



TEKNOLOGI INFORMASI

UNIVERSITAS DARMA PERSADA

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang dilaksanakan oleh Mochammad Rivian Satriawan, Gigih Priyandoko, Sabar Setiawidayat (2023) yang berjudul “Monitoring pH dan Suhu Air Pada Budidaya Ikan Mas Koki Berbasis IoT”. Dengan membantu para pembudidaya ikan mas koki untuk menghitung kadar keasaman (pH) dan suhu pada air yang bertujuan mengoptimalkan berat badan ikan mas koki dan menjaga ikan untuk tidak terserang jamur. Metode pengujian alat dilakukan dengan cara menjalankan sensor dan NodeMCU untuk dihubungkan pada local server Blynk. Untuk menghubungkan pada local server menggunakan Acces Point. Pengujian dilakukan dengan pembacaan sensor untuk beberapa sample aquarium/kolam, pengujian dengan 3 perlakuan pada ikan mas koki. Perlakuan pada ikan mas koki termasuk kualitas air. Kualitas air adalah sebuah air yang baik menurut beberapa parameter fisika, kimia dan biologi. Kualitas air pada kolam ikan dapat terkontaminasi dari pakan maupun kotoran dari ikan dan suhu pada air dapat berubah dimana tempat aquarium atau kolam itu diletakkan. Kualitas air juga dapat berpengaruh pada ikan dalam kesehatan maupun dalam mengoptimalkan berat badan. Ikan mas koki dapat hidup sampai umur +/- 30 tahun memiliki panjang mencapai 23 inches (58 cm) dan berat mencapai 2,7 kg.

Pengujian dilakukan dengan memonitoring pH dan suhu secara realtime melalui aplikasi Blynk. Pengambilan data pada pengujian ini dengan cara membandingkan nilai pH dan suhu selama 7 hari kepada 3 perlakuan yaitu A (pH dibawah 6,5 dan suhu dibawah 18oC), B (pH diantara 6,5 – 7,5 dan suhu diantara 18 – 23 oC), C(pH diatas 7,5 dan suhu diatas 23 oC). Dari data yang di ambil dalam tabel 3 yang dilakukan selama 7 hari (senin – minggu) dapat dilihat perlakuan terbaik bagi ikan mas koki adalah pada perlakuan 1 pH 6.5 – 7.5 dan suhu 18 – 23 oC sebabnya pada perlakuan tersebut ikan mas koki tidak mudah mati dan dari 10 butir pelet ikan habis setiap pemberian makan yang dilakukan 2 kali satu hari pada pagi dan sore hari menghasilkan berat optimal ikan mas koki terjaga. Perlakuan 2 pH 4 – 5 dan suhu 10 – 16 oC kurang baik sebabnya pada hari ke 4 (kamis) perlakuan tersebut menjadikan ikan mas koki mati dan dari 10 butir pelet ikan hanya habis 5 butir pelet ikan setiap pemberian makan yang dilakukan 2 kali satu hari pada pagi dan sore hari menghasilkan berat ikan mas koki menjadi tidak optimal. Perlakuan 3 pH 8 – 10 dan suhu 24 – 30 kurang baik sebabnya sebabnya pada hari ke 3 (rabu) perlakuan tersebut menjadikan ikan mas koki mati dan dari 10 butir pelet ikan hanya habis 5 butir pellet ikan setiap pemberian makan yang dilakukan 2 kali satu hari pada pagi dan sore hari menghasilkan berat ikan mas koki *menjadi tidak optimal seperti pada pada perlakuan pH 4 – 5 dan suhu 10 – 16 oC.*

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa dari sistem monitoring pH dan suhu air pada budidaya ikan mas koki berbasis Internet of Things (IoT) dapat disimpulkan sebagai bahwa sistem monitoring pH dan suhu air pada budidaya ikan mas koki beberbasis IoT telah berhasil dibangun. Tingkat gagal panen pembudidaya

dapat berkurang karena ikan dapat di monitoring secara realtime menjadikan tingkat kematian ikan berkurang. Software Blynk dapat di gunakan untuk monitoring data pada sistem kontrol yang telah di buat. Hasil uji komparasi antara sensor suhu dengan termometer air dan sensor pH dengan pH meter air menunjukkan hasil tidak ada perbedaan signifikan.

Yosia Nindra Kristiantya, Eko Setiawan, Barlian Henryranu Prasetio (2022) telah melakukan penelitian yang berjudul “Sistem Kontrol dan Monitoring Kualitas Air pada Kolam Ikan Air Tawar menggunakan Logika Fuzzy berbasis Arduino”. Penelitian ini memonitoring dan controlling kualitas air pada kolam ikan air tawar menggunakan metode fuzzy sugeno berbasis Arduino. Terdapat 7 buah komponen utama yang digunakan agar sistem dapat bekerja. Komponen tersebut meliputi Arduino Uno sebagai mikrokontroler, sensor suhu ds18b20, sensor ammonia (NH₃), MQ-135, relay 1 channel, steker listrik, pompa air, dan breadboard. Semua komponen tersebut harus saling terhubung agar dapat berjalan sesuai kebutuhan dan keinginan. Secara umum, fungsi dari sistem ini adalah melakukan kontroling dan monitoring pada kualitas air kolam ikan nila yang diperoleh dari pembacaan sensor parameter kualitas air yaitu sensor suhu ds18b20 dan sensor ammonia (NH₃) MQ-135 yang nantinya akan di proses oleh Arduino Uno dan ditentukan kelasnya dengan metode fuzzy untuk menentukan kualitas air kolam tersebut, yang nantinya kelas tersebut akan berpengaruh pada keluaran sistem yaitu pompa air yang akan menyala sesuai dengan perintah yang di dapat dari Arduino Uno. Sensor ds18b20 digunakan untuk memperoleh data pembacaan suhu pada air kolam ikan nila, dan sensor MQ-135 digunakan untuk memperoleh data pembacaan ammonia (NH₃)

pada air kolam ikan nila. Selanjutnya pada bagian proses, data yang sudah didapat dari pembacaan sensor suhu dan NH₃ dikirim ke Arduino Uno sebagai mikrokontroler yang nantinya akan diolah dengan metode fuzzy yang terdiri dari tiga tahapan proses didalamnya yaitu fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Hasil dari implementasi fuzzy logic tersebut selanjutnya yang akan dikirim ke proses keluaran dari sistem sebagai sistem kontrol pada pompa air yang terhubung dengan relay, dalam hal ini yang menjadi parameter kontrol pada pompa air adalah lama durasi menyala pompa air pada kolam ikan. Metode fuzzy yang dirancang pada sistem ini menggunakan bentuk trapesium pada keanggotaan fuzzy karena pada fungsi bentuk trapesium ini terdapat beberapa nilai x dari keanggotaan fuzzy yang akan diubah dalam bentuk bilangan fuzzy. Angka yang diletakkan didalam tiap set trapesium merupakan nilai vector bilangan yang didapat dari jumlah volume suhu dan amonia.

Kesimpulan pada pengujian yang sudah dilakukan pada penelitian ini yaitu penggunaan sensor ds18b20 pada penelitian ini mendapatkan hasil yang memuaskan dengan rata rata kesalahan dari pembacaan sensor dsb18b20 ini adalah 0,95 yang dihitung dengan rumus MAPE. Penggunaan sensor mq-135 pada penelitian ini mendapatkan hasil yang memuaskan dengan hasil dan analisis pengujian yang mendapat nilai perbandingan dari pembacaan amonia sensor mq 135 dengan amonia kit yang akurat. Walaupun pembacaan pada amonia kit tidak dapat memberikan berapa angka asli kadar amonia pada air karena hanya menggunakan parameter warna pada kertas indikator amonia air yang tersedia dalam amonia kit. Hasil dari pengujian sistem yang telah dibuat pada penelitian ini secara keseluruhan

mendapatkan hasil yang baik. Hal ini juga didukung karena adanya faktor dari eksternal yaitu pemeliharaan kualitas air yang benar benar diperhatikan seperti menguras kolam ikan satu kali dalam seminggu, adanya penutup atap untuk membuat kondisi kolam teduh dan tidak langsung terkena cahaya sinar matahari, aerator yang dinyalakan tiap pagi dan sore untuk menjaga sirkulasi oksigen pada kolam.

Arip Kristiyanto (2023) telah melakukan penelitian yang berjudul “Smart Aquarium IoT System dengan Metode Fuzzy untuk Klasifikasi Kualitas Air Berdasarkan Suhu, pH, dan Kekeruhan”. Penelitian ini mengembangkan suatu sistem akuarium pintar dengan IoT yang dapat memanajemen kebutuhan ikan, kualitas air dan pakan secara otomatis. Sistem ini dapat dikontrol dan dimonitoring melalui smartphone android ataupun komputer. Pengklasifikasian kualitas air menerapkan metode fuzzy. Arduino Uno dan Node MCU sebagai pusat kontrol, sensor pH sebagai pengukur keasaman air, sensor DS18B20 sebagai modul sensor suhu, sensor turbidity sebagai modul kekeruhan air. Ubidots digunakan sebagai server IoT untuk mengotrol dan memonitor dimana saja dan kapan saja selama ada jaringan internet. Peneliti memonitoring kualitas air dalam akuarium ikan hias air tawar menggunakan pemrograman Arduino, Arduino sebagai pusat control dalam menjalankan perintah yang diinginkan yang telah di tanamkan didalam sirkuit arduino [8]. Gambaran alur kerja rangkaian, memulai membaca sensor ketika suhu $< 25^{\circ}\text{C}$ heater akan menyala, tetapi ketika suhu diatas $> 32^{\circ}\text{C}$ tidak ada aksi, diansumsikan bahwa suhu air aquarium pada musim kemarau tidak terlalu berpengaruh ke suhu air, tetapi beda ketika musim hujan, suhu dingin akan

berpengaruh terhadap suhu air. Ketika pH >8 maka pH down akan on sebaliknya ketika pH <6 maka pH up akan on. Selanjutnya Ketika air aquarium terbaca keruh maka bio filter akan on.

Dari pengujian yang telah dilakukan peneliti, dapat disimpulkan bahwa metode fuzzy tsukamoto dapat diterapkan pada mikrokontroler untuk klasifikasi kualitas air akuarium dan akurasinya mencapai 100%. Hasil pengujian sensor berfungsi dengan baik, sensor suhu mempunyai rata – rata error cukup kecil yaitu 0,30%, untuk sensor pH rata-rata error sebesar 0,62 % dan sensor turbidity dapat mendeteksi air keruh dan tidak keruh. Konsep IoT berhasil diterapkan pada smart aquarium yang bersifat interaktif, dimana sistem melalui jaringan internet mampu memonitoring secara realtime dan controlling (kontrol disini dapat mengontrol lampu akuarium) melalui dashboard pada halaman web. Sistem ini dapat memberikan pesan notifikasi melalui e-mail dan telegram ketika kualitas air dalam kondisi rendah. Penjadwalan pakan berjalan dengan baik, motor servo merespon sesuai jadwal pakan pada pagi pukul 07:00 dan sore hari pada pukul 16.00.

2.2 Kualitas Air

Air merupakan substansi kimia dengan rumus H₂O yang secara alami terdapat di bumi, bersifat tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau dalam kondisi standar. Kualitas air dapat dinilai dari aspek kimia, biologi, fisik, dan estetika, salah satunya melalui tingkat kekeruhan yang dinyatakan dalam satuan *Nephelometric Turbidity Units* (NTU). Menurut WHO, batas maksimum kekeruhan air minum yang memenuhi syarat adalah 5 NTU. Kekeruhan yang tinggi dapat

berdampak buruk pada ikan, menurunkan tingkat kelangsungan hidup embrio, dan menimbulkan bau tidak sedap.

Kekeruhan air disebabkan adanya kandungan *total suspended solid* (TDS) baik yang bersifat organik maupun anorganik. Zat organik berasal dari lapukan tanaman dan hewan, sedangkan zat anorganik berasal dari lapukan batuan dan logam. Zat organik dapat menjadi makanan bakteri sehingga mendukung perkembangannya. (Musyrifah, Asmawati, Muh. Fuad Mansyur, Vol. 12 No. 2, 2024).

pH air juga merupakan parameter penting dalam kualitas air. Proses biokimiawi seperti nitrifikasi dipengaruhi oleh pH, di mana pH kurang dari 4 atau lebih dari 11 bersifat mematikan bagi ikan. Pada pH antara 6,5 hingga 9,5 yang tidak stabil dalam waktu lama, pertumbuhan dan reproduksi ikan dapat terganggu. Penurunan pH akibat peningkatan CO₂ dapat diatasi dengan pergantian air secara rutin.

Suhu memengaruhi laju metabolisme ikan, di mana metabolisme meningkat seiring kenaikan suhu hingga batas optimum. Sisa metabolisme berupa NH₃ dan CO₂ juga meningkat, yang dapat memengaruhi pH air. Pengendalian kualitas air yang baik diperlukan untuk mendukung kehidupan ikan di habitatnya.

2.3 Ikan Hias Mas Koki

Ikan hias adalah jenis ikan yang dipelihara bukan untuk konsumsi, melainkan untuk memperindah taman atau ruang dalam rumah. Ikan hias memiliki nilai keindahan berdasarkan bentuk, warna, dan karakter khasnya, menjadikannya komoditi perdagangan yang penting.

Salah satu ikan hias air tawar populer adalah ikan mas koki, yang memiliki warna dan bentuk menarik. Lingkungan air yang ideal untuk ikan mas koki adalah suhu 27–28°C, pH 6,5–8,5. Selain itu, untuk tingkat kekeruhan ikan mas koki yang ideal dalam rentang 0–25 NTU. Kondisi lingkungan yang sesuai diperlukan untuk mendukung pertumbuhan dan kesehatan ikan hias.

2.4 Internet of Things

Internet of Things adalah konsep di mana berbagai perangkat dapat terhubung dan berkomunikasi satu sama lain melalui internet untuk memungkinkan pengumpulan dan pertukaran data secara otomatis. *Internet of Things* (IoT) merupakan jaringan objek atau perangkat fisik, seperti perangkat pintar, peralatan *wearable*, kendaraan, dan bangunan, yang tertanam dengan sensor, perangkat lunak, dan konektivitas jaringan yang memungkinkan mereka untuk mengumpulkan dan bertukar data. Tujuan dari IoT adalah menciptakan sistem perangkat terkoneksi yang dapat mengotomatisasi proses, mengoptimalkan kinerja, dan memberikan layanan dan pengalaman baru

Tugas dari *Internet of Things* (IoT) adalah menjembatani antara dunia fisik dan dunia informasi. Seperti bagaimana mengolah data yang diperoleh dari peralatan elektronik melalui sebuah interface antara pengguna dan peralatan itu. Sensor mengumpulkan data mentah fisik dari skenario *real time* dan mengkonversikan ke dalam mesin format yang dimengerti sehingga akan mudah dipertukarkan antara berbagai bentuk format data. Teknologi *Internet of Things* bergantung pada kombinasi perangkat keras, perangkat lunak, dan protokol konektivitas untuk memungkinkan perangkat berkomunikasi satu sama lain dan dengan internet. Hal ini termasuk sensor dan aktuator, mikrokontroler, protokol komunikasi seperti *WiFi* dan *Bluetooth*, dan *platform cloud* untuk penyimpanan dan analisis data.

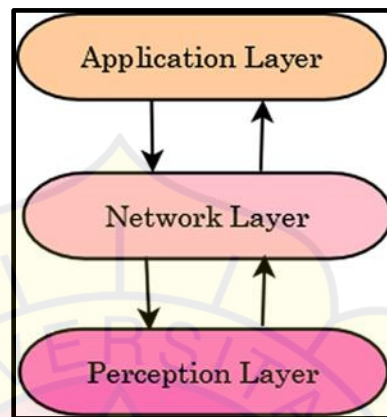
Internet of Things (IoT) adalah sebuah konsep di mana suatu objek memiliki kemampuan untuk mengirimkan data melalui Internet tanpa memerlukan interaksi manusia-ke-manusia atau manusia-ke-komputer.

2.5 Arsitektur Internet of Things (IoT)

Tumpukan protokol IoT dapat dianggap sebagai perluasan dari model protokol TCP/IP. Seiring perkembangan, beberapa arsitektur IoT telah diusulkan dengan berbagai jumlah lapisan dan fitur. Berikut ini dibahas tiga jenis arsitektur IoT yang paling umum digunakan yaitu, 3 lapisan, 5 lapisan, dan 7 lapisan.

2.5.1 Arsitektur Tiga Lapis (*3-Layer Architecture*)

Arsitektur tiga lapis adalah arsitektur awal yang digunakan dalam implementasi IoT. Arsitektur ini terdiri dari:



Gambar 2.1 Arsitektur Tiga Lapis

1. Lapisan Persepsi (*Perception Layer*)

Disebut juga sebagai lapisan fisik atau lapisan pengenalan. Fungsinya adalah mengumpulkan data fisik dari objek-objek di lingkungan sekitar. Sensor seperti RFID, barcode, WSN, dan GPS digunakan pada lapisan ini. Data dikonversi ke dalam bentuk sinyal digital agar lebih mudah dikirimkan melalui jaringan. Lapisan ini bergantung pada kecerdasan tertanam dan nanoteknologi, seperti chip nano yang dapat ditanamkan dalam barang-barang sehari-hari seperti perangkat wearable.

2. Lapisan Jaringan (*Network Layer*)

Ini adalah elemen inti dari IoT yang mengirimkan data dari lapisan persepsi ke tujuan berikutnya. Lapisan ini mencakup perangkat keras dan lunak jaringan seperti router, switch, serta teknologi komunikasi

seperti WiFi, ZigBee, 3G, 4G, dan 5G. Juga bertanggung jawab untuk manajemen jaringan dan pengalamatan data.

3. Lapisan Aplikasi (*Application Layer*)

Lapisan ini bertindak sebagai antarmuka pengguna dan menyediakan layanan sesuai kebutuhan sektor industri dan sosial. Di sinilah semua potensi IoT diwujudkan, seperti aplikasi rumah pintar, transportasi pintar, dan kesehatan pintar. Pengembang IoT menggunakan lapisan ini untuk membuat dan mengelola aplikasi mereka.

2.5.2 Arsitektur Lima Lapis (*5-Layer Architecture*)

Karena perkembangan IoT yang cepat, arsitektur tiga lapis dianggap kurang memadai, sehingga dikembangkan arsitektur lima lapis, yang meliputi:

1. Lapisan Persepsi (*Perception Layer*)

Disebut juga sebagai lapisan fisik atau lapisan pengenalan. Fungsinya adalah mengumpulkan data fisik dari objek-objek di lingkungan sekitar. Sensor seperti RFID, barcode, WSN, dan GPS digunakan pada lapisan ini. Data dikonversi ke dalam bentuk sinyal digital agar lebih mudah dikirimkan melalui jaringan. Lapisan ini bergantung pada kecerdasan tertanam dan nanoteknologi, seperti chip nano yang dapat ditanamkan dalam barang-barang sehari-hari seperti perangkat wearable.

2. Lapisan Transportasi (*Transport Layer*)

Bertugas mengirimkan data dari lapisan persepsi ke lapisan pemrosesan dan sebaliknya. Teknologi yang digunakan termasuk Bluetooth, WiFi, dan inframerah. Mendukung pengalamatan objek menggunakan IPv6.

3. Lapisan Pemrosesan (*Processing Layer*)

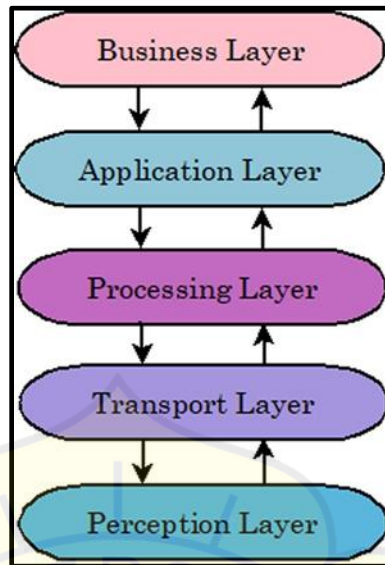
Bertugas menyimpan dan menganalisis data yang dikumpulkan dari sensor. Menggunakan database, cloud computing, ubiquitous computing, dan pemrosesan cerdas untuk menangani volume data yang besar.

4. Lapisan Aplikasi (*Application Layer*)

Menentukan jenis aplikasi yang digunakan dalam IoT dan meningkatkan keamanan serta keaslian aplikasi.

5. Lapisan Bisnis (*Business Layer*)

Bertanggung jawab untuk pengelolaan, strategi, dan analisis data bisnis. Lapisan ini menjamin privasi pengguna dan membuat keputusan berbasis data yang dikumpulkan.



Gambar 2.2 Arsitektur Lima Lapis

2.5.3 Arsitektur Tujuh Lapis (*7-Layer Architecture*)

Karena kebutuhan yang semakin kompleks, arsitektur IoT dikembangkan lebih lanjut menjadi tujuh lapis. Pendekatan ini didasarkan pada Service-Oriented Architecture (SOA) dan banyak digunakan oleh Cisco. Lapisan-lapisan tersebut adalah:

1. Perangkat Fisik dan Pengontrol (*Physical Device and Controllers*)

Berisi sensor dan perangkat yang dikendalikan langsung oleh sistem IoT. Mendukung kecerdasan tepi (*Edge Intelligence*) untuk mengurangi latensi.

2. Konektivitas (*Connectivity*)

Menyediakan komunikasi dari perangkat ke *cloud*, mencakup *edge computing* dan pemetaan data.

3. Edge Computing

Berfungsi sebagai penghubung antara data dan sistem cloud. Mengelola konversi protokol dan pengambilan keputusan cepat dengan latensi rendah.

4. Akumulasi Data (*Data Accumulation*)

Menyediakan penyimpanan awal data untuk pemrosesan dan integrasi lebih lanjut.

5. Abstraksi Data (*Data Abstraction*)

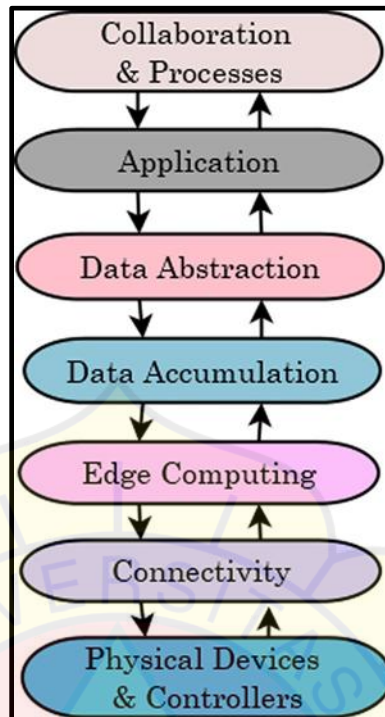
Mengorganisasi data menjadi skema dan aliran yang bisa diproses di lapisan atas. Juga mendeteksi alarm dan prioritas data.

6. Lapisan Aplikasi (*Application Layer*)

Tempat logika aplikasi berjalan, seperti manajemen alarm, analisis statistik, dan pengoptimalan proses.

7. Kolaborasi dan Proses (*Collaboration and Processes*)

Menyediakan antarmuka bagi pengguna dan aplikasi bisnis. Di sinilah nilai ekonomi dari IoT dihasilkan untuk optimalisasi bisnis dan pertumbuhan sosial.

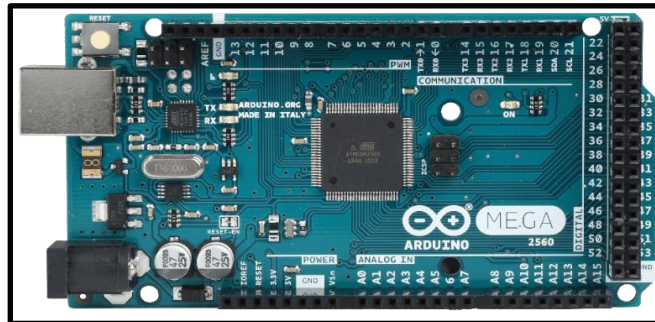


Gambar 2.3 Arsitektur Tujuh Lapis

2.6 Perangkat Keras Perancangan Sistem

2.6.1 Arduino Mega 2560

Board Arduino 2560 adalah sebuah board Arduino yang menggunakan ic Mikrokontroler ATmega 2560. Board ini memiliki pin I/O yang relatif banyak, 54 digital input / output, 15 buah di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM, 16 buah analog input, 4 UART. Arduino Mega 2560 dilengkapi juga dengan 16 MHz untuk penggunaan relatif sederhana tinggal menghubungkan power dari USB ke PC atau laptop / melalui Jack DC pakai adaptor 7-12 VDC. Berikut spesifikasi dari Arduino Mega 2560 (Kartiria dkk, 2021):



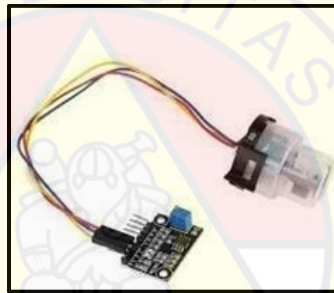
Gambar 2.4 Arduino Mega 2560 (Dadi Riskiono et al., 2018)

Komponen Papan Arduino Mega 2560 adalah sebagai berikut:

1. ATmega 2560, menggunakan chip Atmega16u2 yang diprogram sebagai konverter USB-to-serial. Ini dipilih karena lebih mengakomodir pin input dan output lebih banyak.
2. 5V, sebuah pin yang mengeluarkan tegangan ter-regulator 5 Volt, dari pin ini tegangan sudah diatur (ter-regulator) dari regulator yang tersedia pada papan.
3. 3.3V, sebuah pin yang menghasilkan tegangan 3,3 Volt. Tegangan ini dihasilkan oleh regulator yang terdapat pada papan (on-board).
4. Analog Input, masing-masing dari 54 digital pin pada Arduino Mega dapat digunakan sebagai input atau output, menggunakan fungsi pin `Mode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`
5. Reset, Sirkuit reset adalah jalur pengaturan program ulang, dimana fitur ini dapat digunakan ketika terdapat kesalahan dalam pemrograman, atau ingin mengganti program.
6. GND, Pin Ground.

2.6.2 Sensor Turbidity

Sensor *turbidity* yaitu sensor yang dapat mendeteksi tingkat kekeruhan pada air, yang dimana pada dasarnya tingkat kekeruhan yang terdapat dalam air tidak dapat dilihat secara kasat mata. Turbidimeter dapat dihubungkan ke mikrokontroler adapun mikrokontroler yang digunakan oleh peneliti yaitu NodeMCU. Sensor kekeruhan ini memiliki mode keluaran yaitu sinyal analog yang bisa disesuaikan dengan nilai batas pembaca sensor karena terdapat variabel resistor/potensiometer (Anindhita Lestari, Anggi Zafia, 2022).



Gambar 2.5 Sensor *Turbidity* (Anindhita Lestari, Anggi Zafia, 2022)

Berikut adalah spesifikasi alat sensor turbidity yang digunakan untuk monitoring kualitas air pada akuarium ikan hias:

Tabel 2.1 Spesifikasi Sensor *Turbidity*

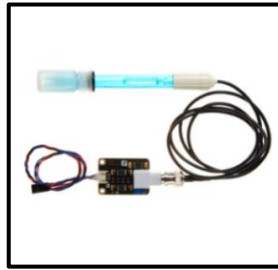
Parameter	Spesifikasi
Tegangan Operasi	5V DC
Arus Operasi	40 mA
Waktu Respon	<500ms
Resistensi Isolasi	100M Ω (Min)
Output Mode Analog Output	0 – 4.5 Volt

Digital Output	High/Low Level Signal
Suhu Operasi	-20°C - 90°C
Ukuran Modul	30mm*20mm
Dimensi Adaptor	38mm*35.5mm*10mm
Antarmuka Sensor	XH2.54 Connector
Rentang Rasio (NTU)	0 – 1000 +- 30
Dioda Pemancar Inframerah	940nm (Panjang Gelombang Emisi Puncak)
Foto Transistor	880nm (Panjang Gelombang Emisi Puncak)

2.6.3 Sensor pH

Sensor pH (*Power of Hydrogen*) adalah sensor yang digunakan untuk mengukur sebuah derajat keasaman pada suatu cairan. Alat ini mempunyai nilai rentang 0 – 14, dimana untuk nilai pH yang netral mempunyai nilai 6,5 hingga 7,5 ketika kurang dari 6,5 cairan dikatakan asam dan atau lebih dari 7,5 maka cairan bernilai basa (Anindhita Lestari, Anggi Zafia, 2022).

Sensor pH digunakan dalam beragam penelitian, sensor pH biasa dipakai untuk mengukur tingkat pH dalam air hidroponik. Sensor ini biasanya memiliki probe yang harus dicelupkan ke dalam air untuk membaca pH. Sensor pH adalah sensor yang digunakan untuk mengetahui derajat keasaman.. Prinsip utama kerja sensor pH meter adalah terletak pada sensor probe berupa elektroda kaca dengan jalan mengukur jumlah ion H₃₀⁺ di dalam larutan.



Gambar 2.6 Sensor pH (Anindhita Lestari, Anggi Zafia, 2022)

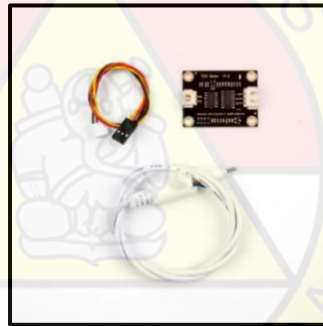
Berikut adalah spesifikasi alat sensor pH yang digunakan untuk monitoring kualitas air pada akuarium ikan hias:

Tabel 2.2 Spesifikasi Sensor pH

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Pemanas	5V +- 0.2V (AC DC)
Arus Operasi	5 – 10mA (milliampere)
Kisaran Konsentrasi yang dapat dideteksi	PH0 – 14
Kisaran Suhu Deteksi	0 – 80
Waktu Respon	5 Detik
Menetapkan Waktu	60 Detik
Komponen Daya	0.5 Watt
Suhu Kerja	-10 – 50 (Suhu Nominal 20)
Ukuran Modul	42mm 32mm 20mm
Output	Output Sinyal Tegangan Analog dengan 4 Lubang Pemasangan M3

2.6.4 Sensor TDS

Sensor TDS (*Total Dissolved Solid*) merupakan sensor pendeteksi partikel zat padat yang terlarut pada air ataupun cairan, partikel zat padat itu adalah senyawa organik dan non-organik. Semakin tinggi nilai dari TDS maka air tersebut semakin keruh, jika nilai TDS semakin rendah maka air tersebut semakin jernih. Muatan yang terdapat pada TDS yang dikatakan berbahaya adalah pestisida dimana ia bisa muncul dari aliran suatu permukaan. Air yang ada pasti mengandung partikel yang terlarut dimana tidak dapat dilihat secara kasat mata oleh mata manusia (Anindhita Lestari, Anggi Zafia, 2022).



Gambar 2.7 Sensor TDS (Anindhita Lestari, Anggi Zafia, 2022)

Berikut adalah spesifikasi alat sensor TDS yang digunakan untuk monitoring kualitas air pada akuarium ikan hias:

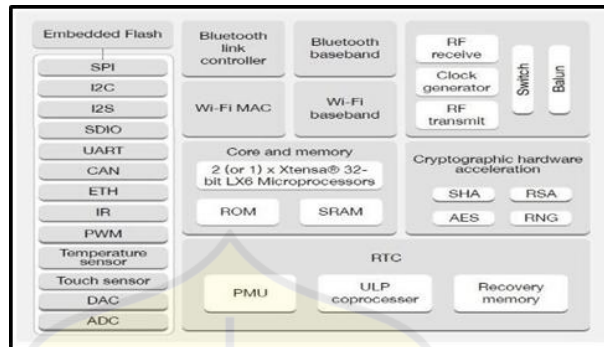
Tabel 2.3 Spesifikasi Sensor TDS

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Masukan	3.3 – 5 Volt
Tegangan Keluaran	0 – 2.3 Volt
Arus Operasi	3 – 6mA (milliampere)
Rentang Pengukuran TDS	0 – 1000ppm (parts per million)
Akurasi Pengukuran TDS	+/- 10% FS. (25 °C)
Ukuran Modul	42x32mm
Antarmuka Modul	PH2.0 – 3P
Antarmuka Elektroda	XH2.54 – 2P

2.6.5 ESP – 32

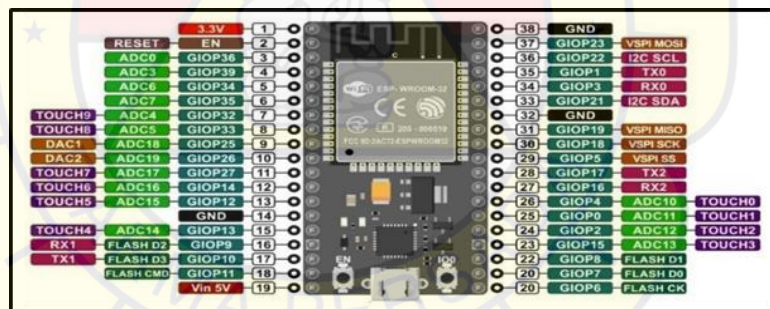
ESP32 merupakan penerus dari ESP8266 yang memberikan beberapa perbaikan di semua lini. Tidak hanya memiliki dukungan konektivitas WiFi, namun juga Bluetooth Low Energy yang membuat ESP32 menjadi lebih serbaguna. CPU yang dimiliki ESP32 hampir mirip dengan yang dimiliki ESP8266 yaitu Xtensa LX6 dengan arsitektur 32-bit, namun kelebihan pada ESP32 memiliki inti ganda. Tidak hanya itu, ESP32 memiliki ROM 128KB dan SRAM 416K, juga Flash Memory (untuk Menyimpan program dan data) sebesar

64MB. Di bawah ini gambar yang merupakan blok diagram dari ESP32 secara keseluruhan (Ainun Najib dkk., 2024).



Gambar 2.8 Diagram Blok ESP – 32 (Ainun Najib dkk., 2024)

Berikut gambar yang merupakan detail dari pin – pin ESP – 32 yang sudah ditetapkan secara default.



Gambar 2.9 Pin – pin ESP – 32 (Ainun Najib dkk., 2024)

2.6.6 Relay

Pengertian *relay* adalah sebuah komponen elektronik yang difungsikan sebagai sakelar elektrik. *Relay* berfungsi dengan adanya arus listrik. Adanya relay juga akan membuat komponen dapat mengendalikan arus listrik yang besar. Selain itu *relay* merupakan salah satu bagian komponen elektronika yang dapat mengimplementasikan *Logical Switching*. *Relay* terdiri dari *coil* dan *contact*. *Coil* adalah gulungan kawat yang mendapat arus listrik, sedangkan *contact* adalah sejenis saklar yang pergerakannya tergantung dari ada tidaknya arus listrik dicoil. Berdasarkan prinsip dasar cara kerjanya, *relay* dapat bekerja karena adanya medan magnet yang digunakan untuk menggerakkan saklar. Saat kumparan diberikan tegangan kerja relay maka akan timbul medan magnet pada kumparan karena adanya arus yang mengalir pada lilitan kawat (Feriawan Saputra dkk, 2020).



Gambar 2.10 *Relay 4 Channel* (Feriawan Saputra dkk, 2020)

2.6.7 Micro Mini Submersible Water Pump

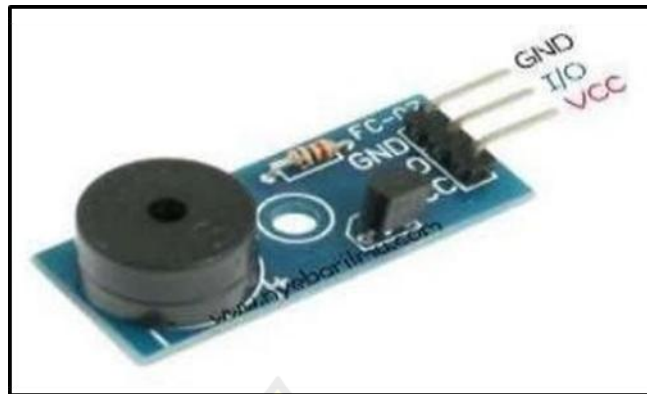
Pengertian *Micro Mini Submersible Water Pump* atau pompa air adalah sebuah pompa air *mini* yang menggunakan motor DC *brushless* sebagai sumber tenaga. Untuk menjalankan pompa air *mini* dibutuhkan tegangan sebesar 5V hingga 9V DC. Pompa air *mini* ini dapat digunakan dalam berbagai proyek dalam pembuatan aplikasi berbasis mikrokontroler (Bahari & Sugiharto, 2019).



Gambar 2.11 *Micro Mini Submersible* (Bakhrul Ulum, Lutfi, dan Arif, 2022)

2.6.8 Buzzer

Pengertian *buzzer* adalah sebuah komponen elektronik yang berfungsi untuk mengkonversi sinyal listrik menjadi suara. *Buzzer* berperan sebagai perangkat output atau aktuator. *Buzzer* memiliki prinsip sama seperti *speaker*. *Buzzer* juga digunakan sebagai alarm penanda untuk menunjukkan selesainya suatu proses atau terjadi kesalahan pada perangkat tertentu (Orlando dkk., 2021).



Gambar 2.12 Modul *Buzzer* (Ibrahim & Arafat, 2020)

2.7 Perangkat Lunak Perancangan Sistem

2.7.1 Arduino IDE

Arduino IDE merupakan suatu perangkat lunak *open source* yang dipakai untuk mengembangkan kode program. Arduino IDE ini dikembangkan untuk dapat berjalan pada berbagai *platform* yaitu seperti *Windows*, *Linux*, dan *Mac*. Arduino IDE menyediakan fitur – fitur yang umumnya terdapat pada alat – alat untuk menulis kode program, seperti *syntax highlighting* yang membantu memudahkan proses penulisan kode program (Jakaria & Fauzi, 2020).

2.7.2 Telegram Messenger

Menurut (Orlando et al., 2021) *Telegram Messenger* merupakan aplikasi yang menyediakan pelayanan berupa mengirimkan pesan serta mengirim file yang telah dienkripsi. *Telegram Messenger* menggunakan protokol MTProto yang terbukti aman karena sudah menerapkan enkripsi *end-to-end*. Enkripsi *end-*

to-end digunakan untuk menjamin bahwa pesan yang dikirim antara pengirim dan penerima tidak dapat diakses atau dibaca pihak ketiga yang tidak memiliki wewenang. Hal ini menyatakan bahwa *Telegram Messenger* menyediakan tingkat keamanan dan privasi yang lebih tinggi untuk penggunanya.

2.7.3 HTML

Menurut (Dody Firmansyah et al., 2021) pada jurnalnya adalah HTML atau (*HyperText Markup Language*) adalah bahasa *markup* yang pada umumnya dipakai dalam pembuatan halaman web. Ketika menggunakan bahasa ini kita dapat membuat website dengan tag *Hypertext Markup Language* atau HTML. *Hypertext Markup Language* adalah badan utama dari web. Untuk memperindah sebuah *website* yang dibuat, HTML juga kompatibel dengan bahasa CSS atau *Cascading Style Sheet* yang tujuannya adalah untuk memperindah dan merapihkan tampilan website.

2.7.4 CSS

Menurut (Dody Firmansyah et al., 2021) pada jurnalnya yang menyebutkan bahwa CSS atau *Cascading Style Sheet* adalah bahasa *style sheet* yang kegunaannya adalah untuk merapihkan dan mempercantik *interface* dari sebuah situs web. Pada umumnya CSS digunakan bersamaan dengan HTML ketika *programmer* dalam pembuatan sebuah *website*.

2.7.5 Javascript

Menurut Siahaan & Rismon (2020), yaitu *JavaScript* adalah sebuah bahasa *script* dinamis yang dapat dipakai untuk membangun interaktifitas pada halaman-halaman HTML statis. Ini dilakukan dengan menamakan blok-blok kode *JavaScript* di hamper semua tempat pada halaman web.

Menurut Edy Winarno ST, M Eng, Ali Zaki, Dan SmitDev *Community* (2014, h. 129) Mengklaim bahwa *Javascript* adalah bahasa *scripting client side* yang populer di internet dan dapat bekerja di sebagian besar *browser* populer seperti Internet Explorer, Mozilla Firefox, Netscape dan Opera. Kode *javascript* dapat disisipkan dalam halaman web menggunakan *tag script*. *Javascript* juga menjadi dasar yang bisa digunakan untuk teknologi lainnya seperti *AJAX*, *JQUERY* dan *JQUERY MOBILE*. *Javascript* sangat paling dipakai oleh *programmer* karena yang dapat dipakai secara global Berikut ini beberapa sifat dari *javascript*:

1. Menambahkan interaktivitas ke halaman HTML.
2. Merupakan bahasa pemrograman *scripting*.
3. Bahasa *scripting* merupakan bahasa yang ringan.
4. *Javascript* merupakan bahasa terinterpretasi

2.7.6 PHP

Menurut (Dody Firmansyah et al., 2021) pada jurnalnya yang menyebutkan bahwa PHP atau singkatan dari *Hypertext Preprocessor* merupakan suatu bahasa pemrograman yang memiliki sifat *open source* yang digunakan untuk komunikasi ke sisi server yang kemudian transfer hasilnya ke client atau user yang telah melakukan permintaan.

2.7.7 XAMPP

Menurut (Dody Firmansyah et al., 2021) pada jurnalnya adalah XAMPP merupakan web server yang tidak sulit untuk digunakan dan dapat menampilkan halaman *website* dinamis yang dapat diakses secara lokal dengan *localhost* web server.

2.7.8 MySQL

Menurut (Dody Firmansyah et al., 2021) pada jurnalnya menyebutkan bahwa MySQL adalah alat yang digunakan untuk mengelola bahasa SQL atau sering disebut sebagai *Structured Query Language*. Dengan demikian MySQL adalah alat yang bersifat *open-source* yang digunakan dalam sistem implementasi dari RDBMS.

2.7.9 Database

Menurut Jubilee Enterprise dalam bukunya yang berjudul Mengenal Program *Database* (2015:1) menjelaskan *Database* merupakan “jiwa” dari sebuah aplikasi. Sebab dengan memanfaatkan database, semua fitur, tool, menu, dan fasilitas lainnya yang ada di dalam aplikasi, dapat terhubung satu sama lainnya. Database tidak hanya sekedar tempat penyimpanan data. *Database* bisa digunakan untuk memfasilitasi user yang membutuhkan pemrosesan data baik untuk analisa maupun evaluasi.

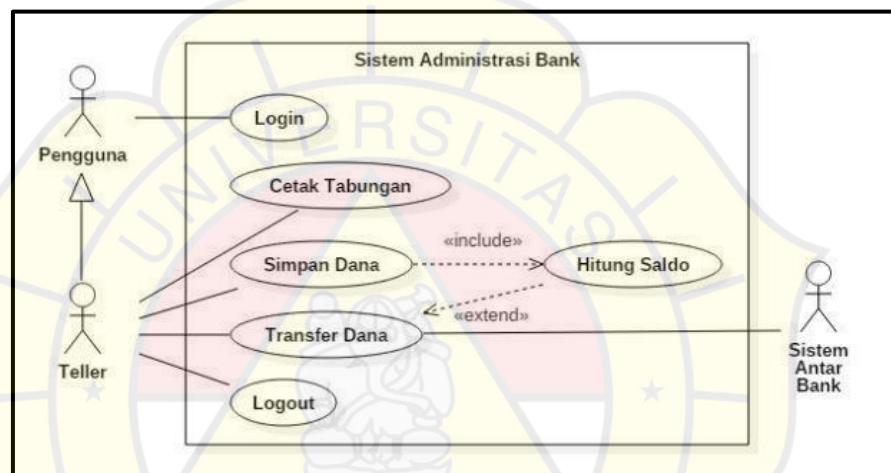
Menurut Fathansyah (2018:2) dalam bukunya yang berjudul Basis Data Revisi Ketiga mendefinisikan database/basis adalah Himpunan kelompok data (arsip) yang saling berhubungan yang diorganisasi sedemikian rupa agar kelak dapat dimanfaatkan kembali dengan cepat dan mudah.

2.7.10 UML (Unified Modeling Language)

Menurut (Suendri, 2018) Dokumentasi, spesifikasi, dan pengembangan perangkat lunak semuanya menggunakan bahasa spesifikasi standar yang dikenal sebagai *Unified Modeling Language* (UML). UML adalah merupakan alat untuk mendukung pembuatan sistem dengan metode untuk menciptakan sistem berorientasi objek atau *object orientated system*.

2.7.11 Use Case Diagram

Lalu menurut (Kurniawan, 2018) pada jurnalnya menyatakan bahwa *use case* menjabarkan sebuah interaksi *visual* antara aktor atau pengguna dengan program atau sistem yang dijalankan. Dalam garis besar ini bisa menjadi gambaran yang baik untuk memahami alur dari jalannya sebuah sistem sehingga terlihatnya batas kemampuan dari sistem.



Gambar 2.13 Contoh *Use Case Diagram* (Kurniawan, 2018)

2.7.12 Activity Diagram

Activity diagram adalah pemodelan yang dilakukan pada suatu sistem dan menggambarkan aktivitas sistem berjalan. *Activity* diagram digunakan sebagai penjelasan aktivitas program tanpa melihat koding atau tampilan. *Activity* diagram menggambarkan *workflow* (aliran kerja) atau aktivitas dari sebuah sistem atau proses bisnis atau menu yang ada pada perangkat lunak.

Activity diagram menggambarkan *workflow* (aliran kerja) atau aktivitas dari sebuah sistem proses bisnis atau menu yang ada pada perangkat lunak, yang perlu diperhatikan adalah bahwa diagram aktivitas menggambarkan aktivitas sistem bukan apa yang dilakukan actor, jadi aktivitas yang dapat dilakukan oleh sistem.

2.8 Logika Fuzzy

Logika fuzzy pertama kali dikembangkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Teori ini banyak diterapkan di berbagai bidang, antara lain representasi pikiran manusia kedalam suatu sistem. Banyak alasan mengapa penggunaan logika fuzzy ini sering dipergunakan antara lain, konsep logika fuzzy yang mirip dengan konsep berpikir manusia. Sistem fuzzy dapat merepresentasikan pengetahuan manusia ke dalam bentuk matematis dengan lebih menyerupai cara berpikir manusia. Pengontrol dengan logika fuzzy mempunyai kelebihan yaitu dapat mengontrol sistem yang kompleks, non-linier, atau sistem yang sulit di representasikan kedalam bentuk matematis. Selain itu, informasi berupa pengetahuan dan pengalaman mempunyai peranan penting dalam mengenali perilaku sistem di dunia nyata.

Secara umum *fuzzy logic* adalah sebuah metode “berhitung” dengan variabel kata – kata (*linguistic variable*), sebagai pengganti berhitung dengan bilangan (Naba, 2009: 1). Kata – kata yang digunakan dalam *fuzzy* tidak setepat bilangan, namun kata yang digunakan lebih dekat dengan intuisi manusia, seperti kata “merasakan”, “kira – kira”, “lebih kurang”, dan sebagainya.

Sesuai dengan perkembangan daya pikir manusia, maka logika *fuzzy* ini menjadi populer untuk digunakan dalam riset, karena kemampuannya dalam menjembatani bahasa mesin yang serba tepat dengan bahasa manusia yang cenderung tidak tepat. Biasanya diistilahkan dengan kata signifikan (*significance*).

2.8.1 Himpunan Fuzzy

Dalam teori logika fuzzy dikenal himpunan fuzzy (*fuzzy sets*) yang merupakan pengelompokan sesuatu berdasarkan variabel bahasa (*linguistic variable*) yang dinyatakan dalam fungsi keanggotaan. Di dalam semesta pembicaraan (*universe of discourse*). Fungsi keanggotaan dari suatu himpunan *fuzzy* tersebut bernilai 0 sampai dengan 1.

Himpunan *fuzzy* merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*. Variabel *fuzzy* merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*, misalnya umur, temperature, dan lain – lain.

Himpunan fuzzy memiliki dua nilai derajat keanggotaan yakni 0 dan 1. Himpunan fuzzy biasanya disebut dengan bilangan crips yang berbentuk tegas dan disimbolkan dengan persamaan $A[x]$, yang mana A dengan nilai 1 merupakan suatu anggota himpunan, apabila A memiliki nilai 0 maka A merupakan tidak termasuk anggota himpunan. Pada himpunan fuzzy terdapat dua atribut kelompok yakni Linguistik dan Numerik. Linguistik merupakan sebuah kelompok yang dapat mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu menggunakan Bahasa alami, seperti kelembapan, cahaya, suhu, keinginan, usia

dan lain sebagainya. Sedangkan Numerik merupakan sebuah kelompok yang dapat mewakili ukuran dari suatu variabel (100, 200, 300), seperti tinggi badan, usia, berat badan dan lain sebagainya”(Arief, 2021).

Hal yang perlu diperhatikan dalam mempelajari himpunan fuzzy yaitu (Sejati, 2008):

1. Variabel *Fuzzy*

Variabel fuzzy merupakan variabel yang digunakan untuk membangun suatu sistem fuzzy. Contohnya usia, cahaya, suhu, dan lain sebagainya.

2. Himpunan *Fuzzy*

Himpunan fuzzy merupakan himpunan yang terdiri dari dua kelompok yakni linguistik dan numerik. Suatu kelompok akan menggantikan suatu kondisi tertentu dalam suatu variabel. Salah satu contoh variabel Numerik yakni umur atau usia yang dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy yaitu muda, parobaya dan tua dan salah satu contoh variabel Linguistik yakni temperature atau suhu yang dibagi menjadi lima himpunan fuzzy yaitu sejuk, normal, hangat, dingin dan panas.

3. Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan merupakan keseluruhan nilai yang dibolehkan untuk beroperasi dalam suatu variabel fuzzy. Himpunan bilangan riil yang nantinya dapat bertambah (naik) secara monoton dari arah kiri

menuju ke arah kanan. Nilai semesta pembicaraan berupa bilangan negatif maupun bilangan positif. Contoh semesta pembicaraan dalam peruntukan variabel umur: $[0, +\infty)$ dan untuk semesta pembicaraan variabel suhu: $[0, 40]$.

4. Domain Himpunan *Fuzzy*

Domain himpunan fuzzy merupakan keseluruhan nilai yang diinginkan dalam semesta pembicaraan dan diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu himpunan fuzzy. Domain merupakan himpunan bilangan riil yang nantinya dapat bertambah (naik) secara monoton dari arah kiri menuju ke arah kanan. Nilai domain dapat berupa bilangan negatif maupun bilangan positif. Contoh domain himpunan fuzzy berdasarkan variabel numerik umur yakni:

- a. Usia muda = $[0, 50]$
- b. Parobaya = $[40, 70]$
- c. Tua = $(40, \infty)$

2.8.2 Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*)

Fungsi keanggotaan merupakan suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik – titik input data kedalam nilai keanggotaannya yang memiliki interval antara 0 sampai 1 (Prihatini, 2011).

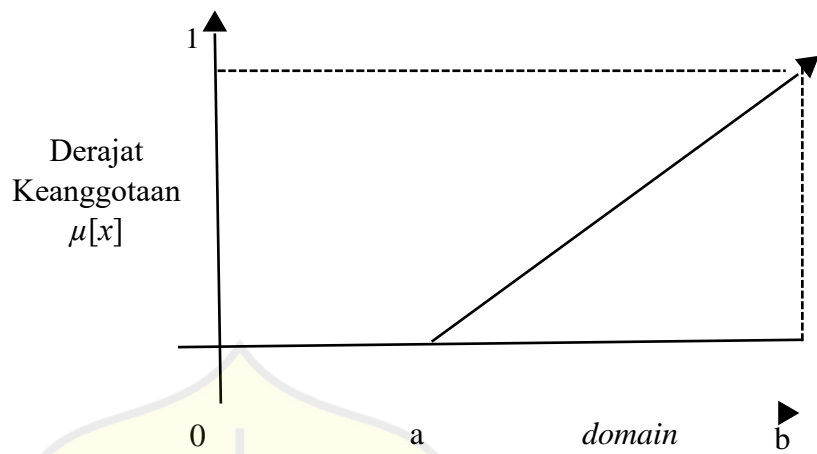
Beberapa alasan mengapa orang menggunakan logika *fuzzy*, yaitu (Kusumadewi, et al, 2006):

- a. Konsep logika *fuzzy* mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari penalaran *fuzzy* sangat sederhana dan mudah dimengerti.
- b. Logika *fuzzy* sangat fleksibel.
- c. Logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap data – data yang sangat tepat.
- d. Logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi – fungsi nonlinear yang sangat kompleks.
- e. Logika *fuzzy* dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman – pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
- f. Logika *fuzzy* dapat bekerjasama dengan teknik – teknik kendali secara konvensional.
- g. Logika *fuzzy* didasarkan pada bahasa alami.

Menurut Simanjatak (2015), fungsi keanggotaan atau biasanya disebut member function adalah grafik atau kurva yang memproyeksikan titik-titik input data pada derajat keanggotaan domain. Nilai member function berkisar antara nol (0) dan satu (1). $\mu(x)$ adalah nilai keanggotaan variabel x . Aturan atau rule nilai keanggotaan variabel x digunakan sebagai faktor bobot untuk menentukan pengaruhnya saat melakukan inferensi. Fungsi keanggotaan yang dapat digunakan pada penelitian ini, yaitu:

a. Representasi Linear

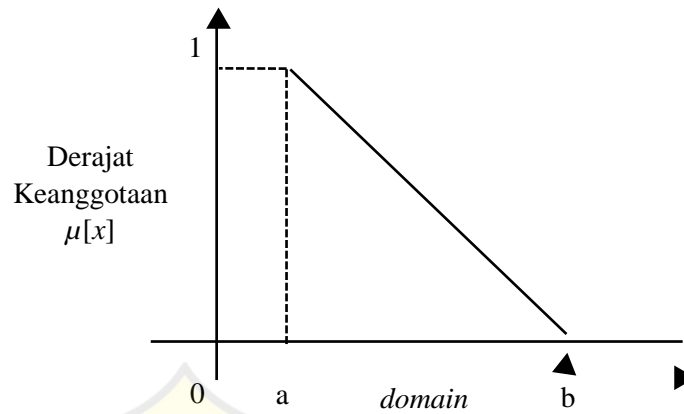
Representasi linier adalah bentuk yang paling sederhana dan cocok untuk mendekati konsep yang kurang jelas atau ambigu. Representasi linier untuk menghubungkan input dengan derajat keanggotaannya direpresentasikan dengan menggambar garis lurus. Himpunan fuzzy linear memiliki dua kondisi. Nilai domain dengan derajat keanggotaan nol (0) bergerak ke kanan menuju nilai domain dengan derajat keanggotaan lebih tinggi, maka himpunan naik.



Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x-a)/(b-a); & a < x < b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \quad (2.1)$$

Kedua, merupakan kebalikan yang pertama. 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.

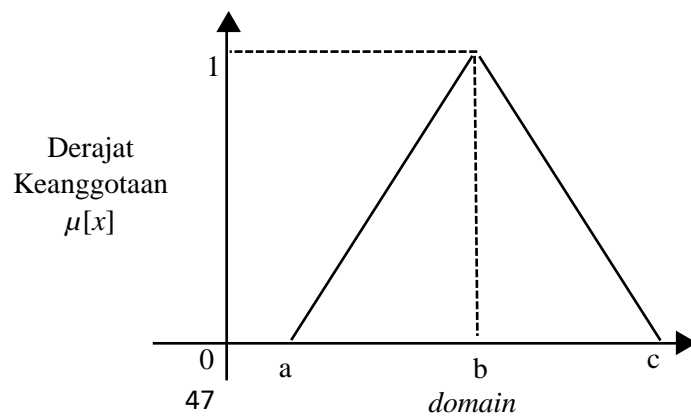


Fungsi Keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} (b-x) / (b-a); & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \quad (2.2)$$

b. Representasi Kurva Segitiga

Kurva segitiga merupakan kurva gabungan dua garis lurus linear yakni representasi kurva linear naik dan representasi kurva linier turun. Gambar 2.3 merupakan representasi kurva segitiga.

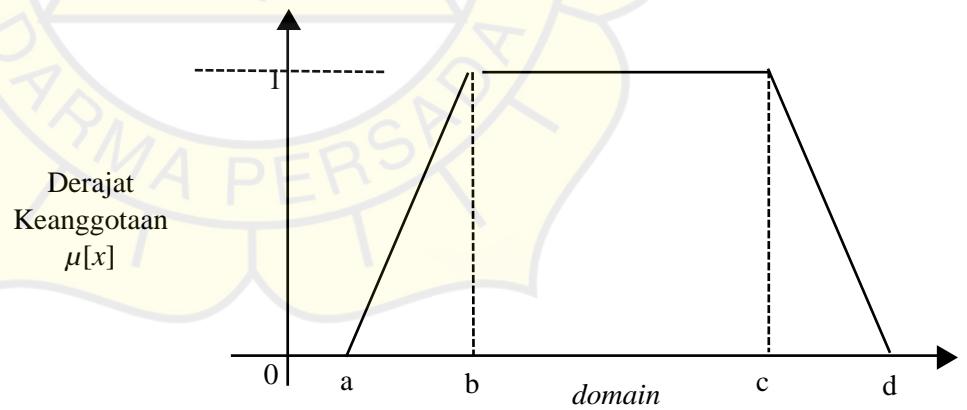


Fungsi Keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \geq c \text{ atau } x \leq a \\ (x-a) / (b-a); & a \leq x \leq b \\ (c-x) / (c-b); & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (2.3)$$

c. Representasi Kurva Trapesium

Kurva segitiga pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1.



Fungsi Keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \geq d \text{ atau } x \leq a \\ (x-a) / (b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ (d-x) / (d-c); & x \geq d \end{cases} \quad (2.4)$$

2.8.3 Metode Fuzzy Sugeno

Secara umum, ada 5 tahap dalam logika fuzzy, antara lain: 1) Mendefinisikan Himpunan *Fuzzy*; 2) Melakukan Fuzzifikasi dimana nilai *crisp* diubah menjadi sebuah variabel linguistik dalam fungsi keanggotaan *fuzzy*; 3) Membentuk *Fuzzy Rule*; 4) Inferensi atau Fungsi Implikasi, yaitu mengubah nilai input menjadi nilai output berdasarkan *fuzzy rules*; dan 5) Defuzzifikasi, yaitu mengubah *output fuzzy* yang telah dihasilkan pada langkah keempat (Dirgantara dkk., 2021).

Logika *fuzzy* memiliki beberapa model dalam mempresentasikan hasil logikanya yaitu *Tsukamoto*, *Mamdani*, dan *Sugeno*. Pada metode *Sugeno*, metode penalaran yang dilakukan serupa dengan penalaran pada metode *Mamdani*. Akan tetapi, *output* atau konsekuen yang dihasilkan bukan berupa himpunan *fuzzy*, tetapi berupa konstanta atau persamaan linier. Logika *fuzzy* dengan metode *Sugeno* merupakan model yang cocok dalam pengambilan

keputusan karena memiliki toleransi pada data yang diolah dan sangat fleksibel. Pendekatan pada Metode *Sugeno* juga dibagi menjadi 2 yaitu *fuzzy sugeno* orde nol dan *fuzzy sugeno* orde satu (Amalia dkk., 2020).

Pada *fuzzy sugeno* orde nol, bentuk umum persamaannya ditulis sebagai berikut:

$$IF (x_1 \text{ is } A_1) \text{ o } (x_2 \text{ is } A_2) \text{ o } \dots \text{ o } (x_n \text{ is } A_n) THEN z = k$$

dengan A_i merupakan himpunan fuzzy ke- i sebagai anteseden, dan k merupakan suatu konstanta sebagai konsekuen.

Sedangkan, untuk *fuzzy sugeno* orde satu, bentuk umum persamaannya ditulis sebagai berikut:

$$IF (x_1 \text{ is } A_1) \text{ o } \dots \text{ o } (x_n \text{ is } A_n) THEN z = p_1 * x_1 + \dots + p_n * x_n + q$$

dengan A_i merupakan himpunan fuzzy ke- i sebagai anteseden, dan p_i merupakan suatu konstanta ke- i dan q juga merupakan konstanta dalam konsekuen.

Sedangkan, dalam langkah defuzzifikasi, *Fuzzy Sugeno* memiliki beberapa metode diantaranya adalah *Weighted Average* atau rata-rata terbobot yang akan digunakan dalam penelitian ini. Rumus yang digunakan dalam metode ini yaitu:

$$Weighted\ Average(z) = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{C_i}(Xy) * (Xy)}{\sum_{i=1}^n \mu_{C_i}(Xy)}$$

dimana $\mu_{C_i}(x_z)$ adalah derajat keanggotaan dari setiap variabel pada aturan ke- n dan (x_z) adalah nilai *output* (tegas) pada aturan ke- n .

2.8.4 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi atau penegasan merupakan tahapan akhir untuk menghasilkan sebuah aksi dari prediksi *fuzzy* (Endryansyah, Bambang Suprianto, Puput Wanarti Rusimamto, 2022).

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Logika *Fuzzy* Metode Sugeno. Pada dasarnya semua metode *fuzzy* memiliki kesamaan. Perbedaan tiap metode terletak pada output yang dihasilkan. Pada logika *fuzzy* Sugeno, sistem berupa konstanta tidak berupa himpunan *fuzzy*. Fungsi keanggotaan pada metode *fuzzy* Sugeno disebut fungsi singleton yaitu fungsi keanggotaan yang memiliki nilai keanggotaan 1 pada fungsi aktual tunggal dan 0 pada fungsi aktual yang lain. Proses *defuzzifikasi* pada metode Sugeno lebih efisien karena metode *fuzzy* Sugeno menghitung fungsi output rule ke- i , akhir, dan output adalah sebuah *weight average*. Dibanding dengan metode mamdani yang harus menghitung luas di bawah kurva fungsi keanggotaan variabel keluaran. Metode ini dipilih karena komputasinya lebih efisien, bekerja paling baik untuk teknik-teknik linier serta optimasi dan sistem adaptif, serta menjamin kontinuitas hasil (Rudy Asrianto, Aprianda Effendi, 2024).