

BAB II

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Dewi Alfiyatul, dilakukan analisis pada salah satu wilayah aliran sungai. Penelitian ini bertujuan untuk menilai tingkat keberlanjutan air dalam hal konsumsi manusia dengan menggunakan sensor TDS, pH, dan kekeruhan, serta menerapkan metode *fuzzy* Tsukamoto sebagai sistem pendukung keputusan. Sistem pemantauan ini dibuat untuk mengevaluasi kecocokan air minum untuk dikonsumsi. Parameter yang digunakan meliputi konsentrasi zat padat terlarut dalam air yang diukur dengan menggunakan TDS Meter SEN0244, tingkat pH air yang diambil dari pH sensor *module* MSP340, dan tingkat kekeruhan air yang diukur dengan *Turbidity sensor* B12008. Seluruh data sensor tersebut dihubungkan melalui Arduino Uno yang telah terkoneksi dengan modul wifi ESP8266 [4].

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Nadhea Lulu, Farida Arinie, dan Azzam Muzzakhim, telah dirancang sebuah perangkat untuk telemonitoring padatan terlarut pada proses filtrasi air limbah dari *laundry* yang akan digunakan sebagai media tanam hidroponik. Perangkat ini dilengkapi dengan sensor pH dan sensor TDS yang bertujuan untuk mengukur dan mengumpulkan data mengenai padatan terlarut yang dapat mempengaruhi proses pertumbuhan tanaman. Data yang berhasil dihimpun oleh sensor-sensor tersebut akan diproses menggunakan mikrokontroler Arduino Nano dan hasilnya akan tersimpan dalam sebuah *database*. Data tersebut juga akan dikirimkan melalui jaringan *wireless* menggunakan modul Wemos D1 sehingga dapat ditampilkan dalam sebuah aplikasi android [5].

Muhammad Hisyamudin, Gunawan Dewantoro, dan Fransiscus Dalu Setiaji telah melakukan penelitian untuk membangun sebuah sistem pakar berbasis logika *fuzzy* untuk mengklasifikasikan kualitas air. Penelitian ini menggunakan tiga variabel yang diukur, yaitu nilai keasaman (pH), *total dissolved solids* (TDS), dan *turbidity*, karena ketiganya merupakan parameter fisik dan kimiawi yang paling berpengaruh terhadap kualitas air. Variabel-variabel tersebut digunakan sebagai

input bagi sistem pakar berbasis *fuzzy* untuk mengklasifikasikan kualitas air menjadi tiga kelas, yaitu: baik (memenuhi baku mutu), sedang, dan buruk (tercemar). Hasil dari klasifikasi tersebut kemudian ditampilkan dengan menggunakan platform *Internet of Things* (IoT) sehingga pengguna dapat mengaksesnya kapan saja dan di mana saja [6].

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Fiqih Muhammad, Ahmad Musnansyah, dan Deden Witarsyah, untuk mendukung konektivitas banyak perangkat yang saling terhubung, diperlukan protokol yang dapat menyampaikan data secara stabil. Salah satu protokol yang cocok digunakan adalah protokol MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan protokol lainnya. Salah satu keunggulannya adalah kemampuan untuk mengirim data dengan penggunaan *bandwidth* yang ringan dan konsumsi daya listrik yang rendah [7].

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Dwi Adhe, Dedi Triyanto, dan Irma Nirmala, dilakukan deteksi terhadap kandungan atau senyawa yang terdapat dalam limbah cair dari industri. Untuk mencapai tujuan tersebut, diterapkan teknologi elektronika yang melibatkan pemasangan sensor-sensor. Hal ini memungkinkan pembuatan sistem otomatis untuk melakukan pemantauan secara terus-menerus. Rancangan sistem monitoring ini melibatkan penggunaan sensor pH meter kit, sensor suhu Dallas DS18B20, dan sensor kekeruhan GE *Turbidity* sebagai alat untuk membaca nilai-nilai parameter pH, suhu, dan kekeruhan dalam limbah cair industri. Seluruh data hasil pembacaan sensor tersebut dikirimkan melalui antarmuka website yang dihubungkan dengan mikrokontroler Arduino Mega R3 [8].

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Garichwan Fathurrahman, Adirya Wijayanto, dan Novian Adi, limbah cair yang dihasilkan dari produksi tahu mengandung zat organik yang dapat menyebabkan pertumbuhan mikroba dalam air, menyebabkan penurunan kadar oksigen dalam air, dan mengakibatkan air menjadi keruh. Oleh karena itu, dirancanglah sebuah sistem monitoring kekeruhan dan tingkat keasaman-kebasaan (pH) pada limbah cair industri tahu berbasis *Internet of Things* (IoT). Untuk mencapai tujuan tersebut, digunakan NodeMCU ESP8266 sebagai platform utama yang terhubung dengan sensor *Turbidity*, sensor

pH, dan sensor DS18B20. Data dari ketiga sensor tersebut akan diintegrasikan dan dikirimkan melalui bot Telegram untuk memudahkan proses monitoring dan pengendalian sistem secara jarak jauh. Dengan demikian, sistem ini memungkinkan pemantauan dan pengontrolan limbah cair industri tahu secara efektif melalui platform IoT [9].

Para peneliti, yaitu Nurhidayah, Linda, Samsidar, Yoza, dan Rustan, melakukan penelitian untuk mengembangkan instalasi pengolah limbah cair batik. Limbah ini berasal dari aktivitas industri batik dan harus diolah sebelum dibuang ke badan air agar tidak mencemari lingkungan. Dalam penelitian ini, mereka menggunakan sensor pH dan TDS untuk mengukur kualitas limbah cair batik. Selain itu, sistem pengolahan limbah ini dilengkapi dengan perangkat water level yang terdiri dari modul ESP8266 dan sensor HC-SR04. Perangkat ini berfungsi untuk mengukur ketinggian reaktor dalam proses pengolahan limbah. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengatasi masalah limbah cair batik dan menciptakan instalasi pengolahan yang efektif dan ramah lingkungan [10].

Penelitian yang dilakukan oleh Vany, Edi, Budi, dan Hardjono bertujuan untuk mengatasi masalah limbah cairan kimia dari laboratorium yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Dalam penelitian ini, mereka mencoba mengontrol pH air limbah agar mencapai kondisi normal menggunakan sistem kontrol pH air. Untuk mencapai hal tersebut, mereka menerapkan konsep *fuzzy logic* dalam sistem penetralan cairan limbah. Sensor pH *probe* digunakan untuk mengukur pH air, dan pompa dosing dengan motor servo digunakan untuk secara otomatis mengatur jumlah bahan kimia yang ditambahkan ke dalam air untuk mengatur pH-nya. Arduino nano digunakan sebagai kontroler untuk mengendalikan sensor pH dan pompa dosing berdasarkan logika *fuzzy*. Dengan demikian, penelitian ini berupaya menciptakan sistem kontrol yang efisien dan efektif dalam mengatasi masalah pH pada limbah cairan kimia [11].

Penelitian yang dilakukan oleh Sandy Tyas, Fachruddin Hunaini, dan Dedi Usman bertujuan untuk memahami dampak perubahan nilai pH dalam air limbah terhadap kehidupan biota di dalamnya. Penelitian ini menyoroti bahwa ketidakterkontrolan kadar pH dalam air limbah dapat menyebabkan pencemaran yang berdampak buruk bagi ekosistem air tersebut. Untuk mengatasi masalah

tersebut, penelitian ini mengembangkan sebuah sistem kontrol yang terdiri dari pemantauan dan pengendalian pH limbah menggunakan Arduino Uno. Pemantauan dan pengendalian dilakukan dengan menggunakan *Fuzzy Logic Control* (FLC), dan kemudian sistem ini dioptimalkan menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Pengujian dilakukan dengan simulasi melalui perangkat lunak MATLAB. Dengan adanya sistem kontrol ini, diharapkan dapat mengatur pH limbah secara efisien dan efektif, sehingga menjaga kualitas air limbah dan lingkungan hidup secara keseluruhan [12].

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Risqi Nur, Nurul Hidayat, dan Arief Andy, getah pohon pinus telah terbukti memiliki banyak kegunaan di berbagai industri seperti kosmetik, anti septik, dan farmasi. Namun, penggunaan pohon pinus juga menghasilkan limbah yang perlu dikelola dengan baik. Untuk memantau limbah tersebut, teknologi *Internet of Things* (IoT) digunakan untuk memudahkan pemantauan pH, suhu, dan kekeruhan limbah. Sensor pH meter air, DS18B20, dan *turbidity* digunakan untuk mengumpulkan data dari limbah tersebut. Data-data ini kemudian dikirimkan ke *firebase* dan ditampilkan dalam antarmuka web. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Quality of Service* (QoS) untuk mengevaluasi kecepatan dan kinerja jaringan. Selain itu, penelitian ini juga dirancang dengan protokol *websocket* yang mendukung pengiriman data secara *real-time*, sehingga informasi mengenai limbah dapat diakses dengan cepat dan akurat [13].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rudi Khaerudin dan Itmi Hidayat, dalam sektor industri pengilangan minyak, air memiliki berbagai fungsi penting, termasuk diubah menjadi uap sebagai pemutar turbin dalam pembangkitan listrik. Beberapa parameter yang krusial untuk air umpan ketel uap meliputi pH, konduktivitas, kesadahan, kandungan silika, dan kandungan fosfat. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati dan menganalisis proses dari pengambilan sampel air umpan ketel uap hingga analisis laboratorium untuk memantau secara *real-time* suhu, pH, dan konduktivitas/TDS air. Hal ini dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32 sebagai sistem pengendali untuk memudahkan dalam pengoperasian dan mendapatkan hasil monitoring secara akurat dan tepat waktu [14].

Muhammad Nur Zaeni, Risa Risnawati, Hegi Lugina, dan Doni Susandi membuat penelitian yang berfokus pada desain dan pengembangan sistem pengolahan limbah cair otomatis menggunakan metode adsorpsi dan filtrasi. Dari hasil olahan kedelai yaitu tahu yang memiliki kadar yang tidak sesuai dengan ketentuan pemerintah Indonesia. Penulis mengotomatiskan proses berlangsungnya pengolahan limbah cair yang ada di pabrik tahu dengan menggunakan sensor pH, sensor *Turbidity*, dan sensor TDS dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno R3 [15].

Fauzi Amani dan Kiki Prawiroredjo membuat penelitian jika air yang digunakan untuk konsumsi harus bersih, tidak berbau, berasa, berwarna, dan sesuai standar yang telah ditetapkan oleh Kementerian Kesehatan. Alat ukur kualitas air ini menggunakan parameter suhu, kekeruhan, TDS, dan pH. Dalam analisis hasil yang dibuat, dapat disimpulkan jika rangkaian sensor suhu, pH, kekeruhan, dan konduktivitas air minum yang dikembangkan bekerja dengan baik, namun terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi akurasi pengukuran, seperti ketidakstabilan pada keluaran sensor dari keluaran tegangan sensor. Penelitian ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno [16].

Fatchullah Wahid Afifi, Hurriyatul Fitriyah, dan Eko Setiawan meneliti jika salah satu sumber air yang dianggap bersih dan layak untuk diminum melalui PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum). Salah satu kandungan yang digunakan oleh PDAM adalah zat klorin sebagai disinfektan untuk menjaga kebersihan air dan melindungi bakteri. Mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan RI 492 / MENKS / PER / IV / 2017, batas atas kandungan klorin pada air minum layak minum adalah 5 mg / L. Sistem klasifikasi mutu air yang dirancang dengan memanfaatkan sensor pH, sensor *turbidity*, dan sensor TDS. Kemudian sistem akan menyimpan dan mengolah data *inputan* sensor menggunakan metode *fuzzy* sugeno untuk mengklasifikasikan air mutu air berdasarkan kandungannya [17].

Pada penelitian yang dilakukan Nadhea Salsabella, Eko Noerhayati, Bambang Suprpto, dan Anita Rahmawati, limbah cair merupakan permasalahan lingkungan yang sering terjadi yang berasal dari kegiatan rumah tangga dan industri. Kriteria air yang dapat digunakan untuk memenuhi kegiatan sehari-hari adalah air yang tidak memiliki rasa, tidak berbau, dan tidak berwarna. Dalam

penelitian ini, sensor yang digunakan adalah sensor pH dan *Turbidity*. Untuk mengatasi pencemaran ini dilakukan proses fitoremediasi dan aerasi. Penelitian ini menggunakan software blynk yang digunakan untuk memonitor air limbah proses fitoremediasi dan aerasi berlangsung [18].

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya

No	Nama Peneliti, Tahun dan Judul	Persamaan	Perbedaan	
			Penelitian Terdahulu	Rencana Penelitian
1	(Dewi Alfiyatul Ula. 2020) Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Layak Konsumsi Berbasis <i>Internet of things</i> dengan Metode <i>Fuzzy</i> Tsukamoto sebagai Sistem Pendukung Keputusan	Mengimplementasikan metode <i>fuzzy</i> dan sensor pH, kekeruhan, dan TDS.	Menggunakan Arduino Uno sebagai Mikrokontroler.	Menggunakan NodeMCU ESP32 sebagai Mikrokontroler
2	(Nadhea Lulu, Farida Arinie, Azzam Muzzakhim. 2021) Telemonitoring Padatan Terlarut pada Filtrasi Air Limbah <i>Laundry</i> Menggunakan Sensor TDS dan Sensor pH untuk Media Budidaya Tanaman Hidroponik Berbasis Mikrokontroler	Mengimplementasikan sensor pH dan TDS.	Menggunakan Arduino Nano dan Wemos D1 sebagai Mikrokontroler.	Menggunakan NodeMCU ESP32 sebagai Mikrokontroler
3	(Hisyamudin Ramadhan, Gunawan Dewantoro, Frascus Dalu. 2020) Rancang Bangun Sistem Pakar Pemantau Kualitas Air Berbasis IoT Menggunakan <i>Fuzzy Classifier</i>	Menggunakan Logika <i>Fuzzy</i> sebagai Pemantau Kualitas Air	Menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai Mikrokontroller.	Menggunakan NodeMCU ESP32 sebagai Mikrokontroler
4	(Fiqih Muhammad, Ahmad Musnansyah, Deden Winarsyah. 2019) Telemetry Sensor Kualitas Air	Mengimplementasikan protokol MQTT.	Menggunakan Sensor pH, DHT11 sebagai alat untuk	Menggunakan sensor pH, sensor TDS, dan <i>turbidity</i> dalam

No	Nama Peneliti, Tahun dan Judul	Persamaan	Perbedaan	
			Penelitian Terdahulu	Rencana Penelitian
	Menggunakan Protokol <i>Message Queuing Telemetry Transport</i> (MQTT)		mengukur kualitas air	mengukur kualitas air
5	(Dwi Adhe, Dedi Triyanto, Irma Nirmala. 2018) Rancang Bangun Sistem Monitoring pada Limbah Cair Industri Mikrokontroler dengan Antarmuka Website	Mengimplementasikan sensor pH dan <i>Turbidity</i> .	Menggunakan Arduino Mega R3 sebagai Mikrokontroler	Menggunakan NodeMCU ESP32 sebagai Mikrokontroler
6	(Garichwan Fathurrahman, Aditya Wijayanto, Novian Adi. 2022) Rancang Bangun Sistem Monitoring Pengolahan Limbah Cair Tahu di Kabupaten Purbalingga Berbasis <i>Internet of things</i>	Menggunakan Sensor pH, dan Sensor <i>Turbidity</i>	<i>Memonitoring</i> pH dan kekeruhan yang dihubungkan pada Bot Telegram. Menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266	<i>Memonitoring</i> pH, kekeruhan, dan zat padatan terlarut yang dihubungkan pada MQTT
7	(Nurhidayah, Linda Handayani, Samsidar, Yoza, Rustam. 2022) Pengembangan Instalasi Pengolah Limbah (IPAL) <i>Digital Portabel</i> untuk Limbah Cair Batik Berbasis IoT (<i>Internet of Things</i>)	Menggunakan Sensor pH, Sensor TDS, dan HC-SR04	Melakukan pengolahan limbah cair batik	Melakukan pengolahan limbah cair <i>laundry</i>
8	(Vany Isnainy, Edi Sulistio, Hardjono. 2017) Pengontrolan pH Menggunakan Algoritma Logika <i>Fuzzy</i> pada Pengolahan Limbah Cairan Kimia	Menggunakan Logika <i>Fuzzy</i> , menggunakan Sensor pH	Melakukan pengolahan limbah cairan kimia dari laboratorium.	Melakukan pengolahan limbah cair <i>laundry</i>
9	(Sandy Tyas, Fachruddin Hunaini, Dedi Usman. 2019) Rancang Bangun Pemantauan dan	Menggunakan Logika <i>Fuzzy</i> , menggunakan sensor pH	Melakukan pengolahan limbah cair,	Melakukan pengolahan limbah cair <i>laundry</i>

No	Nama Peneliti, Tahun dan Judul	Persamaan	Perbedaan	
			Penelitian Terdahulu	Rencana Penelitian
	Pengendalian pH Limbah Cair dengan Metode <i>Fuzzy</i> Secara <i>Wireless</i>			
10	(Risqi Nur, Nurul Hidayat, Arief Andy. 2021) Implementasi <i>Wireless</i> Sensor Network untuk Monitoring Limbah Cair Gondorukem Menggunakan Modul Widi Esp8266	Menggunakan Sensor pH dan <i>Turbidity</i>	Melakukan pengolahan limbah getah pohon pinus	Melakukan pengolahan limbah cair <i>laundry</i>
11	(Rudi Khaerudin, Itmi Hidayat. 2021) Implementasi <i>Internet of Things</i> untuk Monitoring Kualitas Air secara <i>Realtime</i> pada Utilities PT. Kilang Pertamina Internasional Cilacap Berbasis Mikrokontroler NodeMCU ESP32	Menggunakan Mikrokontroler NodeMCU ESP32. Menggunakan sensor pH dan TDS	Menggunakan Sensor Suhu, pH, dan TDS	Menggunakan Sensor pH, TDS, dan <i>Turbidity</i>
12	(Muhammad Nur Zaeni, Risa Risnawati, Hegi Lugina, Doni Susandi. 2019) Rancang Bangun Sistem Pengolahan Limbah Cair Menggunakan Metode Adsorpsi dan Filtrasi Secara Otomatis dengan Arduino Uno R3	Menggunakan sensor pH, sensor <i>Turbidity</i> , sensor TDS.	Melakukan pengolahan limbah tahu. Menggunakan mikrokontroler Arduino Uno R3	Melakukan pengolahan limbah cair <i>laundry</i> . Menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32
13	(Fauzi Amani, Kiki Prawiroredjo. 2016)	Menggunakan Sensor Suhu, kekeruhan, TDS, dan pH.	Melakukan penelitian air layak konsumsi. Menggunakan	Melakukan pengolahan limbah cair <i>laundry</i> . Menggunakan

No	Nama Peneliti, Tahun dan Judul	Persamaan	Perbedaan	
			Penelitian Terdahulu	Rencana Penelitian
	Alat Ukur Kualitas Air Minum dengan Parameter pH, Suhu, Tingkat Kekeruhan, dan Jumlah Padatan Terlarut		Mikrokontroler Arduino Uno	mikrokontroler NodeMCU ESP32
14	(Fatchullah Wahid Afifi, Hurriyatul Fitriyah, dan Eko Setiawan. 2021) Sistem Klasifikasi Mutu Air PDAM berdasarkan Zat Padat Terlarut, pH, dan <i>Turbidity</i> menggunakan Metode <i>Fuzzy</i> Sugeno berbasis Arduino	Menggunakan sensor pH, TDS, dan <i>Turbidity</i> . Menggunakan Metode <i>Fuzzy</i>	Melakukan penelitian air layak konsumsi menggunakan <i>fuzzy</i> . Menggunakan mikrokontroler Arduino Uno.	Melakukan pengolahan limbah cair <i>laundry</i> menggunakan <i>fuzzy</i> . Menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32
15	(Nadhea Salsabella, Eko Noerhayati, Bambang Suprpto, Anita Rahmawati. 2021) Sistem Kontrol Sensor Kadar Keasaman pada Limbah Cair Irigasi Berbasis Internet of Things di Desa Sukoanyar, Kecamatan Tumpang	Menggunakan sensor pH dan sensor <i>Turbidity</i> .	Melakukan pengolahan limbah cair irigasi	Melakukan pengolahan limbah cair <i>laundry</i> .

Tabel 2.1 merupakan perbandingan dari penelitian sebelumnya. Penelitian ini dilakukan menggunakan NodeMCU ESP32 sebagai mikrokontroler karena

NodeMCU ESP32 ini memiliki modul *wifi* yang dapat mendukung monitoring melalui protokol MQTT sebagai penghubung untuk mengirim data dari sensor ke web Telkom IoT Platform. Penelitian ini menggunakan sensor pH, sensor *turbidity*, dan sensor zat padat terlarut. Sebagai penentu keluaran / *output*, penelitian ini menggunakan metode *fuzzy*. Logika *fuzzy* tersebut memakai nilai pH, *turbidity*, dan zat padat terlarut sebagai acuan untuk menentukan keluaran / *output*. Keadaan yang dikeluarkan logika *fuzzy* berupa *rule base* yang mempengaruhi *relay* untuk mengontrol pompa yang terdiri dari cairan asam, cairan basa, dan tawas. Menggunakan protokol MQTT sebagai media untuk menyimpan data dari sensor ke Telkom IoT platform yang dapat dilihat dari jarak jauh secara *realtime*, juga menggunakan LCD sebagai penampil data untuk kondisi *on-site*.

2.2 LANDASAN TEORI

Landasan Teori merupakan konsep pernyataan yang sistematis dikarenakan landasan teori ini nantinya akan menjadi landasan kuat di dalam penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti. Landasan teori merupakan seperangkat definisi, konsep, dan proposisi yang telah disusun dalam sistematika mengenai variabel di dalam sebuah penelitian

2.2.1 LIMBAH LAUNDRY

Setiap tahun, kegiatan jasa pencucian (*laundry*) di Indonesia mengalami peningkatan yang signifikan. Dalam praktiknya, deterjen banyak digunakan dalam layanan *laundry* karena memiliki kemampuan pembersihan yang lebih efektif dibandingkan dengan sabun konvensional. Peningkatan jumlah limbah yang dihasilkan akibat pencucian pakaian ini memiliki dampak yang langsung terhadap lingkungan jika tidak dikelola dan diolah dengan baik. Limbah dari *laundry* dapat mencemari perairan dan tanah [19].

Tabel 2. 2 Baku Mutu Limbah pada Fasilitas Penyimpanan Limbah B3 [20]

No	Parameter	Konsentrasi Parameter Maksimum	
		Nilai	Satuan
1	Suhu	38	°C

No	Parameter	Konsentrasi Parameter Maksimum	
		Nilai	Satuan
2	Zat Padat Terlarut	2000	mg/L
3	Zat Padat Tersuspensi	200	mg/L
4	pH	6-9	-
5	BOD5	50	mg/L
6	COD	100	mg/L

Tabel 2.2 merupakan baku mutu pembuangan limbah menurut pemerintah. Limbah cair dari *laundry* mengandung beberapa zat, seperti *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Total Suspended Solid* (TSS). Keberadaan COD dan TSS dalam konsentrasi tinggi yang melebihi standar yang telah ditetapkan dapat menyebabkan pencemaran dan kematian organisme perairan [20].

2.2.2 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* (*fuzzy logic*) memiliki keunggulan dibandingkan dengan logika konvensional, di mana ia memungkinkan proses penalaran yang dilakukan dalam bahasa sehari-hari tanpa memerlukan persamaan matematika yang rumit. Untuk menghasilkan nilai keanggotaan *fuzzy*, digunakan rumus yang didasarkan pada kurva yang dibentuk saat pembuatan nilai keanggotaan di dalam rentang nilai antara 0 hingga 1. Dalam kegiatan ini, fungsi kurva trapesium digunakan untuk menentukan keanggotaan *fuzzy* [21].

Untuk mendapatkan nilai *output* dari pendapatan akhir menggunakan aturan *fuzzy* Sugeno, dilakukan beberapa langkah, yaitu pembentukan himpunan *fuzzy* dan derajat keanggotaannya (*fuzzyfikasi*), penentuan aturan (*rules*), penalaran (*inferensi*), dan *defuzzyfikasi*.

1. Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi merupakan proses pemetaan nilai *input* ke dalam himpunan *fuzzy* dan menentukan derajat keanggotaannya di dalam himpunan *fuzzy*. Setiap variabel *fuzzy* menggunakan himpunan *fuzzy* dan fungsi keanggotaan yang ditentukan berdasarkan data pengelompokkan.

2. Pembentukan Aturan

Aturan-aturan dalam bentuk pernyataan kualitatif ditulis dengan format IF-

THEN agar mudah dipahami. Pada *Fuzzy Inference System* (FIS) dalam manajemen *bandwidth* internet, jumlah *input* dan jumlah himpunan *fuzzy* menjadi dasar untuk menentukan aturan-aturan. Penentuan aturan didasarkan pada pengujian secara manual dengan mempertimbangkan kemungkinan probabilitas yang terjadi melalui kombinasi variabel.

3. Inferensi

Proses inferensi menggunakan fungsi MIN (nilai terendah) dari aturan-aturan yang diperoleh. Hal ini menghasilkan himpunan *fuzzy output*.

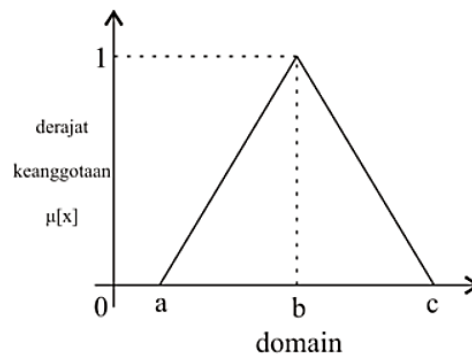
4. Defuzzyfikasi

Defuzzyfikasi dilakukan menggunakan metode *weighted average* (nilai rata-rata). Metode ini mengubah himpunan *fuzzy output* menjadi nilai tunggal yang merupakan nilai *output* akhir dari sistem *fuzzy* Sugeno.

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang digunakan untuk memetakan titik-titik data *input* ke dalam nilai keanggotaannya, yang umumnya dinyatakan dalam rentang antara 0 hingga 1. Terdapat beberapa jenis fungsi yang dapat digunakan dalam hal ini.

1. Representasi Kurva Segitiga

Pada dasarnya, kurva segitiga adalah hasil penggabungan dua garis (linear) seperti yang tampak dalam Gambar 2.1.



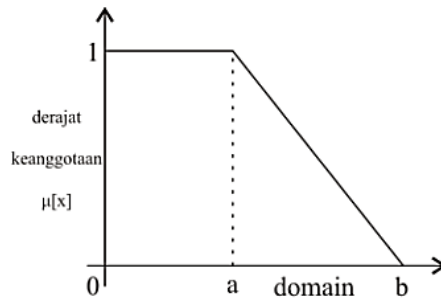
Gambar 2. 1 Kurva Segitiga

Fungsi keanggotan :

$$\mu|x| = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \end{cases} \dots\dots\dots (2.1)$$

2. Representasi Kurva Bentuk Bahu

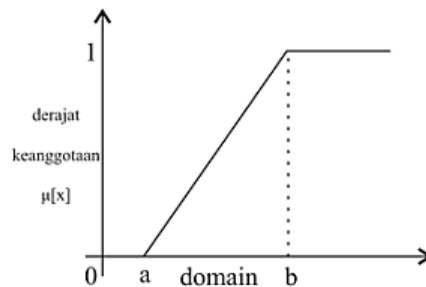
Dalam hal ini, terdapat dua jenis kurva bahu yang dibedakan, yaitu bahu kiri dan bahu kanan. Informasi mengenai perhitungan dan fungsi keanggotaan dari kedua kurva tersebut dapat ditemukan dalam Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



Gambar 2. 2 Kurva Bahu kiri

Fungsi keanggotaan :

$$\mu|x| = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \dots\dots\dots(2.2)$$



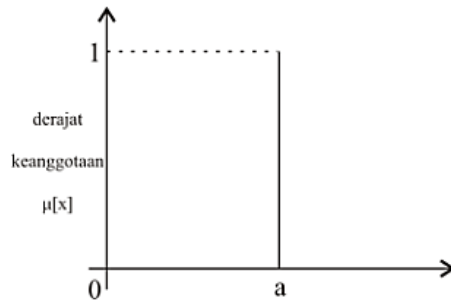
Gambar 2. 3 Kurva Bahu Kanan

Fungsi keanggotaan :

$$\mu|x| = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \dots\dots\dots(2.3)$$

3. Representasi Kurva Singleton

Singleton merupakan himpunan *fuzzy* yang memiliki satu titik tunggal (= a) dalam semesta pembicaraan. Gagasan ini direpresentasikan melalui fungsi keanggotaan yang terlihat pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5.

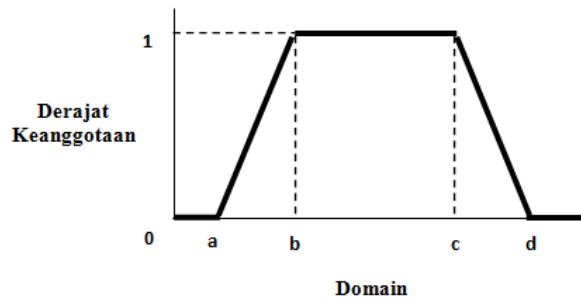


Gambar 2. 4 Kurva Singleton

Fungsi keanggotaan :

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & \text{untuk } x = a \\ 0, & \text{untuk } x \neq a \end{cases} \dots\dots\dots(2.4)$$

4. Representasi kurva trapesium



Gambar 2. 5 Kurva Trapesium

$$\mu(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \dots\dots\dots(2.5)$$

Tiga komponen utama logika *fuzzy* adalah fuzzyfikasi, inferensi, dan defuzzyfikasi. Dalam proses fuzzyfikasi, fungsi-fungsi keanggotaan digunakan untuk mengubah *input* yang memiliki nilai kebenaran yang jelas (*crisp*) menjadi *input fuzzy*. pH, TDS, dan kekeruhan adalah tiga parameter yang dimasukkan dalam kegiatan ini. Pada tahap evaluasi aturan atau inferensi, penalaran dilakukan terhadap nilai-nilai *input fuzzy* menggunakan basis aturan yang telah ditentukan sebelumnya, yang menghasilkan *output fuzzy*. Evaluasi aturan didasarkan pada nilai fungsi keanggotaan dan perhitungan matematis. Nilai *output* yang *fuzzy*

diubah menjadi bentuk yang pasti (*crisp*) kembali melalui proses yang dikenal sebagai defuzifikasi [22].

2.2.3 SENSOR PH

Sensor pH merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur tingkat pH (tingkat keasaman atau alkalinitas) suatu cairan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Perangkat ini biasanya terdiri dari *probe* pengukur khusus atau elektroda yang terhubung ke meter elektronik yang digunakan untuk mengukur dan menampilkan nilai pH. Elektroda, yang biasanya berbentuk batang dan terbuat dari bahan kaca, memiliki bohlam di bagian bawahnya yang mengandung sensor [23].



Gambar 2. 6 Sensor pH [23]

Prinsip kerja dari sensor pH melibatkan elektrode merespons perubahan konsentrasi ion hidrogen dalam larutan [23]. Sensor pH memiliki beberapa spesifikasi seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Spesifikasi Sensor pH

Spesifikasi Sensor pH	
Tegangan Kerja	3.3 – 5.5 V
Output Tegangan Analog	0 – 3.0 V
Jenis Konektor <i>Probe</i>	BNC
Dimensi <i>Board</i>	42 * 32 mm
Range Deteksi pH	0 – 14
Suhu Kerja	5 – 60 °C

Spesifikasi Sensor pH	
<i>Internal Resistance</i>	< 250 mΩ
Waktu Respon	< 2 menit
Panjang Kabel <i>Probe</i>	100 cm

2.2.4 SENSOR KEKERUHAN

Istilah "kekeruhan" digunakan untuk menggambarkan tingkat di mana cairan kehilangan transparansinya sebagai akibat dari hadirnya zat-zat lain. Setelah terlarut, zat-zat ini membuat cairan yang tampak berkabut atau tidak jernih. Sensor kekeruhan, juga dikenal sebagai sensor *turbidity*, berfungsi untuk mengukur tingkat kekeruhan air dengan memanfaatkan cahaya yang digunakan untuk mendeteksi partikel tersuspensi pada air berdasarkan tingkat hamburannya; umumnya, jumlah partikel tersuspensi sebanding dengan tingkat kekeruhan air seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. [24].



Gambar 2. 7 Sensor Kekeruhan [24]

Sensor ini dapat mengeluarkan sinyal *digital* dan analog. Prinsip kerja sensor *turbidity* melibatkan pengukuran intensitas cahaya yang tersebar atau dihamburkan oleh partikel-partikel dalam larutan [24]. Sensor kekeruhan memiliki beberapa spesifikasi seperti ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Spesifikasi Sensor Kekeruhan

Spesifikasi Sensor Kekeruhan	
Tegangan Kerja	5 VDC
<i>Output</i> Tegangan Analog	0 – 4.5 V

Spesifikasi Sensor Kekeruhan	
Dimensi Board	38 * 28 * 10 mm
Suhu Kerja	5 – 90 °C
Internal Resistance	100 mΩ
Waktu Respon	< 500 ms

2.2.5 SENSOR ZAT PADAT TERLARUT

Total Dissolved Solid (TDS) merujuk pada jumlah zat padat yang terlarut dalam air. Fenomena ini terjadi karena air merupakan pelarut universal yang dengan mudah menyerap dan melarutkan berbagai partikel yang ada di sekitarnya. Sensor TDS adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi zat padat terlarut dalam air seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Pengukuran ini dilakukan dalam satuan ppm (mg/L) dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk angka *digital* pada layar perangkat [25].



Gambar 2. 8 Sensor Zat Padat Terlarut

Tabel 2. 5 Spesifikasi Sensor Zat Padat Terlarut

Spesifikasi Sensor Zat Padat Terlarut	
Tegangan Kerja	3.3 – 5.5 V
<i>Output</i> Tegangan Analog	0 – 2.3 V
Arus Kerja	3 – 6 mA
Dimensi Board	42 * 32 mm
<i>Range</i> Deteksi	0 – 1000 ppm
Panjang Kabel <i>Probe</i>	83 cm

Sensor kekeruhan memiliki beberapa spesifikasi seperti ditunjukkan pada Tabel 2.5. Cara kerja sensor TDS relatif sederhana, di mana perangkat cukup dicelupkan ke dalam air yang akan diukur, dan secara otomatis alat akan bekerja untuk mengukur kadar TDS pada air tersebut. Prinsip kerja sensor TDS melibatkan pengukuran konduktivitas listrik larutan yang berkaitan dengan jumlah ion terlarut dalam larutan tersebut [25].

2.2.6 SENSOR ULTRASONIK HC-SR04

Sensor ultrasonik adalah perangkat elektronik yang memiliki kemampuan untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk gelombang suara ultrasonik. Salah satu contoh dari sensor ultrasonik adalah sensor HC-SR04 yang sering digunakan untuk memantau jarak benda atau objek. Sensor ini terdiri dari dua komponen, yaitu pemancar ultrasonik yang disebut *transmitter* dan penerima ultrasonik yang disebut *receiver* seperti pada Gambar 2.9. Sensor HC-SR04 mampu mengukur jarak benda dalam rentang 2 cm hingga 400 cm dengan tingkat presisi sekitar 0,3 cm. Sudut deteksi yang dapat ditangani oleh sensor ini tidak lebih dari 15°. Konsumsi arus yang diperlukan oleh sensor ini tidak melebihi 2mA, dan tegangan yang dibutuhkan adalah +5V. Jumlah pin yang dimiliki oleh sensor HC-SR04 adalah 4 [26].



Gambar 2. 9 Sensor Ultrasonik HC-SR04 [26]

Prinsip kerja sensor ultrasonik menghasilkan gelombang ultrasonik dengan mengirimkan pulsa suara ultrasonik dengan kecepatan tinggi ke arah objek yang ingin diukur, ketika gelombang mencapai objek di sepanjang jalur, sebagian besar dari energi gelombang akan dipantulkan kembali ke sensor [26].

2.2.7 LCD (*LIQUID CRYSTAL DISPLAY*)

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah sebuah teknologi tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai elemen utama penampilan. Dalam perangkat LCD, cahaya yang digunakan berasal dari lampu neon berwarna putih yang berada di bagian belakang susunan kristal cair yang ditunjukkan pada Gambar 2.10. Penamaan "LCD 16x2" menunjukkan bahwa LCD tersebut dapat menampilkan sebanyak 16 kolom dan 2 baris informasi pada layar tampilan [27].

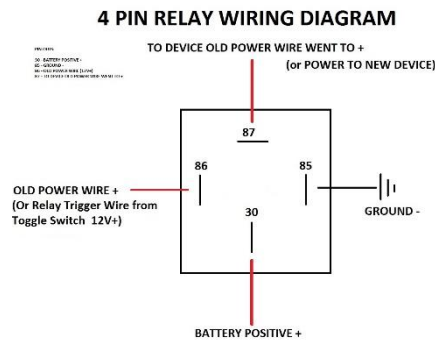


Gambar 2. 10 LCD (*Liquid Crystal Display*) [27]

2.2.8 RELAY

Relay merupakan sebuah komponen elektronika yang berfungsi sebagai saklar elektronik yang dioperasikan oleh arus listrik. Secara prinsip, *relay* terdiri dari tuas saklar dengan lilitan kawat yang terpasang di dekatnya yang disebut solenoid. *Relay* terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu *coil* dan *contact*. *Coil* adalah gulungan kawat yang akan mendapatkan arus listrik untuk mengoperasikan *relay*. Sementara itu, *contact* adalah jenis saklar yang pergerakannya dipengaruhi oleh ada atau tidaknya arus listrik pada *coil*.

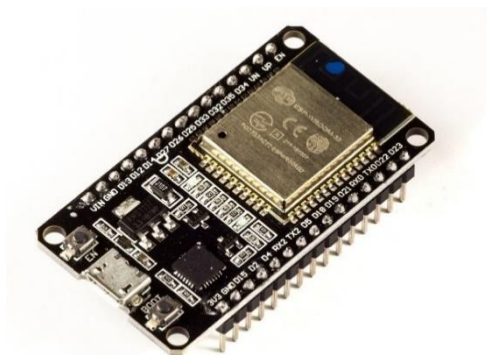
Contact relay terdiri dari dua jenis, yaitu *Normally Open* (NO) dan *Normally Closed* (NC). *Normally Open* (NO) adalah keadaan di mana *relay* dalam posisi terbuka atau tidak terhubung ketika tidak ada arus yang mengalir pada kaki pengendali *relay*. Sebaliknya, *Normally Closed* (NC) adalah keadaan di mana *relay* dalam posisi tertutup atau terhubung ketika tidak ada arus yang mengalir pada kaki pengendali *relay* yang ditunjukkan Gambar 2.11 dalam bentuk skematik relay [28].



Gambar 2. 11 Skematik *Relay*

2.2.9 NODEMCU ESP32

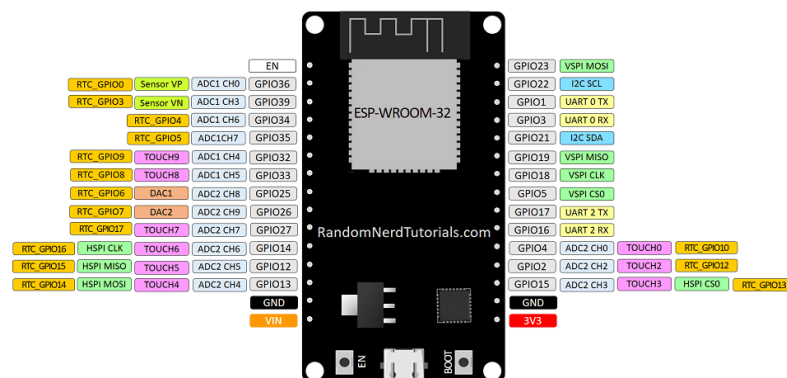
NodeMCU ESP32 adalah sebuah mikrokontroler yang diperkenalkan oleh Espressif System sebagai penerus dari mikrokontroler ESP32. Keunggulan ESP32 dibandingkan dengan mikrokontroler lainnya terletak pada beberapa aspek. Pertama, ESP32 memiliki jumlah pin yang lebih banyak, termasuk lebih banyak pin analog seperti Gambar 2.12. Selain itu, mikrokontroler ini memiliki kapasitas memori yang lebih besar. Selanjutnya, ESP32 dilengkapi dengan *Bluetooth 4.0 low energy* dan juga mendukung koneksi WiFi, yang memungkinkan implementasi *Internet of Things* dengan menggunakan mikrokontroler ini [29].



Gambar 2. 12 NodeMCU ESP32

ESP32 adalah sebuah *System-on-Chip* (SoC) yang dirancang khusus untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT) dan memiliki kemampuan jaringan nirkabel yang kuat. NodeMCU memiliki arsitektur yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 dan memiliki beberapa fitur utama dari ESP32 antara lain:

1. Prosesor: ESP32 dilengkapi dengan prosesor dual-core Tensilica LX6 dengan kecepatan clock hingga 240 MHz. Prosesor ini memberikan kinerja tinggi dan efisiensi energi yang baik.
2. Konektivitas nirkabel: ESP32 mendukung Wi-Fi 802.11 b/g/n, sehingga dapat terhubung ke jaringan nirkabel. Selain itu, ESP32 juga mendukung *Bluetooth Low Energy (BLE)* dan *Bluetooth Classic*, memungkinkan komunikasi nirkabel dengan perangkat lain.
3. GPIO dan antarmuka: ESP32 memiliki berbagai pin GPIO yang dapat digunakan untuk menghubungkan sensor, aktuator, dan perangkat lainnya. Selain itu, ESP32 juga mendukung berbagai antarmuka seperti I2C, SPI, UART, PWM, dan ADC, memfasilitasi integrasi dengan berbagai perangkat eksternal.
4. Memori: ESP32 memiliki memori internal yang cukup besar untuk menyimpan program dan data. Selain itu, ESP32 juga mendukung eksternal *flash memory* dan RAM eksternal untuk penyimpanan tambahan.
5. Pemrograman: ESP32 dapat diprogram menggunakan berbagai bahasa pemrograman, termasuk C/C++, MicroPython, dan Arduino IDE. Fleksibilitas dalam pengembangan aplikasi dan kemudahan integrasi dengan perangkat lain menjadi salah satu keunggulan dari ESP32 [30].

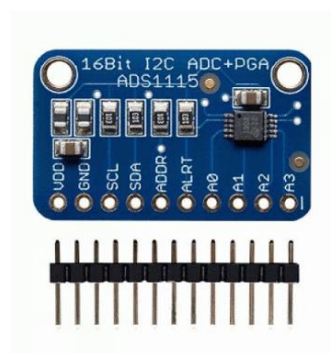


Gambar 2. 13 Arsitektur NodeMCU ESP32 [30]

2.2.10 MODUL ADS1115

Modul ADS1115 adalah suatu perangkat konverter analog ke *digital* (ADC) berkecepatan 16 bit dengan kecepatan sampling mencapai 860 sampel per detik. Fungsinya adalah sebagai pengukur tegangan dengan menggunakan mode

differential *inputs* [31].



Gambar 2. 14 Modul ADS1115 [31]

Gambar 2.14 merupakan modul ADS1115 yang dilengkapi dengan fitur *multiplexer input* (MUX), sehingga dapat bekerja dalam dua mode, yaitu mode *single-ended* dengan satu *input* pada setiap pin, dan mode *differential inputs* dengan dua *input* pada dua pin yang berbeda [31].

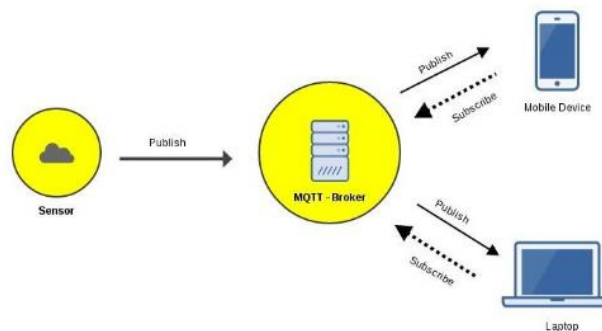
2.2.11 ARDUINO IDE

IDE (*Integrated Development Environment*) adalah lingkungan terpadu yang digunakan untuk melakukan pengembangan perangkat lunak. Pada platform Arduino, IDE ini menggunakan bahasa pemrogramannya sendiri yang mirip dengan bahasa C. Arduino IDE dibuat menggunakan bahasa pemrograman JAVA. Selain itu, Arduino IDE juga dilengkapi dengan library C/C++ yang biasa disebut *wiring*, yang membantu menyederhanakan operasi *input* dan *output*. Arduino IDE pada awalnya dikembangkan dari perangkat lunak *processing* yang kemudian dimodifikasi menjadi Arduino IDE yang dikhususkan untuk pemrograman dengan Arduino [32].

2.2.12 MESSAGE QUEUING TELEMETRY TRANSPORT (MQTT)

Salah satu protokol yang digunakan dalam berkomunikasi antara perangkat dan layanan pada *Internet of Things* (IoT) adalah *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). MQTT adalah protokol yang berjalan di atas TCP/IP dan dirancang khusus untuk komunikasi mesin ke mesin yang tidak memerlukan alamat khusus. Protokol ini menggunakan konsep *publish/subscribe* seperti yang

ditujukan pada Gambar 2.15 yang cocok untuk perangkat dengan *bandwidth* rendah atau jaringan yang tidak stabil, sehingga sangat sesuai untuk diterapkan pada perangkat dengan daya yang terbatas seperti dalam *Internet of Things*. Dengan MQTT, perangkat dapat mengirimkan perintah untuk mengatur keluaran atau *output*, serta membaca data dari sensor dan mempublikasikannya sesuai dengan topik yang diminta [33].

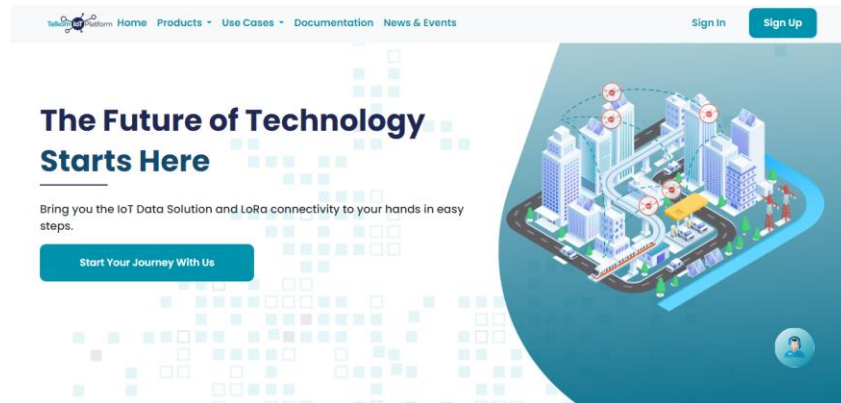


Gambar 2. 15 Contoh Komunikasi *Subscriber* dan *Publisher* pada MQTT [34]

2.2.13 TELKOM IOT PLATFORM

Platform IoT merupakan komponen yang sangat penting dalam ekosistem *Internet of Things* (IoT). Platform ini berperan dalam mengumpulkan data yang dikirim oleh perangkat IoT untuk kemudian diproses oleh aplikasi IoT melalui protokol yang aman dan andal seperti MQTT. Dengan menggunakan layanan mikro, platform IoT memungkinkan pembuatan aplikasi IoT untuk pemantauan dan kontrol. Platform IoT menawarkan fitur-fitur unik seperti manajemen perangkat, interoperabilitas antar berbagai merek perangkat, fleksibilitas terhadap berbagai jenis konektivitas, dan menyediakan dasbor pribadi seperti Gambar 2.16 yang merupakan halaman depan Telkom IoT Platform.

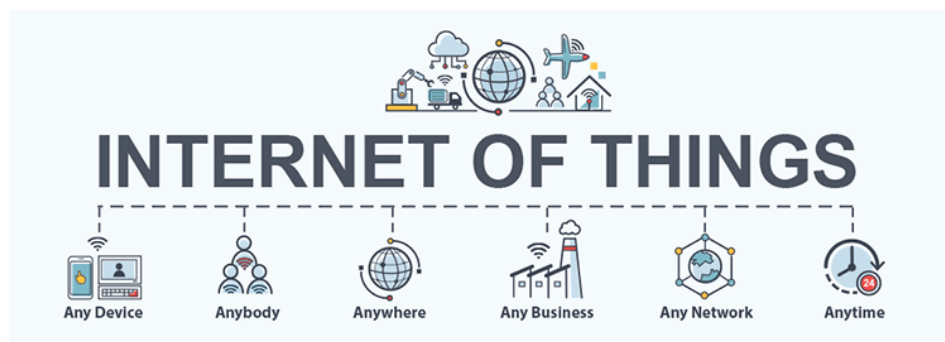
Telkom IoT Platform merupakan layanan teknologi IoT yang menyediakan kemudahan dalam menghubungkan, mengelola, dan mengotomatiskan berbagai perangkat atau sensor. Selain itu, platform ini juga memungkinkan visualisasi data perangkat yang tersimpan dalam dasbor pribadi yang dapat disesuaikan sesuai kebutuhan pelanggan. Dengan model bisnis Riset, Inovasi, dan Kolaborasi, Telkom IoT Platform mampu mencakup pasar yang luas, melibatkan berbagai kalangan dari akademisi, B2B, hingga institusi besar sebagai pengguna.



Gambar 2. 16 Telkom IoT Platform

2.2.14 INTERNET OF THINGS (IoT)

Internet of Things (IoT) memungkinkan pengguna untuk mengelola dan meningkatkan efisiensi peralatan elektronik dan peralatan listrik melalui penggunaan koneksi internet. Komunikasi yang terjadi antara komputer dan peralatan dapat berlangsung tanpa interaksi manusia secara langsung, sehingga penggunaan internet semakin berkembang dengan berbagai fasilitas dan layanan yang ditawarkan seperti Gambar 2.17. IoT berfungsi sebagai penghubung antara dunia fisik dan dunia informasi dengan mengumpulkan dan mengolah data dari peralatan elektronik. Data tersebut kemudian diubah menjadi format yang dapat dipahami oleh mesin sehingga dapat dipertukarkan dengan mudah dalam berbagai bentuk format data [35].



Gambar 2. 17 Internet of Things [35]

2.2.15 PERHITUNGAN *ERROR* DAN AKURASI

Pengujian data dilakukan dengan menggunakan tiga jenis sensor, yaitu Sensor pH, Sensor *turbidity*, dan Sensor Zat Padat Terlarut, dengan tujuan untuk mendapatkan hasil yang akurat dari pengujian sensor tersebut. Selanjutnya, untuk memperoleh hasil *error* dari sensor-sensor tersebut, dilakukan perhitungan seperti yang dijelaskan di bawah ini [36]:

$$E = \left| \frac{\text{Data Sebenarnya} - \text{Data Terukur}}{\text{Data Sebenarnya}} \times 100\% \right| \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Akurasi} = (100 - E)\% \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

- E = *Error*
- \bar{X} = Rata-Rata
- Xi = Data Pertama
- N = Jumlah Nilai *Error*

2.2.16 PERHITUNGAN *DELAY*

Delay adalah waktu yang diperlukan oleh suatu data untuk mencapai tujuan atau tempat tujuan dalam suatu jaringan atau sistem komunikasi. Istilah "*delay*" juga dapat mengacu pada rumus atau formula untuk menghitung waktu jeda antara penerimaan dan pengiriman data [37]. Tabel 2.6 merupakan kategori *relay*.

$$\text{Delay} = \text{Waktu Penerimaan Paket} - \text{Waktu Pengiriman Paket} \dots\dots(2.8)$$

Di dalam *delay* juga terdapat rumus rata-rata *delay* :

$$\text{Rata - Rata Delay} = \frac{\text{Total Delay}}{\text{Total Paket yang diterima}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Tabel 2. 6 Kategori *Delay*

Kategori	<i>Packet Loss (%)</i>
Sangat Bagus	0
Bagus	5
Sedang	15
Jelek	25