b}{2}, c) & u \leq c \\ 1 - S(u; c, c + \frac{b}{2}, c + b) & u \geq c \end{cases} \quad (2.6)$$

Bentuk diagramatik π -Function ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



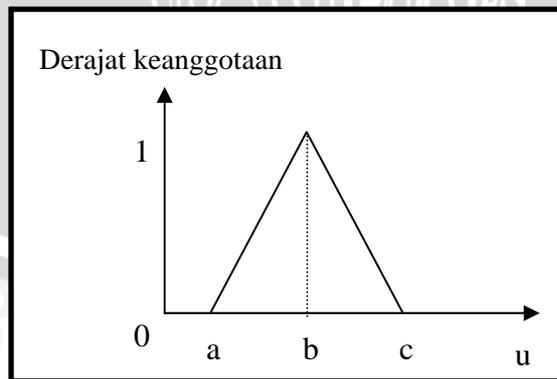
Gambar 2.2. π -Function
Sumber: Jun Yan, 1994:19

c. Triangular-function.

Triangular-function didefinisikan sebagai berikut :

$$T(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u - a}{b - a} & a \leq u \leq b \\ \frac{c - u}{c - b} & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases} \quad (2.7)$$

Bentuk diagramatik Triangular-function ditunjukkan dalam gambar 2.3.



Gambar 2.3. T-Function
Sumber: Jun Yan, 1994:19

2.4.3 Operasi Himpunan Fuzzy

Operasi dasar yang digunakan dalam himpunan *fuzzy* A dan B pada semesta himpunan X dengan fungsi keanggotaan μ_A dan μ_B terdiri dari gabungan, irisan, dan komplemen, operasi dasar yang berlaku didefinisikan sebagai berikut :

a. Gabungan(*union*)

Gabungan himpunan *fuzzy* A dan B didefinisikan pada persamaan 2.21.

$$\mu_{A \cup B} = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \text{maks}\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (2.8)$$

Operasi gabungan diperlihatkan dalam Gambar 2.6.

b. Irisan(*intersection*)

Irisan dua himpunan *fuzzy* A dan B didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_{A \cap B} = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (2.9)$$

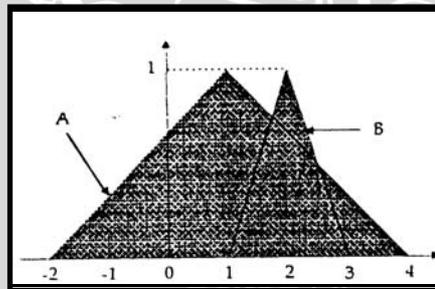
Operasi irisan diperlihatkan dalam Gambar 2.7.

c. Komplemen (*complement*)

Komplemen himpunan *fuzzy* A dinotasikan sebagai \bar{A} . Operasi komplemen didefinisikan sebagai:

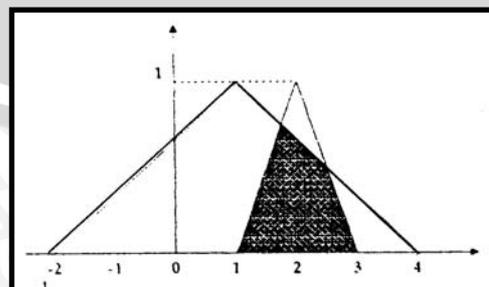
$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.10)$$

Operasi komplemen himpunan *fuzzy* A diperlihatkan dalam Gambar 2.6



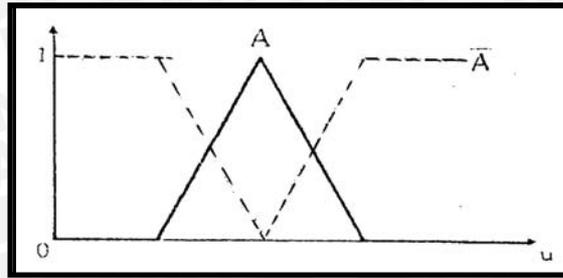
Gambar 2.4. Contoh operasi gabungan himpunan *fuzzy* A dan B

Sumber: Timothy J. Ross, 1995 : 27



Gambar 2.5. Contoh operasi irisan himpunan *fuzzy* A dan B

Sumber: Timothy J. Ross, 1995 : 27

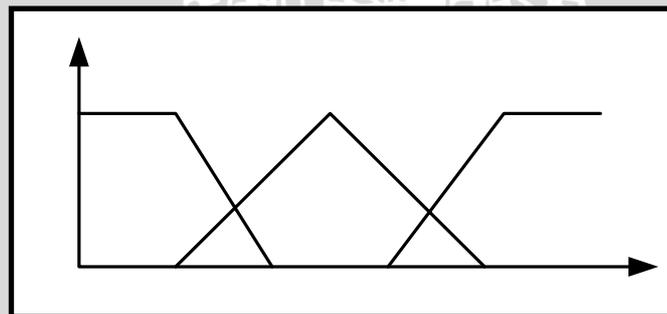


Gambar 2.6. Contoh operasi komplement himpunan *fuzzy* A
 Sumber: Timothy J. Ross, 1995 : 28

2.4.4 Variabel Linguistik (Linguistic Variable)

Pendekatan dengan himpunan *fuzzy* untuk mempresentasikan cara berpikir manusia memerlukan variabel linguistik sebagai pengganti dari variabel yang biasa digunakan dalam pendekatan kuantitatif. Variabel linguistik ini berupa ungkapan-ungkapan yang bersifat kualitatif dan berfungsi untuk menyatakan himpunan *fuzzy*. Dalam berpikir manusia menggunakan ungkapan yang bersifat kualitatif terhadap informasi-informasi yang diinderanya.

Himpunan *fuzzy* memiliki nilai kebenaran yang dinyatakan dalam bentuk informasi linguistik, seperti sangat lambat, lambat, sedang, agak cepat, cepat dan sebagainya sebagai variabel, yang disebut variabel *fuzzy*. Variabel linguistik dapat dipandang sebagai variabel yang nilainya merupakan bilangan *fuzzy* atau sebagai variabel yang nilai-nilainya didefinisikan dalam bentuk linguistik seperti gambar 2.7.



Gambar 2.7. Diagram representasi dari fuzzy umur manusia
 Sumber: Jun Yan, 1994 : 4

2.4.5 Kontrol Logika Fuzzy

Suatu pengontrolan pada dasarnya bertujuan untuk mengontrol *plant* agar keluaran sesuai dengan nilai referensi atau titik acuan sehingga *error* antara referensi dan nilai keluaran *plant* sama dengan nol.

Kontrol logika *fuzzy* adalah sistem berbasis aturan (*rule based system*) yang didalamnya terdapat himpunan aturan *fuzzy* yang mempresentasikan mekanisme pengambilan keputusan. Aturan yang dibuat digunakan untuk memetakan variabel *input* ke variabel *output* dengan pernyataan *If-Then*.

Pengontrol ini akan menggunakan data tertentu (*crisp*) dari sejumlah sensor kemudian mengubahnya menjadi bentuk linguistik atau fungsi keanggotaan melalui proses fuzzifikasi. Lalu dengan aturan *fuzzy*, *inference engine* yang akan menentukan hasil keluaran *fuzzy*. Setelah itu hasil ini akan diubah kembali menjadi bentuk numerik, proses ini disebut defuzzifikasi.

2.4.5.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan proses pemetaan dari himpunan *crisp* ke himpunan *fuzzy*. Fuzzifikasi berfungsi untuk mengubah hasil pengukuran ke dalam pernyataan linguistik. Operasi fuzzifikasi melibatkan transformasi sebuah himpunan *non fuzzy* ke dalam himpunan *fuzzy*. Proses fuzzifikasi dilakukan dengan menentukan fungsi keanggotaan.

Proses fuzzifikasi diekspresikan sebagai berikut :

$$x = \text{fuzzifier}(x_0) \quad (2.11)$$

dengan : x_0 = vektor nilai *crisp* variabel masukan

x = vektor himpunan *fuzzy* variabel yang terdefinisi

fuzzifier = operator fuzzifikasi yang memetakan himpunan *crisp* ke himpunan *fuzzy*

Pedoman memilih fungsi keanggotaan untuk proses fuzzifikasi, menurut Jun Yan, menggunakan:

1. Himpunan *fuzzy* dengan distribusi simetris.
2. Gunakan himpunan *fuzzy* dengan jumlah ganjil, pemilihan sebaiknya 5 atau 7.
3. Mengatur himpunan *fuzzy* agar saling menumpuk.
4. Menggunakan fungsi keanggotaan bentuk segitiga atau trapesioda.

2.4.5.2. Aturan Fuzzy “If-Then”

Kaidah atur yang digunakan dalam logika *fuzzy* berupa kaidah atur “*If-Then*”. Aturan “*If*” menunjukkan situasi sedangkan aturan “*Then*” menunjukkan aksi. Aturan “*If*” disebut antiseden sedangkan “*Then*” disebut

konsekuen. Antiseden ini menunjukkan daerah masukan yang dikarakteristikan dalam semesta himpunan variabel masukan. Konsekuen mendefinisikan aksi kontrol yang diinginkan. Bentuk umum dari aturan logika *fuzzy* ini sebagai berikut,

If (kondisi), *Then* (aksi)

Untuk menghubungkan suatu pernyataan dengan pernyataan lain digunakan operator AND, OR, dan ALSO. Operator AND dan OR digunakan pada bagian antiseden, sedangkan ALSO digunakan pada bagian konsekuen. Operator AND menyatakan operasi irisan, OR menyatakan operasi gabungan, dan ALSO digunakan untuk mengindikasikan adanya keluaran majemuk dalam aturan *fuzzy*. (Jun Yan, 1994: 31)

Penggunaan operator ini dicontohkan sebagai berikut :

If x_1 adalah A_{k1} OR x_2 adalah A_{k2} AND x_3 adalah A_{k3} *Then* y_1 adalah B_{k1}
ALSO y_2 adalah B_{k2}

secara sederhana ditulis

If A_{k1} OR A_{k2} AND A_{k3} *Then* B_{k1} ALSO B_{k2}

Untuk sistem MISO (*multi input single output*) dengan n masukan, aturan *fuzzy* ke- k ditunjukkan pada persamaan 2.12.

If A_{k1} AND ... AND A_{ki} AND ... AND A_{kn} *Then* B_k (2.12)

dengan : $i = 1, 2, \dots, n$

A_{ki} = Himpunan *fuzzy* variabel masukan x_i dalam aturan *fuzzy* ke- k

B_k = Himpunan *fuzzy* variabel keluaran y_j dalam aturan *fuzzy* ke- k

Metode-metode penalaran untuk memperoleh keputusan *fuzzy* ada dua, yaitu :

- Metode nilai point MAX-MIN
- Metode nilai point MAX-DOT

Diasumsikan terdapat dua basis kaidah atur untuk *fuzzy*, yaitu :

Kaidah atur 1 : *If* x adalah A_1 AND y adalah B_1 *Then* z adalah C_1

Kaidah atur 2 : *If* x adalah A_2 AND y adalah B_2 *Then* z adalah C_2

Jika kaidah atur ke- i dinyatakan dengan α_i maka dua kaidah atur di atas dapat dinyatakan kembali sebagai berikut :

$$\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0)$$

$$\alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0) \quad (2.13)$$

dengan x_0 dan y_0 menyatakan masukan *crisp*.

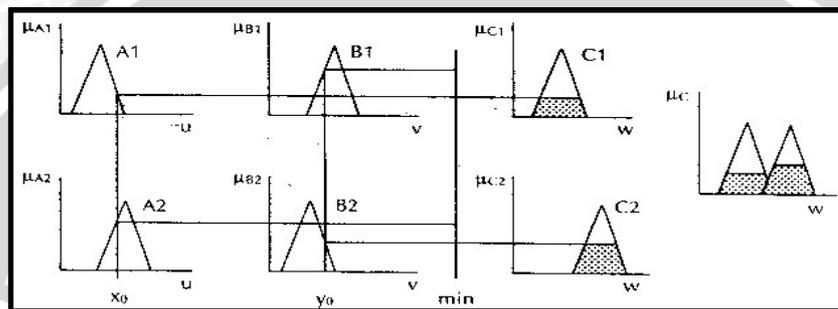
Metode-metode penalaran untuk memperoleh keputusan *fuzzy* ada dua yaitu:

a. Metode penalaran MAX-MIN

Pada metode penalaran MAX-MIN fungsi keanggotaan konsekuen C dinyatakan dengan :

$$\mu_c(w) = (\alpha_1 \wedge \mu_{c_1}(w)) \vee (\alpha_2 \wedge \mu_{c_2}(w)) \quad (2.14)$$

metode penalaran MAX-MIN diperlihatkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Metode penalaran *fuzzy* MAX-MIN

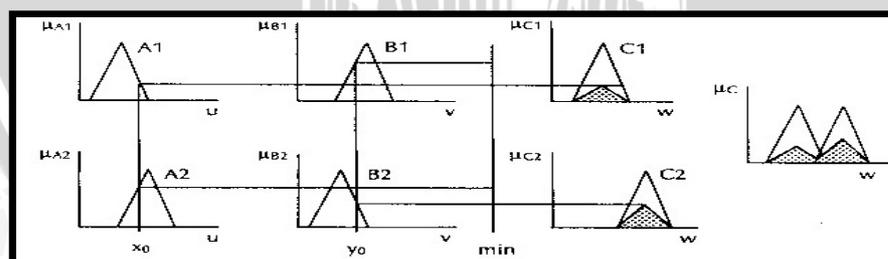
Sumber: Jun Yan, dkk., 1994 : 55

b. Metode penalaran MAX-DOT

Pada metode penalaran MAX-DOT fungsi keanggotaan konsekuen C dinyatakan pada persamaan 2.27.

$$\mu_c(w) = (\alpha_1 \cdot \mu_{c_1}(w)) \vee (\alpha_2 \cdot \mu_{c_2}(w)) \quad (2.15)$$

metode penalaran MAX-DOT diperlihatkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Metode penalaran *fuzzy* MAX-DOT

Sumber: Jun Yan, dkk., 1994 : 55

2.4.5.3. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses pemetaan himpunan *fuzzy* ke himpunan *crisp*. Proses ini merupakan kebalikan dari proses fuzzifikasi berfungsi untuk mengubah keluaran linguistik ke dalam keluaran *crisp*.

Strategi defuzzifikasi diekspresikan sebagai berikut:

$$y_0 = \text{defuzzifier}(y) \tag{2.16}$$

- dengan : y = aksi kontrol *fuzzy*
- y_0 = aksi kontrol *crisp*
- defuzzifier* = operator defuzzifikasi

Dua metode defuzzifikasi yang umum digunakan adalah :

1. *Maximum of Mean(MOM)*.

Metode MOM disebut pula sebagai defuzzifikasi tinggi, aksi kontrol mewakilkan aksi kontrol yang fungsi keanggotaan mencapai maksimum. Nilai *crisp* yang dihasilkan oleh operasi MOM adalah sebagai berikut:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i H_i W_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i H_i} \tag{2.17}$$

- dengan : n = jumlah aturan
- H_i = tinggi maksimum fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy*
- W_i = kontrol keluaran dengan nilai *crisp*
- α_i = *fire strength* aturan ke- i

2. *Center of Area (COA)*. Metode ini didefinisikan sebagai

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \tag{2.18}$$

- Dimana sU = Output
- w_i = Bobot nilai benar w_i
- u_i = Nilai linguistik pada fungsi keanggotaan output
- n = Banyaknya derajat keanggotaan

Sedangkan untuk fungsi keanggotaan keluaran fuzzy singleton persamaan defuzzifikasi dinyatakan sebagai berikut:

$$Z^* = \frac{\sum_i \mu_{ci}(z) \cdot z_i}{\sum_i \mu_{ci}(z)} \tag{2.19}$$

- Keterangan : Z^* = output *crisp*
- $\mu_{ci}(z)$ = output *fuzzy*
- Z_i = posisi singleton pada sumbu x



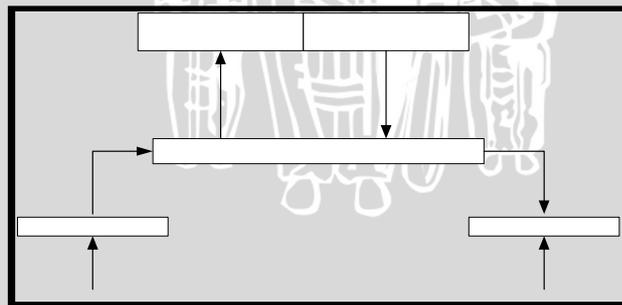
2.4.6 Struktur Kontroler Logika Fuzzy Dasar

Kontroler logika *fuzzy* menggunakan himpunan aturan kontrol dan mekanisme pengambil keputusan (*inference*) untuk menentukan aksi kontrol pada plant. Aturan kontrol merupakan ekspresi *fuzzy* yang merelasikan logika *fuzzy* masukan kontroler ke nilai keluaran kontroler. Mekanisme pengambil keputusan mengevaluasi kaidah atur kemudian menentukan aksi kontrol yang sesuai.

Elemen utama kontroler logika *fuzzy* terdiri dari unit fuzzifikasi, unit mekanisme pengambil keputusan, unit defuzzifikasi, dan unit basis pengetahuan. Basis pengetahuan terbagi dua yaitu basis data untuk menentukan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* dan basis aturan untuk memetakan nilai *fuzzy* dari masukan ke nilai keluaran. Variabel sistem yang digunakan ada dua yaitu variabel masukan (E dan CE) dan variabel keluaran (U). Struktur kontroler logika *fuzzy* dasar diperlihatkan dalam Gambar 2.10.

Jun Yan menentukan variabel masukan kontroler *fuzzy* akan diseleksi sebagai kesalahan (*error*, E) dan perubahan kesalahan (*change of error*, CE), keluaran merupakan variasi perintah yang disusun sebagai berikut:

- Jika keluaran sama dengan nilai yang diinginkan dan perubahan kesalahan sama dengan nol, maka keluaran yang sebelumnya dipertahankan.
- Jika keluaran tidak sesuai dengan yang diinginkan maka aksi kontrol tergantung pada nilai *error* dan perubahan *error*.



Gambar 2.10. Struktur kontroler logika *fuzzy* dasar
Sumber: Jun Yan, dkk., 1994 : 47

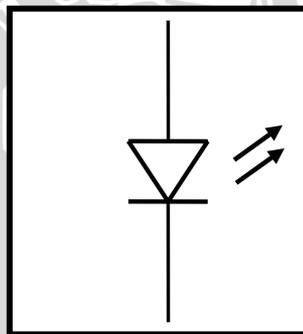
2.5. Sensor Suhu

Sensor suhu berfungsi sebagai pendeteksi suhu suatu media ataupun suhu dalam keadaan tertentu, dan kemudian besaran suhu tersebut diubah menjadi

2.7. Light Emitting Diode (LED)

LED digunakan untuk menghasilkan sinar yang berfungsi sebagai *transmitter*. Prinsip kerjanya adalah pada waktu LED dibias maju, elektron bebas melintasi persambungan (*junction*) dan jatuh ke dalam lubang (*hole*). Pada saat elektron ini jatuh dari tingkat energi yang lebih tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah, ia akan memancarkan energi. Pada dioda-dioda biasa, energi ini keluar dalam bentuk panas, tetapi pada LED energi ini akan memancar dalam bentuk cahaya. LED menggantikan lampu-lampu pijar dalam beberapa pemakaian karena tegangannya yang rendah, umurnya yang panjang, dan *switch* mati-hidupnya yang cepat.

Berbeda dari dioda-dioda biasa yang terbuat dari silikon, bahan buram yang menghalangi pengeluaran cahaya LED dibuat dari unsur-unsur seperti galium, arsen, serta fosfor yang dapat memancarkan cahaya merah, hijau, kuning, biru, jingga atau infra merah. Pancaran LED dalam daerah cahaya tampak amat berguna dalam instrumentasi, alat hitung, dan sebagainya. LED mempunyai penurunan tegangan lazim dari 1,5 V sampai dengan 2,5 V untuk arus diantara 10 dan 150 mA. Simbol dan bentuk fisik LED yang sering digunakan ditunjukkan dalam Gambar 2.13.



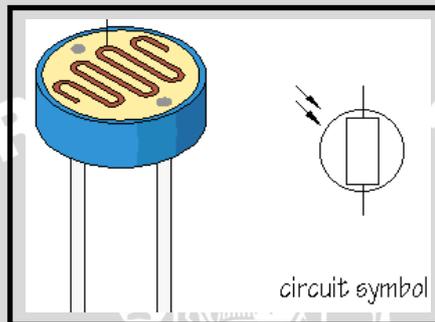
Gambar 2.13. Simbol Light Emitting Diode (LED)

Sumber: Malvino, 1992 : 48

LED merupakan PN *junction* yang memancarkan cahaya. Apabila pada anoda diberi tegangan positif dan katoda ke ground, maka LED menjadi aktif dan arus akan mengalir dari anoda ke katoda. Pada reaksi semikonduktor suatu dioda akan terjadi perpindahan elektron dari tipe N menuju tipe P dan berpindahnya *hole* dari tipe N. Proses rekombinasi antara elektron dan *hole*, mengakibatkan pelepasan energi berupa pancaran cahaya. Efisiensi pancaran cahaya akan berkurang, dengan berkurangnya arus *input* dan kenaikan suhu.

2.8. Sensor Kejernihan

Komponen utama dari sensor kejernihan adalah **LDR** (*light dependent resistor*) yang ditunjukkan pada gambar 2.14. Komponen ini berfungsi menerima cahaya dan mengubahnya menjadi nilai tahanan. Suatu lapisan air disinari dengan suatu sumber cahaya yang memiliki intensitas tertentu. Cahaya yang melewati lapisan tersebut sebagian diteruskan oleh cairan tersebut dan sebagian lagi dipantulkan oleh partikel kecil yang ada dalam cairan. Hasil pantulan inilah yang yang ditangkap oleh sensor LDR.



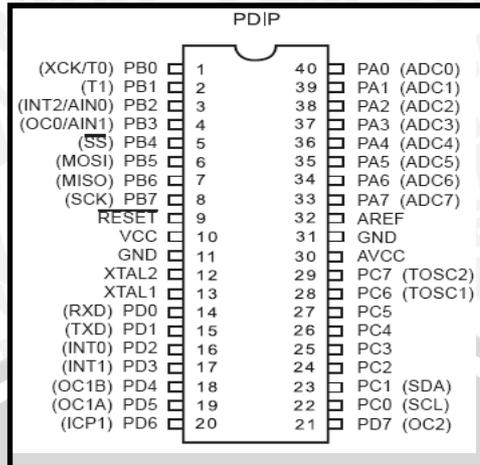
Gambar 2.14. Lambang LDR

2.9 Mikrokontroler ATmega8535

Mikrokontroler ATmega8535 merupakan mikrokontroler produksi Atmel Corp. Adapun spesifikasi mikrokontroler ATmega8535 ini adalah,

- 8 kB Flash- memori yang bisa diprogram dan dihapus,
- 512 byte RAM statis dan 512 byte EEPROM
- 32 jalur I/O dan 32 register,
- 10 bit ADC (Analog to Digital Converter),
- SPI serial port,
- Tiga buah *timer/counter* 16- bit,
- Sebuah *watchdog* timer dengan osilator internal,
- Kecepatan eksekusi antara 0 sampai 16 Hz,
- Tegangan operasi 4.5 volt sampai 5.5 volt.

Mikrokontroler ATmega8535 juga memiliki enam buah mode *sleep*, yaitu *Idle*, *ADC Noise Reduction*, *Power-save*, *Power-down*, *Standby* and *extended-standby*. Selain itu penggunaannya juga didukung oleh software atau program *C compiler*, *macro assembler*, simulator, dan lain-lain. Konfigurasi pin Mikrokontroler dan diagram bloknya dapat dilihat dalam gambar 2.15.



Gambar 2.15. Konfigurasi pin ATmega8535

Sumber: www.atmel.com

2.9.1 Deskripsi Pin

Adapun deskripsi pin mikrokontroler ATmega8535 adalah sebagai berikut:

1. VCC

Pin ini digunakan sebagai sambungan catu daya mikrokontroler sebesar +5V.

2. GND

Pin ini digunakan sebagai titik referensi (*pin ground*) untuk setiap pin pada mikrokontroler.

3. Port A

Port A merupakan port jalur ADC (Analog Digital Converter). Terdiri dari 8 bit port I/O *bi-directional*, jika tidak digunakan sebagai masukan ADC.

4. Port-B

Port-B merupakan port I/O *bi-directional* dengan *pull-up* internal. Sebagai input, pin-pin pada port B yang merupakan *pulled-low* eksternal akan merupakan sumber arus, jika resistor *pull-up* diaktifkan. Adapun fungsi alternatif dari port B dapat dilihat pada tabel 2.2.

5. Port-C

Port-C merupakan port I/O *bi-directional* dengan *pull-up* internal. Sebagai input, pin-pin pada port C yang merupakan *pulled-low* eksternal akan merupakan sumber arus, jika resistor *pull-up* diaktifkan.

6. Port D

Port-D merupakan port I/O bi-directional dengan *pull-up* internal. Sebagai input, pin-pin pada port D yang merupakan *pulled-low* eksternal akan merupakan sumber arus, jika resistor *pull-up* diaktifkan. Adapun fungsi lain dari port D dapat dilihat pada tabel 2.3.

7. $\overline{\text{RESET}}$

$\overline{\text{RESET}}$ Merupakan pin untuk memberikan sinyal reset pada mikrokontroler.

8. XTAL1 dan XTAL2

XTAL1 merupakan input untuk *amplifier osilator inverting* dan input untuk rangkaian clock internal. XTAL2 merupakan keluaran dari *amplifier osilator inverting*.

Tabel 2.2. Fungsi alternatif Pin Port-B

Pin Port	Fungsi Alternatif
PB.0	T0 (masukan timer/counter 0 - masukan eksternal counter) XCK (keluaran/masukan clock eksternal USART)
PB.1	T1 (masukan timer/counter 1 -masukan eksternal counter)
PB.2	AIN0 (Komparator Analog dengan input positif) INT2 (masukan eksternal interrupt 2)
PB.3	AIN1 (Komparator Analog dengan input negatif) OC0 (Keluaran Timer atau Counter 0)
PB.4	SS (Input pemilih port slave)
PB.5	MOSI (Master data output, slave data input) – pin untuk jalur SPI
PB.6	MISO (Master data input, slave data output) – pin untuk jalur SPI
PB.7	SCK (Master clock output, slave clock input)

Sumber: www.atmel.com

Tabel 2.3. Fungsi alternatif pin port D.

Pin Port	Fungsi Alternatif
PD.0	RXD (port input serial)
PD.1	TXD (port output serial)
PD.2	INT0 (interrupt eksternal 0)
PD.3	INT1 (interrupt eksternal 1)
PD.4	OC1B (Timer/Counter1 Output Compare B Match Output)
PD.5	OC1A (Timer/Counter1 Output Compare A Match Output)
PD.6	ICP1
PD.7	OC2

Sumber:datasheet Atmega8535

9. AVCC

AVCC merupakan sebuah pin yang berfungsi sebagai pensuplai tegangan untuk port A dan ADC. Pin ini akan selalu berhubungan dengan Vcc, meskipun ADC sedang tidak digunakan. Jika ADC digunakan, maka hubungan ke ADC akan melalui sebuah *low pass-filter*.

10. AREF

AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC

2.9.2 MEMORI

Pada mikrokontroler ATmega8535 ada dua macam memori utama, yaitu memori data dan memori program. Memori data digunakan sebagai penyimpanan data tetap yang ada pada mikrokontroler. Memori program digunakan untuk menyimpan program-program yang kita isikan pada mikrokontroler.

2.9.2.a Memori Data

Pada mikrokontroler ATmega8535, memori data mempunyai kapasitas 608 alamat memori. Sembilan puluh enam diantaranya ditempati oleh register file dan I/O *memory* dan lima ratus dua belas alamat ditempati oleh data internal SRAM.

2.9.2.b Memori Program

Sebagaimana disebutkan dalam fitur-fitur yang dimiliki oleh mikrokontroler ATmega8535, bahwa terdapat 8 kByte memori *programmable*

flash. Memori ini dibagi dalam dua bagian, yaitu *boot program* dan *application program*.

2.9.3 Instruksi - instruksi

2.9.3.1 Instruksi Aritmatika dan Logika

ADD Rd,Rr : menjumlahkan isi register Rd dan Rr dan hasilnya disimpan di register Rd

SUB Rd,Rr : mengurangkan isi register Rd dengan Rr dan hasilnya disimpan di register Rd.

AND Rd,Rr : meng*and*kan isi register Rd dengan Rr dan hasilnya disimpan di register Rd.

ANDI Rd,K : meng*and*kan isi register Rd dengan konstanta dan hasilnya disimpan di register Rd.

INC Rd : menambah satu isi register Rd dan hasilnya disimpan di register Rd.

DEC Rd : mengurangi satu isi register Rd dan hasilnya disimpan di register Rd.

2.9.3.2 Instruksi percabangan

RJMP k : melompat ke label k

RCALL k : memanggil subroutine k

CP Rd,Rr : membandingkan isi register Rd dan Rr

CPI Rd,k : membandingkan isi register Rd dengan konstanta

SBIC P,b : perintah setelahnya akan dilompati jika bit b dalam register P berlogika *low*.

SBIS P,b : perintah setelahnya akan dilompati jika bit b dalam register P berlogika *high*.

BREQ k : melompat ke label k jika hasil perbandingan sama.

BRNE k : melompat ke label k jika hasil perbandingan tidak sama.

2.9.3.3 Instruksi Pemindahan data

MOV Rd, Rr : memindah isi dari register Rr ke register Rd.

LDI Rd, k : mengisi register Rd dengan konstanta k.

IN Rd,P : memasukkan data di port P ke register Rd.

OUT P,Rr : mengeluarkan data di register Rd ke port P.

2.9.4 ADC pada Mikrokontroler ATmega8535

Fitur ADC yang terdapat dalam mikrokontroler ATmega8535, adalah:

1. Hasil Konversi berupa data digital 10 bit
2. Waktu konversi antara 65 sampai 260 μ s.
3. Resolusi maksimum bisa mencapai 15 kSPS.
4. Masukan ADC melalui port A.
5. Range tegangan input antara 0 sampai V_{cc} .
6. Dapat menggunakan tegangan referensi eksternal, yaitu sebesar 2.56 V.
7. Mode konversi dapat berupa *free running* atau *single*.

Ada beberapa macam register yang terdapat pada ADC internal ATmega8535, antara lain ADMUX, ADC Data Register-ADCH dan ADCL, serta ADCSRA.

ADMUX

Register ADMUX terdiri dari delapan buah bit register. Register-register tersebut dapat dilihat dalam tabel 2.4.

Tabel 2.4. Bit pada Register ADMUX

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	ADMUX
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	

Sumber: www.atmel.com

Keterangan:

1. Bit 7 dan bit 6: Reference Selection Bit

Kedua bit ini berfungsi sebagai saluran untuk memilih tegangan referensi yang akan digunakan ADC. Adapun kombinasi kedua bit ini dapat dilihat dalam tabel 2.5.

Tabel 2.5. Kombinasi logika REFS

REFS1	REFS0	Vref yang digunakan
0	0	AREF
0	1	AVCC
1	0	Reserved
1	1	Vref internal sebesar 2.56V

Sumber: datasheet ATmega8535

2. Bit 5: ADLAR (*ADC Left Adjust Result*)

Bit ADLAR berfungsi sebagai pemilih hasil konversi yang akan dipakai. Dalam ADC hasil konversi berupa bilangan biner 8 bit. Bit-bit tersebut diletakkan pada register ADCL dan ADCH. Apabila kita mengeset bit ADLAR, maka hasil konversi akan diletakkan pada 8 bit ADCH dan 2 bit di ADCL. Apabila bit ADLAR kita beri logika nol, maka hasil konversi akan diletakkan pada 8 bit ADCL dan 2 bit di ADCH dengan urutan seperti pada tabel 2.6. Apabila ADLAR diberi logika 1, maka hasil konversi akan diletakkan pada ADCH dan ADCL dengan urutan seperti pada tabel 2.7.

Tabel 2.6. Susunan hasil konversi ADC jika ADLAR = 0

15	14	13	12	11	10	9	8		
-	-	-	-	-	-	ADC9	ADC8	ADCH	
ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2	ADC1	ADC0	ADCL	
7	6	5	4	3	2	1	0		

Sumber: datasheet ATmega8535

Tabel 2.7. Susunan hasil konversi ADC jika ADLAR = 1

15	14	13	12	11	10	9	8		
ADC9	ADC8	ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2	ADCH	
ADC1	ADC0	-	-	-	-	-	-	ADCL	
7	6	5	4	3	2	1	0		

Sumber: datasheet ATmega8535

3. Bit 4 sampai bit 0: MUX4.....MUX0

Bit MUX ini berfungsi menentukan pin port A yang akan dipakai sebagai masukan ADC. Sebagian kombinasi bit diberikan pada tabel 2.8.

Tabel 2.8. Kombinasi logika MUX

MUX4...0	PIN yang digunakan
00000	ADC0
00001	ADC1
00010	ADC2
00011	ADC3
00100	ADC4
00101	ADC5
00110	ADC6
00111	ADC7

Sumber: datasheet ATmega8535

a. ADC Data Register-ADCH dan ADCL

ADC Data register ini merupakan tempat bit hasil konversi sebagaimana disebutkan dalam pembahasan ADLAR.

b. ADCSRA (ADC Control and Status Register A)

Register ADCSRA ini memiliki delapan buah bit seperti tampak pada tabel 2.9.

Tabel 2.9. Bit pada register ADCSRA

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSRA
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Sumber: datasheet ATmega8535

Keterangan:

- ADEN (ADC Enable)**
ADEN berfungsi mengaktifkan port A sebagai ADC. Untuk mengaktifkannya maka ADEN diberi logika satu.
- ADSC (ADC Start Conversion)**
ADSC berfungsi sebagai penanda dimulai konversi. Apabila ADSC diberi logika satu, maka konversi ADC akan dimulai.
- ADATE (ADC Auto Trigger Enable)**
ADATE adalah bit yang apabila diaktifkan, maka ADC akan melakukan konversi terus menerus, tanpa harus mengeset ADSC berulang-ulang.
- ADIF (ADC Interrupt Flag)**
ADIF berfungsi sebagai penanda bahwa konversi telah selesai.
- ADIE (ADC Interrupt Enable)**
Untuk menjalankan konversi ADC pada program yang sedang berjalan, maka gunakan ADIE.
- ADPS2..0 (ADC Prescaler Select Bits)**
ADPS berfungsi sebagai factor pembagi antara frekuensi XTAL dan input clock ADC. Hal ini nantinya akan berpengaruh pada besarnya periode sampling. Nilai-nilai pembagi dapat dilihat dalam tabel 2.10.

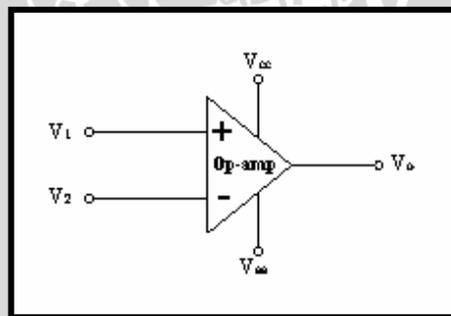
Tabel 2.10. Faktor Pembagi berdasarkan kombinasi logika ADPS2...0

ADPS2	ADPS1	ADPS0	Faktor Pembagi
0	0	0	2
0	0	1	2
0	1	0	4
0	1	1	8
1	0	0	16
1	0	1	32
1	1	0	64
1	1	1	128

Sumber: datasheet ATmega8535

2.10 Operational Amplifier (Op-Amp)

Penguat operasional (Op-Amp) merupakan suatu komponen aktif yang terdiri dari rangkaian penguat gandengan langsung dengan penguatan tinggi yang dalam pengoperasiannya dilengkapi dengan umpan balik untuk memberikan tanggapan secara menyeluruh. Skematis dari op-amp diperlihatkan dalam Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Penguat operasional (Op-Amp).

Sumber: Robert F. Coughlin, 1992 : 13

Penguat ini mempunyai lima buah terminal dasar, diantaranya dua terminal untuk mensuplai daya, dua terminal untuk isyarat masukan, dan satu terminal keluaran. Kedua terminal isyarat masukan masing-masing terminal masukan pembalik (*inverting input* (-)), dan terminal masukan tak membalik (*non-inverting input* (+)).

Jika pada kutub masukan tak membalik V_1 diberi tegangan masukan, maka tegangan keluarannya akan sefasa dengan masukannya. Sebaliknya jika pada

kutub masukan membalik V_2 diberi tegangan masukan, maka tegangan keluarannya akan berlawanan fasa dengan masukannya.

Suatu penguat operasional (Op-Amp) yang ideal mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

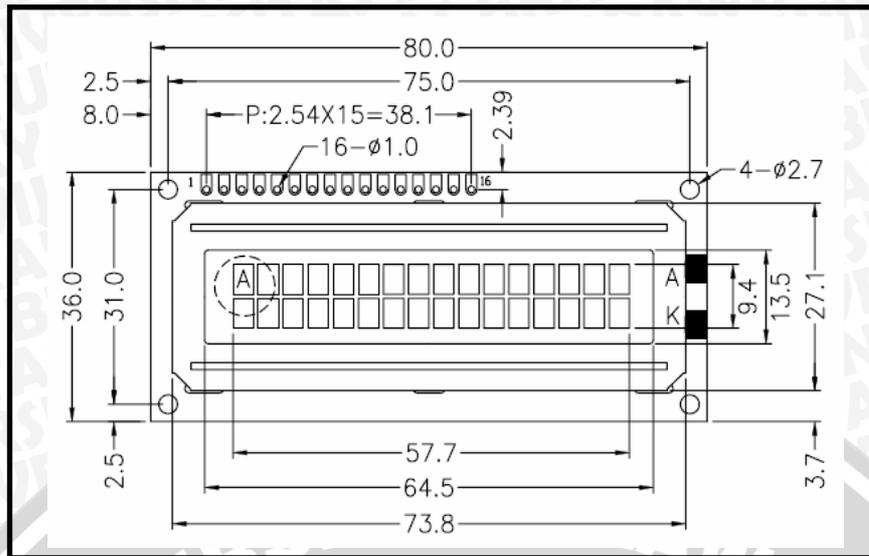
- a. Penguatnya terkopel langsung (*direct coupled*).
- b. Impedansi masukan (Z_i) = ∞ (tak berhingga).
- c. Impedansi keluaran (Z_o) = 0 (nol).
- d. Penguatan (A) = ∞ (tak berhingga).
- e. Tegangan keluaran ada 0 (nol), kalau tegangan masukan 0 (nol).
- f. Tegangan keluaran dapat menganyun ke arah positif maupun ke arah negatif.
- g. Lebar jalurnya (*band width*) tak berhingga lebarnya.

2.11 LCD (*Liquid Crystal Display*)

Untuk menampilkan menu dari suatu peralatan elektronika seperti catu daya *switching* misalnya tentang berapa tegangan keluaran yang diinginkan, maka diperlukan suatu tampilan. Yang lebih sering digunakan adalah LCD.

Liquid crystal display (LCD) merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk menampilkan suatu karakter baik itu angka, huruf atau karakter tertentu, sehingga tampilan tersebut dapat dilihat secara *visual*. Pemakaian LCD sebagai indikator tampilan banyak digunakan disebabkan daya yang dibutuhkan LCD relatif kecil (orde mikrowatt), di samping itu dapat juga menampilkan angka, huruf atau simbol dan karakter tertentu. Meskipun pada komponen ini dibatasi oleh sumber cahaya eksternal/internal, suhu, dan *lifetime*.

LCD terdiri atas tumpukan tipis atau sel dari dua lembar kaca dengan pinggiran tertutup rapat. Antara dua lembar kaca tersebut diberi bahan kristal cair (*liquid crystal*) yang tembus cahaya. Permukaan luar masing-masing keping kaca mempunyai lapisan tembus cahaya seperti oksida timah (*tin oxide*) atau oksida indium (*indium oxide*). Sel mempunyai ketebalan 1×10^{-5} meter dan diisi dengan kristal cair.



Gambar 2.17. LCD M162A

Sumber: www.Datasheet4U.com

Konfigurasi terminal I/O pada sebuah LCD akan tampak seperti pada Tabel 2.11 berikut.

Tabel 2.11. Tabel terminal I/O pada LCD

Pin	Symbol	Level	Fungsi	
1	Vss	-	Power Supply	0V
2	Vcc	-		5V ± 10%
3	Vee	-		Kontras LCD
4	RS	H/L	H = data input L = instruction input	
5	R/W	H/L	H = read L = write	
6	E	H, H to L	Enable signal	
7	DB0	H/L	Data bus	
8	DB1	H/L		
9	DB2	H/L		
10	DB3	H/L		
11	DB4	H/L		
12	DB5	H/L		
13	DB6	H/L		
14	DB7	H/L		
15	V+BL	-	Back light	4 – 4,2V
16	V-BL	-		0V (GND)

Sumber : TM162ABC LCD Module User Manual, 2005: 4

Dari Tabel 2.11 terlihat bahwa LCD TM162ABC mempunyai 8 bit data (*bidirectional bus*) dan 3 buah sinyal kontrol yaitu RS, R/W dan E. Ketiga sinyal kontrol tersebut mempunyai fungsi sebagai berikut:

1. RS digunakan untuk memilih register yaitu register IR (*Instruction Register*) atau DR (*Data Register*).
2. R/W digunakan untuk memilih fungsi membaca atau menulis pada kedua register IR dan DR.
3. E berguna untuk memberikan sinyal pada bahwa data akan ditulis atau dibaca ke register.

Mode pengiriman data antara mikrokontroler dengan LCD dapat dilakukan dengan dua macam mode, yaitu :

1. Mode *interface* data 4 bit. Hanya 4 buah jalur data *bus* (DB4 sampai DB7) yang digunakan untuk transfer data. Jalur *bus* data D0 sampai D3 diabaikan. Pada mode ini 4 bit data MSB dikirim terlebih dahulu, kemudian 4 bit LSB. *Busy flag* harus diperiksa setelah 4 bit data ditransfer dua kali.
2. Mode transfer data 8 bit, semua jalur *bus* data (D0 sampai D7) digunakan dalam proses pengiriman.

BAB III

METODE PENELITIAN

Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat secara umum adalah sebagai berikut:

- Studi Literatur.
- Perancangan dan Perealisasian Alat.
- Pengujian Alat dan Analisis.
- Pengambilan Kesimpulan dan Penyusunan Buku Laporan Tugas Akhir.

3.1 Studi Literatur

Literatur yang digunakan untuk menunjang perealisasiian alat pengontrol pH, suhu dan kejernihan air pada budidaya Lobster Air Tawar (*Freshwater Crayfish*) dengan metode logika *fuzzy* , berhubungan dengan hal-hal sebagai berikut:

- a. Sistem Kontrol logika *fuzzy*.
- b. Sistem mikrokontroler ATMEGA8535.
- c. Budidaya lobster air tawar.
- d. Rangkaian sensor pH, suhu dan kejernihan beserta rangkaian pengkondisi sinyal.

3.2 Perancangan dan Perealisasian Alat

Perancangan alat ini disesuaikan dengan fungsi dari komponen-komponen yang akan digunakan sehingga terbentuk rangkaian elektronik yang siap direalisasikan. Untuk perancangan alat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Perancangan sensor

Untuk perancangan sensor dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- ◇ Dipilih LM35 sebagai sensor suhu.
- ◇ Dipilih pH meter sebagai sensor pH.

- ◇ Dipilih LDR sebagai sensor kejernihan.
- ◇ Mencoba keluaran respon dari LM35, pH, LDR.
- 2. Perancangan rangkaian pengkondisi sinyal
Untuk perancangan rangkaian pengkondisi sinyal dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:
 - ◇ Membuat persamaan linier antara keluaran sensor dan tegangan masukan ADC agar didapat rangkaian pengkondisi sinyal yang digunakan.
 - ◇ Menentukan jenis penguatan operasi (Op-Amp) yang akan digunakan.
- 3. Perancangan ADC (Analog to Digital Converter)
ADC yang digunakan adalah ADC internal dari ATMEGA8535.
- 4. Perancangan sistem mikrokontroler ATMEGA8535.
Untuk perancangan sistem mikrokontroler ATMEGA8535 dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:
 - ◇ Dibuat diagram blok sistem.
 - ◇ Menentukan penyemat-penyemat (kaki) dari mikrokontroler ATMEGA8535 yang digunakan .
- 5. Perancangan kontroler *fuzzy* pada mikrokontroler ATMEGA8535.
Untuk perangkat lunak mikrokontroler ATMEGA8535 digunakan bahasa *assembler*. Program untuk proses fuzzifikasi, evaluasi rule dan defuzzifikasi (metode defuzzifikasi menggunakan COG) dibuat dalam bentuk bahasa assembler dengan bantuan software PetraFuz.
- 6. Perancangan tampilan (*display*) menggunakan LCD.
- 7. Pembuatan *Lay Out* PCB dan pemasangan komponen yang digunakan.

3.3. Pengujian Alat dan Analisis

Hal-hal yang dilakukan selama pengujian adalah sebagai berikut:

- Pengujian Rangkaian Sensor
 - Pengujian Rangkaian Sensor Suhu
Pada pengujian rangkaian sensor suhu yang menggunakan LM35 bertujuan untuk mengetahui ketepatan sensor dalam merespon perubahan suhu yaitu dengan mengukur tegangan keluarannya. Jika tanggapan sensor suhu baik maka setiap perubahan suhu 1°C keluaran sensor menjadi 10mV.

- Pengujian Rangkaian Sensor pH.

Pada pengujian rangkaian sensor pH yang menggunakan pH meter bertujuan untuk mengetahui ketepatan sensor dalam merespon perubahan pH yaitu dengan mengukur besarnya tegangan keluaran dari elektroda.

- Pengujian Rangkaian sensor kejernihan.

Pada pengujian rangkaian ini bertujuan untuk mengetahui intensitas cahaya yaitu dengan mengukur besar kecilnya tegangan keluarannya.

- Pengujian *Analog to Digital Converter* (ADC)

Pengujian rangkaian ADC (*Analog to Digital Converter*) ini adalah bertujuan untuk mengetahui bit keluaran dari ADC untuk tegangan masukan yang berbeda.

- Pengujian mikrokontroler

Kemampuan tampilan (*display*) dalam menampilkan hasil pengontrolan pH, suhu dan kejernihan.

3.4. Pengambilan Kesimpulan dan Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Kesimpulan didapat berdasarkan dari hasil perealisasiian dan pengujian alat sesuai dengan tujuan dan rumusan masalah. Saran diberikan setelah melihat adanya kekurangan dalam sistem yang telah dibuat, dengan harapan agar alat ini dapat dikembangkan lebih baik.

BAB IV

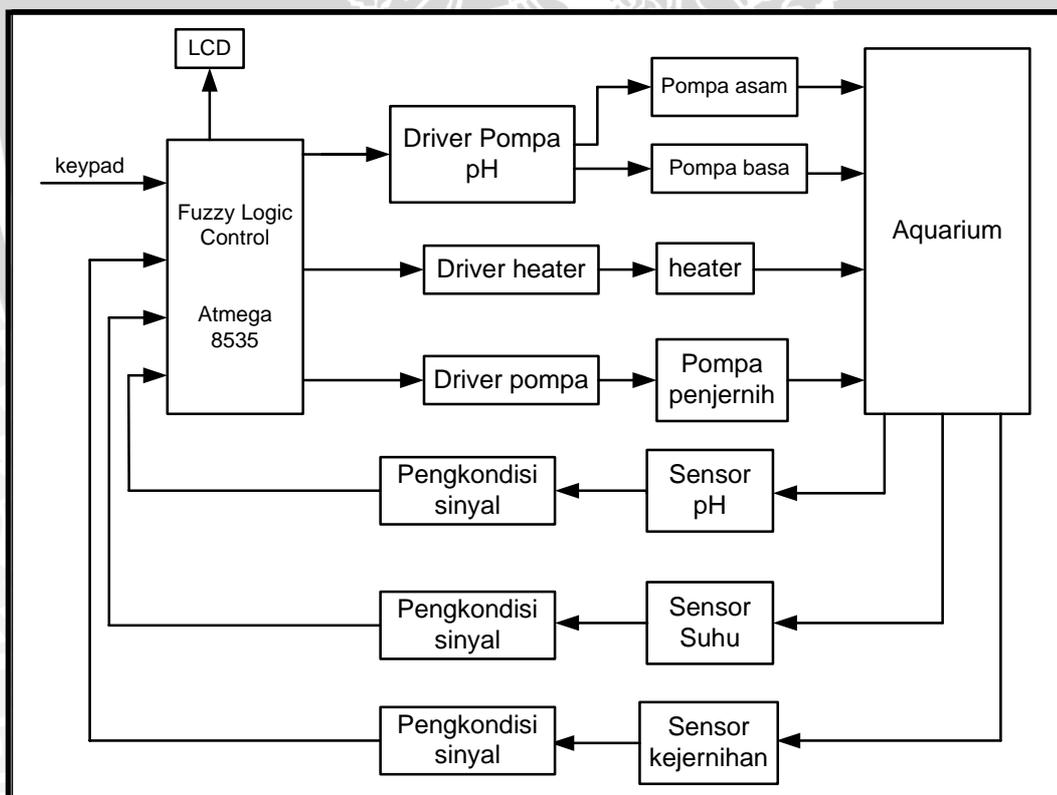
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

4.1 Perancangan Sistem

Pada bab ini menjelaskan mengenai perancangan perangkat keras dari Alat Pengendalian pH, Suhu Dan Kejernihan Air Pada Budidaya Lobster Air Tawar (*Freshwater Crayfish*), yang meliputi diagram blok rangkaian, cara kerja rangkaian, dan komponen-komponen pendukung yang digunakan. Selain perancangan perangkat keras akan dijelaskan juga mengenai perancangan perangkat lunak kontrol logika fuzzy.

4.1.1 Blok Diagram Alat

Untuk mempermudah pengerjaan alat Pengendalian pH, Suhu Dan Kejernihan Air Pada Budidaya Lobster Air Tawar (*Freshwater Crayfish*) menggunakan Logika Fuzzy maka perlu adanya blok diagram yang menjelaskan sistem kerja alat. Blok diagram alat ditunjukkan dalam gambar 4.1



Gambar 4.1. Blok Diagram Sistem

Sumber: Perancangan

4.1.2 Prinsip Kerja Alat

Nilai set point dimasukkan melalui keypad. Sensor pH, sensor suhu dan sensor kejernihan diletakkan pada aquarium yang berisi air tawar sebagai media hidup Lobster Air Tawar. Sensor pH berfungsi sebagai alat pendeteksi pH air yang nilainya dikonversi menjadi tegangan. Sensor suhu berfungsi sebagai pendeteksi suhu air dalam skala Derajat Celcius. Sensor kejernihan berfungsi mendeteksi tingkat kejernihan air. Semua sensor dihubungkan dengan rangkaian pengkondisi sinyal. Keluaran dari rangkain pengkondisi sinyal dihungkan ke ADC. ADC yang digunakan adalah ADC internal dari mikrokontroler Atmega8535. Oleh ADC sinyal analog hasil dari output rangkaian sensor setelah diberi penguatan, dikonversi menjadi sinyal digital. Pada prinsipnya ADC adalah mengukur sinyal analog dan mengubahnya menjadi bilangan biner. Sinyal digital output dari ADC ini akan diolah oleh mikrokontroler.

Mikrokontroler yang digunakan dalam perancangan ini adalah mikrokontroler Atmega8535. Semua proses pengolahan data dan pengambilan keputusan dilakukan oleh mikrokontroler Atmega8535 dan kemudian akan memberikan perintah pada masing-masing driver untuk menghidupkan pompa asam, pompa basa, heater dan pompa pembersih yang sesuai dengan hasil pengolahan logika fuzzy pada mikrokontroler. Hasil pengaturan akan ditampilkan pada display LCD.

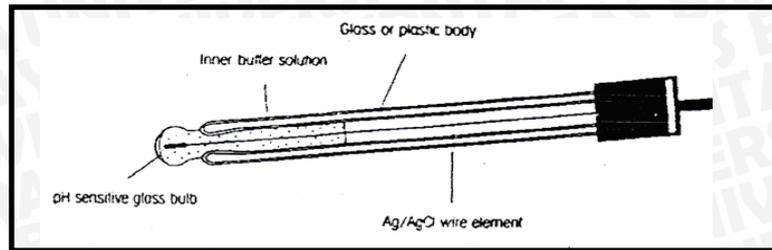
4.2 Perancangan Perangkat Keras

Berdasar pada blok diagram perancangan alat yang telah disusun, perancangan perangkat keras meliputi perancangan modul pengukur pH, modul pengukur suhu, modul pengukur kejernihan, modul mikrokontroler dan rangkaian relay.

4.2.1 Perancangan Modul Pengukur pH

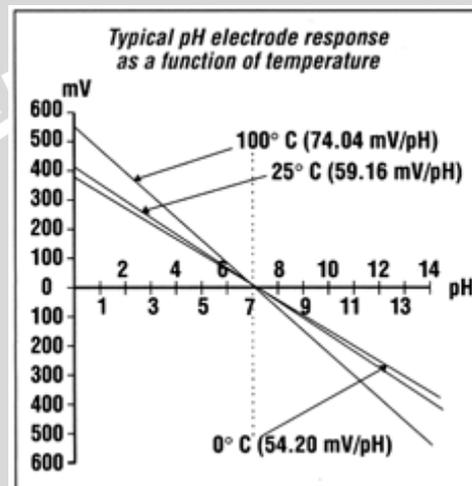
Modul pengukur pH berfungsi untuk mengetahui dan mengukur besarnya pH pada air tawar. Modul pengukur pH terdiri atas dua bagian yaitu: Elektroda pH dan pengkondisi sinyal analog. Elektroda pH yang digunakan dalam alat ini adalah elektroda pH produksi *Eutech Instrument* model EC-FG74519 01B yang

mampu mengukur perubahan pH dari 0 sampai 14. Sensor pH dapat ditunjukkan dalam gambar 4.2.



Gambar 4.2 Model EC-FG74519 01B

Sumber : www.eutech.com



Gambar 4.3 Typical *pH electrode response as a function of temperature*

Sumber : www.eutech.com

Dari *pH electrode response as a function of temperature* yang ditunjukkan pada gambar 4.3 dapat diketahui persamaan tegangan sensor pH pada suhu 25°C yaitu persamaan garis yang melalui titik (7, 0) dan (0, 414) sebagai berikut:

$$\frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} = \frac{X - X_1}{X_2 - X_1} \quad (4.1)$$

$$\frac{Y - 0}{414 - 0} = \frac{X - 7}{0 - 7}$$

$$Y = -59,143 X + 414$$

Dengan Y = Tegangan electrode dan X = pH

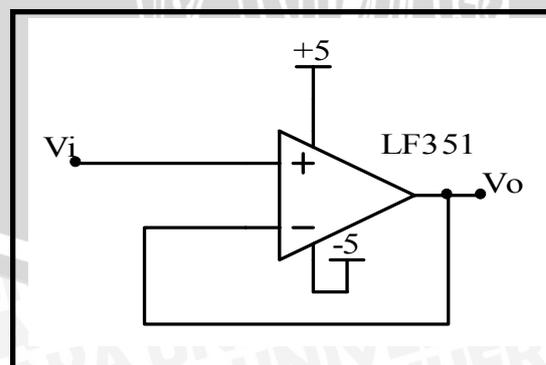
Dari persamaan yang telah diperoleh maka besarnya tegangan pada sensor pH dapat diketahui yang ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Tegangan sensor pH pada suhu 25°C

pH	Tegangan (mV)	pH	Tegangan (mV)
6	59.142	7.1	-5.9153
6.1	53.2277	7.2	-11.8296
6.2	47.3134	7.3	-17.7439
6.3	41.3991	7.4	-23.6582
6.4	35.4848	7.5	-29.5725
6.5	29.5705	7.6	-35.4868
6.6	23.6562	7.7	-41.4011
6.7	17.7419	7.8	-47.3154
6.8	11.8276	7.9	-53.2297
6.9	5.9133	8	-59.144
7	-0.001		

Rangkaian pengkondisi sinyal analog yang digunakan pada modul pengukur pH terdiri dari beberapa operasional amplifier (op-amp). Operasional amplifier digunakan untuk rangkaian pengikut tegangan dan penguat tak membalik. Operasional amplifier yang digunakan pada perancangan ini adalah IC LF351 produksi *Fairchild semiconductor corporation*.

Supaya nilai tegangan dari elektrode pH tidak terpengaruh oleh pembebanan dari penguat berikutnya maka keluaran elektrode pH dihubungkan ke rangkaian pengikut tegangan atau penguat penyangga. Penguatan yang terjadi adalah satu sehingga didapatkan $V_{out} = V_{elektrode}$. Rangkaian pengikut tegangan dapat ditunjukkan pada gambar 4.4

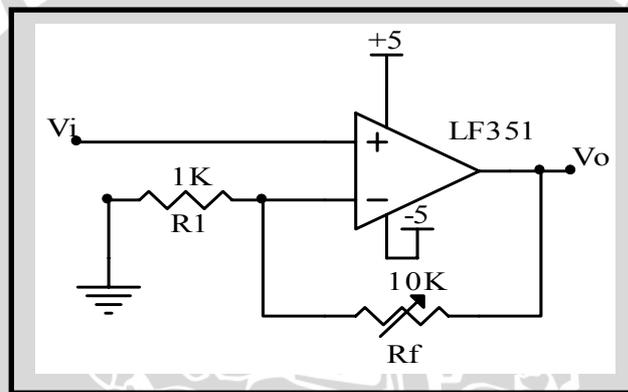


Gambar 4.4. Pengikut tegangan
Sumber: Perancangan

Masukan V_1 dihubungkan langsung ke masukan (+). Karena tegangan antara positif (+) dan negatif (-) dari op amp bisa dianggap 0, maka $V_0 = V_1$. Tegangan keluarannya mengikuti tegangan masukan atau sumbernya. Gain tegangannya adalah 1 (satu satuan) dengan rumus

$$\frac{V_0}{V_i} = 1 \quad (4.1)$$

Tegangan keluaran (V_{out}) rangkaian penyangga kemudian dihubungkan dengan rangkaian penguat tak membalik. Penguat tak membalik adalah salah satu rangkaian op amp yang paling luas penggunaannya. Rangkaian ini merupakan sebuah penguat yang gain untaiannya tertutupnya dari V_i ke V_0 ditentukan oleh nilai R_f dan R_i seperti gambar 4.5.



Gambar 4.5. Penguat tak membalik
Sumber: Perancangan

Karena pada perancangan alat diinginkan gain sebesar 10 maka

$$V_0 = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) V_i \quad (4.2)$$

$$10 = \left(1 + \frac{R_f}{1K}\right)$$

$$R_f = 9K\Omega$$

4.2.2 Perancangan Modul Pengukur Suhu

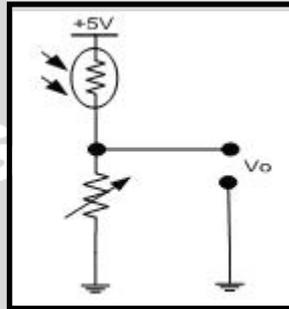
Modul pengukur suhu berfungsi untuk mengetahui dan mengukur besarnya suhu pada air tawar. Modul pengukur suhu terdiri atas dua bagian yaitu sensor suhu dan pengkondisi sinyal analog.

Sensor suhu akan menghasilkan besaran tegangan yang besarnya sebanding dengan besarnya suhu yang dikenakan pada permukaan sensor. Pada

4.2.3 Perancangan Modul Pengukur Kejernihan

Modul pengukur kejernihan berfungsi untuk mengetahui dan mengukur besarnya kejernihan air tawar. Modul pengukur kejernihan terdiri atas dua bagian yaitu : sensor kejernihan dan pengkondisi sinyal analog.

Dalam perancangan, sensor kejernihan yang digunakan adalah LDR (*Light Dependent Resistor*). LDR dirangkai dengan sebuah R variabel sebagai pembagi tegangan yang ditunjukkan pada gambar 4.7.

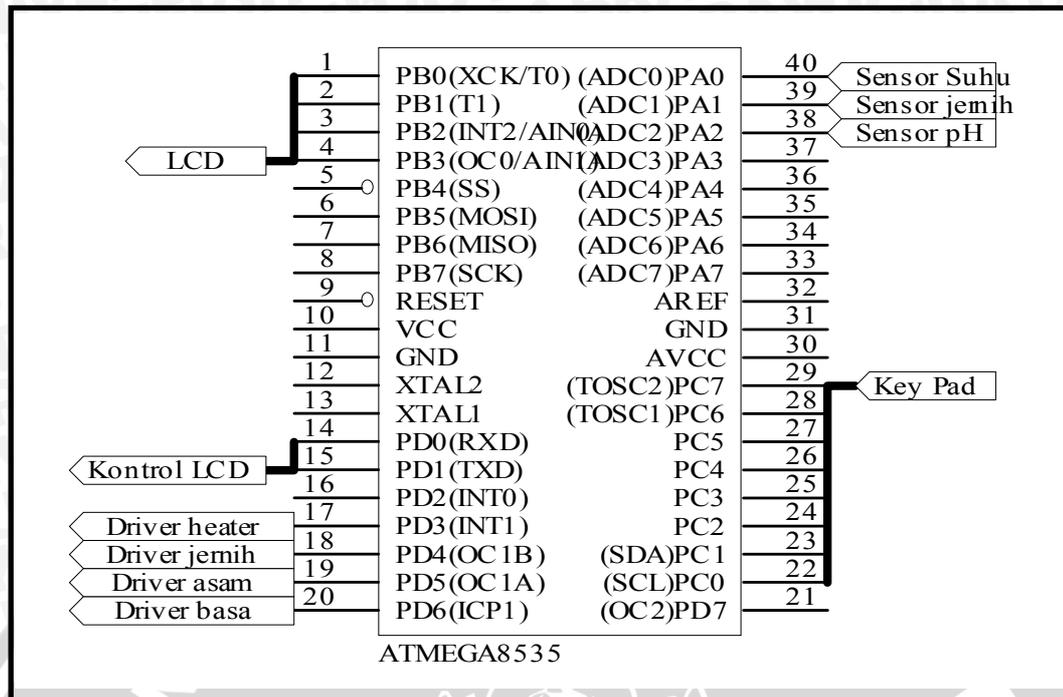


Gambar 4.7. Rangkaian sensor kejernihan
Sumber: perancangan

Keluaran tegangan dari sensor kejernihan dihubungkan dengan rangkaian pengkondisi sinyal yang terdiri dari rangkaian pengikut tegangan. Keluaran dari rangkaian pengikut tegangan dihubungkan dengan ADC internal ATmega8535.

4.2.4 Mikrokontroler

Mikrokontroler yang digunakan pada rangkaian ini adalah mikrokontroler tipe ATmega8535 produksi dari Atmel. Komponen ini merupakan sebuah chip tunggal sebagai pusat pengolah data dan pengontrolan alat. Pemilihan mikrokontroler jenis ini karena mudah diperoleh di pasaran. Sebagai otak dari pengolahan data dan pengontrolan alat, pin-pin ATmega8535 dihubungkan pada rangkaian pendukung membentuk suatu sistem seperti dalam Gambar 4.9



Gambar 4.8. Rangkaian mikrokontroler Atmega8535

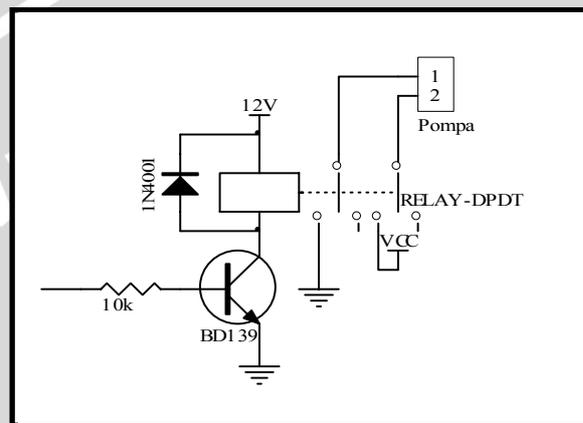
Sumber: Perancangan

Pin-pin mikrokontroler yang digunakan yaitu:

1. Port A
 - PA0 dihubungkan dengan sensor suhu, PA1 dihubungkan dengan sensor pH, PA2 dihubungkan dengan sensor kejernihan.
2. Port B
 - PB0 s/d PB3 dihubungkan dengan LCD.
3. Port C
 - PC0 s/d PC7 dihubungkan dengan key pad.
4. Port D
 - PD0 dihubungkan dengan pin RS pada LCD.
 - PD2 dihubungkan dengan pin E pada LCD.
 - PD3 digunakan sebagai pengirim perintah ke driver pompa heater.
 - PD4 digunakan sebagai pengirim perintah ke driver pompa pembersih.
 - PD5 digunakan sebagai pengirim perintah ke driver pompa asam.
 - PD6 digunakan sebagai pengirim perintah ke driver basa.

4.2.5 Rangkaian Relay

Rangkaian ini berfungsi sebagai rangkaian pemutus dan penghubung aktuatur. Pada saat mikrokontroler berlogika *high* maka akan menggerakkan rangkaian relay sebagai penghubung dan sebaliknya saat berlogika *low* maka akan menggerakkan rangkaian relay sebagai pemutus. Rangkaian pemutus dan penghubung terdiri dari transistor, relay dan resistor. Rangkaian relay ditunjukkan dalam gambar 4.10.



Gambar 4.9. Rangkaian Relay
Sumber: Perancang

Transistor yang digunakan yaitu tipe BD139, berdasarkan data Sheet transistor BD139 mempunyai arus Colector (I_c) max sebesar 1,5 A.

Data transistor BD139 yang diperoleh dari *datasheet* adalah:

- Besar pengukuran tahanan dalam *relay* ($R_{relay} = R_c$) = 400Ω .
- V_{ce} saturasi = 0,5 volt.
- V_{cc} = 12 volt.
- h_{fe} minimum = 63.
- V_{be} = 1 volt.

Dengan resistansi *relay* sebesar 400Ω , tegangan catu sebesar 12 V, dan V_{ce} saturasi sebesar 0,5 V maka dengan menggunakan Persamaan besar arus I_{relay} adalah :

$$I_{relay} = \frac{V_{cc} - V_{ce}}{R_{relay}}$$

$$I_{relay} = \frac{12v - 0,5v}{400\Omega} = 28,75 \text{ mA}$$

Dengan hfe minimum 63 maka dalam perancangan dapat digunakan hfe 80 agar transistor berkerja optimal dan dengan menggunakan Persamaan maka besar arus basis (I_b):

$$I_b = \frac{I_c}{hfe}$$

$$I_b = \frac{28,75mA}{80} = 0,35 \text{ mA}$$

Jika V_{bb} adalah tegangan keluaran dari mikrokontroler saat logika tinggi yaitu sebesar 4,2V dan $V_{be} = 1 \text{ V}$ maka dengan menggunakan persamaan besar resistansi R_b adalah:

$$R_b = \frac{V_{bb} - V_{be}}{I_b}$$

$$R_b = \frac{4,2v - 1v}{0,35mA} = 9,14 \text{ k}\Omega$$

Dengan resistansi R_b sebesar 9,14 k Ω untuk mempermudah mendapatkan resistor dipasaran maka digunakan resistor dengan resistansi 10 k Ω , arus I_b menjadi 0,35 mA, sehingga telah diperoleh arus I_b yang dibutuhkan.

4.3 Perancangan Perangkat Lunak

Pada perancangan perangkat lunak akan dibahas mengenai perancangan algoritma fuzzy dan pembuatan diagram alir (flowchart) program sistem pengendalian pH, suhu dan kejernihan.

4.3.1. Perancangan Algoritma Fuzzy

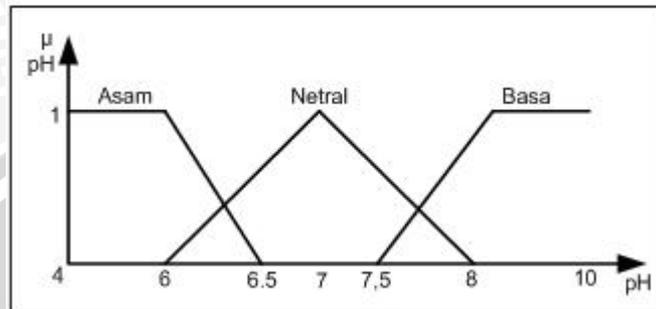
Sistem logika fuzzy yang dirancang memiliki tiga variabel masukan serta 3 variabel keluaran yang berupa nilai suhu, pH dan kejernihan. Tahapan-tahapan dalam logika fuzzy adalah sebagai berikut:

1.) Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan proses pemetaan nilai-nilai masukan (*crisp input*) ke dalam pernyataan linguistik atau bentuk himpunan-himpunan *fuzzy* dalam semesta pembicaraan tertentu sehingga akan menghasilkan masukan *fuzzy*. Masukan *crisp* pada perancangan ini adalah pH, suhu dan kejernihan.

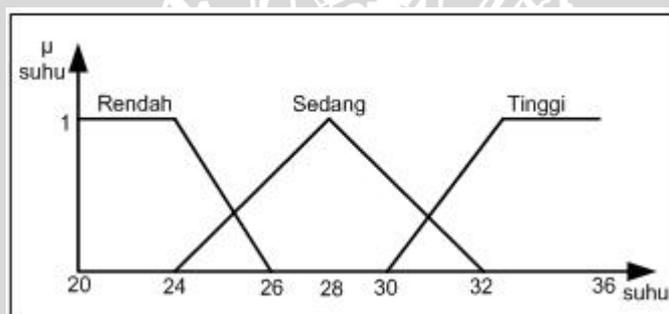
Fuzzy Logic Control yang direncanakan memiliki tiga jenis himpunan masukan yaitu suhu, pH dan kejernihan. Sedangkan untuk himpunan keluaran masing-masing terbagi menjadi 3 variabel.

- a.) Fungsi keanggotaan untuk masukan berbentuk trapesium dan segitiga yang ditunjukkan pada Gambar 4.10, 4.11 dan 4.12.



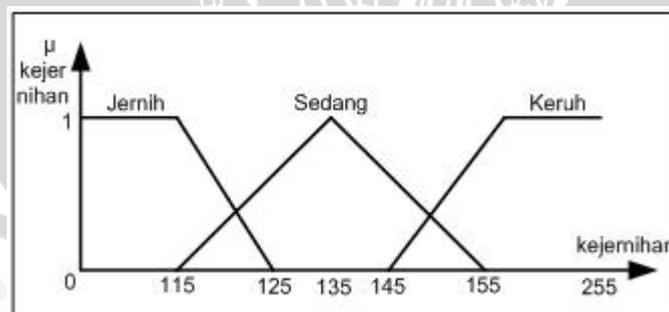
Gambar 4.10 Fungsi Keanggotaan pengukuran pH

Range pH dari 4 sampai 10, terbagi menjadi 3 variabel yaitu pH asam (4-6,5), netral (6-8) dan basa (7,5-10).



Gambar 4.11 Fungsi Keanggotaan pengukuran suhu

Untuk suhu dari 20 sampai 36°C, terbagi menjadi 3 variabel yaitu suhu rendah (20-36°C), sedang (24-32 °C) dan tinggi (30-36 °C).

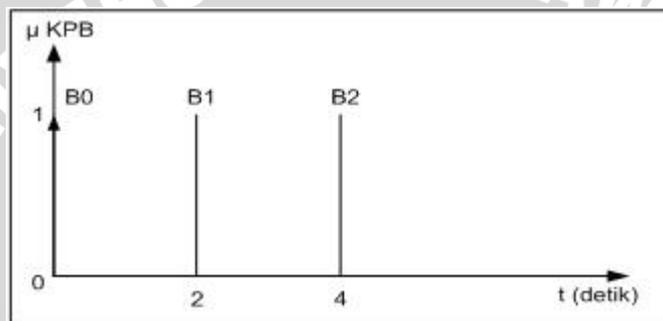


Gambar 4.12 Fungsi Keanggotaan pengukuran kejernihan

Untuk kejernihan dari 0 sampai 255, terbagi menjadi 3 variabel yaitu air kondisi jernih (0-125), sedang (115-155) dan keruh (145-255).

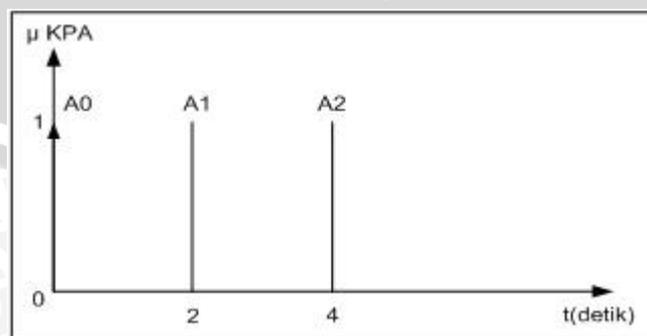
b.) Fungsi keanggotaan untuk keluaran berbentuk singleton. Pada fungsi keanggotaan keluaran, nilai yang akan di defuzzifikasi adalah waktu nyala aktuator.

- Fungsi keanggotaan keluaran penetral basa mempunyai 3 label karena untuk mempermudah dalam penghitungan proses defuzzifikasinya dan disesuaikan dengan respon yang terjadi pada proses perubahan nilai pH. Fungsi keanggotaan keluaran yaitu waktu nyala pompa penetral basa singkat (B0), waktu nyala pompa penetral basa sedang (B1), waktu nyala pompa penetral basa lama (B2) yang ditunjukkan pada gambar 4.13.



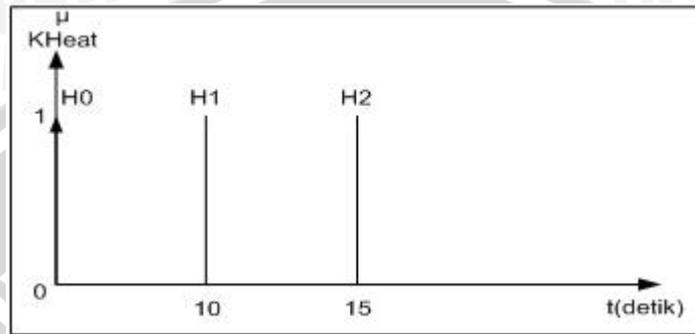
Gambar 4.13 Fungsi Keanggotaan keluaran penetral basa

- Fungsi keanggotaan keluaran penetral asam mempunyai 3 label karena untuk mempermudah dalam penghitungan proses defuzzifikasinya dan disesuaikan dengan respon yang terjadi pada proses perubahan nilai pH. Fungsi keanggotaan keluaran yaitu waktu nyala pompa penetral asam singkat (A0), waktu nyala pompa penetral asam sedang (A1), waktu nyala pompa penetral asam lama (A2) yang ditunjukkan pada gambar 4.14.



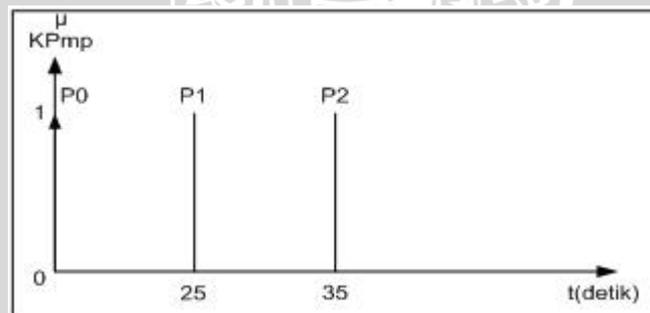
Gambar 4.14 Fungsi Keanggotaan keluaran penetral asam

- Fungsi keanggotaan keluaran heater air mempunyai 3 label karena untuk mempermudah dalam penghitungan proses defuzzifikasinya dan disesuaikan dengan respon yang terjadi pada proses perubahan suhu air dalam aquarium. Fungsi keanggotaan keluaran yaitu waktu nyala heater air singkat (H0), waktu nyala heater sedang (H1), waktu nyala heater lama (H2) yang ditunjukkan pada gambar 4.15



Gambar 4.15 Fungsi Keanggotaan keluaran heater air

- Fungsi keanggotaan keluaran pompa pembersih air mempunyai 3 label karena untuk mempermudah dalam penghitungan proses defuzzifikasinya dan disesuaikan dengan respon yang terjadi pada proses perubahan kejernihan air dalam aquarium. Fungsi keanggotaan keluaran yaitu waktu nyala pompa pembersih air singkat (P0), waktu nyala pompa pembersih air sedang (P1), waktu nyala pompa pembersih air lama (P2) yang ditunjukkan pada gambar 4.16



Gambar 4.16 Fungsi Keanggotaan keluaran pompa pembersih air

2.) Kaidah atur kontroler logika fuzzy

Kaidah atur kontrol logika *fuzzy* didasarkan pada pengalaman dan dalam bentuk JIKA – DAN – MAKA (IF – AND – THEN). Setelah *crisp* input diubah menjadi input *fuzzy*, selanjutnya diolah dengan kaidahnya. Untuk tahap ini *grade* yang telah diperoleh dari nilai *fuzzy* input dievaluasi berdasarkan

rule-rule yang telah ditetapkan sehingga diperoleh *fuzzy output*. Metode penalaran yang digunakan dalam kontrol logika fuzzy ini adalah metode MAX-MIN. Kaidah atur selengkapnya pada tabel 4.3 sampai dengan 4.6

Tabel 4.3 Tabel Kaidah Atur Pengendalian pH Basa

Suhu \ pH	Rendah	Sedang	Tinggi
Asam	A0	A0	A0
Netral	A1	A0	A0
Basa	A2	A1	A0

Tabel 4.4 Tabel Kaidah Atur Pengendalian pH Asam

Suhu \ pH	Rendah	Sedang	Tinggi
Asam	B2	B1	B0
Netral	B1	B0	B0
Basa	B0	B0	B0

Tabel 4.5 Tabel Kaidah Atur Pengendalian Suhu

Kejernihan \ Suhu	Jernih	Sedang	Keruh
Rendah	H2	H2	H0
Sedang	H1	H1	H0
Tinggi	H0	H0	H0

Tabel 4.6 Tabel Kaidah Atur Pengendalian Kejernihan

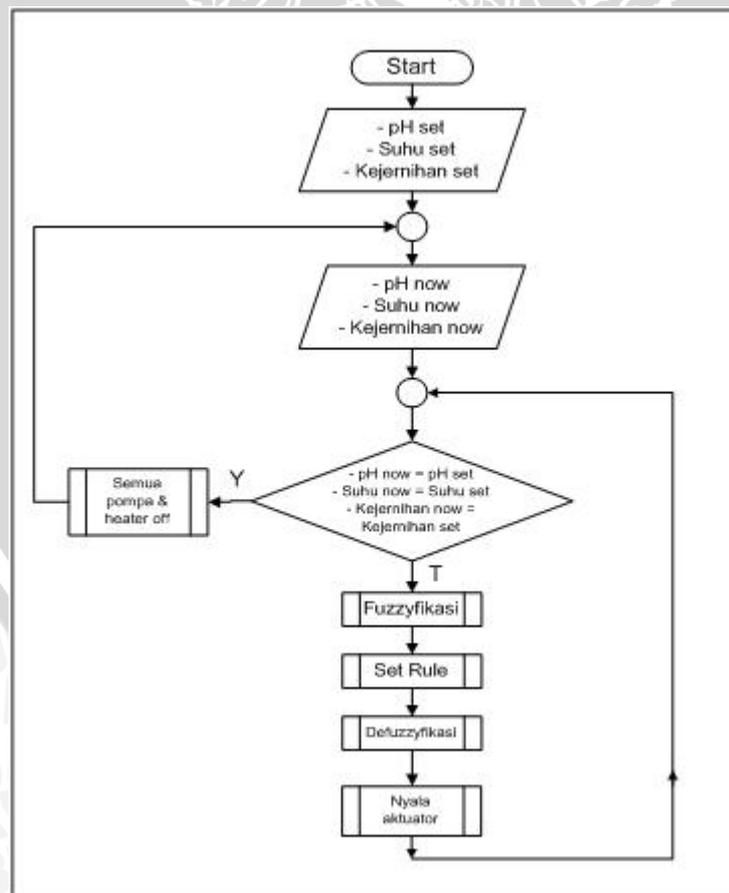
Suhu \ Kejernihan	Rendah	Sedang	Tinggi
Jernih	P0	P2	P1
Sedang	P1	P1	P2
Keruh	P2	P2	P2

3.) Defuzzikasi

Defuzzifikasi adalah proses untuk merubah output fuzzy menjadi crisp output. Proses ini berfungsi untuk menentukan suatu nilai crisp output. Crisp output ini adalah nilai analog yang akan kita butuhkan untuk mengolah data pada sistem yang telah dirancang.

4.3.2. Perancangan Algoritma Perangkat Lunak

Pada bagian ini dibahas mengenai diagram alir (flowchart) program sistem pengendalian pH, suhu dan kejernihan. Algoritma program meliputi proses pemasukan nilai input set point. Proses pembacaan nilai pH, suhu dan kejernihan oleh masing-masing sensor kemudian diubah menjadi data biner oleh ADC. Melalui algoritma FLC data nilai dari ADC diproses untuk melakukan aksi kontrol dengan menggerakkan aktuator-aktuator yang digunakan. Diagram alir (flowchart) program sistem pengendalian pH, suhu dan kejernihan dapat dilihat pada gambar 4.17.



Gambar 4.17 Flowchart sistem pengendalian

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISA

Bab ini berisi penjelasan prosedur pengujian dari alat yang telah dirancang untuk mengetahui sistem dapat bekerja dengan baik sesuai dengan perencanaan. Pengujian dilakukan dengan memberikan perubahan pada masukan blok rangkaian dan mengamati keluaran dari blok rangkaian yang diuji tersebut. Data hasil pengujian yang diperoleh nantinya akan dianalisis untuk dijadikan acuan dalam mengambil kesimpulan. Pengujian dilakukan pada tiap-tiap blok sistem dan pengujian sistem secara keseluruhan. Adapun blok-blok yang diuji adalah:

- Pengujian rangkaian sensor pH
- Pengujian rangkaian sensor suhu
- Pengujian rangkaian sensor kejernihan
- Pengujian rangkaian driver aktuator
- Pengujian ADC internal ATmega8535
- Pengujian mikrokontroler dan LCD

5.1 Pengujian Rangkaian Pengukur Suhu

Pengujian rangkaian pengukur suhu yang menggunakan IC LM35 bertujuan untuk mengetahui ketepatan sensor suhu dalam merespon perubahan suhu pada media yang diukur yaitu dengan mengukur tegangan keluarannya. Jika respon sensor suhu baik maka setiap perubahan 1°C keluaran sensor akan berubah 10 mV.

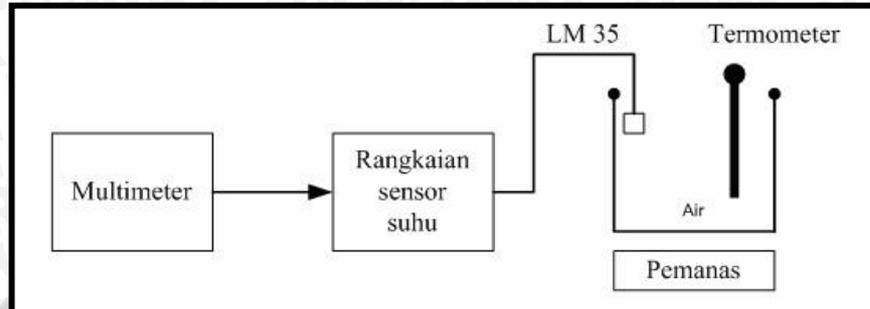
5.1.1 Peralatan pengujian

- ◇ Termometer raksa
- ◇ Bejana air
- ◇ LM35
- ◇ Catu daya
- ◇ Multimeter

5.1.2 Pengujian

- ◇ Menyusun rangkaian sesuai dengan blok diagram yang ditunjukkan dalam gambar 5.1.

- ◇ Memasukkan LM35 dan termometer ke dalam bejana yang berisi air.
- ◇ Menaikkan suhu air dari range 24 °C sampai 32 °C.
- ◇ Mengukur keluaran yang berupa tegangan dengan multimeter.
- ◇ Mencatat hasil pengujian.



Gambar 5.1 Blok diagram pengujian sensor suhu

5.1.3 Hasil Pengujian

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Suhu

Suhu (°C)	V sensor (mV)	V uji (mV)	Penyimpangan (%)
24	240	243	0,0123
25	250	252	0,0079
26	260	263	0,0114
27	270	272	0,0074
28	280	281	0,0036
29	290	294	0,0136
30	300	301	0,0033
31	310	311	0,0032
32	320	323	0,0129

Sumber: Pengujian

Besarnya kesalahan dari hasil pengujian dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

- A. Prosentase kesalahan pengujian rangkaian sensor suhu adalah:

$$\text{Kesalahan} = \frac{V_{\text{uji}} - V_{\text{sensor}}}{V_{\text{uji}}} \times 100\%$$

Misalnya pada suhu 24°C diperoleh kesalahan 0,0123 %

$$\text{Kesalahan} = \frac{243 - 240}{243} \times 100\% = 0,0123\%$$

- B. Kesalahan rata-rata hasil pengujian rangkaian sensor suhu adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kesalahan rata - rata} &= \frac{\Sigma \text{Penyimpangan}}{\text{Banyaknya Iterasi}} \\ &= \frac{0,0756\%}{9} \\ &= 0,0084\% \end{aligned}$$

Jadi kesalahan rata-rata adalah 0,0084

Adanya kesalahan hasil pengukuran sensor suhu disebabkan oleh tingkat akurasi dari rangkaian pengkondisi sinyal dan kesalahan pembacaan dalam pengukuran.

5.2 Pengujian Rangkaian Pengukur pH

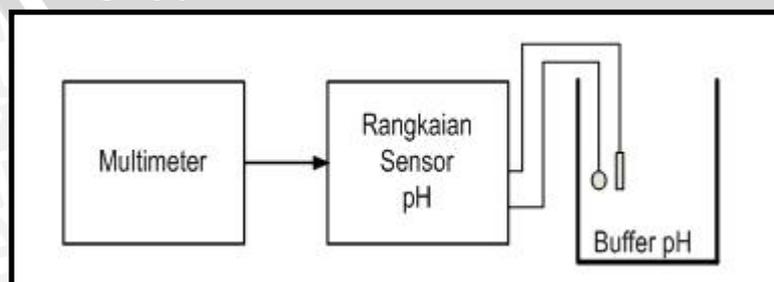
Pengujian rangkaian pengukur pH ini bertujuan untuk mengetahui ketepatan sensor pH dalam merespon perubahan pH pada media yang diukur yaitu dengan mengukur tegangan keluarannya.

5.2.1 Peralatan Pengujian

- ◇ Elektroda pH
- ◇ Multimeter
- ◇ Larutan buffer pH
- ◇ Gelas kimia

5.2.2 Pengujian

- ◇ Menyusun rangkaian sesuai dengan blok diagram yang ditunjukkan dalam gambar 5.2.
- ◇ Memasukkan elektroda pH ke dalam larutan buffer pH yang nilainya sudah ditentukan.
- ◇ Mengukur keluaran yang berupa tegangan dengan multimeter.
- ◇ Mencatat hasil pengujian.



Gambar 5.2 Blok diagram pengujian elektroda pH

5.2.3 Hasil Pengujian

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Elektroda pH

pH	V elektroda (mV)	V uji (mV)	Penyimpangan (%)
2	295,714	296,6	0,29
4	177,428	178	0,32
6	59,142	59,2	0,09
7	0,001	0,0	0,0
8	-59,144	-59,3	0,26
10	-177,43	-178,1	0,37

Sumber: Pengujian

Besarnya kesalahan dari hasil pengujian dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

A. Prosentase kesalahan pengujian rangkaian elektrode pH:

$$\text{Kesalahan} = \frac{V_{\text{uji}} - V_{\text{sensor}}}{V_{\text{uji}}} \times 100\%$$

Misalnya pada pH 6 diperoleh kesalahan 0,09 %

$$\text{Kesalahan} = \frac{59,2 - 59,142}{59,2} \times 100\% = 0,09\%$$

B. Kesalahan rata-rata hasil pengujian rangkaian elektroda pH adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kesalahan rata-rata} &= \frac{\sum \text{Penyimpangan}}{\text{Banyaknya Iterasi}} \\ &= \frac{1,33\%}{6} \\ &= 0,22\% \end{aligned}$$

Jadi kesalahan rata-rata adalah 0,22

Adanya kesalahan hasil pengukuran sensor pH disebabkan oleh tingkat akurasi dari rangkaian pengkondisi sinyal dan kesalahan pembacaan dalam pengukuran.

5.3. Pengujian Rangkaian Sensor Kejernihan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketepatan sensor dalam menangkap cahaya LED dengan mengukur tegangan keluarannya dan untuk

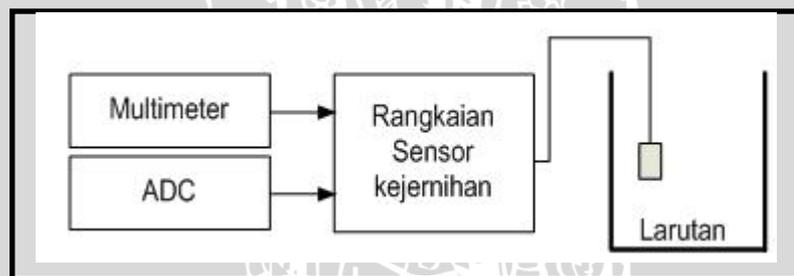
mendapatkan batasan nilai kejernihan. Dalam pengujian ini output sensor juga dihubungkan dengan ADC internal ATmega8535.

5.3.1 Peralatan Pengujian

- ◇ LED
- ◇ Rangkaian Sensor Kejernihan
- ◇ Multimeter
- ◇ Larutan
- ◇ Gelas kimia

5.3.2 Pengujian

- ◇ Menyusun rangkaian seperti gambar 5.3.
- ◇ Larutan dalam gelas kimia disinari LED warna hijau, kemudian besar sinar yang dapat ditembus larutan tersebut ditangkap oleh detektor.
- ◇ Keluaran dari sensor kejernihan akan diukur oleh multimeter.
- ◇ Mencatat hasil pengujian.



Gambar 5.3 Blok diagram pengujian rangkaian sensor kejernihan

5.3.3 Hasil Pengujian

Pengujian pertama adalah menentukan nilai kejernihan, di mana kejernihan adalah dalam segi warna dan kandungan partikel benar-benar jernih. Saat dilakukan pengujian didapatkan tegangan output seimbang yaitu 1,17V dengan konversi decimal ADC adalah 34 – 125, selanjutnya menentukan nilai untuk kondisi air sedang dan kondisi air keruh yang ditunjukkan pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Rangkaian Detektor

sensor kejernihan		nilai ADC
Kondisi air	Vout (V)	
Jernih	1.17	34-125
Sedang	2.6	126-155
Keruh	2.75	155-255

Proses pengambilan data di atas tergolong manual sehingga diperoleh hasil yang tidak standar karena belum adanya referensi yang jelas mengenai parameter satuan kejernihan.

5.4 Pengujian Rangkaian Aktuator

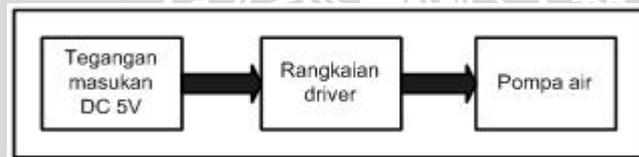
Tujuan pengujian rangkaian penggerak (driver) pada actuator ialah untuk mengetahui kerja dari relay dalam mengendalikan pompa dan pemanas.

5.4.1 Peralatan Pengujian

- Catu daya DC 5V dan DC 12V
- Pompa air, heater (pemanas)

5.4.2 Pengujian

- Susun rangkaian seperti gambar 5.4
- Memberi tegangan catu 5V pada relay
- Mengamati dan mencatat hasil pengendalian pompa, pemanas pada tabel 5.4



Gambar 5.4. rangkaian driver pengendali actuator

5.4.3 Hasil Pengujian

Tabel 5.4. Hasil pengujian rangkaian pengendali aktuator

Tegangan masukan (V)	Kondisi aktuator
5	ON
0	OFF

Sumber: pengujian

5.5 Pengujian ADC

Tujuan dari pengujian ADC adalah:

- Mengetahui nilai biner ADC jika diberi masukan tertentu.
- Mengetahui penyimpangan hasil pembacaan ADC.

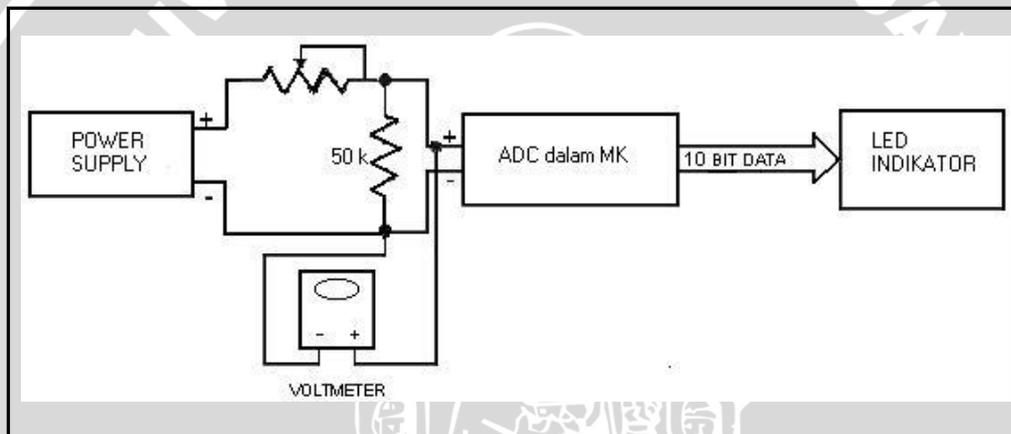
5.5.1 Peralatan Pengujian

- Sistem Mikrokontroler
- LED indikator
- Multimeter digital

- d. Power Supply
- e. Resistor Variabel, $R=50k\Omega$

5.5.2 Pengujian

- a. Susun rangkaian seperti pada gambar 5.5. Hubungkan masukan dengan ADC pin A0.
- b. Ukur masukan ADC dengan multimeter.
- c. Hasil pengujian ADC yang tersimpan dalam register ADC dikeluarkan pada port B.
- d. Output Port B di hubungkan dengan LED sebagai indicator logika 0 (mati) dan 1 (hidup).
- e. Catat hasil keluaran.



Gambar 5.5. Rangkaian Pengujian ADC

5.5.3 Hasil Pengujian

Data hasil pengujian dapat dilihat dalam tabel 5.5

Tabel 5.5. Data Hasil Pengujian ADC

No	Vi (volt)	Keluaran ADC		Keluaran (teori)	Error (%)
		Biner	Desimal		
1	0.11	00010110	22	22.528	2.343
2	0.26	00110101	53	53.246	0.462
3	0.48	01100010	98	98.304	0.309
4	0.57	01110100	116	116.736	0.634
5	0.59	01111000	120	120.832	0.688
6	0.7	10001111	143	143.36	0.251
7	0.82	10100111	167	167.936	0.557
8	0.94	11000000	192	192.512	0.266

9	1.13	11100111	231	231.424	0.183
10	1.39	100011100	284	284.672	0.236
11	1.53	100111001	313	313.344	0.109
12	1.59	101000101	325	325.632	0.377
13	1.64	101001111	335	335.872	0.194
14	1.75	101100110	358	358.4	0.111
15	1.98	110010101	405	405.504	0.124
16	2.33	111011101	477	477.184	0.038
17	2.66	100010000	544	544.768	0.141
18	2.86	1001001001	585	585.728	0.124
19	3.06	1001110010	626	626.688	0.109
20	3.39	1010110110	694	694.272	0.039
21	3.6	1011100001	737	737.28	0.038
22	3.95	1100101000	808	808.96	0.119
23	4.37	1101111110	894	894.976	0.109
24	4.5	1110011001	921	921.6	0.065
25	4.99	1111111101	1021	1021.952	0.093

Dalam tabel 5.5. dapat dilihat data keluaran ADC hasil pengujian yang dibandingkan dengan data hasil perhitungan. Untuk menghitung hasil konversi secara teoritis, didapatkan dengan menggunakan persamaan :

$$N = \frac{V_{in}}{V_{ref}} * 1024$$

dengan N adalah bilangan desimal, dan $V_{Ref} = 5$ Volt. Besarnya kesalahan dari hasil pengujian dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

a. Prosentase kesalahan pengujian ADC:

$$Kesalahan = \frac{\text{keluaran teori} - \text{keluaran}_{\text{desimal}}}{\text{keluaran teori}} \times 100\%$$

Misalnya pada masukan ADC 0,11V diperoleh kesalahan 2.343 %

$$Kesalahan = \frac{22.528 - 22}{22.528} \times 100\% = 2.343\%$$

b. Kesalahan rata-rata hasil pengujian adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kesalahan rata - rata} &= \frac{\Sigma \text{ error}}{\text{Banyaknya Iterasi}} \\ &= \frac{7,453\%}{25} \end{aligned}$$

= 0.29 %

Jadi kesalahan rata-rata adalah 0.29 %

5.6 Pengujian Mikrokontroler dan LCD

Pengujian sistem mikrokontroler bertujuan untuk mengetahui bahwa mikrokontroler dapat berfungsi sesuai dengan program yang dibuat dan keluaran dari mikrokontroler akan ditampilkan pada LCD.

5.6.1 Peralatan Pengujian

- ◇ Mikrokontroler
- ◇ LCD
- ◇ Catu daya 5 volt

5.6.2 Pengujian

- ◇ Menyusun rangkaian sesuai blok diagram yang ditunjukkan pada gambar 5.6.
- ◇ Menginisialisasi LCD.
- ◇ Memberi data karakter “SUHU PH JERNIH” pada baris pertama dan “NIM: 0210633041” pada baris kedua.



Gambar 5.6 Blok diagram pengujian rangkaian Mikrokontroler dan LCD

5.6.3 Hasil Pengujian

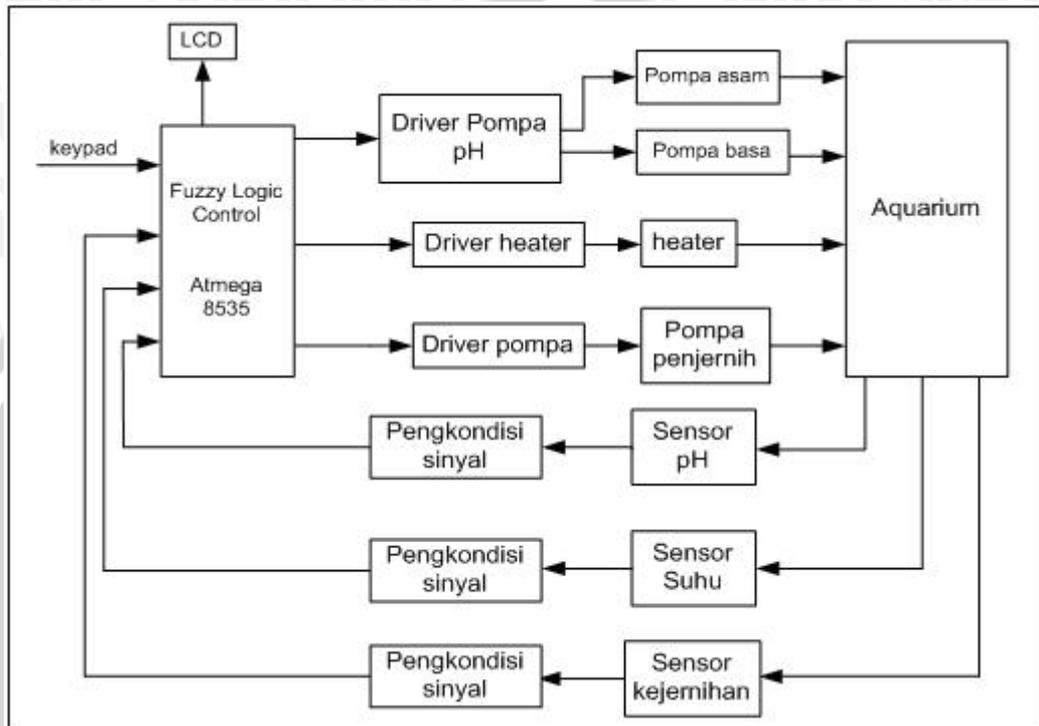
Gambar 5.7 menunjukkan tampilan PENGONTROL pada baris pertama dan pada baris kedua. Pada tampilan LCD terbukti bahwa data karakter yang diprogram oleh mikrokontroler dapat ditampilkan dengan baik.



Gambar 5.7 Gambar hasil pengujian rangkaian Mikrokontroler dan LCD

5.7 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian dan pengamatan yang dilakukan untuk keseluruhan sistem dilakukan dengan menghubungkan keseluruhan perangkat keras dan perangkat lunak yang terdapat pada sistem mikrokontroler. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah perancangan alat telah berfungsi dengan baik.



Gambar 5.8 Blok diagram pengujian rangkaian keseluruhan

Pengujian secara keseluruhan dilakukan dengan menghubungkan peralatan seperti gambar 5.8. Hasil pengujian berupa tampilan pada layar LCD yang menunjukkan hasil pengukuran pH, suhu, dan kejernihan. Pengujian alat dilakukan dengan cara memasukan sensor pH, suhu, dan kejernihan ke dalam air yang ada di dalam aquarium. Keluaran dari ketiga sensor yang berupa tegangan akan masuk ke rangkaian pengkondisi sinyal untuk disesuaikan tegangannya dengan masukan ADC. Setelah masuk ke ADC semua informasi akan diolah oleh mikrokontroler yang kemudian hasil dari pengujian ditampilkan pada layar LCD. Setelah respon pada keadaan *steady state* akan diberi gangguan untuk mengetahui *time recovery* yang terjadi. Adapun hasil pengujian secara keseluruhan adalah sebagai berikut:

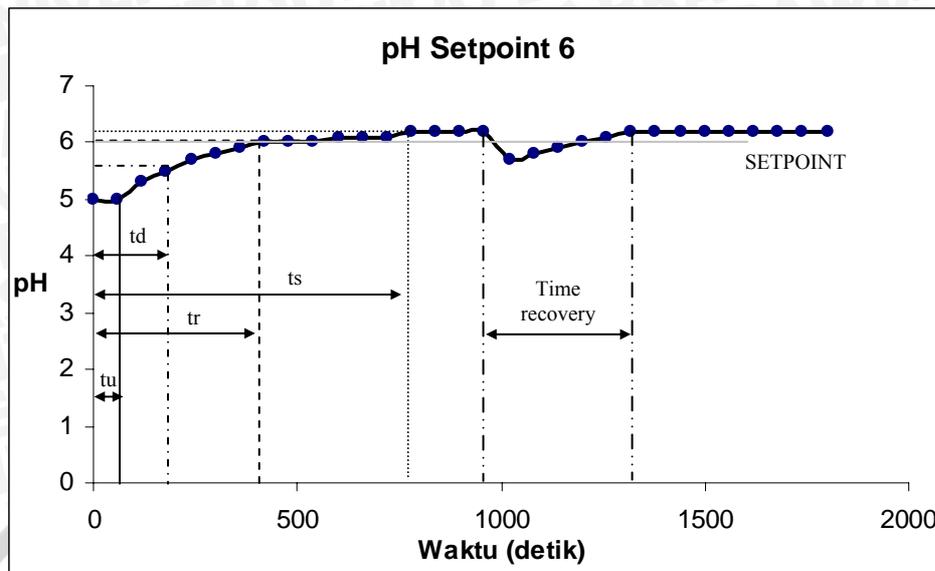
1. Analisa pH

Tabel 5.6. Pengujian pH

kondisi awal pH = 5

pH setpoint 6		pH setpoint 7		pH setpoint 8	
waktu	pH	waktu	pH	waktu	pH
0	5	0	5	0	5
60	5	60	5	60	5
120	5.3	120	5.4	120	5.6
180	5.5	180	5.7	180	5.9
240	5.7	240	5.9	240	6.1
300	5.8	300	6.1	300	6.4
360	5.9	360	6.3	360	6.6
420	6	420	6.4	420	6.8
480	6	480	6.5	480	7
540	6	540	6.7	540	7.1
600	6.1	600	6.8	600	7.4
660	6.1	660	6.9	660	7.6
720	6.1	720	7	720	7.8
780	6.2	780	7	780	7.9
840	6.2	840	7.1	840	8
900	6.2	900	7.1	900	8.1
960	6.2	960	7.1	960	8.1
1020	5.7	1020	7.1	1020	8.2
1080	5.8	1080	7.1	1080	8.2
1140	5.9	1140	7.1	1140	8.2
1200	6	1200	6.5	1200	8.2
1260	6.1	1260	6.6	1260	7.3
1320	6.2	1320	6.8	1320	7.4
1380	6.2	1380	6.9	1380	7.6
1440	6.2	1440	7	1440	7.7
1500	6.2	1500	7.1	1500	7.8
1560	6.2	1560	7.1	1560	7.9
1620	6.2	1620	7.1	1620	8.2
1680	6.2	1680	7.1	1680	8.2
1740	6.2	1740	7.1	1740	8.2
1800	6.2	1800	7.1	1800	8.2

Pada tabel yang telah diperoleh, dapat dibuat grafik respon pH pada masing-masing nilai setpoint, ditunjukkan pada gambar 5.9, 5.10 dan 5.11

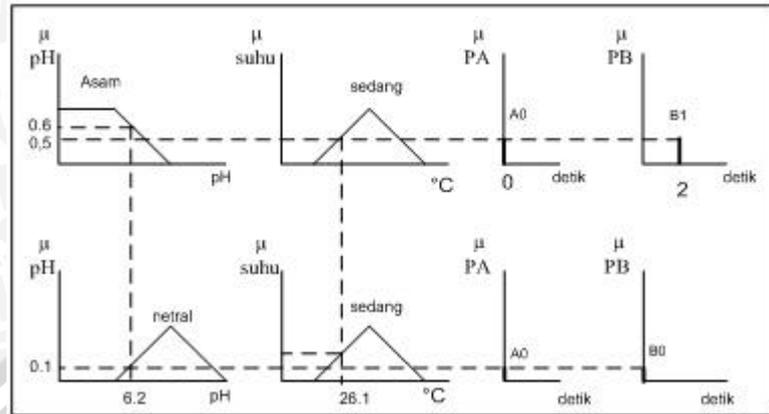


Gambar 5.9. Respon pH dengan setpoint 6

Dari grafik diatas didapatkan data-data sebagai berikut:

- Waktu mati (t_u): selang waktu dimana respon belum mulai bergerak transient. t_u yang didapatkan dari pengujian ini adalah 60 detik
- Waktu tunda (t_d): waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah nilai akhir waktu yang pertama. t_d yang diperoleh dari pengujian ini adalah 120 detik.
- Waktu naik (t_r): waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10-90% dari harga akhirnya. t_r yang diperoleh dari pengujian ini adalah 360 detik.
- Waktu penetapan (t_s): waktu yang diperlukan respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah *steady state* atau nilai akhir. t_s yang diperoleh adalah 720 detik.
- *Time recovery* yang terjadi setelah diberikan gangguan adalah 360 detik.
- *Error steady state* yang terjadi sebesar 3,2 %

- Pada detik ke 900 dan 960 nilai pH adalah 6,2. Nilai pH tersebut terletak pada fungsi keanggotaan pH asam dan netral.



Dengan rule base fuzzy

If pH asam **and** suhu sedang **then** A0 **and** B1

If pH netral **and** suhu sedang **then** A0 **and** B0

Proses defuzzifikasi dengan metode COG adalah sebagai berikut:

$$Z^* = \frac{\sum \mu C(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \mu C(\bar{z})}$$

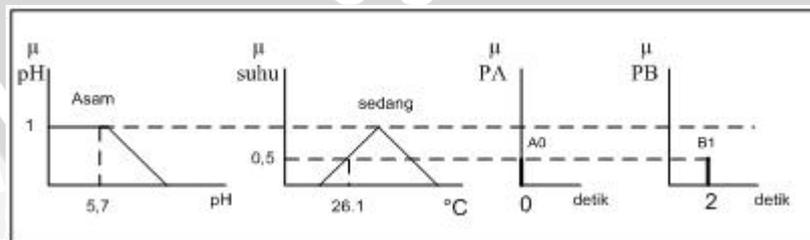
Untuk pompa Asam

$$Z^* = \frac{(0,5 \cdot A0) + (0,1 \cdot A0)}{0,5 + 0,1} = \frac{(0,5 \cdot 0) + (0,1 \cdot 0)}{0,5 + 0,1} = 0 \text{ detik}$$

Untuk pompa Basa

$$Z^* = \frac{(0,5 \cdot B1) + (0,1 \cdot B0)}{0,5 + 0,1} = \frac{(0,5 \cdot 2) + (0,1 \cdot 0)}{0,5 + 0,1} = 1,7 \text{ detik}$$

- Pada detik ke 1020 nilai pH adalah 5,7. Nilai pH tersebut terletak pada fungsi keanggotaan pH asam.



Dengan rule base fuzzy: **If** pH asam **and** suhu sedang **then** A0 **and** B1

Proses defuzzifikasi dengan metode COG adalah sebagai berikut:

$$Z^* = \frac{\sum \mu C(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \mu C(\bar{z})}$$

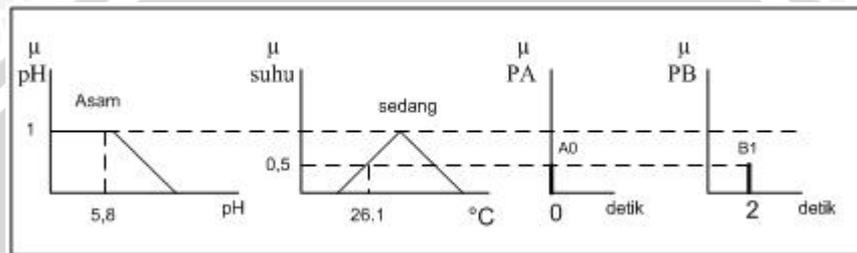
Untuk pompa Asam

$$Z^* = \frac{(0,5 \cdot A0)}{0,5} = \frac{(0,5 \cdot 0)}{0,5} = 0 \text{ detik}$$

Untuk pompa Basa

$$Z^* = \frac{(0,5 \cdot B1)}{0,5} = \frac{(0,5 \cdot 2)}{0,5} = 2 \text{ detik}$$

- Pada detik ke 1080 nilai pH adalah 5,8. Nilai pH tersebut terletak pada fungsi keanggotaan pH asam.



Dengan rule base fuzzy: **If** pH asam **and** suhu sedang **then** A0 **and** B1

Proses defuzzifikasi dengan metode COG adalah sebagai berikut:

$$Z^* = \frac{\sum \mu C(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \mu C(\bar{z})}$$

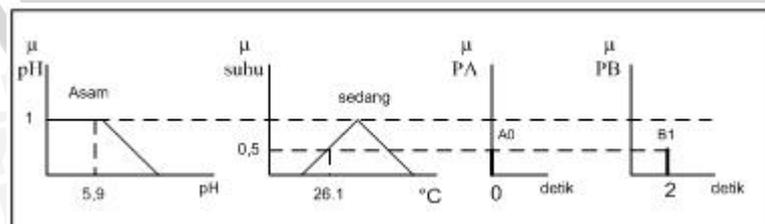
Untuk pompa Asam

$$Z^* = \frac{(0,5 \cdot A0)}{0,5} = \frac{(0,5 \cdot 0)}{0,5} = 0 \text{ detik}$$

Untuk pompa Basa

$$Z^* = \frac{(0,5 \cdot B1)}{0,5} = \frac{(0,5 \cdot 2)}{0,5} = 2 \text{ detik}$$

- Pada detik ke 1140 nilai pH adalah 5,9. Nilai pH tersebut terletak pada fungsi keanggotaan pH asam.



Dengan rule base fuzzy: **If** pH asam **and** suhu sedang **then** A0 **and** B1

Proses defuzzifikasi dengan metode COG adalah sebagai berikut:

$$Z^* = \frac{\sum \mu C(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \mu C(\bar{z})}$$

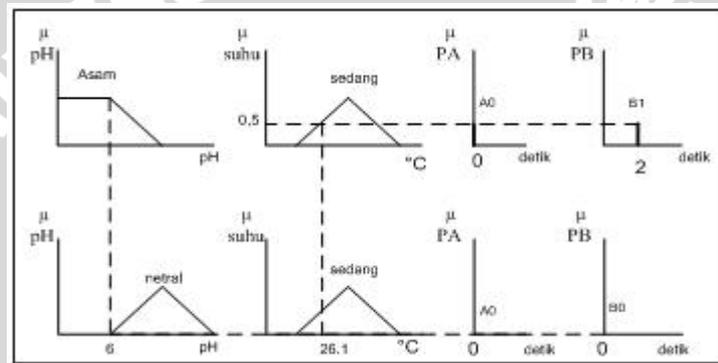
Untuk pompa Asam

$$Z^* = \frac{(0,5 \cdot A0)}{0,5} = \frac{(0,5 \cdot 0)}{0,5} = 0 \text{ detik}$$

Untuk pompa Basa

$$Z^* = \frac{(0,5 \cdot B1)}{0,5} = \frac{(0,5 \cdot 2)}{0,5} = 2 \text{ detik}$$

- Pada detik ke 1200 nilai pH adalah 6. Nilai pH tersebut terletak pada fungsi keanggotaan pH asam dan netral.



Dengan rule base fuzzy

If pH asam **and** suhu sedang **then** A0 **and** B1

If pH netral **and** suhu sedang **then** A0 **and** B0

Proses defuzzifikasi dengan metode COG adalah sebagai berikut:

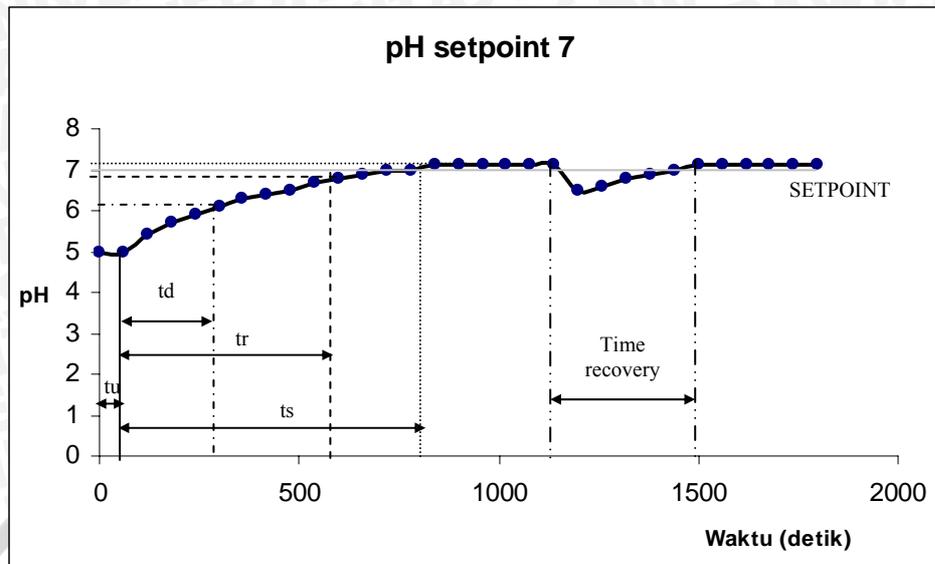
$$Z^* = \frac{\sum \mu C(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \mu C(\bar{z})}$$

Untuk pompa Asam

$$Z^* = \frac{(0,5 \cdot A0) + (0 \cdot A0)}{0,5 + 0} = \frac{(0,5 \cdot 0) + (0 \cdot 0)}{0,5} = 0 \text{ detik}$$

Untuk pompa Basa

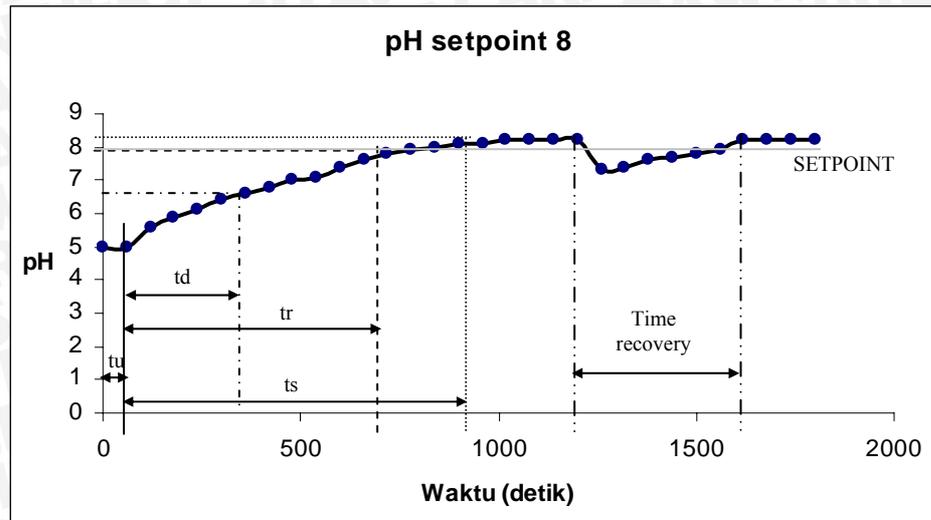
$$Z^* = \frac{(0,5 \cdot B1) + (0 \cdot B0)}{0,5 + 0} = \frac{(0,5 \cdot 2) + (0 \cdot 0)}{0,5} = 2 \text{ detik}$$



Gambar 5.10. Respon pH dengan setpoint 7

Dari grafik diatas didapatkan data-data sebagai berikut:

- Waktu mati (t_u): selang waktu dimana respon belum mulai bergerak transient. t_u yang didapatkan dari pengujian ini adalah 60 detik
- Waktu tunda (t_d): waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah nilai akhir waktu yang pertama. t_d yang diperoleh dari pengujian ini adalah 240 detik.
- Waktu naik (t_r): waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10-90% dari harga akhirnya. t_r yang diperoleh dari pengujian ini adalah 540 detik.
- Waktu penetapan (t_s): waktu yang diperlukan respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah *steady state* atau nilai akhir. t_s yang diperoleh adalah 780 detik.
- *Time recovery* yang terjadi setelah diberikan gangguan adalah 360 detik.
- *Error steady state* yang terjadi sebesar 1,4 %.



Gambar 5.11. Respon pH dengan setpoint 8

Dari grafik diatas didapatkan data-data sebagai berikut:

- Waktu mati (t_u): selang waktu dimana respon belum mulai bergerak transient. t_u yang didapatkan dari pengujian ini adalah 60 detik
- Waktu tunda (t_d): waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah nilai akhir waktu yang pertama. t_d yang diperoleh dari pengujian ini adalah 300 detik.
- Waktu naik (t_r): waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10-90% dari harga akhirnya. t_r yang diperoleh dari pengujian ini adalah 660 detik.
- Waktu penetapan (t_s): waktu yang diperlukan respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah *steady state* atau nilai akhir. t_s yang diperoleh adalah 900 detik.
- *Time recovery* yang terjadi setelah diberikan gangguan adalah 420 detik.
- Error *steady state* yang terjadi sebesar 2.4 %

2. Analisa suhu

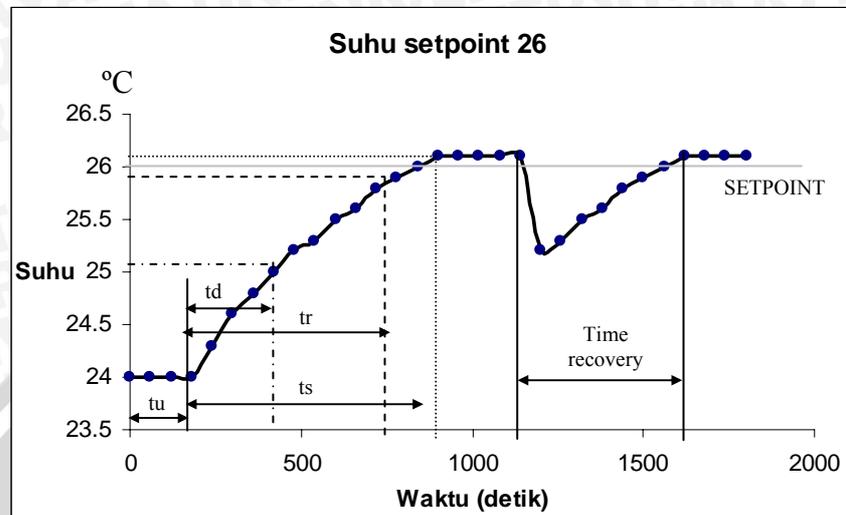
Tabel 5.7. Pengujian suhu

Kondisi awal suhu sebesar 24°C

Suhu setpoint 26		Suhu setpoint 28		Suhu setpoint 30	
waktu	Suhu	waktu	Suhu	waktu	Suhu
0	24	0	24	0	24
60	24	60	24	60	24
120	24	120	24	120	24
180	24	180	24	180	24
240	24.3	240	24.8	240	25.3
300	24.6	300	25.1	300	25.7
360	24.8	360	25.5	360	26.1
420	25	420	25.8	420	26.5
480	25.2	480	26.1	480	26.8
540	25.3	540	26.5	540	27
600	25.5	600	26.7	600	27.2
660	25.6	660	26.9	660	27.5
720	25.8	720	27.2	720	27.9
780	25.9	780	27.4	780	28.2
840	26	840	27.6	840	28.5
900	26.1	900	27.7	900	28.8
960	26.1	960	27.8	960	29.1
1020	26.1	1020	27.9	1020	29.4
1080	26.1	1080	28	1080	29.7
1140	26.1	1140	28.1	1140	29.8
1200	25.2	1200	28.2	1200	29.9
1260	25.3	1260	28.2	1260	30
1320	25.5	1320	28.2	1320	30.1
1380	25.6	1380	28.2	1380	30.1
1440	25.8	1440	28.2	1440	30.2
1500	25.9	1500	26.5	1500	30.2
1560	26	1560	26.6	1560	30.3
1620	26.1	1620	26.8	1620	30.3
1680	26.1	1680	27	1680	30.3
1740	26.1	1740	27.1	1740	30.3
1800	26.1	1800	27.3	1800	30.3
		1860	27.6	1860	29.1
		1920	27.9	1920	29.2
		1980	28	1980	29.4
		2040	28.1	2040	29.6
		2100	28.2	2100	29.7
		2160	28.2	2160	29.8
		2220	28.2	2220	30
		2280	28.2	2280	30.1
		2340	28.2	2340	30.21
				2400	30.3
				2460	30.3
				2520	30.3



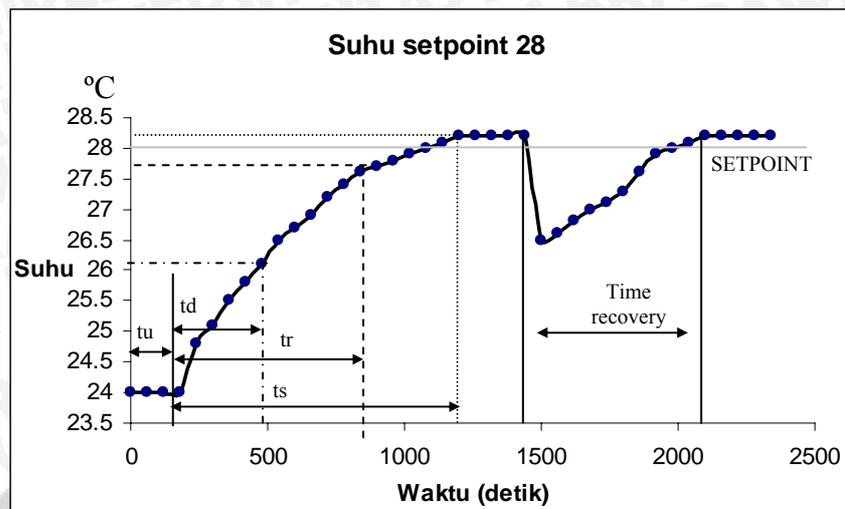
Pada tabel yang telah diperoleh, dapat dibuat grafik respon suhu pada masing-masing nilai setpoint, ditunjukkan pada gambar 5.12, 5.13 dan 5.14.



Gambar 5.12. Respon suhu dengan setpoint 26

Dari grafik diatas didapatkan data-data sebagai berikut:

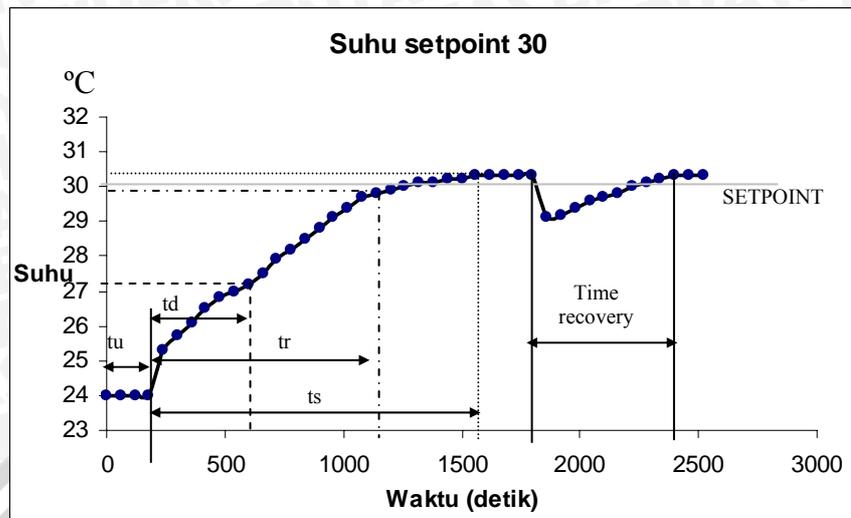
- Waktu mati (t_u): selang waktu dimana respon belum mulai bergerak transient. t_u yang didapatkan dari pengujian ini adalah 180 detik
- Waktu tunda (t_d): waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah nilai akhir waktu yang pertama. t_d yang diperoleh dari pengujian ini adalah 240 detik.
- Waktu naik (t_r): waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10-90% dari harga akhirnya. t_r yang diperoleh dari pengujian ini adalah 600 detik.
- Waktu penetapan (t_s): waktu yang diperlukan respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah *steady state* atau nilai akhir. t_s yang diperoleh adalah 720 detik.
- *Time recovery* yang terjadi setelah diberikan gangguan adalah 480 detik.
- *Error steady state* yang terjadi sebesar 0.4 %



Gambar 5.13. Respon suhu dengan setpoint 28

Dari grafik diatas didapatkan data-data sebagai berikut:

- Waktu mati (t_u): selang waktu dimana respon belum mulai bergerak transient. t_u yang didapatkan dari pengujian ini adalah 180 detik
- Waktu tunda (t_d): waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah nilai akhir waktu yang pertama. t_d yang diperoleh dari pengujian ini adalah 360 detik.
- Waktu naik (t_r): waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10-90% dari harga akhirnya. t_r yang diperoleh dari pengujian ini adalah 840 detik.
- Waktu penetapan (t_s): waktu yang diperlukan respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah *steady state* atau nilai akhir. t_s yang diperoleh adalah 1080 detik.
- *Time recovery* yang terjadi setelah diberikan gangguan adalah 660 detik.
- *Error steady state* yang terjadi sebesar 0,7 %.



Gambar 5.14. Respon suhu dengan setpoint 30

Dari grafik diatas didapatkan data-data sebagai berikut:

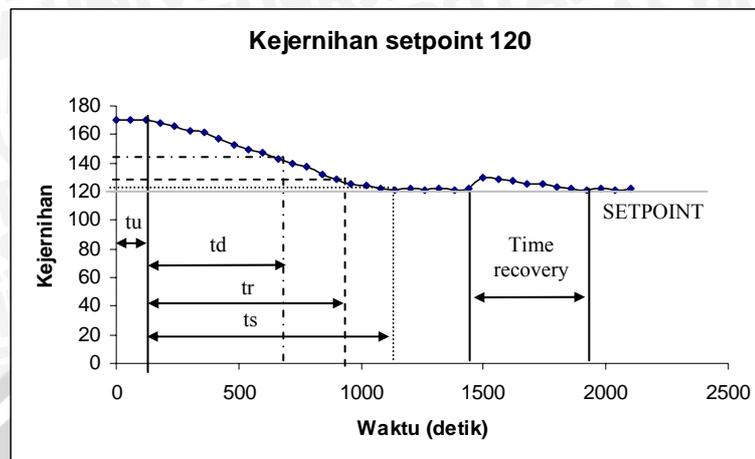
- Waktu mati (t_u): selang waktu dimana respon belum mulai bergerak transient. t_u yang didapatkan dari pengujian ini adalah 180 detik
- Waktu tunda (t_d): waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah nilai akhir waktu yang pertama. t_d yang diperoleh dari pengujian ini adalah 420 detik.
- Waktu naik (t_r): waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10-90% dari harga akhirnya. t_r yang diperoleh dari pengujian ini adalah 900 detik.
- Waktu penetapan (t_s): waktu yang diperlukan respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah *steady state* atau nilai akhir. t_s yang diperoleh adalah 1260 detik.
- *Time recovery* yang terjadi setelah diberikan gangguan adalah 600detik.
- *Error steady state* yang terjadi sebesar 0,9 %.

3. Analisa Kejernihan

Tabel 5.8. Pengujian kejernihan kondisi awal kejernihan = 170

setpoint jernih = 120		setpoint jernih = 110	
waktu	jernih	waktu	jernih
0	170	0	170
60	170	60	170
120	170	120	170
180	168	180	169
240	166	240	167
300	163	300	166
360	161	360	164
420	157	420	162
480	153	480	161
540	150	540	159
600	147	600	156
660	143	660	154
720	140	720	153
780	137	780	150
840	132	840	149
900	129	900	146
960	125	960	144
1020	124	1020	141
1080	122	1080	139
1140	121	1140	136
1200	122	1200	132
1260	121	1260	131
1320	122	1320	128
1380	121	1380	125
1440	122	1440	120
1500	130	1500	118
1560	129	1560	114
1620	128	1620	113
1680	126	1680	112
1740	125	1740	113
1800	123	1800	112
1860	122	1860	113
1920	121	1920	123
1980	122	1980	122
2040	121	2040	119
2100	122	2100	117
		2160	116
		2220	114
		2280	113
		2340	112
		2400	113
		2460	112
		2520	113
		2580	112

Pada tabel yang telah diperoleh, dapat dibuat grafik respon kejernihan pada masing-masing nilai setpoint, ditunjukkan pada gambar 5.15 dan 5.16



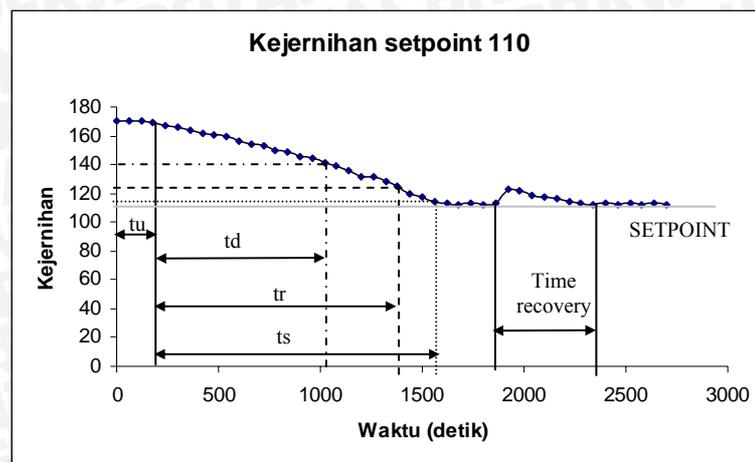
Gambar 5.15. Respon kejernihan dengan setpoint 120

Keterangan:

Pada sumbu Y yaitu nilai kejernihan (0-180) adalah nilai desimal ADC yang merupakan hasil konversi dari tegangan keluaran sensor kejernihan sesuai dengan kondisi air yang diukur. Misalnya pada tegangan keluaran sensor kejernihan sebesar 1,17V maka nilai kejernihannya adalah 120.

Dari grafik diatas didapatkan data-data sebagai berikut:

- Waktu mati (t_u): selang waktu dimana respon belum mulai bergerak transient. t_u yang didapatkan dari pengujian ini adalah 120 detik
- Waktu tunda (t_d): waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah nilai akhir waktu yang pertama. t_d yang diperoleh dari pengujian ini adalah 420 detik.
- Waktu naik (t_r): waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10-90% dari harga akhirnya. t_r yang diperoleh dari pengujian ini adalah 780 detik.
- Waktu penetapan (t_s): waktu yang diperlukan respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah *steady state* atau nilai akhir. t_s yang diperoleh adalah 900 detik.
- *Time recovery* yang terjadi setelah diberikan gangguan adalah 420 detik.
- *Error steady state* yang terjadi sebesar 1.6%.



Gambar 5.16. Respon kejernihan dengan setpoint 110

Dari grafik diatas didapatkan data-data sebagai berikut:

- Waktu mati (t_u): selang waktu dimana respon belum mulai bergerak transient. t_u yang didapatkan dari pengujian ini adalah 120 detik
- Waktu tunda (t_d): waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah nilai akhir waktu yang pertama. t_d yang diperoleh dari pengujian ini adalah 900 detik.
- Waktu naik (t_r): waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10-90% dari harga akhirnya. t_r yang diperoleh dari pengujian ini adalah 1320 detik.
- Waktu penetapan (t_s): waktu yang diperlukan respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah *steady state* atau nilai akhir. t_s yang diperoleh adalah 1440 detik.
- *Time recovery* yang terjadi setelah diberikan gangguan adalah 480 detik.
- Error *steady state* yang terjadi sebesar 2.6 %.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari perancangan dan pembuatan alat serta dilanjutkan dengan proses pengujian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Dari hasil pengujian secara keseluruhan, alat dapat berjalan dengan baik. Ini dapat dibuktikan dari pengujian dengan set point: pH 7, suhu 26°C dan kejernihan 120 karena memiliki parameter respon sangat cepat dan sesuai dengan yang diinginkan. Pada setpoint tersebut parameter respon adalah sebagai berikut:

Setpoint	output	Parameter Respon					
		tu (detik)	td (detik)	Tr (detik)	Ts (detik)	Time recovery	Ess
Suhu = 26°C	26.1°C	180	240	600	720	480	0.40%
pH = 7	7.1	60	240	540	780	360	1.40%
Kejernihan 120	122	120	210	780	900	420	1.60%

Error yang terjadi sangat kecil karena masih berada pada range pengontrolan suhu antara 24°C-32°C, pH antara 6-8 dan kejernihan pada tingkat jernih sesuai dengan parameter pada media hidup lobster air tawar.

6.2 Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini, ada beberapa hal yang dapat dikembangkan untuk disempurnakan. Hal tersebut dapat berupa:

1. Penggunaan sensor suhu, pH, dan kejernihan dengan kualitas yang lebih baik sehingga dapat menghasilkan keluaran yang lebih tepat.
2. Pada pembuatan alat ukur kejernihan untuk mendapatkan hasil yang standar harus mengikuti aturan dan parameter alat yang telah ditetapkan dalam salah satu standar pengukuran kejernihan atau kekeruhan air internasional seperti NTU (Nephelometric Turbidity Unit), FTU (Formazine Turbidity Unit), FNU (Formazine Nephelometric Units), ASBC (American Society of Brewing Chemists), EBC (European Brewing Convention).
3. Pada pengembangan selanjutnya, agar lebih baik dan akurat, dibutuhkan lebih dari tiga parameter selain suhu, pH dan kejernihan air.

Daftar Pustaka

Anonymous. 2000, LM35, *Precision Centigrade Temperature Sensors*, National Semiconductor.

Atmel. 2005, *8-bit AVR Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash*. ATmega8535. [HTTP://www.Atmel.com/ATmega8535.pdf](http://www.Atmel.com/ATmega8535.pdf).

Couglin F. Robert dan Driscoll F. Frederick. 1992. *Penguat Operational dan Rangkaian Terpadu Linear*. Cetakan Kedua. Penerjemah: Soemitro, Herman Widodo. Jakarta: Erlangga.

George J. Klir and Bo Yuan. 1995, *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications*. New York: Prentice Hall International Inc.

Gunterus, Frans. 1994, *Falsafah Dasar: Sistem Pengendalian Proses*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.

Malvino, Albert Paul. 1996, *Prinsip-Prinsip Elektronika*. Edisi Ketiga. Penerjemah: Gunawan, Hanapi. Jakarta: Erlangga.

Ogata, Katsuhito. 1996, *Teknik Kontrol Automatik*, Edisi Kedua, Alih Bahasa Edi Laksono, Jakarta: Erlangga.

Ross, Timothy J. 1995, *Fuzzy Logic With Engineering Applications*, Singapore: McGraw-Hill, Inc.

Seiko Instruments Inc. 1987, *Liquid Crystal Display Module M1632 User Manual*, Japan.

Setiawan, Cuncun. 2006, *Teknik pembenihan & cara cepat pembesaran Lobster Air Tawar*, Jakarta: Agro Media Pustaka.

Wardhana, Lingga. 2006, *Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATmega8535 Simulasi, Hardware, dan Aplikasi*, Yogyakarta: ANDI.

Yan, Jun. 1994, *Using Fuzzy Logic*, New York: Prentice Hall International Inc.

<http://www.o-fish.com>, diakses tanggal 28 Februari 2007

<http://en.wikipedia.org/wiki/Turbidity>, diakses tanggal 16 Maret 2007

<http://www.ne-wea.org/LabManual/turbidity.htm>, diakses tanggal 16 Maret 2007