



**RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI POMPA INJEKSI
*PAY OFF COOLING WATER TREATMENT (CWT) PADA BAK
CHILLED* MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC* BERBASIS
*INTERNET OF THINGS (IoT)***

**TUGAS AKHIR
APLIKATIF**

**UNIVERSITAS
MERCU BUANA**
YOGA TRIYULI PANGESTU
41424120005

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**



**RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI POMPA INJEKSI
*PAY OFF COOLING WATER TREATMENT (CWT) PADA BAK
CHILLED MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC BERBASIS
INTERNET OF THINGS (IoT)***

**LAPORAN
TUGAS AKHIR**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Strata Satu (S1)

**UNIVERSITAS
YOGA TRIYULI PANGESTU
41424120005
MERCU BUANA**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**

HALAMAN PENYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yoga Triyuli Pangestu
NIM : 41424120005
Fakultas/Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tugas Akhir berjudul:

“Rancang Bangun Sistem Kendali Pompa Injeksi *Pay off Cooling water treatment* (CWT) Pada Bak Chilled Menggunakan *Fuzzy Logic* Berbasis *Internet of things* (IoT)”

adalah hasil karya saya sendiri, tidak mengandung unsur plagiarisme, pelanggaran hak cipta, atau konten ilegal dalam bentuk apapun dan tidak melanggar hukum atau hak pihak manapun.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menanggung seluruh konsekuensi hukum dan membebaskan Universitas Mercu Buana dari segala bentuk tuntutan hukum dan saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 04 Agustus 2026



Yoga Triyuli Pangestu

SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY*

Menerangkan bahwa Jurnal / Karya Ilmiah / Laporan Tugas Akhir pada BAB I, BAB III, BAB IV, dan BAB V / Praktek Keinsinyuran atas nama:

Nama : **Yoga Triyuli Pangestu**
NIM : **41424120005**
Program Studi : **Teknik Elektro**
Judul Tugas Akhir / Tesis
Praktek Keinsinyuran : **RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI POMPA INJEKSI PAY OFF COOLING WATER TREATMENT (CWT) PADA BAK CHILLED MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)**

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada Kamis, 13 Agustus 2026 dengan hasil presentase sebesar 24% dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 13 Agustus 2026

Administrator



Itmam Haidi

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Yoga Triyuli Pangestu
NIM : 41424120005
Fakultas/Program Studi : Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Kendali Pompa Injeksi
Pay off Cooling water treatment (CWT) Pada Bak Chilled Menggunakan Fuzzy Logic Berbasis Internet of things (IoT)

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 04 Agustus 2026 dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing



Ketty Siti Salamah, S.T., M.T
NUPTK: 7962769670230272

MERCU BUANA

Jakarta, 04 Agustus 2026

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



(Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.)
NUPTK: 6639750651230130

Ketua Program Studi
Teknik Elektro



(Dr. Eng. Ir. Heru Suwoyo, S.T., M.Sc.)
NUPTK: 2146770671130403

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng. selaku Rektor Universitas Mercu Buana
2. Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik
3. Dr.Eng. Heru Suwoyo, ST., M.Sc. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro
4. Ketty Siti Salamah, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini
5. Dosen-dosen dan Staff Pengajar Program Studi Teknik Elektro
6. Orang tua dan keluarga penulis, yang telah memberikan doa, dukungan, kesabaran, serta semangat yang tiada henti sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
7. Teman-teman seperjuangan Program Studi Teknik Elektro Universitas Mercu Buana, yang telah memberikan dukungan, semangat, serta menjadi tempat berdiskusi dan berbagi pengalaman selama masa perkuliahan.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 04 Agustus 2026



Yoga Triyuli Pangestu

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yoga Triyuli Pangestu
NIM : 41424120005
Fakultas/Program Studi : Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Kendali Pompa Injeksi
Pay off Cooling water treatment (CWT) Pada Bak Chilled Menggunakan Fuzzy Logic Berbasis Internet of things (IoT)"

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 04 Agustus 2026

Yang menyatakan,



(Yoga Triyuli Pangestu)

**RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI POMPA INJEKSI *PAY OFF*
COOLING WATER TREATMENT (CWT) PADA BAK CHILLED
MENGUNAKAN FUZZY LOGIC BERBASIS INTERNET OF THINGS
(IoT)
YOGA TRIYULI PANGESTU**

ABSTRAK

Kualitas air pada sistem *chilled water* perlu dijaga agar tetap berada pada kondisi yang sesuai untuk mencegah korosi, pembentukan kerak (*scaling*), serta penurunan efisiensi perpindahan panas. Pada praktiknya, pengendalian pH masih banyak dilakukan secara manual dengan penambahan larutan *Pay off Cooling water treatment* (CWT) dalam jumlah tetap tanpa mempertimbangkan kondisi pH secara aktual. Metode tersebut berpotensi menyebabkan penggunaan yang kurang efisien serta kestabilan pH yang kurang optimal. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem kendali otomatis pH air *chilled water* berbasis ESP32 menggunakan metode logika fuzzy Mamdani, serta membandingkan kinerjanya dengan metode manual.

Sistem yang dibuat terdiri atas sensor pH 4502C, sensor ultrasonik HC-SR04, pompa injeksi, ESP32, LCD, dan *web server* sebagai media monitoring. Pengujian dilakukan terhadap akurasi sensor, kinerja sistem fuzzy, perbandingan metode otomatis dengan metode manual, serta pengaruh sistem terhadap suhu air *chilled water*. Hasil pengujian sensor pH menggunakan larutan buffer pH 4,01, 6,86, dan 9,18 menunjukkan rata-rata persentase *error* masing-masing sebesar 1,085%, 0,958%, dan 0,48%. Pengujian sistem fuzzy menghasilkan rata-rata *error* sebesar 0,501% sehingga termasuk kategori sangat akurat. Pada pengujian selama sepuluh kali percobaan, sistem otomatis mampu mempertahankan pH pada rentang ideal sekitar 7,0–7,2 dengan total penggunaan larutan *Pay off CWT* sebesar 34.690 mL, lebih rendah dibandingkan metode manual sebesar 50.000 mL, sehingga diperoleh efisiensi penggunaan larutan sebesar 30,62%. Selain itu, penerapan sistem tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap suhu air *chilled water*, dengan rata-rata selisih suhu hanya sebesar 0,2°C.

Berdasarkan hasil penelitian, sistem kendali otomatis berbasis ESP32 dengan metode logika fuzzy Mamdani mampu mengendalikan pH air *chilled water* secara efektif, meningkatkan efisiensi penggunaan larutan *Pay off CWT*, serta mempertahankan suhu air pendingin tetap stabil sehingga layak diterapkan sebagai alternatif pengendalian pH pada sistem *chilled water*.

Kata kunci: ESP32, logika fuzzy Mamdani, sensor pH 4502C, *chilled water*, pengendalian pH, *Cooling water treatment*.

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PAY-OFF COOLING WATER
TREATMENT (CWT) INJECTION PUMP CONTROL SYSTEM IN A
CHILLED TANK USING FUZZY LOGIC BASED ON THE INTERNET OF
THINGS (IoT)
YOGA TRIYULI PANGESTU**

ABSTRACT

The quality of water in a chilled water system must be maintained within the appropriate range to prevent corrosion, scale formation, and a decrease in heat transfer efficiency. In practice, pH control is commonly performed manually by adding a fixed amount of Pay off Cooling water treatment (CWT) solution without considering the actual pH condition. This method may lead to inefficient chemical consumption and suboptimal pH stability. Therefore, this study aims to design and implement an ESP32-based automatic pH control system using the Mamdani Fuzzy Logic method and compare its performance with the conventional manual method.

The proposed system consists of a 4502C pH sensor, an HC-SR04 ultrasonic sensor, an injection pump, an ESP32 microcontroller, an LCD, and a web server for real-time monitoring. The system was evaluated through sensor accuracy testing, fuzzy control performance testing, comparison between the automatic and manual methods, and analysis of the system's effect on the chilled water temperature. The results of the pH sensor calibration using buffer solutions of pH 4.01, 6.86, and 9.18 showed average percentage errors of 1.085%, 0.958%, and 0.48%, respectively. The fuzzy control system achieved an average error of 0.501%, indicating a very high level of accuracy. During ten experimental trials, the automatic control system successfully maintained the water pH within the ideal range of approximately 7.0–7.2 while consuming 34,690 mL of Pay off CWT solution, compared to 50,000 mL used by the manual method, resulting in a chemical usage efficiency of 30.62%. Furthermore, the implementation of the automatic control system did not significantly affect the chilled water temperature, with an average temperature difference of only 0.2°C.

Based on the experimental results, the ESP32-based automatic pH control system employing the Mamdani Fuzzy Logic method effectively regulates the pH of chilled water, improves the efficiency of Pay off CWT solution usage, and maintains a stable cooling water temperature. Therefore, the proposed system is suitable as an alternative approach for automatic pH control in chilled water systems.

Keywords: ESP32, Mamdani fuzzy logic, 4502C pH sensor, chilled water, pH control, Cooling water treatment

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	0
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENYATAAN KARYA SENDIRI.....	ii
SURAT KETERANGAN HASIL <i>SIMILARITY</i>	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB.....	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Kajian Pustaka	6
2.2. Pembaharuan Penelitian	10
2.3. Teori Dasar	11

2.3.1. Sistem Pendingin <i>Chilled water</i>	11
2.3.2. Derajat Keasaman (pH).....	12
2.3.3. <i>Cooling Water Treatment</i>	13
2.3.4. <i>Fuzzy Logic</i>	13
2.3.5. <i>Mean Absolute Percentage Error (MAPE)</i>	15
2.3.6. Sensor pH 4502C	16
2.3.7. Mikrokontroler ESP32	17
2.3.8. <i>Liquid Crystal Display (LCD)</i>	18
2.3.9. Sensor HC-SR04 Ultrasonic	19
2.3.10. Motor Pompa DC 5V	20
2.3.11. Kabel Jumper	20
2.3.12. Relay	21
BAB III PERANCANGAN ALAT DAN SISTEM	22
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	22
3.2. Diagram Blok	24
3.3. Diagram Alir Sistem.....	26
3.4. Spesifikasi Alat dan Bahan.....	28
3.5. Konfigurasi Perangkat Keras.....	31
3.6. <i>Rule base Fuzzy Logic</i>	33
3.7. Perancangan <i>Fuzzy Logic</i>	34
3.7.1. Himpunan Input Fuzzy Level Air	35
3.7.2. Himpunan <i>Input</i> Fuzzy pH Air	36
3.7.3. Himpunan <i>Output</i> Motor Pompa	37
3.8. Konfigurasi Perangkat Lunak.....	39
3.8.1. <i>Library</i> Pada Arduino IDE.....	39
3.8.2. Program Pembacaan Sensor.....	40

3.9. Media Pengujian Sistem	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1. Hasil Perancangan Alat.....	43
4.1.1. Hasil Perancangan Perangkat Keras	43
4.1.2. Hasil Perancangan Perangkat Lunak	44
4.2. Pengujian Sensor	45
4.2.1. Pengujian Sensor pH.....	46
4.2.2. Pengujian Sensor Ultrasonic (HC-SR04).....	50
4.3. Pengujian Sistem Kendali Fuzzy	53
4.3.1. Pengujian Fuzzy pada MATLAB	54
4.3.2. Pengujian Respon Pompa Injeksi.....	56
4.4. Perbandingan Kinerja	57
4.5. Pengaruh Penerapan	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1. Kesimpulan.....	64
5.2. Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skala Derajat Keasaman (pH).....	12
Gambar 2. 2 Sensor PH 4502C	17
Gambar 2. 3 Mikrokontroller ESP 32	18
Gambar 2. 4 Liquid Crystal Display (LCD)	18
Gambar 2. 5 Konfigurasi pin sensor ultrasonik HC-SR04	19
Gambar 2. 6 Prinsip kerja HC-SR04.....	19
Gambar 2. 7 Motor pompa DC 5V	20
Gambar 2. 8 Kabel Jumper	21
Gambar 2. 9 Modul Relay.....	21
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 3. 2 Diagram Blok.....	24
Gambar 3. 3 Diagram Alir Sistem.....	27
Gambar 3. 4 Konfigurasi Perangkat Keras	32
Gambar 3. 5 Himpunan Input Fuzzy Level Air	35
Gambar 3. 6 Himpunan Input Fuzzy pH Air.....	36
Gambar 3. 7 Himpunan Output Motor Pompa.....	38
Gambar 3. 8 Library Pada Arduino IDE	39
Gambar 3. 9 Program pH Sensor	40
Gambar 3. 10 Program Sensor Ultrasonik.....	41
Gambar 4. 1 Hasil Perancangan Perangkat Keras.....	44
Gambar 4. 2 Hasil Perancangan Perangkat Lunak.....	45
Gambar 4. 3 Pengujian Sensor pH dengan Buffer	46
Gambar 4. 4 Pengujian Sensor pH 4.01	48
Gambar 4. 5 Pengujian Sensor pH 6.86	49
Gambar 4. 6 Pengujian Sensor pH 9.18	49
Gambar 4. 7 Pengujian Sensor Ultrasonik dengan Kotak.....	50
Gambar 4. 8 Pengujian Sensor Ultrasonik pada Drum	52
Gambar 4. 9 Pengujian <i>Rule base</i> Fuzzy pada Matlab	54
Gambar 4. 10 Thermometer pada Pipa Sirkulasi Chilled water	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kajian Pustaka.....	6
Tabel 2. 2 Jenis-Jenis Fuzzy Inference System.....	14
Tabel 2. 3 Hubungan Fuzzy Logic dengan Sistem Penelitian.....	14
Tabel 2. 4 Evaluasi Nilai MAPE.....	16
Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat dan Bahan.....	29
Tabel 3. 2 Konfigurasi Pin	32
Tabel 3. 3 <i>Rule base Fuzzy Logic</i>	33
Tabel 3. 4 Himpunan <i>Input</i> Fuzzy Level Air	35
Tabel 3. 5 Himpunan Input Fuzzy pH Air.....	37
Tabel 3. 6 Himpunan Output Motor Pompa.....	38
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sensor pH dengan Buffer.....	47
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik dengan Kotak	51
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik pada Drum.....	53
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian <i>Rule base</i> Fuzzy pada Matlab	55
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Respon Pompa Injeksi	56
Tabel 4. 6 Perbandingan Sistem Kendali Manual dan Otomatis.....	58
Tabel 4. 7 Efisiensi Penggunaan Larutan Pay off CWT	59
Tabel 4. 8 Hasil Perbandingan Suhu Air <i>Chilled water</i>	62

MERCU BUANA

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Deklarasi Pin, Mode Operasi, dan Parameter Kalibrasi Sistem	70
Lampiran 2 Fungsi Keanggotaan dan <i>Rule base</i> Logika Fuzzy	71
Lampiran 3 Defuzzifikasi	71
Lampiran 4 Fungsi Pembacaan Sensor Ultrasonik	72
Lampiran 5 Fungsi Pembacaan Sensor pH	72
Lampiran 6 Logika Kontrol Mode Otomatis dengan <i>Cooldown</i>	73
Lampiran 7 Logika Kontrol Mode Manual ON dan OFF	73
Lampiran 8 Implementasi LCD untuk Antarmuka Program.....	74

