



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 5 Nomor 3 Tahun 2025 Page 124-148

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

## Sistem Kontrol dan *Monitoring* Kualitas Air *Reverse Osmosis* (RO) Menggunakan *Fuzzy Logic* Metode Sugeno Berbasis *Internet of Things*

Muhammad Abdul Kharim<sup>1✉</sup>, Tatyantoto Andrasto<sup>2</sup>, Alfa Faridh Suni<sup>3</sup>, Khoirudin Fathoni<sup>4</sup>

Universitas Negeri Semarang

Email: [abdulkhari6435@students.unnes.ac.id](mailto:abdulkhari6435@students.unnes.ac.id)<sup>✉</sup>

### Abstrak

Kualitas air minum menjadi aspek penting yang harus diperhatikan untuk menjaga kesehatan masyarakat. Salah satu teknologi yang umum digunakan dalam penyaringan air adalah *Reverse Osmosis* (RO), yang mampu menyaring berbagai zat kontaminan. Namun, tantangan utama dalam sistem RO adalah pemantauan kualitas air secara *real-time*, otomatisasi dalam pengendalian pompa air, serta penggantian filter yang sering kali tidak terjadwal dengan baik. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan dan kontrol kualitas air RO berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan pendekatan logika fuzzy metode Sugeno untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan air RO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu membaca parameter air dengan akurasi tinggi setelah dilakukan kalibrasi sensor, dengan akurasi sensor pH mencapai 97%, sensor TDS 97,21%, dan sensor kekeruhan 95%. Implementasi metode fuzzy Sugeno berhasil meningkatkan akurasi penentuan kualitas air hingga 97%, dibandingkan dengan metode pemantauan manual yang lebih subjektif. Selain itu, sistem IoT berbasis *Blynk* memungkinkan pengguna untuk memantau kualitas air secara jarak jauh dan *real-time*, serta memberikan notifikasi otomatis jika kualitas air turun di bawah ambang batas yang telah ditentukan.. Penerapan sistem ini sangat sesuai untuk lingkungan seperti Pondok Pesantren Durrotu Aswaja, yang membutuhkan akses terhadap air minum berkualitas secara berkelanjutan.

Kata Kunci: *Reverse Osmosis*, *Internet of Things*, *Logika Fuzzy Sugeno*, *Pemantauan Kualitas Air*, *Blynk*, *ESP32*

## Abstract

Drinking water quality is a crucial aspect that must be considered to maintain public health. One of the commonly used technologies for water filtration is Reverse Osmosis (RO), which effectively removes various contaminants. However, the main challenges in RO systems include real-time monitoring of water quality, automation of pump control, and unregulated filter replacement schedules. Therefore, this study develops an Internet of Things (IoT)-based RO water quality monitoring and control system using the Sugeno fuzzy logic method to enhance the efficiency and effectiveness of RO water management. The research results show that the developed system can read water parameters with high accuracy after sensor calibration, with pH sensor accuracy reaching 97%, TDS sensor 97,21%, and turbidity sensor 95%. The implementation of the Sugeno fuzzy method successfully improves water quality classification accuracy up to 97%, compared to more subjective manual monitoring methods. Additionally, the IoT-based Blynk system allows users to remotely and in real-time monitor water quality and receive automatic notifications if the water quality falls below the predefined threshold. The implementation of this system is highly suitable for environments such as Pondok Pesantren Durrotu Aswaja, which requires continuous access to high-quality drinking water.

Keywords: *Reverse Osmosis, Internet of Things, Sugeno Fuzzy Logic, Water Quality Monitoring, Blynk, ESP32*

## PENDAHULUAN

Air minum adalah air yang telah memenuhi syarat kesehatan dan dapat diminum secara langsung, baik melalui proses pengolahan maupun tanpa melalui proses pengolahan (Pura et al., 2023). Rendahnya *infiltrasi* dan beban pencemaran yang terus bertambah mengakibatkan menurunnya kualitas air tanah (Hidup, 2019). Pemantauan kualitas air tanah menjadi perhatian khusus karena banyaknya bahan kimia yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari dan perdagangan yang dapat masuk ke perairan kita (Myers, 2014). Salah satu cara mengatasi pencemaran air adalah dengan mengidentifikasi sumber pencemaran, jenis material yang mencemari, serta sifat dan karakteristik bahan pencemar. Setelah itu, kita dapat mengambil keputusan untuk mengatasi masalah pencemaran tersebut (Herlambang, 2018). Hal ini juga berkaitan dengan ketersediaan air layak minum, yang merupakan kebutuhan dasar manusia yang sangat penting untuk kesehatan dan kesejahteraan. Kebutuhan akan air minum berkualitas adalah kebutuhan dasar manusia yang sangat penting untuk kesehatan dan kesejahteraan.

*Reverse Osmosis* (RO) dalam beberapa dekade terakhir telah menjadi pilihan populer untuk menghasilkan air minum yang bersih dan aman. Saat ini, RO mencakup lebih dari 65% dari kapasitas desalinasi di seluruh dunia. Air RO memiliki keunggulan dalam

menghilangkan berbagai kontaminan, termasuk logam berat, bakteri, virus, dan zat-zat kimia berbahaya, sehingga menjadikannya pilihan yang lebih sehat dibandingkan air minum biasa. Penyediaan air RO menjadi solusi utama untuk memenuhi kebutuhan air minum berkualitas.

Tantangan utama dalam pengelolaan air RO adalah memastikan kualitas air tetap terjaga dari waktu ke waktu, khususnya terkait penggantian filter yang sering kali kurang terkontrol. Pengotoran membran masih menjadi masalah utama dalam proses RO. Pengotoran ini mengurangi masa pakai dan permeabilitas membran, meningkatkan tekanan operasi dan frekuensi pembersihan kimia, serta menurunkan kualitas dan kuantitas air desalinasi (Ahmed dkk., 2023). Masalah ini menghambat penerapan membran RO yang berkelanjutan karena mempengaruhi efisiensi dan aspek ekonomisnya. Pengotoran terjadi akibat berbagai interaksi fisik – kimia antara polutan air dan bahan membran, yang menyebabkan akumulasi pengotor pada permukaan atau di dalam pori-pori membran. Penyimpanan air dalam tandon yang tidak *transparan* dan terletak di luar ruangan sering kali menyulitkan pemantauan. Akibatnya, masalah seperti menurunnya kualitas air atau terjadinya kekurangan ketersediaan air sering terjadi, yang bisa berdampak buruk pada kesehatan. Pemantauan kualitas air RO secara manual menggunakan alat-alat seperti pengukur pH, kekeruhan, dan suhu memerlukan waktu dan tenaga yang cukup banyak. Selain itu, keputusan yang diambil sering kali subyektif dan kurang efisien.

Penggantian filter yang tidak terjadwal dengan baik, yang dapat mempengaruhi kualitas air yang dihasilkan. Filter RO harus diganti secara teratur agar sistem tetap berfungsi dengan optimal. Penggantian filter yang tidak teratur dapat menyebabkan penurunan efisiensi sistem, akumulasi kontaminan, dan penurunan kualitas air (Qolomany et al., 2019). Studi menunjukkan bahwa penggantian filter yang kurang terkontrol tidak hanya mempengaruhi kualitas air tetapi juga dapat menambah biaya operasional dan mempengaruhi umur panjang sistem RO itu sendiri (Ahmed et al., 2023). Kekurangan ini menunjukkan perlunya sebuah sistem yang mampu melakukan monitoring dan kontrol kualitas air secara otomatis dan real-time untuk memastikan filter diganti pada waktu yang tepat dan kualitas air tetap terjaga.

Dalam penelitian ini dirancang menggunakan 3 parameter utama untuk menentukan kualitas air minum yaitu TDS, pH, dan kekeruhan air yang nantinya akan memberikan informasi untuk penggantian filter air RO. Terdapat juga 2 parameter lain guna memberikan informasi tambahan yang akan ditampilkan pada aplikasi android yaitu suhu air dan *level* ketinggian air. Sensor suhu DS18B20 digunakan untuk pemantauan suhu air namun tidak

digunakan sebagai parameter kualitas air, namun digunakan sebagai informasi tambahan untuk sensor TDS. Hal ini dikarenakan suhu tidak terlalu berpengaruh pada kualitas air. Selain itu, terdapat sensor ultrasonik JSN-SRT04 untuk mengidentifikasi *level*/ketinggian air dalam tandon penampungan yang akan memberikan informasi untuk pengendalian menyalakan dan mematikan mesin air RO. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Zhmud, penggunaan sensor ultrasonik lebih cocok dibandingkan penggunaan laser dalam melakukan pengukuran yang akurat (Zhmud et al., 2018). Komponen-komponen tersebut dikendalikan oleh *mikrokontroler* ESP32 yang sudah terintegrasi dengan modul *WiFi* dan dapat menghubungkan sistem ke internet yang dapat dipantau melalui bantuan aplikasi *blynk*.

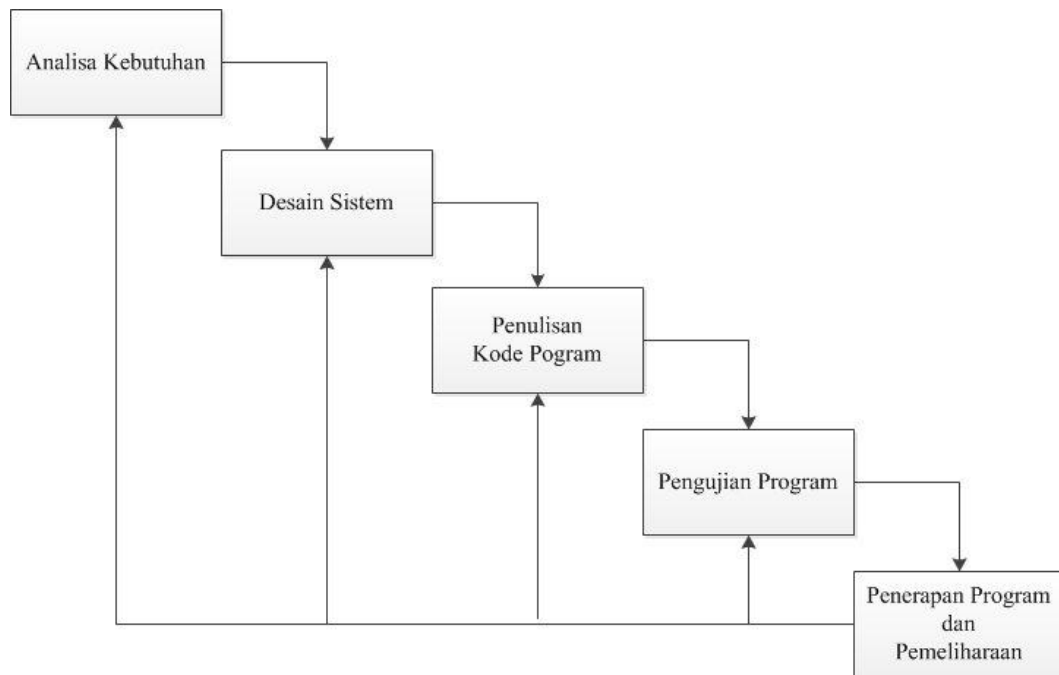
Logika Fuzzy digunakan dalam penelitian ini guna menentukan kualitas air berdasarkan parameter – parameter yang telah disebutkan. Penggunaan logika *fuzzy* dimaksudkan untuk menyampaikan informasi dari data yang bersifat *ambigu*. Logika fuzzy sendiri terdapat 3 metode yaitu; metode *Mamdani*, metode *Tsukamoto*, dan metode *Sugeno*. Penggunaan logika fuzzy dengan metode Sugeno merujuk pada hasil penelitian yang dilakukan oleh (Suryadi & Romansyah, 2024) yang menyatakan metode *Sugeno* memiliki persentase keberhasilan yang lebih tinggi dan hasil yang optimal dibandingkan dengan metode *Mamdani* dan *Tsukamoto*. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat membantu memantau kualitas air RO dengan baik dan efektif.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain eksperimen. Pendekatan ini dipilih karena penelitian ini melibatkan pengukuran dan analisis data numerik dari berbagai sensor untuk mengukur parameter kualitas air. Desain eksperimen dilakukan untuk menguji efektivitas sistem yang dirancang, termasuk pengujian fungsi kontrol otomatis menggunakan logika *fuzzy* metode Sugeno serta integrasi sistem dengan platform *IoT*.

Menurut (Pressman, Roger S., 2015), model Waterfall atau dikenal juga sebagai *Linear Sequential Model* adalah pendekatan klasik dalam rekayasa perangkat lunak yang menekankan proses yang sistematis dan bertahap. Setiap fase dalam model ini dilakukan secara berurutan, di mana penyelesaian tahap sebelumnya menjadi syarat untuk melanjutkan ke tahap berikutnya. Walaupun dianggap sebagai metode lama karena diperkenalkan oleh Winston W. Royce pada awal tahun 1970-an, pendekatan ini tetap banyak digunakan karena kesederhanaannya dan kemampuannya memberikan struktur

yang jelas dalam proses pengembangan perangkat lunak. Berikut adalah diagram alur yang menunjukkan tahapan proses penelitian:



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang dan Pondok Pesantren Durrotu Ahlissunnah Waljama'ah Semarang. Waktu penelitian dilaksanakan jangka 6 bulan.

Fokus penelitian ini adalah pada pengembangan dan pengujian sistem *monitoring* dan kontrol kualitas air RO berbasis IoT. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh sistem pengolahan air yang ada di Pondok Pesantren Durrotu Aswaja, sementara sampel yang digunakan adalah satu *unit* sistem RO yang akan dipasang perangkat *monitoring* dan kontrol yang dirancang.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Implementasi Sistem

Implementasi Sistem dilakukan untuk menguji terhadap sistem yang telah dirangkai secara keseluruhan. Pada tahap ini, logika *if* digunakan sebagai dasar dalam menentukan eksekusi dari parameter-parameter yang terbaca oleh sistem. Melalui penerapan logika tersebut, sistem dapat mengategorikan dan menentukan kualitas air berdasarkan nilai-nilai parameter yang diperoleh.

```

// Penentuan kualitas air menggunakan logika if
if (TDS > 300 && turbidity > 3 && pHValue < 6.5 || pHValue > 8.5 ) {
    kualitasAir = "Kualitas : TL";
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Matikan mesin RO
} else if (TDS > 300) {
    kualitasAir = "Kualitas : LTM";
    tindakan = "Ganti membran RO";
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Matikan mesin RO
} else if (turbidity > 3) {
    kualitasAir = "Kualitas : LTM";
    tindakan = "Ganti filter sedimen";
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Matikan mesin RO
} else if (pHValue < 6.5 || pHValue > 8.5) {
    kualitasAir = "Kualitas : LTM";
    tindakan = "Ganti filter karbon";
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Matikan mesin RO
} else if ((TDS > 300) && (turbidity > 3 )) {
    kualitasAir = "Kualitas : LTM";
    tindakan = "Membrane & Sedimen";
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Matikan mesin RO
} else if ((TDS > 300) || (pHValue < 6.5 && pHValue > 8.5)) {
    kualitasAir = "Kualitas : LTM";
    tindakan = "Membrane & Carbon";
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Matikan mesin RO
} else if ((pHValue < 6.5 || pHValue > 8.5) && (turbidity > 3 )) {
    kualitasAir = "Kualitas : LTM";
    tindakan = "Carbon & Sedimen";
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Matikan mesin RO
} else {
    kualitasAir = "Kualitas : Layak";
    tindakan = "RO Beroperasi";
    digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Hidupkan mesin RO
}

```

Gambar 2. Kode Eksekusi Logika *if*

Kode pada Gambar 2 merupakan skrip logika penentuan kualitas air menggunakan struktur if-else berdasarkan tiga parameter: TDS, turbidity, dan pH. Logika ini digunakan untuk mengendalikan mesin RO (Reverse Osmosis) melalui relay (dengan pin RELAY\_PIN).

1. Jika TDS > 300, turbidity > 3, dan pH di luar rentang 6.5–8.5, maka kualitas air dikategorikan sebagai “TL” (Tidak Layak), dan mesin RO dimatikan.
2. Jika hanya TDS > 300, maka kualitas air “LTM” (Layak Tapi Membutuhkan perbaikan) dengan tindakan ganti membran RO, dan mesin dimatikan.
3. Jika hanya turbidity > 3, maka tindakan ganti filter sedimen.
4. Jika hanya pH di luar 6.5–8.5, maka tindakan ganti filter karbon.
5. Terdapat kondisi gabungan lainnya seperti:
  - a. TDS > 300 dan turbidity > 3 → tindakan membran & sedimen.
  - b. TDS > 300 dan pH tidak normal → tindakan membran & karbon.
  - c. pH tidak normal dan turbidity > 3 → tindakan karbon & sedimen.

6. Jika semua parameter dalam batas normal, maka air dinyatakan "Layak", dan mesin RO dihidupkan (RELAY\_PIN diatur ke HIGH).

Kode tersebut dibuat sebagai acuan awal dalam eksekusi awal dalam penentuan tindakan terhadap kualitas air yang ada dan mengambil tindakan yang sesuai secara otomatis, serta mengontrol operasional mesin RO berdasarkan hasil pengukuran sensor.

### Implementasi Metode Sugeno

Pada bagian ini, akan dijelaskan proses pengkodean untuk menerapkan metode *Fuzzy Logic Sugeno* dalam menentukan kualitas air berdasarkan dua parameter utama, yaitu pH dan TDS. Implementasi *Fuzzy Logic* dengan metode Sugeno mencakup 4 tahapan penting, yaitu:

1. Fuzzifikasi atau Pembentukan Himpunan Fuzzy

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ada 3 yaitu Ph, TDS dan kekeruhan. Mengubah nilai *input* pH, kekeruhan dan TDS yang bersifat numerik menjadi derajat keanggotaan dalam himpunan fuzzy, seperti "asam", "netral", atau "basa" untuk pH, "rendah" atau "tinggi" untuk kekeruhan, serta "rendah" atau "tinggi" untuk TDS.

```
float func_ph_asam(){
    if (final_ph <= 6.5) {
        | ph_asam = 1;
    } else if (final_ph > 6.5 && final_ph <= 7) {
        | ph_asam = (7 - final_ph) / (7 - 6.5);
    } else if (final_ph > 7) {
        | ph_asam = 0;
    }
    return ph_asam;
}

float func_ph_normal(){
    if (final_ph <= 6.5) {
        | ph_normal = 0;
    } else if (final_ph > 6.5 && final_ph <= 7) {
        | ph_normal = (final_ph - 6.5) / (7 - 6.5);
    } else if (final_ph > 7 && final_ph <= 8) {
        | ph_normal = 1;
    } else if (final_ph > 8 && final_ph <= 8.5) {
        | ph_normal = (8.5 - final_ph) / (8.5 - 8);
    } else if (final_ph > 8.5) {
        | ph_normal = 0;
    }
    return ph_normal;
}

float func_ph_basa(){
    if (final_ph <= 8) {
        | ph_basa = 0;
    } else if (final_ph > 8 && final_ph <= 8.5) {
        | ph_basa = (final_ph - 8) / (8.5 - 8);
    } else if (final_ph > 8.5) {
        | ph_basa = 1;
    }
    return ph_basa;
}
```

Gambar 3. Kode Himpunan *Fuzzy* pH

Kode pada gambar 3 merupakan bagian mengklasifikasikan kualitas air berdasarkan parameter pH, TDS (*Total Dissolved Solid*), dan kekeruhan (*turbidity*). Fungsi *func\_ph\_asam()*, *func\_ph\_normal()*, dan *func\_ph\_basa()* digunakan untuk menentukan derajat keanggotaan nilai pH terhadap kategori asam, normal, dan basa. Fungsi *func\_ph\_asam()* akan menghasilkan nilai 1 jika pH kurang dari atau sama dengan 6.5, dan nilai akan menurun secara linier hingga 0 saat pH mendekati 7. Fungsi *func\_ph\_normal()* bekerja pada rentang pH 6.5 hingga 8.5, dengan keanggotaan penuh (1) pada pH antara 7 hingga 8, dan interpolasi di tepi-tepinya. Sedangkan *func\_ph\_basa()* memberikan nilai keanggotaan penuh jika pH lebih dari 8.5, dengan interpolasi pada rentang 8 hingga 8.5.

```
// Fungsi keanggotaan fuzzy untuk TDS dengan dua kategori: re
float func_tds_rendah(){
    if (final_tds <= 0){
        | | tds_rendah = 1;
    } else if (final_tds > 0 && final_tds <= 300){
        | | tds_rendah = (300 - final_tds) / (300 - 0);
    } else if (final_tds > 300){
        | | tds_rendah = 0;
    }
    return tds_rendah;
}

float func_tds_tinggi(){
    if (final_tds <= 300){
        | | tds_tinggi = 0;
    } else if (final_tds > 300 && final_tds <= 1000){
        | | tds_tinggi = (final_tds - 300) / (1000 - 300);
    } else if (final_tds > 1000){
        | | tds_tinggi = 1;
    }
    return tds_tinggi;
}
```

Gambar 4. Kode Himpunan *Fuzzy*TDS

Parameter TDS pada gambar 4, fungsi *func\_tds\_rendah()* menentukan keanggotaan rendah dengan nilai 1 jika TDS kurang dari atau sama dengan 0, dan menurun secara linier hingga nol pada TDS 300. Sebaliknya, fungsi *func\_tds\_tinggi()* memberikan nilai keanggotaan tinggi yang dimulai dari nol pada TDS 300 dan meningkat hingga 1 pada TDS lebih dari 1000, juga melalui interpolasi linier.

```

// Fungsi keanggotaan fuzzy untuk Kekeruhan
float func_turbidity_rendah(){
    if (final_turbidity <= 0){
        turbidity_rendah = 1;
    } else if (final_turbidity > 0 && final_turbidity <= 3){
        turbidity_rendah = (3 - final_turbidity) / (3 - 0);
    } else if (final_turbidity > 3){
        turbidity_rendah = 0;
    }
    return turbidity_rendah;
}

float func_turbidity_tinggi(){
    if (final_turbidity <= 4){
        turbidity_tinggi = 0;
    } else if (final_turbidity > 4 && final_turbidity <= 1000){
        turbidity_tinggi = (final_turbidity - 4) / (1000 - 4);
    } else if (final_turbidity > 1000){
        turbidity_tinggi = 1;
    }
    return turbidity_tinggi;
}

```

Gambar 5. Kode Himpunan *Fuzzy Turbidity*

Pada gambar 5, parameter kekeruhan menggunakan fungsi *func\_turbidity\_rendah()* dan *func\_turbidity\_tinggi()*, di mana nilai keanggotaan rendah berlaku penuh pada nilai kekeruhan 0 hingga 3, dan tinggi mulai berlaku dari 4 hingga lebih dari 1000.

## 2. Aplikasi Fungsi Implikasi

Implementasi fungsi implikasi pada penulisan kode dengan menggunakan MIN.

```

// Fungsi minimum (Min) untuk operasi fuzzy AND
float Min(float a, float b) {
    return (a < b) ? a : b;
}

```

Gambar 6. Kode Aplikasi Fungsi MIN

Fungsi `Min(float a, float b)` pada gambar 4.25 berfungsi sebagai operator logika fuzzy AND, yaitu memilih nilai terendah antara dua masukan fuzzy. Fungsi ini akan digunakan dalam proses inferensi fuzzy untuk menentukan tingkat kebenaran dari setiap aturan yang diterapkan dalam sistem.

### 3. Komposisi Aturan

```
minr[1] = min({func_tds_rendah(), func_ph_asam(), func_turbidity_rendah()});
Rule[1] = kualitas_air_LTM;

// Aturan 2: TDS Rendah, pH Asam, Kekeruhan Tinggi -> Kualitas TL
minr[2] = min({func_tds_rendah(), func_ph_asam(), func_turbidity_tinggi()});
Rule[2] = kualitas_air_TL;

// Aturan 3: TDS Rendah, pH Netral, Kekeruhan Rendah -> Kualitas L
minr[3] = min({func_tds_rendah(), func_ph_netral(), func_turbidity_rendah()});
Rule[3] = kualitas_air_L;

// Aturan 4: TDS Rendah, pH Netral, Kekeruhan Tinggi -> Kualitas TL
minr[4] = min({func_tds_rendah(), func_ph_netral(), func_turbidity_tinggi()});
Rule[4] = kualitas_air_TL;

// Aturan 5: TDS Rendah, pH Basa, Kekeruhan Rendah -> Kualitas LTM
minr[5] = min({func_tds_rendah(), func_ph_basa(), func_turbidity_rendah()});
Rule[5] = kualitas_air_LTM;

// Aturan 6: TDS Rendah, pH Basa, Kekeruhan Tinggi -> Kualitas TL
minr[6] = min({func_tds_rendah(), func_ph_basa(), func_turbidity_tinggi()});
Rule[6] = kualitas_air_TL;

// Aturan 7: TDS Sedang, pH Asam, Kekeruhan Rendah -> Kualitas LTM
minr[7] = min({func_tds_sedang(), func_ph_asam(), func_turbidity_rendah()});
Rule[7] = kualitas_air_LTM;

// Aturan 8: TDS Sedang, pH Asam, Kekeruhan Tinggi -> Kualitas TL
minr[8] = min({func_tds_sedang(), func_ph_asam(), func_turbidity_tinggi()});
Rule[8] = kualitas_air_TL;

// Aturan 9: TDS Sedang, pH Netral, Kekeruhan Rendah -> Kualitas LTM
minr[9] = min({func_tds_sedang(), func_ph_netral(), func_turbidity_rendah()});
Rule[9] = kualitas_air_LTM;

// Aturan 10: TDS Sedang, pH Netral, Kekeruhan Tinggi -> Kualitas TL
minr[10] = min({func_tds_sedang(), func_ph_netral(), func_turbidity_tinggi()});
Rule[10] = kualitas_air_TL;

// Aturan 11: TDS Sedang, pH Basa, Kekeruhan Rendah -> Kualitas LTM
minr[11] = min({func_tds_sedang(), func_ph_basa(), func_turbidity_rendah()});
Rule[11] = kualitas_air_LTM;

// Aturan 12: TDS Sedang, pH Basa, Kekeruhan Tinggi -> Kualitas TL
minr[12] = min({func_tds_sedang(), func_ph_basa(), func_turbidity_tinggi()});
Rule[12] = kualitas_air_TL;

// Aturan 13: TDS Tinggi, pH Asam, Kekeruhan Rendah -> Kualitas TL
minr[13] = min({func_tds_tinggi(), func_ph_asam(), func_turbidity_rendah()});
Rule[13] = kualitas_air_TL;

// Aturan 14: TDS Tinggi, pH Asam, Kekeruhan Tinggi -> Kualitas TL
minr[14] = min({func_tds_tinggi(), func_ph_asam(), func_turbidity_tinggi()});
Rule[14] = kualitas_air_TL;

// Aturan 15: TDS Tinggi, pH Netral, Kekeruhan Rendah -> Kualitas TL
minr[15] = min({func_tds_tinggi(), func_ph_netral(), func_turbidity_rendah()});
Rule[15] = kualitas_air_TL;

// Aturan 16: TDS Tinggi, pH Netral, Kekeruhan Tinggi -> Kualitas TL
minr[16] = min({func_tds_tinggi(), func_ph_netral(), func_turbidity_tinggi()});
Rule[16] = kualitas_air_TL;

// Aturan 17: TDS Tinggi, pH Basa, Kekeruhan Rendah -> Kualitas TL
minr[17] = min({func_tds_tinggi(), func_ph_basa(), func_turbidity_rendah()});
Rule[17] = kualitas_air_TL;

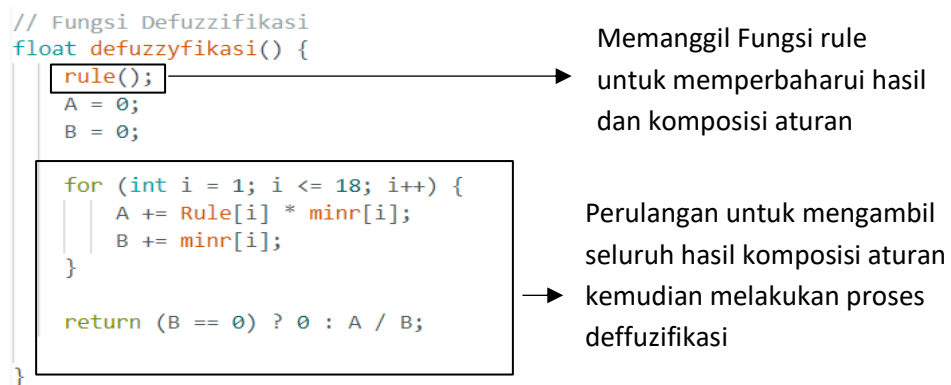
// Aturan 18: TDS Tinggi, pH Basa, Kekeruhan Tinggi -> Kualitas TL
minr[18] = min({func_tds_tinggi(), func_ph_basa(), func_turbidity_tinggi()});
Rule[18] = kualitas_air_TL;
}
```

Gambar 7. Kode Komposisi Aturan *Fuzzy Logic* Metode Sugno

Tahapan ini menjelaskan proses pembuatan aturan *fuzzy* menggunakan metode Sugeno untuk menentukan keluaran berdasarkan tiga variabel *input*, yaitu pH, kekeruhan dan TDS yang diterjemahkan kedalam bahasa C. Dari kombinasi kedua variabel ini, dihasilkan 18 aturan yang merepresentasikan hubungan antara *input* dan *output*. Keluaran dari sistem ini berupa nilai konstanta yang menggambarkan kualitas air dengan tiga kategori: L (layak), LTM (layak tidak minum), TL (tidak layak)

#### 4. Defuzzifikasi

Mengubah output sementara yang masih berupa nilai fuzzy menjadi nilai numerik yang dapat diinterpretasikan.



Gambar 8. Kode Deffuzifikasi

Pada implementasi logika fuzzy metode sugeno, terdapat perubahan kode pengambilan eksekusi. Perubahan yang sebelumnya dideklarasikan secara manual diganti dengan pengambilan data dari *rule* yang dibuat.

```

276 // Menentukan kualitas air berdasarkan aturan fuzzy
277 String kualitasAir;
278 String tindakan;
279 if (Rule[1] == LTM || Rule[5] == LTM ) {
280     kualitasAir = "Kualitas: LTM";
281     tindakan = "Ganti F.Karbon";
282     digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Matikan mesin RO
283 } else if (Rule[4] == LTM) {
284     kualitasAir = "Kualitas: LTM";
285     tindakan = "Ganti F.Sedimen";
286     digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Matikan mesin RO
287 } else if (Rule[9] == LTM) {
288     kualitasAir = "Kualitas: LTM";
289     tindakan = "Ganti Membran RO";
290     digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Matikan mesin RO
291 } else if (Rule[15] == TL) {
292     kualitasAir = "Kualitas: TL";
293     tindakan = "Ganti Membran RO";
294     digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Matikan mesin RO
295 } else if (Rule[2] == TL || Rule[6] == TL) {
296     kualitasAir = "Kualitas: TL";
297     tindakan = "Karbon & Sedimen";
298     digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Matikan mesin RO
299 } else if (Rule[7] == LTM || Rule[11] == LTM) {
300     kualitasAir = "Kualitas: LTM";
301     tindakan = "Membran & Karbon";
302     digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Matikan mesin RO
303 } else if (Rule[10] == LTM) {
304     kualitasAir = "Kualitas: LTM";
305     tindakan = "Membran & Sedimen";
306     digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Matikan mesin RO
307 } else if (Rule[16] == TL) {
308     kualitasAir = "Kualitas: TL";
309     tindakan = "Membran & Sedimen";
310     digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Matikan mesin RO
311 } else if (Rule[13] == TL || Rule[17] == TL) {
312     kualitasAir = "Kualitas: TL";
313     tindakan = "Membran & Carbon";
314     digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Matikan mesin RO
315 } else if (Rule[8] == LTM || Rule[12] == LTM || Rule[14]
316     kualitasAir = "Kualitas: LTM";
317     tindakan = "Ganti 3 Filter";
318     digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Matikan mesin RO
319 } else if (waterPercentage >= 100) {
320     kualitasAir = "Tangki penuh";
321     tindakan = "Mesin RO mati";
322     digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
323 } else if (waterPercentage <= 20) {
324     kualitasAir = "Tangki kosong";
325     tindakan = "Mesin RO menyala";
326     digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
327 } else {
328     kualitasAir = "Kualitas: Layak";
329     tindakan = "RO Beroperasi";
330 }
331 float hasil = defuzzyfikasi();

```

Gambar 9. Kode Eksekusi Logika Fuzzy Metode Sugeno

Program pada gambar 9 memanfaatkan *array Rule[]* sebagai hasil inferensi fuzzy dari parameter sensor seperti TDS, pH, turbidity, suhu, dan level air. Nilai-nilai dalam *array Rule[]* dibandingkan dengan kategori kualitas seperti LTM (Layak Tapi Tidak Memenuhi Syarat) dan TL (Tidak Layak) untuk menentukan tingkat kualitas air. Setiap kondisi rule memiliki respons atau tindakan spesifik, seperti perintah untuk mengganti filter karbon, sedimen, membran, atau kombinasi dari ketiganya. Jika kualitas air dinyatakan buruk (baik LTM maupun TL), maka mesin RO akan dimatikan dengan mengaktifkan *relay (digitalWrite(RELAY\_PIN, HIGH))*. Di sisi lain, jika kualitas air masih layak, sistem akan tetap membiarkan mesin RO beroperasi. Selain itu, sistem juga mengevaluasi persentase air dalam tangki. Jika tangki penuh ( $\geq 100\%$ ), mesin RO akan dimatikan, dan jika tangki kosong ( $\leq 20\%$ ), mesin akan dinyalakan kembali (*digitalWrite(RELAY\_PIN, LOW)*),

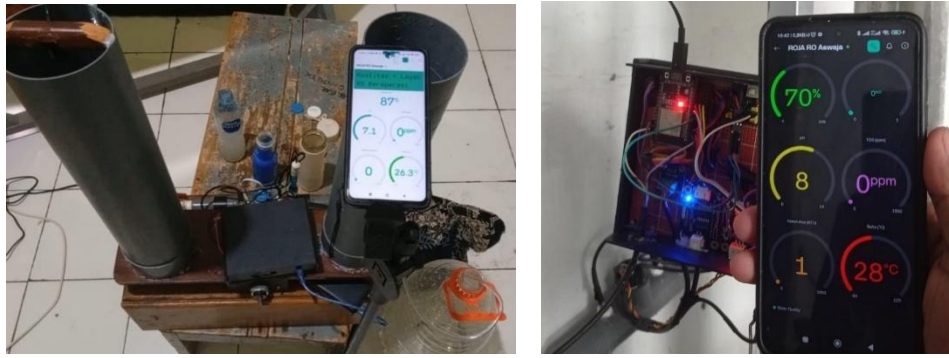
### Pengujian Sistem

Pengambilan data dilakukan dengan cara memasang sistem pada saluran keluaran mesin RO dan tandon air. Sensor ultrasonik akan memantau ketinggian air minum pada tandon penampungan air minum. Mesin air RO akan menyala secara otomatis saat air hampir kosong (20%) dan akan berhenti saat air mencapai ketinggian 100% atau hampir penuh dipantau dalam *software blynk* yang sudah terkoneksi dengan sistem. Ketinggian air juga terpantau secara *real-time* pada *blynk* dan terdapat historinya serta menampilkan pembacaan dalam bentuk grafik.

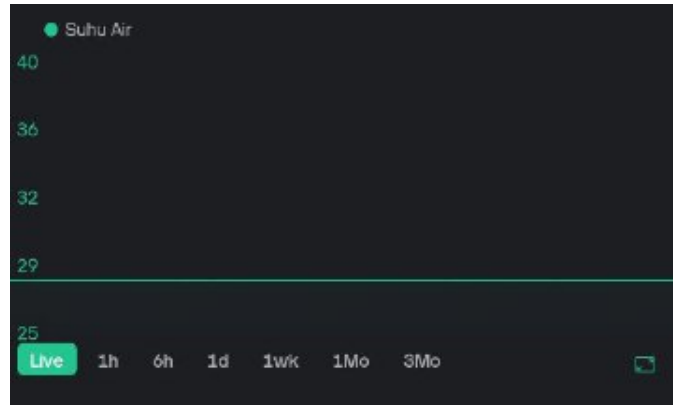


Gambar 10. Pengujian Sensor Ultrasonik

Sensor suhu diuji dengan memasukkannya ke aliran air keluaran RO dengan keadaan normal direntang suhu 27 derajat *celcius* sampai 32 derajat *celcius*. Sensor suhu tidak diuji dengan perubahan suhu namun dengan suhu aliran air dalam pipa. Pembacaan sensor suhu digunakan sebagai masukan sensor TDS, sehingga jika terjadi perubahan suhu, maka akan mempengaruhi nilai TDS.



Gambar 11. Implementasi Sensor Suhu



Gambar 12. Histori Sensor Suhu

Sensor pH diuji dengan menguji *probe* sensor pH air yang bervariasi dari sistem yang nantinya terbaca dalam *blynk*. Pengujian asam juga dilakukan dengan mencelupkan *probe* sensor kedalam cairan pH asam. Dalam keadaan asam maupun basa mesin RO akan mati secara otomatis dan dalam *software blynk* akan menampilkan kualitas air layak tidak minum dan tidak layak jika terdapat parameter lain yang tidak sesuai serta menampilkan "Cek Filter Karbon".



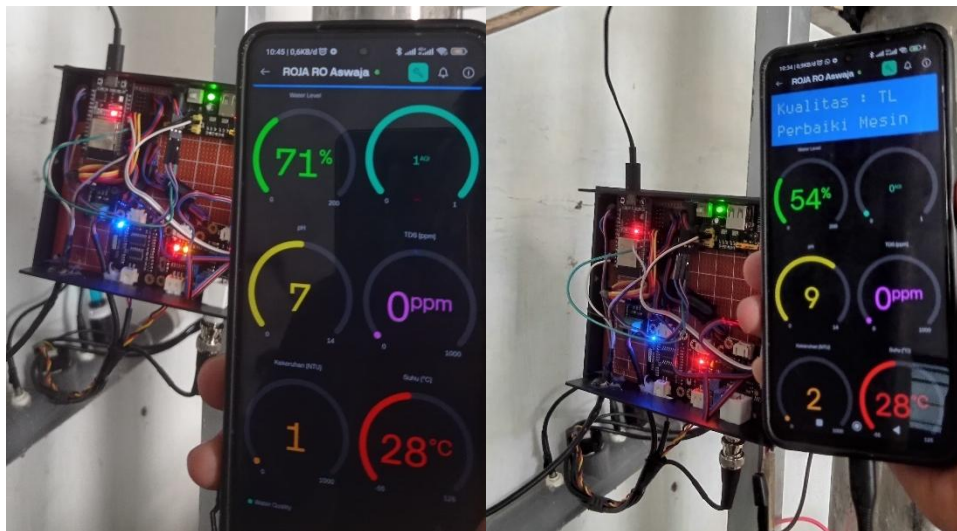


Gambar 13. Implementasi 3 sensor melebihi ambang (kiri atas) Sensor TDS Melebihi Batas (kanan atas) Implementasi Sensor pH (kiri bawah) dan Histori Sensor Kekeruhan (kanan bawah)

Pompa air juga akan mati saat kekeruhan melebihi batas 3 NTU dan akan menampilkan "Ganti Filter Sedimen" pada aplikasi *bllynk*. Sensor TDS sebelum mendapatkan suhu dari sensor DS18B20 akan menggunakan suhu standar dalam program sebesar 30 derajat *celcius* dan akan melakukan perubahan jika menerima masukan nilai suhu dari sensor DS18B20. Jika TDS melebihi 300 ppm maka akan mematikan pompa air secara otomatis dan menampilkan "Ganti Membran RO". Jika Dalam keadaan ini, kran kendali perlu dibuka guna membuang air yang kurang layak sebelum akhirnya dinyalakan kembali secara manual.



Gambar 14. Kondisi *prototype* ketika air layak (kanan), keadaan ketika air layak pada mesin asli (bawah)



Gambar 15. Keluaran Eksekusi Logika Fuzzy Metode Sugeno

Indeks Kualitas Air merupakan hasil defuzifikasi dari sistem. Gambar sebelah kanan menunjukkan air minum layak dan hasil defuzifikasi 1. Dan gambar sebelah kiri 0 menunjukkan air tidak layak.

#### Pembahasan

Sistem pemantauan dan pengendalian kualitas air RO (Reverse Osmosis) dirancang untuk membantu pengguna menjaga kualitas air agar tetap sesuai standar yang aman digunakan. Sistem ini memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT), sehingga pengguna dapat memantau dan mengontrol kondisi air secara *real-time* melalui aplikasi *Blynk*. Dengan kemampuan untuk mengukur parameter seperti suhu, pH, tingkat *Total Dissolved Solids* (TDS), dan kekeruhan air, sistem ini memastikan kualitas air tetap optimal setiap saat.

Standar air RO dianggap aman jika suhu di bawah  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  dari suhu ruangan, pH berada dalam rentang 6,5 hingga 8,5, TDS di bawah 300 ppm, dan kekeruhan tidak melebihi 3 NTU. Sistem ini telah diuji menggunakan analisis statistik untuk memperhitungkan toleransi sensor, sehingga hasil pengukuran tetap dapat diandalkan. Jika ada parameter yang melebihi batas, sistem secara otomatis memberikan notifikasi kepada pengguna dan mengambil langkah pengendalian yang sesuai. Ketika pH air terlalu asam ( $<6,5$ ) atau terlalu basa ( $>8,5$ ), sistem akan menghentikan operasi dan merekomendasikan pengguna untuk mengganti filter karbon. Jika kekeruhan air mencapai 3 NTU atau lebih, pengguna akan disarankan mengganti filter sedimen. Untuk nilai TDS yang melebihi 300 ppm, sistem akan merekomendasikan pergantian membran RO guna menjaga efektivitas penyaringan.

Sistem juga dilengkapi dengan pemantauan ketinggian air menggunakan sensor ultrasonik. Jika tingkat air dalam tangki mendekati batas *minimum* (di bawah 5%), pompa

akan tetap bekerja dengan pengaturan yang memastikan air tidak habis sepenuhnya. Seluruh proses ini berjalan otomatis, menjaga kualitas air tanpa memerlukan pengawasan terus-menerus. Sistem ini telah melalui serangkaian pengujian perangkat keras dan lunak yang menunjukkan keandalan dan konektivitas yang baik, memberikan solusi praktis untuk menjaga kualitas air RO secara berkelanjutan.

Tabel 1. Kondisi dan Pengendalian Sistem

No.	Kondisi	Pengendalian
1	Ketinggian 20%	Mesin RO menyala
2	Ketinggian 100%	Mesin RO mati
3	pH asam (<6,5)	Mesin RO mati dan cek filter karbon
4	pH basa (>8,5)	Mesin RO mati dan cek filter karbon
5	Air keruh (>3 NTU)	Mesin RO mati dan cek filter sedimen)
6	TDS berlebih (>300ppm)	Mesin RO mati dan membran RO
7	pH, TDS, Kekeruhan tidak standar	Mesin RO mati Cek 3 Filter

Hasil yang didapat setelah dilakukan serangkaian pengambilan data di lapangan dan pengujian terhadap koneksi *Wi-Fi* yang digunakan, menunjukkan bahwa lalu lintas data melalui jaringan *Wi-Fi* berjalan dengan lancar tanpa kendala yang berarti. Pengujian menyeluruh terhadap sistem ini menunjukkan performa yang stabil dan responsif, baik dalam hal pengiriman maupun penerimaan data. Detail hasil pengujian keseluruhan sistem dapat dilihat pada tabel

Tabel 2. Hasil Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

No	Komponen	Keterangan
1	JSN - SRT04	Membaca jarak sesuai dengan skala standar dalam satuan cm dan dikonversi ke persentase bak penampung
2	TDS DFRobot	Membaca nilai TDS dengan satuan ppm
3	DS18B20	Membaca suhu dalam satuan °C dengan baik
4	Sensor pH DFRobot	Membaca pH dengan baik
5	<i>Turbidity</i> DFRobot	Membaca tingkat kekeruhan dengan baik
6	<i>Relay</i>	Sebagai saklar untuk mengendalikan pompa air mesin RO
7	Mesin RO	Memproses air menjadi layak konsumsi
8	<i>Software Blynk</i>	Menampilkan parameter suhu, pH, kekeruhan, dan ketinggian air dengan baik

Penentuan kualitas air dengan metode fuzzy dan *if-else* memiliki keunggulan dan kekurangan masing-masing. Metode fuzzy unggul dalam menangani variasi parameter yang kompleks dan tidak pasti. Dengan fungsi keanggotaan dan aturan fuzzy, keputusan dapat dibuat secara bertingkat dan lebih fleksibel, menghasilkan keluaran yang kontinu dan realistis. Misalnya, parameter seperti pH atau TDS yang berada di ambang batas akan menghasilkan keputusan yang tidak langsung ekstrem, melainkan lebih halus berdasarkan tingkat keparahannya. Namun, metode ini memerlukan perancangan aturan yang lebih kompleks serta pengolahan data yang lebih berat dibandingkan logika sederhana.

Tabel 3. Tabel Perbandingan kecocokan

No	pH	TDS (ppm)	Kekeruhan (NTU)	Standar (Label)	Klasifikasi	
					Fuzzy	Cocok Fuzzy
1	7.1	120	1.2	Layak	Layak	✓
2	6.8	100	2	Layak	Layak	✓
3	6.4	180	1.5	LTM	LTM	✓
4	8.6	110	1	TL	TL	✓
5	7	310	2.5	LTM	LTM	✓
6	7.2	280	1	Layak	Layak	✓
7	6.5	350	2.8	TL	TL	✓
8	6.9	270	3.2	LTM	LTM	✓
9	6.6	290	1.9	Layak	Layak	✓
10	7.3	260	1.2	Layak	Layak	✓
11	8.3	150	1.7	Layak	Layak	✓
12	8.4	180	3.5	LTM	TL	✗
13	7	200	3	LTM	LTM	✓
14	6.7	400	1.5	TL	TL	✓
15	7.8	320	2	LTM	LTM	✓
16	8.2	280	0.9	Layak	Layak	✓
17	6.3	250	1.5	LTM	LTM	✓
18	7.5	150	2.7	Layak	Layak	✓
19	6.2	200	3.1	TL	TL	✓
20	7.1	290	2.5	Layak	Layak	✓
21	6.9	270	3.3	LTM	LTM	✓
22	8.5	190	1.2	Layak	Layak	✓
23	8.6	250	2.8	TL	TL	✓
24	7.4	275	3.5	LTM	LTM	✓

25	6.5	310	3	TL	TL	✓
26	7.6	100	2.5	Layak	Layak	✓
27	7	280	2	Layak	Layak	✓
28	7.2	150	1	Layak	Layak	✓
29	6.8	320	2.6	LTM	LTM	✓
30	6.7	350	3.4	TL	TL	✓

Dari data diatas, dapat dihitung nilai akurasi dan error menggunakan metode *Confusion Matrix*. Pengukuran tingkat akurasi dan *error* ini digunakan untuk mengetahui seberapa maksimal metode fuzzy bisa menganalisa tingkat kelayakan air untuk dikonsumsi. Berikut perhitungan akurasi dan *error* menggunakan metode *Confusion Matrix*

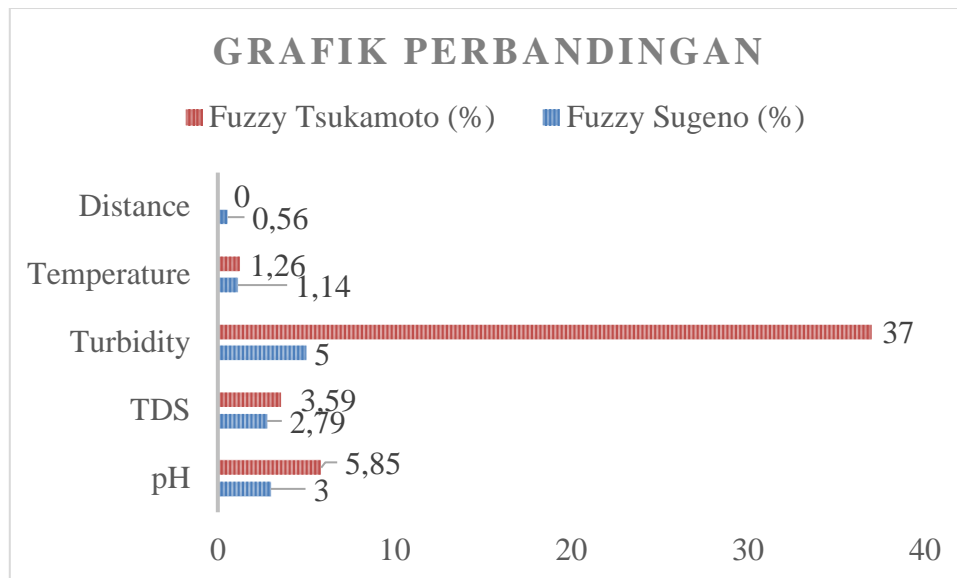
$$\mathbf{Akurasi} (\%) = \left(\frac{29}{30}\right) \times 100\% = \mathbf{97\%} \quad (4.1)$$

Metode Fuzzy Sugeno menunjukkan performa yang sangat baik dengan tingkat akurasi sebesar 97%, di mana dari 30 data yang diuji, sebanyak 29 data berhasil diklasifikasikan secara cocok dengan hasil referensi atau standar, dan hanya 1 data yang tidak cocok. Hal ini menunjukkan bahwa logika fuzzy, khususnya metode Sugeno, mampu menangani variasi dan ambiguitas data sensor dengan lebih fleksibel, serta memberikan keputusan yang lebih mendekati realitas kondisi air secara kontinu.

Tabel 4. Tabel Akurasi

Aspek	Fuzzy Sugeno	Fuzzy Tsukamoto
Akurasi Sistem	97% (1 salah dari 30 data)	70% (3 salah dari 10 data)
Tingkat <i>Error</i> Sensor	pH: 3%	pH: 5,85%
	TDS: 2,79%	TDS: 3,59%
	Kekeruhan: 5%	Kekeruhan: 37%
	Suhu: 1,14%	Suhu: 1.26 %
	Jarak: 0,56%	

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Ula, 2020) yang menggunakan Fuzzy Tsukamoto, sistem yang menggunakan metode Fuzzy Sugeno menunjukkan performa yang lebih unggul dibandingkan dengan sistem yang menggunakan Fuzzy Tsukamoto. Fuzzy Sugeno mampu mencapai tingkat akurasi sebesar 97%, dengan hanya satu kesalahan klasifikasi dari 30 data uji, sementara Fuzzy Tsukamoto hanya mencapai akurasi sebesar 70%, yang menunjukkan adanya kekurangan dalam keandalan klasifikasinya untuk menentukan kualitas air layak konsumsi.



Gambar 16. Grafik Perbandingan Akurasi

Metode Fuzzy Sugeno juga menunjukkan pengelolaan data sensor yang lebih baik, dengan rata-rata error sensor yang relatif rendah: sensor pH sebesar 3%, TDS 2,79%, turbidity 5%, suhu 1,14%, dan sensor jarak sebesar 0,56%. Sebaliknya, pada penelitian yang menggunakan Fuzzy Tsukamoto, error sensor lebih tinggi terutama pada sensor turbidity yang mencatat rata-rata error sangat tinggi yaitu 37%, pH sebesar 5,85%, TDS 3,59%, dan suhu 1,26%. Perbedaan signifikan ini menunjukkan bahwa metode Sugeno lebih mampu dalam menangani dan menginterpretasikan data sensor, serta menghasilkan output keputusan yang lebih akurat dan stabil.

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol dan monitoring kualitas air *Reverse Osmosis (RO)* berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan menggunakan metode logika fuzzy Sugeno. Sistem ini terbukti mampu memantau parameter kualitas air *secara real-time* melalui aplikasi Blynk, serta memberikan pengendalian otomatis terhadap pompa air berdasarkan hasil pembacaan sensor. Secara kuantitatif, sistem menunjukkan hasil akurasi sensor yang tinggi setelah dilakukan proses kalibrasi, antara lain sensor pH dengan akurasi rata-rata sebesar 97% dan *error* 3%, sensor TDS dengan akurasi 97,21% dan *error* 2,79%, sensor kekeruhan dengan akurasi 95% dan *error* 5%, sensor suhu DS18B20 dengan akurasi hingga 98,86%, serta sensor ultrasonik JSN-SR04T dengan *error* pengukuran berkisar antara 0,2% hingga 1,55% tergantung pada jarak pengujian.

2. Berdasarkan perbandingan dengan penelitian sebelumnya oleh Ula (2020) yang menggunakan metode *Fuzzy Tsukamoto*, sistem dengan metode *Fuzzy Sugeno* terbukti lebih unggul dalam hal akurasi dan pengelolaan data sensor. *Sugeno* mencapai akurasi klasifikasi sebesar 97%, jauh lebih tinggi dibandingkan *Tsukamoto* yang hanya mencapai 70%. Selain itu, *Fuzzy Sugeno* juga menghasilkan rata-rata *error* sensor yang lebih rendah, terutama pada parameter penting seperti pH, TDS, dan *turbidity*, sehingga lebih andal untuk sistem monitoring kualitas air berbasis IoT secara *real-time*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, M. A., Amin, S., & Mohamed, A. A. (2023). Fouling in reverse osmosis membranes: monitoring, characterization, mitigation strategies and future directions. *Heliyon*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E14908>
- Alamudin Hasan, 4211413041. (2020). SISTEM PEMANTAUAN KELEMBABAN TANAH DAN SUHU LINGKUNGAN LAHAN PERTANIAN BERBASIS INTERNET OF THINGS.
- Analog TDS Sensor Meter for Arduino / ESP32 / Raspberry Pi - DFRobot Wiki. (n.d.). Retrieved August 20, 2024, from [https://wiki.dfrobot.com/Gravity\\_\\_Analog\\_TDS\\_Sensor\\_\\_Meter\\_For\\_Arduino\\_SKU\\_\\_SEN0244](https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_TDS_Sensor__Meter_For_Arduino_SKU__SEN0244)
- Andang, A. (2019). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Investigation of ultrasonic sensor type JSN-SRT04 performance as flood elevation detection. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering PAPER*, 550(08), 1–9.
- Anjali, C. N., & Lutfi, M. (2023). Rancang Bangun Sistem Otomatisasi Pergantian Air Kolam Budidaya Ikan Nila Berdasarkan Parameter Kondisi Air Menggunakan Nodemcu ESP8266. *INFORMAL: Informatics Journal*, 8(2), 128. <https://doi.org/10.19184/ISJ.V8I2.41478>
- Baco, S., Syarifuddin, R., Sajiah, Rusli, M. A., & Loilatu, M. D. (2023). Rancang Bangun Alat Monitoring pH Air Layak Konsumsi Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno Pada Depot Air Minum Adipura 1. *Jurnal Teknologi Dan Komputer (JTEK)*, 3(02), 339–345. <https://doi.org/10.56923/jtek.v3i02.147>
- Borman, P., & Elder, D. (2017). Q2(R1) Validation of Analytical Procedures. *ICH Quality Guidelines*, 127–166. <https://doi.org/10.1002/9781118971147.CH5>
- Comission, E. (2016). *ISO/IEC 17025 Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi*. 4(1), 1–23.

- DOIT ESP32 DEV KIT v1: high resolution pinout and specs – Renzo Mischianti. (n.d.). Retrieved November 15, 2024, from [https://mischianti.org/doit-esp32-dev-kit-v1-high-resolution-pinout-and-specs/#google\\_vignette](https://mischianti.org/doit-esp32-dev-kit-v1-high-resolution-pinout-and-specs/#google_vignette)
- Eriyanto, H. D. F., Ismail, M., & Budisusila, E. N. (2023). Rancang Bangun Alat Monitoring Pengisian Air Otomatis Berbasis IoT (Internet of Things). *Avitec*, 5(2), 87. <https://doi.org/10.28989/avitec.v5i2.1706>
- Gravity: Analog pH Sensor / Meter Kit for Arduino - DFRobot. (n.d.). Retrieved November 6, 2024, from <https://www.dfrobot.com/product-1025.html>
- Herlambang, A. (2018). Pencemaran Air Dan Strategi Penggulungannya. *Jurnal Air Indonesia*, 2(1). <https://doi.org/10.29122/jai.v2i1.2280>
- Hidup, D. P. J. D. L. (2019). Laporan Akhir Pemantauan Kualitas Air Tanah Provinsi DKI Jakarta tahun 2022. 78–79.
- Jang, J. S. R., Sun, C. T., & Mizutani, E. (2005). Neuro-Fuzzy and Soft Computing-A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence [Book Review]. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 42(10), 1482–1484. <https://doi.org/10.1109/TAC.1997.633847>
- Jauhari, T. (2017). Rancang Bangun Sistem Pengendalian Temperatur Pada Ruang Bakar Boiler Berbahan Bakar Gas LPG Di Workshop Instrumentasi.
- KHASANAH, L. N. (2020). Rancang Bangun Sistem Kontrol Dan Monitoring Ph Tanah Untuk Tanaman Bawang Menggunakan Arduino. *Jurnal Berkala Epidemiologi*, 5(1), 90–96. <https://core.ac.uk/download/pdf/235085111.pdf> website: <http://www.kemkes.go.id> [http://www.yankes.kemkes.go.id/assets/downloads/PMK No. 57 Tahun 2013 tentang PTRM.pdf](http://www.yankes.kemkes.go.id/assets/downloads/PMK_No.57_Tahun_2013_tentang_PTRM.pdf) [https://www.kemenpppa.go.id/lib/uploads/list/15242-profil-anak-indonesia\\_-201](https://www.kemenpppa.go.id/lib/uploads/list/15242-profil-anak-indonesia_-201)
- Lestari, A., & Zafia, A. (2022a). Penerapan Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis Internet Of Things. *LEDGER: Journal Informatic and Information Technology*, 1(1), 17–24. <https://doi.org/10.20895/ledger.v1i1.776>
- Lestari, A., & Zafia, A. (2022b). Penerapan Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis Internet Of Things. *LEDGER: Journal Informatic and Information Technology*, 1(1), 17–24. <https://doi.org/10.20895/LEDGER.V1I1.776>
- Marwanto, A., & Alifah, S. (2018). Control of Air Cooling System Based on Fuzzy Logic. *Journal of Telematics and Informatics (JTI)*, 6(1), 71–83.
- Miller, J. N., & Jane, C. M. (2005). *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry*

- Fifth Edition. *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry* Fifth Edition, 215.
- Muliadi, M., Imran, A., & Rasul, M. (2020). PENGEMBANGAN TEMPAT SAMPAH PINTAR MENGGUNAKAN ESP32. <https://doi.org/10.26858/METRIK.V17I2.14193>
- Myers, D. N. (2014). Why monitor water quality? United States Geological Survey. <http://water.usgs.gov/owq/WhyMonitorWaterQuality.pdf>
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. (2023). Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan. Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan, 1–179.
- Pratama, E. W., & Kiswanto, A. (2023). Electrical Analysis Using ESP-32 Module In Realtime. *JEECS (Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences)*, 7(2), 1273–1284. <https://doi.org/10.54732/JEECS.V7I2.21>
- Pressman, Roger S., P. D. (2015). *Software Engineering A Practitioner's Approach*. <https://doi.org/10.1145/336512.336521>
- Projeto Sensor JSN-SR04T Comunicação Arduino - Blog UsinaInfo. (n.d.). Retrieved November 6, 2024, from <https://www.usinainfo.com.br/blog/projeto-sensor-jsn-sr04t-2-0-aj-sr04m-comunicacao-com-arduino/>
- Pura, E. K., Haslindah, A., & Hakim, H. (2023). Analisis Kelayakan Kualitas Air Minum Dalam Kemasan (Amdk) Studi Kasus Cv. Karunia Alam Abadi. *Journal Industrial Engineering and Management (JUST-ME)*, 4(02), 44–50. <https://doi.org/10.47398/justme.v18i02.45>
- Purnomo, D. (2017). Model Prototyping. *JIMP-Jurnal Informatika Merdeka Pasuruan*, 2(2), 54–61.
- Purwanto, H., Riyadi, M., Windi, D., Astuti, W., Angga, W., & Kusuma, W. (2019). KOMPARASI SENSOR ULTRASONIK HC-SR04 DAN JSN-SR04T UNTUK APLIKASI SISTEM DETEKSI KETINGGIAN AIR. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 10(2), 717–724. <https://doi.org/10.24176/SIMET.V10I2.3529>
- Putri Dwi Arindita, U., Hudiono, & Arinie Soelistianto, F. (2019). Rancang Bangun Sistem Filterisasi Untuk Monitoring Kualitas Air Minum Rumah Tangga. *Jurnal JARTEL*, 8(1), 7–12.
- Qolomany, B., Al-Fuqaha, A., Gupta, A., Benhaddou, D., Alwajidi, S., Qadir, J., & Fong, A. C. (2019). Leveraging Machine Learning and Big Data for Smart Buildings: A Comprehensive Survey. *IEEE Access*, 7, 90316–90356.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2926642>

- Raihan, T. M. (2022). Sistem pemantauan kualitas air menggunakan Esp32 dengan Fuzzy Logic Sugeno Berbasis Android. *Sistem Pemantauan Kualitas Air Menggunakan Esp32 Dengan Fuzzy Logic Sugeno Berbasis Android*. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/65005>
- Rakhmadi, F. A., Dewi, A. R., & Azizi, A. F. (2015). Design of Detection Device for Cu Contaminated Water Using Induction Principle. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 5(01), 79. <https://doi.org/10.13057/ijap.v5i01.266>
- Rouhillah, Rizki Faulianur, & Fira Fazila. (2024). Alat Monitoring Kualitas Air Minum Menggunakan Sensor TDS Berbasis Internet of Things. *J-Innovation*, 12(2), 43–47. <https://doi.org/10.55600/jipa.v12i2.212>
- Santoso, A. B. (Ari), Martinus, M. (Martinus), & Sugiyanto, S. (Sugiyanto). (2013). Pembuatan Otomasi Pengaturan Kereta Api, Pengereman, Dan Palang Pintu Pada Rel Kereta Api Mainan Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin FEMA*, 1(1), 97920. <https://www.neliti.com/publications/97920/>
- Saputra, A., Pahlevi, R. R., & Nuha, H. H. (2023). Blind Spot Detection on Vehicles Using a Distance Sensor with Fuzzy Logic Sugeno Method. *2023 International Conference on Data Science and Its Applications, ICoDSA 2023*, 443–448. <https://doi.org/10.1109/ICODSA58501.2023.10276724>
- Skoog, D. A. ., West, D. M. ., Holler, F. J., & Crouch, S. R. . (2022). *Fundamentals of analytical chemistry*. 933. [https://books.google.com/books/about/Fundamentals\\_of\\_Analytical\\_Chemistry.html?id=kGI4EAAAQBAJ](https://books.google.com/books/about/Fundamentals_of_Analytical_Chemistry.html?id=kGI4EAAAQBAJ)
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M. M. B., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., & Midgley, P. M. (2014). *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 9781107057999, 1–1535. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- Sugeno, M. (1993). FUZZY MEASURES AND FUZZY INTEGRALS—A SURVEY. *Readings in Fuzzy Sets for Intelligent Systems*, 251–257. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4832-1450-4.50027-4>
- Sugeno, M., & Takagi, T. (1983). A New Approach to Design of Fuzzy Controller. *Advances*

in Fuzzy Sets, Possibility Theory, and Applications, 325–334.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4613-3754-6\\_20](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-3754-6_20)

Suryadi, A., & Romansyah, A. (2024). Analisis Perbandingan Metode Fuzzy Mamdani, Tsukamoto Dan Sugeno Untuk Optimasi Planning Produksi pada Produk Dea-Tea. *Jurnal Esensi Infokom : Jurnal Esensi Sistem Informasi Dan Sistem Komputer*, 8(1), 77–84. <https://doi.org/10.55886/infokom.v8i1.865>

Tansa, S., Latekeng, N., Yunginger, R., & Nasibu, I. Z. (2024). Monitoring Kualitas Air Sungai (Kekeruhan, Suhu, TDS,pH) Menggunakan Mikrokontroler Atmega328. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 6(1), 70–75. <https://doi.org/10.37905/jjee.v6i1.23315>

Turbidity\_sensor\_SKU\_\_SEN0189-DFRobot. (n.d.). Retrieved August 20, 2024, from [https://wiki.dfrobot.com/Turbidity\\_sensor\\_SKU\\_\\_SEN0189](https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU__SEN0189)

Ula, D. A. (2020). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Layak Konsumsi Berbasis Internet Of Things Dengan Metode Fuzzy Tsukamoto Sebagai Skripsi Oleh : Dewi Alfiyatul Ula.

Wahab, F., Sumardiono, A., Al Tahtawi, A. R., & Mulayari, A. F. A. (2017). Desain dan Purwarupa Fuzzy Logic Control untuk Pengendalian Suhu Ruangan. *Jurnal Teknologi Rekayasa*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.31544/jtera.v2.i1.2017.1-8>

Yunita, A. M., Wardah, N. N., Sugiarto, A., Susanti, E., Sujai, L., & Rizky, R. (2020). Water level measurements at the cikupa pandeglang bantendam using fuzzy sugenowith microcontroler-based ultrasonik sensor. *Journal of Physics: Conference Series*, 1477(5). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1477/5/052048>

Zhmud, V. A., Kondratiev, N. O., Kuznetsov, K. A., Trubin, V. G., & Dimitrov, L. V. (2018). Application of ultrasonic sensor for measuring distances in robotics. *Journal of Physics: Conference Series*, 1015(3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1015/3/032189>.