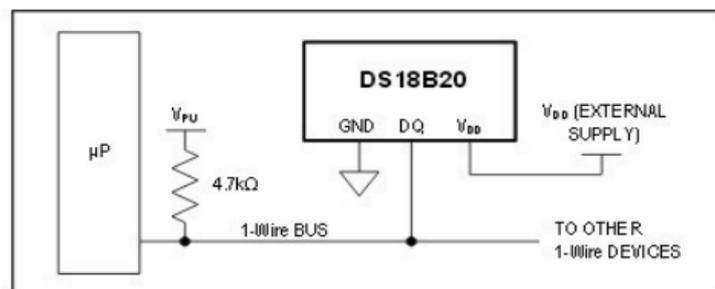


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sensor Suhu

DS18B20 adalah sensor suhu *digital* yang diproduksi oleh MAXIM Integrated (Dulunya DALLAS *Semiconductor*) yang didalamnya sudah terdapat ADC (*Analog to Digital*) dengan resolusi 12 bit. Untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler, sensor DS18B20 menggunakan antarmuka *1-Wire*. Berdasarkan namanya aja, sensor ini berarti hanya menggunakan 1 jalur data (dan *Ground* tentunya) untuk mengirim dan menerima data dari mikrokontroler[4]. Sensor suhu adalah suatu komponen yang dapat mengubah besaran panas menjadi besaran listrik sehingga dapat mendeteksi gejala perubahan suhu pada obyek tertentu[5].



Gambar 2. 1 Rangkaian DS18B20[1]

Modul sensor suhu DS18B20 merupakan sensor suhu yang tahan air, tahan lembab dan anti karat dikemas dengan tabung *stainless steel* berkualitas tinggi. Spesifikasi:

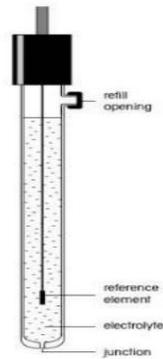
- *Power Supply Range*: 3.0V ke 5.5V
- *Adjustable Resolusi*: 9 - 12
- Rentang Suhu Operasional: -55 ° C sampai + 125 ° C
- *Output utama*: Red (VCC), Black (GND), Kuning (DATA)
- Panjang kabel: 100 cm
- Ukuran *Tube Stainless Steel*: 6 × 45mm[6].



Gambar 2. 2 Sensor Suhu DS18B20

2.2 Sensor PH

PH meter adalah sebuah alat elektronik yang berfungsi untuk mengukur pH (derajat keasaman atau kebasaan) suatu cairan (ada elektroda khusus yang berfungsi untuk mengukur pH bahan-bahan semi-padat). Sebuah pH meter terdiri dari sebuah elektroda (*probe* pengukur) yang terhubung ke sebuah alat elektronik yang mengukur dan menampilkan nilai pH. Alat ini sangat berguna untuk industri air minum, laboratorium, akuarium, industri pakaian terutama batik dan pewarna pakaian[7]. Terdapat 2 jenis elektroda pada 11 sensor pH, yaitu elektroda kaca dan elektroda referensi. Elektroda kaca berfungsi untuk mengukur jumlah ion yang ada dalam larutan dan elektroda referensi berfungsi untuk merubah jumlah ion yang terbaca oleh elektroda kaca menjadi nilai tegangan *analog*. Dengan prinsip kerja yaitu semakin banyak elektron yang terdeteksi pada sampel maka semakin bernilai asam pula cairan tersebut, dan apabila semakin sedikit elektron yang terdeteksi maka sampel cairan tersebut bernilai basa. Apabila nilai pH yang ditampilkan 7 maka larutan tersebut bersifat basa. Sensor pH merupakan elektroda gelas yang memiliki sensitifitas pada ujungnya. Sehingga nilai pH yang ditampilkan didapat dari elektroda khusus yang terhubung ke rangkaian elektronik yang mengukur dan menampilkan pembacaan pH melalui sinyal tegangan berdasarkan reaksinya[8].



Gambar 2. 3 *Layout* Sensor pH

Dalam penelitian ini peneliti menggunakan sensor pH berjenis Elektroda E201 PH Sensor dan modul pH bertipe DIY More pH-4502

1. Elektroda E-201 PH

Sensor Merupakan salah satu jenis sensor pH yang digunakan untuk mengukur derajat keasaman cairan. Yang dimana memiliki spesifikasi :

- 1) Rentang Pengukuran : 0,00 - 14,00 PH
- 2) Persentase Akurasi : 98,5%
- 3) Respon Waktu : Kurang dari 1 menit
- 4) Suhu Operasional : 0-60°C
- 5) Konektor : Port BNC
- 6) Panjang Kabel : 0.8 m[8]



Gambar 2. 4 Elektroda E-201 pH sensor

2. PH Modul DIY More pH-4502C

Merupakan modul dari sensor pH yang digunakan dalam penelitian ini.

Modul pH-4502C memiliki spesifikasi :

- 1) Tegangan : 5 0.2 (AC DC)
- 2) Konsentrasi yang dapat terdeteksi : pH 0 – 14
- 3) Deteksi Suhu :0 – 80 4) Waktu Respon : 5 detik
- 5) Waktu Penyelesaian : 60 detik
- 6) *Power* : 0.5 W
- 7) *Output* : Pin Analog
- 8) Ukuran Modul : 42 mm x 32 mm x20 mm[5]



Gambar 2. 5 Modul pH-4502C

2.3 Water Flow Sensor

Sensor *flow* meter merupakan salah satu sensor yang dapat digunakan untuk mengukur debit air yang mengalir pada pipa. Sensor ini memiliki bagian katup plastik (*valve body*), sebuah sensor *half effect*, dan rotor air [10]. Ketika air mengalir melalui rotor, maka akan berputar rotor tersebut dan kecepatan akan sesuai dengan aliran air yang masuk melalui rotor[9].



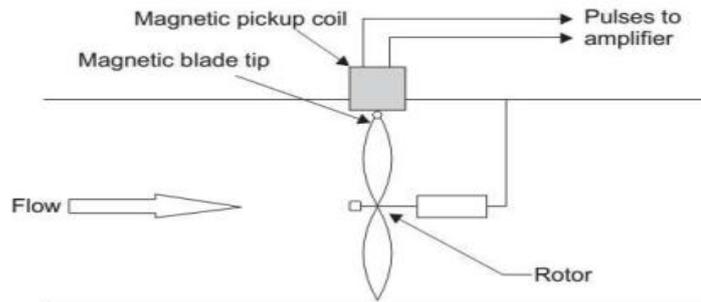
Gambar 2. 6 *Water flow sensor*

(Sumber: <https://www.nyebarilmu.com/tutorial-arduino-mengakses-water-flow-sensor/>)

Tabel 2. 1 Spesifikasi Water Flow Sensor[10]

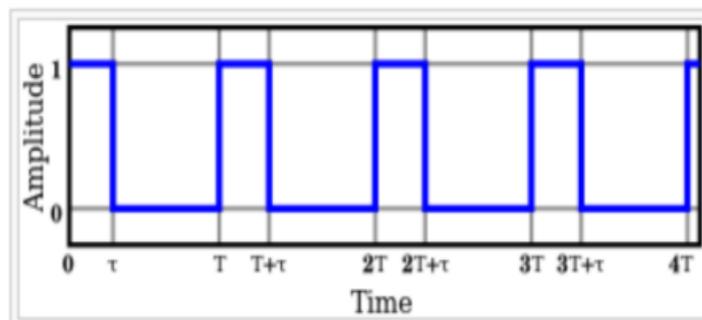
Model	EGO-2
Sensor Type	Hall Effect
Working Voltages	5 to 18V DC (min tested working voltage 4.5V)
Max Current Draw	15mA @5V
Output Type	5V TTL
Working Flow Rate	1 to 30 Liters/Minute
Working Temperature Range	-25°C to +80°C
Working Humidity Range	35% - 80% RH
Accuracy	±10%
Maximum Water Pressure	2.0 MPa
Output Duty Cycle	50% ± 10%
Output Rise Time	0.04us
Output Fall Time	0.18us
Flow Rate Pulse Characteristics	Frequency (Hz) = 7.5*Flow Rate (L/Min)
Pulse per Liter	450
Durability	Minimum 300.000 cycles
Cable Length	15 cm

Pada gambar dibawah ini dapat dilihat prinsip kerja dari sensor *water flow* meter yang digunakan pada sistem.



Gambar 2. 7 Prinsip kerja *water flow sensor*[8].

Pada gambar tersebut ketika fluida mengalir melewati rotor, fluida tersebut mengakibatkan rotor tersebut bergerak dengan kecepatan yang proporsional dengan kecepatan linier fluida. Putaran rotor ini menyebabkan ujung *blade* rotor yang memiliki magnet menghasilkan pulsa *digital on* dan *off* yang dibaca oleh transduser *hall effect* yang ada pada rangkaian pendeteksinya. Pada gambar ini adalah bentuk pulsa sinyal yang dihasilkan dari sensor[10].



Gambar 2. 8 Bentuk pulsa sinyal *water flow sensor*[8]

2.4 Relay

Relay adalah saklar (*switch*) yang dioperasikan secara otomatis oleh tegangan listrik dan merupakan komponen electromechanical yang terdiri dari dua bagian utama yaitu electromagnet (*coil*) dan mekanikal (seperangkat kontak saklar). Relay menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar sehingga

dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi.

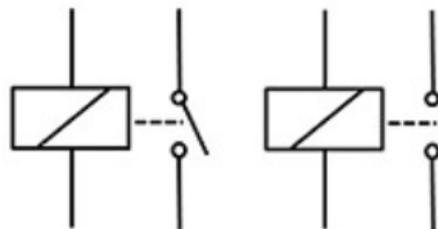


Gambar 2. 9 Modul relay 5 Volt

(Sumber: <https://northelectric.blogspot.com/2017/03/relay-module-5-volt.html>)

Kontak poin (*contact point*) relay terdiri dari dua jenis, yaitu:

1. *Normally Close*, yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi close (tertutup).
2. *Normally Open*, yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi *open* (terbuka)[11].



Gambar 2. 10 *Normally open* dan *normally close*
(Sumber: <https://wikielektronika.com/relay-adalah/>)

2.5 Pompa DC

Pompa adalah mesin atau peralatan mekanis yang digunakan untuk menaikkan cairan dari dataran rendah ke dataran tinggi atau untuk menaikkan tekanan cairan dari cairan bertekanan rendah ke cairan yang bertekanan tinggi atau untuk memindahkan sebuah cairan dari satu tempat ke tempat lainnya. Perpindahan Pada umumnya pompa digerakkan oleh motor, mesin atau sejenisnya. Banyak faktor yang menyebabkan jenis dan ukuran pompa serta bahan pembuatnya

berbeda, antara lain jenis dan jumlah bahan cairan tinggi dan jarak pengangkutan serta tekanan yang diperlukan dan sebagainya[12].



Gambar 2. 11 Pompa DC 12 Volt

(Sumber: <https://www.tokopedia.com/99outlet-1/pompa-air-mini-aquarium-dc-12v-r385-foodgrade-bukan-celup?extParam=ivf%3Dfalse%26src%3Dsearch>)

Spesifikasi pompa DC:

1. Ukuran Pompa: 9.5cm x 4.5cm x 4.5cm
2. *Volt*: 6 - 12 volt
3. *input*: 4.8mm
4. *output*: 8mm
5. *Flow water*: 700ml/30s
6. *head*: up to 3m

2.6 LCD 20x4

LCD (*Liquid Cristal Display*) adalah salah satu jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS *logic* yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. LCD berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik. LCD adalah lapisan dari campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparan indium oksida dalam bentuk tampilan *seven-segment* dan lapisan elektroda pada kaca belakang. Ketika elektroda diaktifkan dengan medan listrik (tegangan), molekul organik yang panjang dan silindris menyesuaikan diri dengan elektroda dari segmen. Lapisan *sandwich* memiliki polarizer cahaya vertikal depan dan *polarizer*

cahaya horizontal belakang yang diikuti dengan lapisan reflektor. Cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewati molekul-molekul yang telah menyesuaikan diri dan segmen yang diaktifkan terlihat menjadi gelap dan membentuk karakter data yang ingin ditampilkan.



Gambar 2. 12 LCD 20x4

(Sumber: <https://www.tokopedia.com/sihijauu/lcd-20x4-i2c>)

2.7 Heater Listrik Heater

Heater Listrik atau pemanas listrik adalah konversi energi listrik menjadi energi panas. Perubahan bentuk energi tersebut dihasilkan oleh rangkaian listrik yang memiliki hambatan cukup besar. Hambatan inilah yang menyebabkan timbulnya panas pada bagian pemanas yang disebut elemen pemanas. Elemen pemanas membangkitkan panas secara bertahap berdasarkan arus listrik yang diberikan. Tegangan kerja heater listrik bervariasi tergantung kegunaannya tetapi pada umumnya adalah menggunakan tegangan AC[13].

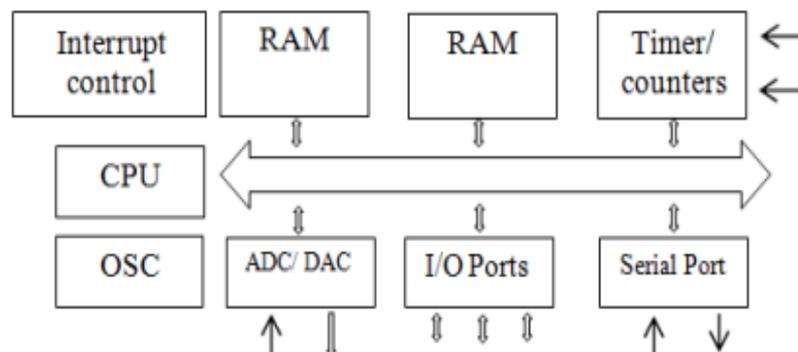


Gambar 2. 13 Bentuk Fisik Heater Skala Kecil

(Sumber : <http://www.banggood.com/Wholesale-300W-250L-Submersible-Automatic-AquariumFish-Tank-Heater-p-35762.htm>)

2.8 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah komputer di dalam *chip* yang digunakan untuk mengontrol peralatan elektronik, yang mengatur efisiensi dan efektivitas biaya [6][7][8]. Secara teknis mikrokontroler dibagi menjadi 2 jenis yaitu RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) dan CISC (*Computer Complex Instruction Collection*), yang masing-masing memiliki keluarga. RISC terbatas tetapi dengan lebih banyak fasilitas. CISC yaitu instruksi yang lebih lengkap dengan fasilitas terbatas. Jadi, mikrokontroler adalah alat yang dibuat oleh seorang programmer. Program ini menginstruksikan mikrokontroler untuk melakukan *interlacing* panjang dari tindakan sederhana untuk melakukan tugas yang lebih kompleks sesuai keinginan programmer[14]. Beberapa fitur yang umumnya hadir dalam mikrokontroler, ditunjukkan pada Gambar



Gambar 2. 14 Alur proses mikrokontroler[13]

Fitur-fitur yang terdapat pada Gambar 1 dijelaskan sebagai berikut:

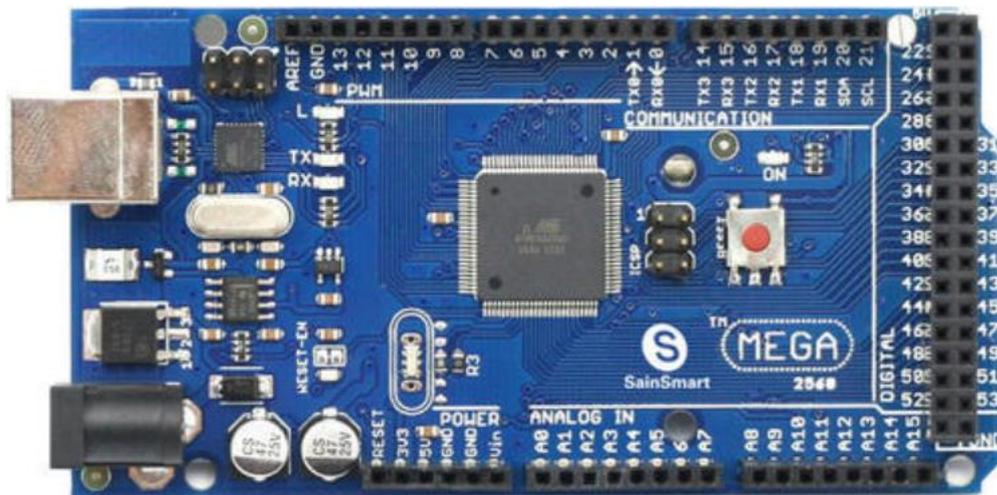
1. RAM (*Random Access Memory*), digunakan sebagai area penyimpanan variabel. Memori ini tidak stabil yang artinya akan kehilangan semua datanya jika tidak mendapatkan catu daya.
2. ROM (*Read Only Memory*), sering disebut sebagai memori kode karena berfungsi sebagai tempat penyimpanan untuk program yang disediakan oleh programmer.

3. Register, repositori nilai-nilai yang akan digunakan dalam proses. Data yang disimpan dalam register bersifat sementara.
4. SFR, singkatan dari Daftar Fungsi Khusus. SFR adalah register khusus yang berfungsi untuk mengatur jalannya mikrokontroler. SFR ini terletak pada RAM.
5. *Input* dan *Output* pin, berfungsi sebagai penerima sinyal dari luar, pin ini dapat dihubungkan ke media *input* seperti sensor. Pin *output* adalah bagian yang berfungsi untuk menghasilkan sinyal dari hasil proses algoritma mikrokontroler.
6. *Interrupt*, fungsi sebagai bagian yang dapat melakukan intrusi. Ketika program utama sedang berjalan, program utama dapat terganggu secara internal.
7. *External Interrupt*, interupsi yang berasal dari luar mikrokontroler komputer. Gangguan akan terjadi jika ada *input* dari pin interupsi.
8. *Interrupt Timer*, *intrusion* akan terjadi pada waktu-waktu tertentu sesuai dengan waktu yang ditentukan. Misalnya, digunakan untuk penundaan satu detik yang dalam bahasa pemrograman ditulis dengan kata "*delay*" dalam satuan milidetik.
9. Interrupt Serial, terjadi ketika menerima data selama komunikasi serial atau ketika register penuh selama proses penerimaan. Proses penerimaan adalah tempat prosesor menerima data serial dari luar[14].

2.8.1 Arduino Mega2560

Arduino Mega 2560 adalah papan microcontroller berbasis Atmega 2560. Arduino Mega 2560 seperti gambar 1 memiliki 54 pin *digital input / output*, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 16 pin sebagai *input analog*, dan 4 pin sebagai UART (*port serial hardware*), 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, *jack power*, *header ICSP*, dan tombol reset. Ini semua yang diperlukan untuk mendukung *microcontroller*. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer melalui kabel USB atau power dihubungkan dengan adaptor AC – DC atau baterai

untuk mulai mengaktifkannya. Arduino Mega 2560 kompatibel dengan sebagian besar *shield* yang dirancang untuk Arduino Duemilanove atau Arduino Diecimila. Arduino Mega 2560 adalah versi terbaru yang menggantikan versi Arduino Mega[15].



Gambar 2. 15 Arduino Mega2560

(Sumber: <https://amaltceva.blogspot.com/2020/03/datasheet-arduino-mega-2560-r3.html>)

Tabel 2. 2 Spesifikasi Arduino Mega2560 (Sumber: <https://www.aldyrazor.com/2020/05/arduino-mega-2560-adalah.html>)

Atribut	Detail
Tegangan Operasional	5 Volt
Tegangan Rekomendasi	7-12 Volt
Batas Tegangan	6-20 Volt
Pin Input/Output Digital	54
Pin PWM	15
Pin Input Analog	16
Arus Untuk Pin Digital	40 mA
Arus Untuk Pin 3,3 V	50 mA
Memori Flash	256 KB (8 KB untuk bootloader)
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Clock Speed	16 MHz
Panjang	10,1 cm
Lebar	5,3 cm
Berat	37 gram

Jenis-jenis pin yang dimiliki oleh Arduino Mega 2560 antara lain:

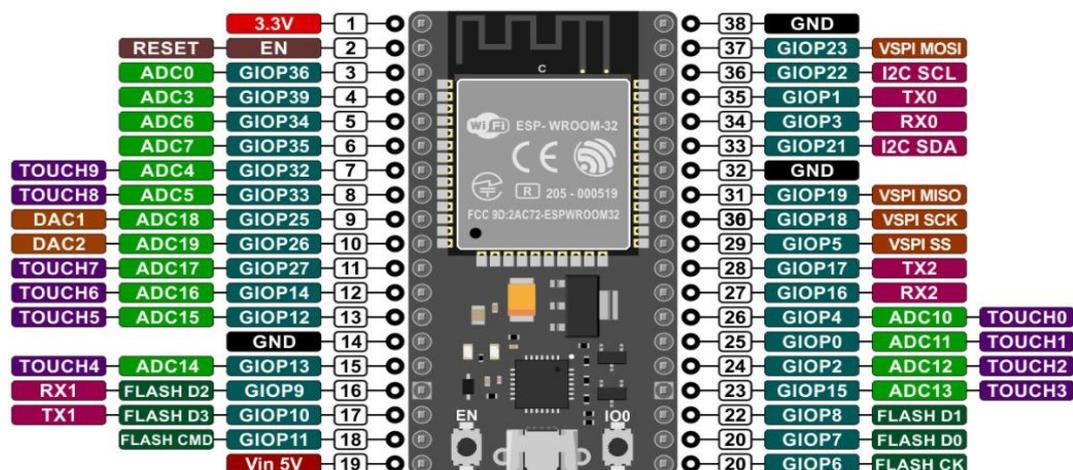
Tabel 2. 3 Pin-pin Arduino Mega2560 (*Sumber: <https://www.aldyrazor.com/2020/05/arduino-mega-2560-adalah.html>*).

Kategori Pin	Nama Pin	Fungsi
Pin Input/Output Digital	0-53	Membaca sinyal digital 1 atau 0
Pin Input Analog	A0-A5	Membaca sinyal analog untuk diubah jadi sinyal digital
Pin Serial 0	0 (RX) dan 1 (TX)	Pin RX digunakan untuk menerima data serial dan pin TX untuk mengirim data serial TTL
Pin Serial 1	19 (RX) dan 18 (TX)	
Pin Serial 2	17 (RX) dan 16 (RX)	
Pin Serial 3	15 (RX) dan 14 (TX)	
Pin External Interrupt	2 (Interrupt 0)	Memicu interupsi pada nilai yang rendah, meningkat, menurun, atau perubah nilai
	3 (Interrupt 1)	
	21 (Interrupt 2)	
	20 (Interrupt 3)	
	19 (Interrupt 4)	
	18 (Interrupt 5)	
PWM	2-13 dan 44-46	Mendapatkan sinyal analog dari sinyal digital
SPI	Pin 50 (MISO)	Memungkinkan komunikasi SPI
	Pin 51 (MOSI)	
	Pin 52 (SCK)	
	Pin 53 (SS)	
I2C	Pin 20 (SDA)	Memungkinkan komunikasi I2C atau TWI
	Pin 21 (SCL)	
LED	Pin 13	Menyalakan LED bawaan yang terhubung di pin 13
Pin Tegangan	Pin VIN	Pin untuk memasukkan tegangan eksternal ke arduino

	Pin 5 V	Pin yang menghasilkan tegangan 5 volt
	Pin 3,3 V	Pin yang menghasilkan tegangan 3,3 volt
	Pin GND	Meniadakan beda potensial jika terjadi kebocoran tegangan
	Pin IOREF	Memberikan referensi tegangan yang beroperasi pada <i>microcontroller</i>
Pin Lainnya	Pin RESET	Menjalankan ulang program yang ada di Arduino
	PIN AREF	Mengatur tegangan referensi eksternal sebagai batas atas untuk pin input analog

2.8.2 NodeMCU ESP32

NodeMCU ESP32 merupakan salah satu *single-board open-source* yang digunakan pada platform IoT dan pengembangan yang menggunakan bahasa pemrograman Lua untuk membantu dalam pembuatan *prototype* produk berbasis Internet of Things atau bisa dengan memakai script bahasa pemrograman dengan software Arduino IDE. Pengembangan kit ini didasarkan pada modul ESP32, yang mengintegrasikan GPIO, PWM (*Pulse Width Modulation*), IIC, 1-Wire dan ADC (*Analog to Digital Converter*) yang semua terintegrasi dalam satu board. NodeMCU berukuran panjang 4.83cm, lebar 2.54cm, dan berat 7 gram. *Board* ini sudah dilengkapi dengan fitur WiFi beserta *Firmware* yang bersifat *open-source*[19][16].



Gambar 2. 16 NodeMCU ESP32

(Sumber: <https://embeddednesia.com/v1/menggunakan-pin-gpio-pada-esp32/>)

berikut ini merupakan spesifikasi yang dimiliki oleh mikrokontroler ESP32:

Tabel 2. 4 Spesifikasi SEP32 (Sumber: <https://raharja.ac.id/2021/11/16/mikrokontroler-esp32-2/>)

Atribut	Detail
CPU	Tensilica Xtensa LX6 32bit Dual-Core di 160/240 MHz
SRAM	250KB
FLASH	2MB (max 64MB)
Tegangan	2,2 volt- 3,6 volt
Arus Kerja	Rata-Rata 80mA
Dapat Diprogram	Ya (C, C++, Python, Lua dll)
Open Source	Ya
Konektivitas	
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Bluetooth	4 2BR/EDR-BLE
UART	3
I/O	
GPIO	32
SPI	4
I2C	2
PWM	8
ADC	18 (12-bit)
DAC	2 (8-bit)

2.9 Software Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah *software* yang digunakan untuk memprogram di Arduino, dengan kata lain Arduino IDE sebagai media untuk memprogram *board* Arduino. Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA dan dilengkapi dengan *library* C atau C++ yang membuat operasi input dan output menjadi lebih mudah. Arduino IDE dikembangkan yang berawal dari *software processing* menjadi Arduino IDE khusus untuk pemrograman dengan Arduino [10][17].



Gambar 2. 17 Logo Arduino IDE
Sumber: Pribadi

2.10 Internet of Things (IoT)

Internet of Thing atau IoT adalah sebuah istilah yang dimaksudkan dalam penggunaan internet yang lebih besar, mengadopsi komputasi yang bersifat *mobile* dan konektivitas kemudian menggabungkannya ke dalam kehidupan sehari-hari. IoT berkaitan dengan DoT (*Disruption of Things*) dan sebagai pengantar perubahan atau transformasi penggunaan internet dari sebelumnya *Internet of People* menjadi Internet of M2M (*Maching-to- Machine*). Sedangkan C-IoT adalah singkatan dari *Collaborative Internet of Thing* adalah sebuah hubungan dari dua point solusi menjadi tiga point secara cerdas[18].

Internet of Things atau dikenal juga dengan singkatan IoT, merupakan sebuah konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terusmenerus yang memungkinkan kita untuk menghubungkan mesin, peralatan, dan benda fisik lainnya dengan sensor jaringan dan aktuator untuk memperoleh data dan mengelola kinerjanya sendiri, sehingga memungkinkan mesin untuk berkolaborasi dan bahkan bertindak berdasarkan informasi baru yang diperoleh secara independent[19].



Gambar 2. 18 Logo Arduino IDE

(Sumber: <https://smkn2dompus.sch.id/2020/04/17/apa-itu-internet-of-things-iot/>)

2.10.1 Adafruit I/O

Adafruit.io adalah layanan cloud yang hanya di jalankan untuk pengguna dan pengguna tidak perlu mengelolanya, serta dapat terhubung melalui internet. Berfungsi untuk menyimpan dan kemudian mengambil data lebih dari satu. Menyajikan data secara real-time, online, dan membuat proyek pengguna yang tersambung ke internet untuk membaca data sensor, motor kontrol dan juga proyek-proyek *connect* ke layanan web seperti twitter, gmail, google asisten, RSS *feed*, layanan cuaca, dan lain-lain. Juga sebagai penyedia layanan MQTT server IoT mengendalikan esp266 secara remote dengan menggunakan fasilitas *subscribe* dan *publish*[20].

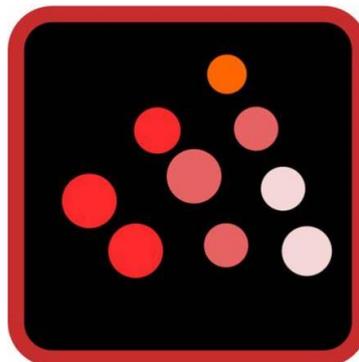


Gambar 2. 19 Logo Adafruit I/O

(Sumber: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Adafruit_logo.svg)

2.11 Scilab

Scilab adalah sebuah perangkat lunak yang dirancang dan dikembangkan untuk komputasi numerik serta untuk visualisasi data secara dua dimensi maupun tiga dimensi. Scilab juga merupakan sebuah bahasa pemrograman tingkat tinggi yang berorientasi numerik. Scilab adalah suatu interpreter sehingga suatu kode program yang dibuat dapat dieksekusi secara langsung dan dilihat hasilnya tanpa harus melalui tahapan kompilasi. Scilab adalah sebuah *freeware* yang dapat digunakan secara gratis untuk keperluan pribadi maupun komersial. Scilab tersedia dalam berbagai macam sistem operasi utama, seperti Windows (XP, Vista, 7, 8), Linux, serta MacOS X[21].



Gambar 2. 20 Logo Scilab

2.12 Logika Fuzzy

Menurut Soleh (2013) Fuzzy Logic adalah metodologi sistem kontrol pemecahan masalah yang cocok untuk diimplementasikan pada sistem. Mulai dari sistem yang sederhana, sistem kecil, embedded system, jaringan PC, *multichannel* atau *workstation* berbasis akuisisi data dan sistem kontrol. Konsep Fuzzy Logic diperkenalkan oleh Prof. Lutfi Astor Zadeh pada 1962. Kelebihan fuzzy logic dapat digunakan pada sebagian besar permasalahan yang terjadi di dunia nyata. Permasalahan di dunia nyata kebanyakan bukan biner dan bersifat non linier sehingga fuzzy logic cocok digunakan karena menggunakan nilai linguistik yang tidak linier. Beberapa alasan yang dapat diutarakan mengapa kita menggunakan

Fuzzy Logic diantaranya adalah mudah dimengerti, memiliki toleransi terhadap data yang tidak tepat, mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinier yang sangat kompleks, dapat bekerja sama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional dan didasarkan pada bahasa alami. Kelebihan metode Mamdani dibandingkan metode sistem penalaran fuzzy lainnya yaitu bersifat intuitif, mencakup berbagai bidang dan sesuai dengan proses input informasi manusia.

2.12.1 Himpunan Fuzzy

Himpunan fuzzy adalah pengelompokan sesuatu berdasarkan variabel bahasa (linguistik variable) yang dinyatakan dengan fungsi keanggotaan (Saelan, 2009). Dalam logika fuzzy ada dua jenis himpunan, yaitu himpunan crisp (tegas) dan himpunan fuzzy (samar).

- a) Himpunan crisp (tegas) adalah himpunan yang menyatakan suatu obyek merupakan anggota dari satu himpunan dengan memiliki nilai keanggotaan (μ) = ya (1) atau tidak (0), oleh karena itu himpunan crisp disebut himpunan tegas.
- b) Himpunan fuzzy adalah himpunan yang menyatakan suatu obyek dapat menjadi anggota dari beberapa himpunan dengan nilai keanggotaan (μ) yang berbeda.

Menurut wulandari (2011) himpunan fuzzy memiliki 2 atribut yaitu:

- a) Linguistik, yaitu penamaan suatu kelompok yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti: LAMBAT, SEDANG, CEPAT.
- b) Numerik, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel, seperti: 40, 50, 60, dan sebagainya.

Hal – hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem fuzzy yaitu:

a) Variabel Fuzzy

Variabel fuzzy merupakan variabel yang dibahas dalam suatu sistem fuzzy, variabel fuzzy terdiri dari beberapa himpunan fuzzy. Contoh: Variabel suhu, terbagi menjadi 5 himpunan fuzzy yaitu: dingin, sejuk, normal, hangat dan panas.

b) Himpunan Fuzzy

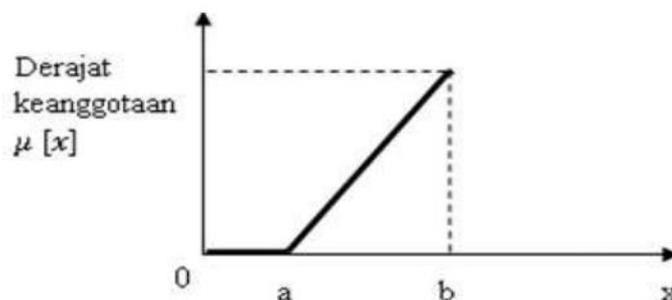
Himpunan fuzzy merupakan suatu kelompok yang mewakili suatu keadaan tertentu dalam suatu variabel fuzzy.

2.12.2 Fungsi Keanggotaan

Menurut wulandari (2011) Fungsi keanggotaan suatu himpunan fuzzy dapat ditentukan dengan fungsi linier, fungsi segitiga (triangel), trapesium (trapezoidal) atau Fungsi Gauss (Gaussian).

1. Fungsi Keanggotaan Linear

Pada fungsi linear, pemetaan input ke derajat keanggotannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Ada dua keadaan himpunan fuzzy linear, yaitu linear naik dan linear turun. Himpunan fuzzy linear naik, kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol [0] bergerak kekanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi. Seperti yang ditunjukkan Gambar 2.22



Gambar 2. 21 Grafik fungsi keanggotaan linier (naik)

1. Fungsi Keanggotaan Garis Lurus

Himpunan fuzzy linear turun, garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah. Seperti yang ditunjukkan Gambar

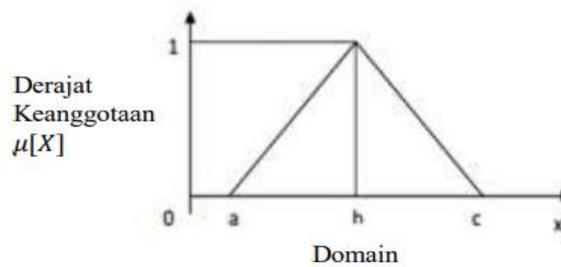


Gambar 2. 22 Grafik fungsi keanggotaan linier (turun)

2. Fungsi Keanggotaan Segitiga

Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (linier).

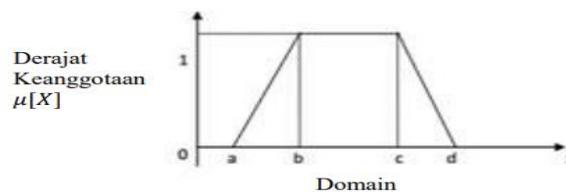
Bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 2. 23 Grafik fungsi keanggotaan segitiga

3. Fungsi Keanggotaan Trapesium

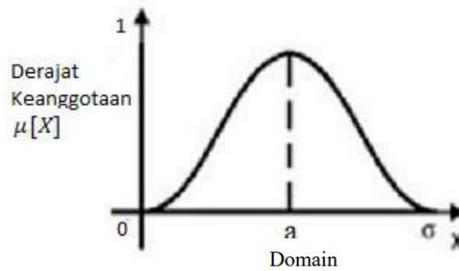
Kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1. Bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 2. 24 Grafik fungsi keanggotaan trapesium

4. Fungsi keanggotaan Gaussian

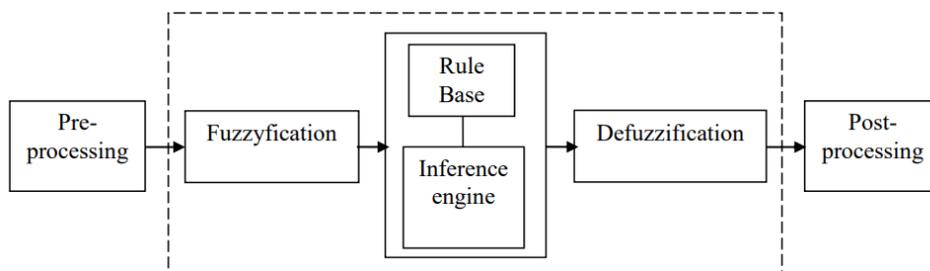
Pada kurva yang memiliki representasi gaussian memiliki bentuk yang hampir sama dengan segitiga dengan permukaan yang tumpul. Biasanya kurva gaussian digunakan untuk mengolah data-data yang acak. Bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 2. 25 Grafik fungsi keanggotaan gaussian

2.12.3 Sistem Berbasis Aturan Fuzzy

Pendekatan logika fuzzy diimplementasikan dalam tiga tahapan, yakni: fuzzifikasi, evaluasi rule (inferensi) dan defuzzifikasi.



Gambar 2. 26 Tahapan sistem berbasis aturan fuzzy

1. Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi merupakan fase pertama dari perhitungan fuzzy yaitu mengubah masukan yang nilai kebenarannya bersifat pasti ke dalam bentuk fuzzy input yang berupa tingkat keanggotaan/tingkat kebenaran. Dengan demikian, tahap ini mengambil nilai-nilai crisp dan menentukan derajat di mana nilai-nilai tersebut menjadi anggota dari setiap himpunan fuzzy yang sesuai.

2. Inferensi

Inferensi adalah melakukan penalaran menggunakan *fuzzy input* dan *fuzzy rules* yang telah ditentukan sehingga menghasilkan *fuzzy output*. Secara sintaks, suatu *fuzzy rule* (aturan fuzzy) dituliskan sebagai berikut: *IF antecedent THEN consequent*.

3. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah mengubah *fuzzy output* menjadi nilai tegas berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Sistem inferensi hanya dapat membaca nilai yang tegas, maka diperlukan suatu mekanisme untuk mengubah nilai *fuzzy output* itu menjadi nilai yang tegas. Itulah peranan defuzzifikasi yang memuat fungsi-fungsi penegasan dalam sistem, sehingga defuzzifikasi merupakan metode yang penting dalam pemodelan sistem *fuzzy*.

2.12.4 Metode Mamdani

Fuzzy Menurut Solikin (2011) Salah satu aplikasi logika *fuzzy* yang telah berkembang amat luas dewasa ini adalah sistem inferensi fuzzy (Fuzzy Inference System / FIS) yaitu kerangka komputasi yang didasarkan pada teori himpunan fuzzy, aturan fuzzy berbentuk *IF THEN* dan penalaran fuzzy. Misalnya penentuan produksi barang, sistem pendukung keputusan, sistem klasifikasi data, sistem pakar, sistem pengenalan pola, robotika dan sebagainya. Ada tiga metode dalam sistem inferensi fuzzy yang sering digunakan yaitu metode Tsukamoto, metode Mamdani dan metode Takagi Sugeno. Dalam penelitian ini akan dibahas penentuan kualitas kopi menggunakan metode Mamdani. Sistem ini berfungsi untuk mengambil keputusan melalui proses tertentu dengan mempergunakan aturan inferensi berdasarkan logika fuzzy. Metode Mamdani sering juga dikenal dengan Metode *Max-Min*. Metode ini dikenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk mendapatkan output, diperlukan 3 tahapan:

1. Pembentukan himpunan fuzzy Pada metode mamdani, baik variabel input maupun variabel *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy.
2. Aplikasi fungsi implikasi (aturan) Pada metode mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah Min.
3. Komposisi Aturan Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem fuzzy yaitu : *max*, *additive* dan *probabilistic OR*.

a. Metode Max (Maximum)

Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maximum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah fuzzy dan mengaplikasikannya *output* dengan menggunakan operator *OR (union)*. Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka output akan berisi suatu himpunan fuzzy yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap proposisi. Ada beberapa metode defuzzifikasi pada komposisi aturan mamdani, secara umum dapat dituliskan:

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \max(\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i]) \dots (2.1)$$

Apabila digunakan fungsi implikasi *Min*, maka metode komposisi sering disebut dengan nama *Max-Min* atau *Min-Max* atau Mamdani

b. Metode Additif (sum)

Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan bounded-sum terhadap semua *output* daerah fuzzy. Secara umum dituliskan:

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \min(1, \mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]) \dots (2.2)$$

c. Metode Probalistik OR (probor)

Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan produk terhadap semua *output* daerah fuzzy. Secara umum dituliskan :

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow (\mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]) - (\mu_{sf}[x_i] - \mu_{kf}[x_i]) \dots (2.3)$$

4. Penegasan (defuzzifikasi)

Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy. *Output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut. Jika diberikan suatu himpunan fuzzy dalam *range* tertentu, maka dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai output.

Ada beberapa metode defuzzikasi pada komposisi aturan mamdani, antara lain:

a. Metode Centroid (*Composite Moment*)

Pada metode ini solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (z^*) daerah fuzzy. Secara umum dirumuskan:

$$z^* = \frac{\int_z z\mu(z)dz}{\int_z \mu(z)dz} \text{ untuk variabel kontinu} \quad \dots (2.4)$$

$$z^* = \frac{\sum_{j=i}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=i}^n \mu(z_j)} \text{ untuk variabel diskrit} \quad \dots (2.5)$$

b. Metode Bisektor

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain fuzzy yang memiliki nilai keanggotaan separuh dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah fuzzy. Secara umum dituliskan:

$$z_p \text{ sedemikian sehingga } \int_{R_l}^p \mu(z)dz = \int_p^{R_n} \mu(z)dz \quad \dots (2.6)$$

c. Metode *Mean Of Maximum* (MOM)

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

d. Metode *Largest Of Maximun* (LOM)

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

e. Metode *Smalles Of Maximum* (SOM)

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mangambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum[22].