

# PERANGKAT LUNAK BERBASIS FUZZY UNTUK PEMODELAN PERHITUNGAN HASIL UJI KUALITAS AIR SUMUR

Agus Wantoro<sup>1</sup>, Dikpride Despa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Teknokrat Indonesia, Jl. ZA Pagar Alam No.9-11, Bandar Lampung 35132

<sup>2</sup> Program Profesi Insinyur Universitas Lampung

## Riwayat artikel:

Received: 24 Februari 2022

Accepted: 17 Maret 2022

Published: 10 April 2022

## Keywords:

Perangkat Lunak Fuzzy,  
Kualitas Air Sumur, Fisika  
dan Kimia

## Correspondent Email:

aguswantoro@teknokrat.ac.id

## How to cite this article:

Wantoro (2022). Perangkat Lunak Berbasis Fuzzy Untuk Pemodelan Perhitungan Hasil Uji Kualitas Air Sumur Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 10(2)

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

**Abstrak.** Air termasuk kebutuhan paling mendasar bagi manusia karena diperlukan bagi rumah tangga, industri dan pertanian dan meningkatkan derajat kesehatan masyarakat. Fungsi air tidak dapat digantikan oleh senyawa lain, dengan demikian selayaknya perlu diketahui kandungan di dalamnya. Kualitas air hingga layak minum dan aman bagi kesehatan apabila memenuhi persyaratan secara fisika, dan kimia. Saat ini perhitungan kualitas air sumur di Provinsi Lampung dilakukan secara manual dengan mengisi hasil pengujian pada form atau Sertifikat Hasil Pengujian (SHP). **Masalah:** Hal tersebut mengakibatkan adanya permasalahan dalam menentukan kualitas air per variable dan kualitas air secara keseluruhan, oleh karena itu diperlukan perhitungan kualitas air yang lebih mudah sehingga dapat menampilkan kategori per variable dan secara keseluruhan dengan cepat. **Hasil:** Hasil evaluasi pengujian dengan membandingkan hasil perhitungan fisika dan kimiasecara manual dan hasil perhitungan menggunakan aplikasi, didapatkan hasil yang sama, maka aplikasi ini layak untuk digunakan di Dinas Kesehatan untuk memudahkan pengelolaan data hasil pengujian kualitas air sumur bor.

**Abstract.** Water is one of the most basic needs for humans because it is needed for households, industry and agriculture and improves the health status of the community. The function of water cannot be replaced by other compounds, thus it is necessary to know the content in it. The quality of the water is up to drinkable and safe for health if it meets the physical and chemical requirements. Currently, the calculation of the quality of well water in Lampung Province is done manually by filling out the test results on the form or Test Result Certificate (SHP). **Problem:** This causes problems in determining water quality per variable and overall water quality, therefore an easier calculation of water quality is needed so that it can display categories per variable and overall quickly. **Results:** The results of the test evaluation by comparing the results of manual physics and chemistry calculations and the results of calculations using the application, obtained the same results, then this application is suitable for use at the Health Office to facilitate data management of borewell water quality test results.

## 1 Pendahuluan

Air termasuk kebutuhan paling mendasar bagi manusia karena diperlukan bagi rumah tangga, industri dan pertanian dan meningkatkan derajat kesehatan masyarakat Lintje Boekoesoe, 2010 [1]. Fungsi air tidak dapat digantikan oleh senyawa lain, oleh karena itu perlu diketahui kandungan di dalamnya (Munfiah & Setiani, 2013). Ketua Departemen Ilmu Gizi FKUI-RSCM Fiasuti Witjaksono menyampaikan bahwa manusia membutuhkan senyawa berupa air minimum sebanyak 8 gelas per hari, Putro & Masrofah, 2019 [2]. Secara kualitas, air merupakan zat yang paling parah akibat pencemaran karena

banyak penyakit yang menyerang manusia ditularkan melalui air, Rido Wandrivel et al., 2012 [3].

Kualitas air dapat diperoleh melalui siklus hidrologi yaitu siklus alamiah yang memungkinkan tersedianya air permukaan dan air laut tetapi pertumbuhan penduduk dan kegiatan manusia menyebabkan kualitasnya sulit diperoleh, Lintje Boekoesoe, 2010 [1]. Kualitas sumber air bersih sangat penting karena akan dimanfaatkan oleh masyarakat dan makhluk hidup di daerah sekitar. Kualitas air hingga layak minum dan aman bagi kesehatan apabila memenuhi persyaratan secara fisika, dan kimia, Rido Wandrivel et al., 2012 [3].

Pengambilan sampel sesuai dengan standardisasi untuk pengujian merupakan salah satu faktor yang menunjang dalam mendapatkan hasil yang memuaskan, misalkan dalam pengambilan sampel kualitas air permukaan dapat dipakai SNI 6989.57-2008. Kualitas air dapat dilihat dari beberapa hasil pengujian baik secara fisika maupun kimia. Pengukuran kualitas air diperlukan untuk memahami karakteristik limbah dan cemaran pada sumber air. Melalui proses pengukuran kualitas air maka akan didapat karakteristik fisika dan kimia dari air tersebut.

Saat ini perhitungan kualitas air sumur di Provinsi Lampung dilakukan secara manual dengan mengisi hasil pengujian pada form atau Sertifikat Hasil Pengujian (SHP). Hal tersebut mengakibatkan adanya permasalahan dalam menentukan kualitas air per variable dan kualitas air secara keseluruhan, oleh karena itu diperlukan perhitungan kualitas air yang lebih mudah sehingga dapat menampilkan kategori per variable dan secara keseluruhan dengan cepat

Tujuan penelitian ini membangun aplikasi untuk perhitungan hasil pengujian fisika dan kimia air sumur secara komputerisasi yang akan digunakan oleh operator pada Dinas Kesehatan UPTD Balai Laboratorium Kesehatan Provinsi Lampung

## 2 Penelitian Terkait

Penelitian terkait pemanfaatan teknologi untuk menghitung kualitas air telah dilakukan. Penelitian ditampilkan pada Table 1.

**Tabel 1.** Penelitian penerapan komputer pada perhitungan kualitas air

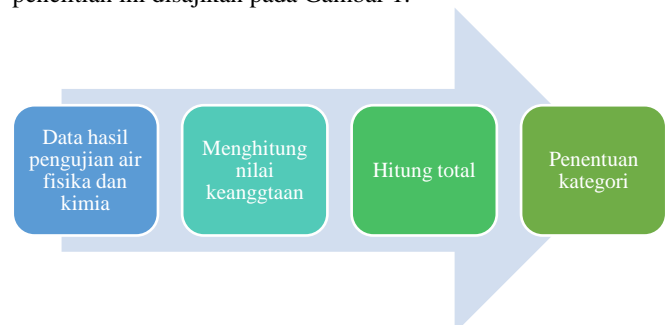
Penulis	Metode	Variabel
(Shah <i>et al.</i> , 2021)	Neuro-Fuzzy Inference System	Ca <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , dan Cl, Mg <sup>2+</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , dan SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
(Rahmadani, Suhada and Damanik, 2021)	Arduino	pH (Keasaman) Air
(Al-Adhaileh and Alsaade, 2021)	Artificial Intelligence	Dissolved oxygen, pH, Conductivity, Biological oxygen demand, Nitrate, Fecal coliform, dan Total coliform
(Nayak <i>et al.</i> , 2020)	Fuzzy Inferensi System (FIS)	Air sungai
(Rahmanto <i>et al.</i> , 2020) [4]	Mikrokontroler arduino uno	pH air
(Karnaningroem & Sunaya, 2020)	Hazard Analysis and Critical Control Point (HACC)	Air mineral
(Hatrinidinar Rasya <i>et al.</i> , 2020) [5]	Internet of Things (IoT)	pH Air
(Gore & Sagar.M.Gawande, 2020) [6]	Mikrokontroler arduino uno	pH Air
(Khatrri <i>et al.</i> , 2020) [7]	Mikrokontroler arduino uno	Suhu, pH, potensial reduksi oksidasi, konduktivitas listrik, dan oksigen terlarut dan E-coli
(Pantjawati <i>et al.</i> , 2020) [8]	Internet of Things (IoT)	pH, NTU, dan TDS
(Sabari <i>et al.</i> , 2020)	Internet of Things (IoT)	pH, Turbiditi (NTU), Temperatur, dan Flow Sensor
(Rahman <i>et al.</i> , 2020)	Internet of Things (IoT)	pH, Turbiditi (NTU), Temperatur, DO, dan Salinity
(Garcia, Puig and Quevedo, 2020)	Artificial Neural Network (ANN), dan Support	pH (Keasaman) Air

	Vector Machines (SVM)	
(Noor <i>et al.</i> , 2019) [8]	Turbidity sensor dan arduino	PH dan NTU
(Srivastava, Vaddadi and Sadistap, 2018)	Smartphone Android	pH, TDS, ORP, Salinity, dan Conductivity
(Hamidi, Furqon and Rahayudi, 2017)	Learning Vector Quantization (LVQ)	Total Solid, Suspended Biochemical Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand, Dissolved Oxygen, pH, fenol, minyak dan lemak
(Amani, f., 2016) [9]	Mikrokontroler arduino uno	Suhu, PH dan TDS

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, belum ditemukan penerapan logika fuzzy untuk pemodelan perhitungan kualitas air, oleh karena itu penelitian ini akan menjadi temuan baru berupa pengembangan aplikasi untuk perhitungan kualitas air dari pengujian fisika dan kimia

## 3 Metodologi

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian terapan dimana data diambil dari Sertifikat Hasil Pengujian Air dari Dinas Kesehatan Provinsi Lampung. Data hasil pengujian selanjutnya dibuat model perhitungan menggunakan logika fuzzy untuk dihitung nilai total berdasarkan kategori. Metode penelitian ini disajikan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Tahapan penelitian

### 3.1 Data Hasil Uji

Data hasil uji didapatkan dari form hasil pengujian air sumur bor untuk standar pengujian fisika dan kimia (Permen Menkes RI, 2010). Hasil pengujian air sumur diambil dari Sertifikasi Hasil Pengujian Air dari Dinas Kesehatan UPTD Balai Laboratorium Kesehatan Provinsi Lampung yang ditampilkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil pengujian air sumur bor

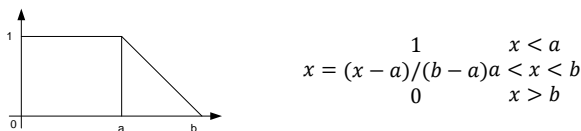
No	Parameter	Hasil Pengujian	Batas Maksimal	Satuan
<b>FISIKA</b>				
1	Bau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	-
2	Kekeruhan	6,32	5	NTU
3	Suhu	14,9	3±	C
4	TDS	347	500	mg/l
5	Warna	4,28	15	TCU
<b>KIMIA</b>				
1	Alumunium	0,04	0,2	mg/l
2	Besi (Fe)	3,26	0,3	mg/l
3	Klorida (Cl)	1,8	250	mg/l
4	Fluorida (F)	<0,003	1,5	mg/l
5	Kesadahan	4,5	500	mg/l
6	Mangan (Mn)	<0,27	0,4	mg/l

7	Nitrat (NO <sub>3</sub> )	0,08	50	mg/l
8	Nitrit (NO <sub>2</sub> )	0,03	3,0	mg/l
9	pH (Keasaman)	7,10	6,5-8,5	mg/l
10	Sulfat (SO <sub>4</sub> )	42,3	250	mg/l
11	Zat Organik	5,23	10	mg/l

### 3.2 Fungsi Keanggotaan Fuzzy

Logika Fuzzy merupakan suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* ke dalam ruang *output*. Untuk 115 variabel yang sangat rumit, penggunaan logika fuzzy adalah salah satu pemecahannya. Fuzzy sangat cocok untuk penalaran pendekatan terutama untuk 115 variabel yang menangani masalah-masalah yang sulit didefinisikan dengan menggunakan model matematis, Sri Kusuma Dewi, 2010 [10]

Model perhitungan fuzzy menggunakan kurva linier untuk menghitung nilai keanggotaan. Penggunaan kurva dapat memberikan waktu komputasi yang lebih sedikit, Baranyi et al., 1996 [11]. Pembentukan kurva berdasarkan kesesuaian 115 variabel untuk setiap pengujian fisika dan kimia berdasarkan nilai maksimal. Model kurva fungsi keanggotaan ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Fungsi keanggotaan kurva linier turun

### 3.3 Menghitung Nilai Keanggotaan

Nilai keanggotaan fuzzy digunakan untuk menghitung kualitas air dari setiap variabel menggunakan fungsi keanggotaan pada Tabel 3.

Tabel 3. Fungsi keanggotaan

Variabel	Kurva	Fungsi Keanggotaan
Baru		$x = \begin{cases} 1 & \text{Tidak Bau} \\ 0 & \text{Bau} \end{cases}$
Kekeruhan		$x = \begin{cases} 1 & x < 2.5 \\ \frac{(x-2.5)}{(5-2.5)} & 2.5 < x < 5 \\ 0 & > 5 \end{cases}$
Suhu		$x = \begin{cases} 1 & x < 1.5 \\ \frac{(x-1.5)}{(3-1.5)} & 1.5 < x < 3 \\ 0 & > 3 \end{cases}$
TDS		$x = \begin{cases} 1 & x < 250 \\ \frac{(x-250)}{(500-250)} & 250 < x < 500 \\ 0 & > 500 \end{cases}$
Warna		$x = \begin{cases} 1 & x < 7.5 \\ \frac{(x-7.5)}{(15-7.5)} & 7.5 < x < 15 \\ 0 & > 15 \end{cases}$
Alumunium		$x = \begin{cases} 1 & x < 0.1 \\ \frac{(x-0.1)}{(0.2-0.1)} & 0.1 < x < 0.2 \\ 0 & > 0.2 \end{cases}$
Besi (Fe)		$x = \begin{cases} 1 & x < 0.15 \\ \frac{(x-0.15)}{(0.3-0.15)} & 0.15 < x < 0.3 \\ 0 & > 0.3 \end{cases}$
Klorida (Cl)		$x = \begin{cases} 1 & x < 125 \\ \frac{(x-125)}{(250-125)} & 125 < x < 250 \\ 0 & > 250 \end{cases}$
Fluorida (F)		$x = \begin{cases} 1 & x < 0.75 \\ \frac{(x-0.75)}{(1.5-0.75)} & 0.75 < x < 1.5 \\ 0 & > 1.5 \end{cases}$

Kesadahan		$x = \begin{cases} 1 & x < 250 \\ \frac{(x-250)}{(500-250)} & 250 < x < 500 \\ 0 & > 500 \end{cases}$
Mangan (Mn)		$x = \begin{cases} 1 & x < 0.2 \\ \frac{(x-0.2)}{(0.4-0.2)} & 0.2 < x < 0.4 \\ 0 & > 0.4 \end{cases}$
Nitrat (NO <sub>3</sub> )		$x = \begin{cases} 1 & x < 25 \\ \frac{(x-25)}{(50-25)} & 25 < x < 50 \\ 0 & > 50 \end{cases}$
Nitrit (NO <sub>2</sub> )		$x = \begin{cases} 1 & x < 0.5 \\ \frac{(x-0.5)}{(3-0.5)} & 0.5 < x < 3 \\ 0 & > 3 \end{cases}$
pH (Keasaman)		$x = \begin{cases} 1 & x < 4.25 \\ \frac{(x-4.25)}{(8.5-4.25)} & 4.25 < x < 8.5 \\ 0 & > 8.5 \end{cases}$
Sulfat (SO <sub>4</sub> )		$x = \begin{cases} 1 & x < 125 \\ \frac{(x-125)}{(250-125)} & 125 < x < 250 \\ 0 & > 250 \end{cases}$
Zat Organik		$x = \begin{cases} 1 & x < 5 \\ \frac{(x-5)}{(10-5)} & 5 < x < 10 \\ 0 & > 10 \end{cases}$

Tabel 4. Nilai keanggotaan setiap variabel

No	Parameter	Hasil Pengujian	Batas Maksimal	Nilai Keanggotaan
<b>FISIKA</b>				
1	Bau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	1
2	Kekeruhan	6,32	5	0
3	Suhu	14,9	3±	0
4	TDS	347	500	0,162
5	Warna	4,28	15	1
<b>KIMIA</b>				
1	Alumunium	0,04	0,2	1
2	Besi (Fe)	3,26	0,3	0
3	Klorida (Cl)	1,8	250	1
4	Fluorida (F)	<0,003	1,5	1
5	Kesadahan	4,5	500	1
6	Mangan (Mn)	<0,27	0,4	0,65
7	Nitrat (NO <sub>3</sub> )	0,08	50	1
8	Nitrit (NO <sub>2</sub> )	0,03	3,0	1
9	pH (Keasaman)	7,10	6,5-8,5	0,32
10	Sulfat (SO <sub>4</sub> )	42,3	250	1
11	Zat Organik	5,23	10	0,95

### 3.4 Hitung Total

Perhitungan nilai total akhir untuk mendapatkan nilai pengujian keseluruhan berdasarkan nilai keanggotaan untuk setiap variabel fisika dan kimia menggunakan persamaan 1:

$$Total = (v_1 + v_2 + \dots + v_{11}) \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan diatas, maka didapatkan nilai total keanggotaan menggunakan perhitungan berikut:

$$Total = (1 + 0 + 0 + 0,162 + 1 + 1 + 0 + 1 + 1 + 1 + 0,65 + 1 + 1 + 0,32 + 1 + 0,95)$$

Hasil penjumlahan dari nilai keanggotaan untuk variabel fisika dan kimia yaitu 11,54.

### 3.5 Penentuan Kategori

Penentuan kategori menggunakan fungsi IF-Then menggunakan algoritma 1:

**Algoritma 1.** Perhitungan kategori air**Algoritma:**

1. *Start*
2. Variabel Total : Float, Keterangan : String;
3. If (Total >= 8) Then Keterangan = "BAIK"  
Else
4. If (Total >= 4) Then Keterangan = "CUKUP"  
Else  
Keterangan = "KURANG"
5. End IF
6. *Finish*

**Tabel 5.** Hasil kategori kualitas air

Lokasi	Total nilai	Kategori
Tiyuh Pulung	11,54	BAIK

**4 Hasil dan pembahasan****4.1 Aplikasi**

Aplikasi dibangun menggunakan Bahasa pemrograman pascal dan GUI Borland Delphi dengan DBMS MySQL. Aplikasi ini akan digunakan oleh operator pengujian kualitas air di Dinas Kesehatan UPTD Balai Laboratorium Kesehatan Provinsi Lampung. Tampilan utama aplikasi ditampilkan pada Gambar 3

**Gambar 3.** Form halaman perhitungan kualitas air**4.2 Perbedaan Perhitungan Manual dengan Aplikasi**

Perbedaan perhitungan dari hasil pengujian sebelum menggunakan aplikasi dan setelah menggunakan aplikasi ditampilkan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Perbedaan perhitungan manual dan aplikasi

No	Variabel	Manual	Aplikasi
1	Pengisian data hasil pengujian	Dilakukan tulis tangan	Input komputerisasi
2	Apakah memiliki informasi kategori per variable ?	Tidak	Ya
3	Apakah ada hasil perhitungan keseluruhan untuk kategori kualitas ?	Tidak	Ya
4	Perhitungan kualitas air	Hitung manual	Hasil perhitungan akan secara otomatis tampil

5	Penyimpanan	Disimpan di lemari yang berpotensi rusak dan hilang	Disimpan secara komputerisasi secara digital
6	Pencarian	Dilakukan secara manual sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama	Pencarian dapat dilakukan dengan cepat dengan menggunakan keyword

**4.3 Evaluasi**

Tahapan evaluasi yaitu pengujian dengan membandingkan hasil perhitungan menggunakan cara manual dengan perhitungan dari aplikasi. Hasil evaluasi ditampilkan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Evaluasi perhitungan manual dan aplikasi

No	Parameter	Hasil Pengujian	Manual	Aplikasi
<b>FISIKA</b>				
1	Bau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau
2	Kekeruhan	6,32	Buruk	Buruk
3	Suhu	14,9	Buruk	Buruk
4	TDS	347	Buruk	Buruk
5	Warna	4,28	Baik	Baik
<b>KIMIA</b>				
1	Alumunium	0,04	Baik	Baik
2	Besi (Fe)	3,26	Buruk	Buruk
3	Klorida (Cl)	1,8	Baik	Baik
4	Fluorida (F)	<0,003	Baik	Baik
5	Kesadahan	4,5	Baik	Baik
6	Mangan (Mn)	<0,27	Cukup	Cukup
7	Nitrat (NO3)	0,08	Baik	Baik
8	Nitrit (NO2)	0,03	Baik	Baik
9	pH (Keasaman)	7,10	Buruk	Buruk
10	Sulfat (SO4)	42,3	Baik	Baik
11	Zat Organik	5,23	Cukup	Cukup

Hasil pengujian antara perhitungan fisika dan kimia secara manual dan aplikasi memiliki hasil perhitungan yang sama

**5 Kesimpulan**

Penelitian ini menghasilkan aplikasi perhitungan hasil pengujian air sumur secara komputerisasi. Aplikasi dikembangkan menggunakan Bahasa pemrograman pascal dan GUI Borland Delphi. Penyimpanan data menggunakan database management system (DBMS) MySQL. Hasil evaluasi pengujian dengan membandingkan hasil perhitungan fisika dan kimia secara manual dan hasil perhitungan menggunakan aplikasi, didapatkan hasil yang sama, maka aplikasi ini layak untuk digunakan di Dinas Kesehatan untuk memudahkan pengelolaan data hasil pengujian kualitas air sumur bor.

**Ucapan terima kasih**

Kami mengucapkan terimakasih kepada Dinas Kesehatan UPTD Balai Laboratorium Kesehatan Provinsi Lampung yang telah membantu dan mendukung selama penelitian mulai dari pengumpulan data hingga pengujian aplikasi.

**Daftar pustaka**

- [1] Lintje Boekoesoe. (2010). Tingkat Kualitas Bakteriologis Air Bersih di Desa Sosial Kecamatan Paguyaman

- Kabupaten Boalemo. Jurnal INOVASI, 7(4), 240–251.  
<https://ejurnal.ung.ac.id/index.php/JIN/article/view/768>
- [2] Putro, B. E., & Masrofah, I. (2019). Kualitas Fisik dan Kimia Sungai Citarum yang bermuara ke Waduk Cirata di Wilayah Kabupaten Cianjur. Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi, 19(3), 628.  
<https://doi.org/10.33087/jiubj.v19i3.711>
- [3] Rido Wandrivel, Netty Suharti, & Yuniar Lestari. (2012). Kualitas Air Minum Yang Diproduksi Depot Air Minum Isi. Jurnal Kesehatan Andalas, 1(3), 129–133.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.25077/jka.v1i3.84>
- [4] Rahmanto, Y., Rifaini, A., Samsugi, S., & Riskiono, S. D. (2020). SISTEM MONITORING pH AIR PADA AQUAPONIK MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ARDUINO UNO. Jurnal Teknologi Dan Sistem Tertanam, 1(1), 23.  
<https://doi.org/10.33365/jtst.v1i1.711>
- [5] Hatrinidinar Rasya, R., Hardianto, J., & Siskandar, R. (2020). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Bersih Pada Konsumen PERUMDA Tirta Pakuan Bogor Berbasis web. Indonesian Journal of Science, 1(1), 18–26.
- [6] Gore, N. R., & Sagar.M.Gawande. (2020). IRJET-Water Quality Monitoring. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 7(6), 7240–7246.
- [7] Hatri, P., Gupta, K. K., & Gupta, R. K. (2020). Assessment of Water Quality Parameters in Real-Time Environment. SN Computer Science, 1(6), 1–9.  
<https://doi.org/10.1007/s42979-020-00368-9>
- [8] Noor, A., Supriyanto, A., & Rhomadhona, H. (2019). Aplikasi Pendeteksi Kualitas Air Menggunakan. Corel IT, 5(1), 13–18.
- [9] Amani, f., & P. (2016). Alat Ukur Kualitas Air Minum Dengan Parameter Ph, Suhu, Tingkat Kekeruhan, Dan Jumlah Padatan Terlarut. JETri, 14(1), 49–62.
- [10] Sri Kusuma Dewi, H. P. (2010). Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan. In H.
- [11] Baranyi, P., Gedeon, T. D., & Koczy, L. T. (1996). A general interpolation technique in fuzzy rule bases with arbitrary membership functions. IEEE, 6, 510–515.  
<https://doi.org/10.1109/icsmc.1996.569844>