



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Penerapan Metode Fuzzy Sugeno Untuk Analisis Karakteristik Pada Sensor
Water Flow di Simulator Pompa Hidram**

SKRIPSI

Oleh :

Arfian Fajar Lilianto

NIM 2202421024

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Penerapan Metode Fuzzy Sugeno Untuk Analisis Karakteristik Pada Sensor
Water Flow di Simulator Pompa Hidram**

SKRIPSI

**Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan
Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan
Teknik Mesin**

Oleh :

Arfian Fajar Lilianto

NIM 2202421024

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

**Penerapan Metode Fuzzy Sugeno Untuk Analisis Karakteristik Pada
Sensor Water Flow di Simulator Pompa Hidram**

Oleh

Arfian Fajar Lilianto

NIM. 2202421024

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Dr. Sonki Prasetya, M.Sc.
NIP. 197512222008121003

Candra Damis Widiawaty, S.Tp., M.T.
NIP. 198201052014042001

Kepala Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T.
NIP. 19660519199031002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Penerapan Metode Fuzzy Sugeno Untuk Analisis Karakteristik Pada
Sensor Water Flow di Simulator Pompa Hidram

Oleh
Arfian Fajar Lilianto
NIM.2202421024

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan
Dewan Penguji pada tanggal 15 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana
Terapan

Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

NO.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Dr., Candra Damis Widiawaty , S.T.P., M.T. NIP. 198201052014042001	Ketua		30/7/26
2.	Ir., Haolia Rahman , S.T., M.T. Ph.D NIP. 198406122012121001	Penguji 1		21/7/26
3.	Cecep Slamet Abadi , S.T., M.T. NIP. 196605191990031002	Penguji 2		30/7/26

Depok, 30 Juli 2026

Disahkan Oleh :
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si.
NIP. 197602252000121002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Arfian Fajar Lilianto

NIM : 2202421024

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam skripsi telah saya kutip dan rujuk sesuai dengan etika ilmiah. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 15 Juni 2026

Arfian Fajar Lilianto
Nim. 2202421024



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Penerapan Metode Fuzzy Sugeno pada Sistem Kalibrasi Sensor Water Flow di Simulator Pompa Hidram

Arfian Fajar Lilianto¹, Sonki Prasetya^{1,2*}, Candra Damis Widiawaty^{1,2}

¹Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Center for Conversion Conservation and Applied Renewable Energies (CARE), Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

*Corresponding author: sonki.prasetya@mesin.pnj.ac.id

ABSTRAK

Pompa hidram adalah Pompa yang beroperasi tanpa menggunakan energi listrik melainkan memanfaatkan perubahan kecepatan aliran dan tekanan air secara berulang melalui pembukaan katup limbah hingga terciptanya fenomena water hammer yang mendorong air menuju pipa penghantar. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi pembacaan sensor water flow pada simulator pompa hidram melalui metode Fuzzy Sugeno. Pengukuran debit air secara aktual dilakukan menggunakan metode volumetrik sebagai acuan. Hasil kalibrasi awal yang menggunakan regresi linear konvensional menunjukkan tingkat error rata-rata sebesar 14,06% dan nilai Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 3,458 L/min. Sebagai perbaikan, sistem Fuzzy Sugeno dirancang menggunakan variabel input berupa frekuensi pulsa sensor dengan enam himpunan keanggotaan dan variabel output berupa debit terkoreksi konstan. Pengujian membuktikan bahwa metode Fuzzy Sugeno berhasil menurunkan persentase error rata-rata menjadi 2,90% dan RMSE menjadi 0,812 L/min. Metode kalibrasi cerdas ini memberikan perbaikan akurasi relatif sebesar 79,37% dibandingkan metode regresi linear, sehingga jauh lebih efektif digunakan untuk sistem kalibrasi sensor aliran. (untuk mengetahui untuk menganalisis pembacaan sensor water flow melealu fuzzy sugeno)

Kata Kunci: *Air Leakage, Air Preheater, Auxiliary Fan, Efisiensi Boiler, Overhaul.*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Application of the Sugeno Fuzzy Method to a Water Flow Sensor Calibration System in a Hydraulic Ram Pump Simulator

Arfian Fajar Lilianto¹, Sonki Prasetya^{1,2*}, Candra Damis Widiawaty^{1,2}

¹Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Center for Conversion Conservation and Applied Renewable Energies (CARE), Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

*Corresponding author: sonki.prasetya@mesin.pnj.ac.id

ABSTRACT

A hydraulic ram pump is a pump that operates without using electrical energy, instead utilizing repeated changes in water flow velocity and pressure through the opening of a waste valve to create a water hammer phenomenon, which drives water into the delivery pipe. This study aims to improve the reading accuracy of the water flow sensor in a hydraulic ram pump simulator using the Fuzzy Sugeno method. Actual water flow measurement was conducted using the volumetric method as a reference. The initial calibration results using conventional linear regression showed an average error rate of 14.06% and a Root Mean Square Error (RMSE) value of 3.458 L/min. As an improvement, the Fuzzy Sugeno system was designed using the sensor's pulse frequency as the input variable with six membership functions and a constant corrected flow rate as the output variable. Testing proved that the Fuzzy Sugeno method successfully reduced the average error percentage to 2.90% and RMSE to 0.812 L/min. This smart calibration method provides a relative accuracy improvement of 79.37% compared to the linear regression method, making it much more effective for flow sensor calibration system

Keywords: Sensor Calibration, YF-G1 Water Flow, Linear Regression, Sugeno Fuzzy Logic, Measurement Accuracy

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas limpahan rahmat-Nya, skripsi yang berjudul “Penerapan Metode Fuzzy Sugeno pada Sistem Kalibrasi Sensor Water Flow di Simulator Pompa Hidram” dapat diselesaikan. Skripsi ini disusun guna memenuhi sebagian persyaratan kelulusan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta. Penulis menyadari bahwa kelancaran penulisan skripsi ini terwujud berkat bantuan, arahan, dan dukungan dari banyak pihak. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kepada Mamah tercinta, Lilik Suwartini, atas segala doa, restu, serta dukungan tak terhingga yang senantiasa diberikan, sehingga penulis mampu merampungkan penelitian ini dengan baik
2. Terima kasih yang mendalam juga saya haturkan kepada saudara-saudara tersayang: Lintang Lilianto, Zeira Wulan Lilianto, serta seluruh keluarga besar. Segala doa, dukungan, dan kebaikan yang telah diberikan sangatlah berarti bagi saya dalam merampungkan tugas akhir ini.
3. Kepada Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si., yang menjabat sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas setiap arahan dan dukungan moral yang diberikan.
4. Kepada Bapak Dr. Sonki Prasetya. M.sc., selaku Dosen Pembimbing I. Terima kasih yang sebesar-besarnya atas kesabaran beliau dalam memandu, mengarahkan, serta memberikan masukan yang konstruktif hingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
5. Kepada Candra Damis Widiawaty, S.Tp., M.T., selaku Dosen Pembimbing II. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

besarnya atas saran dan pandangan berharga beliau yang telah memandu alur dan arah perancangan penulisan tugas akhir ini.

6. Penulis turut menyampaikan rasa terima kasih kepada Bapak Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T. sebagai Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi. Bantuan administratif dan dorongan semangat dari beliau sangat berarti dalam proses penyelesaian skripsi ini.
7. Kepada Lulu Alifah Salsabilla, selaku pasangan penulis, penulis mengucapkan terima kasih atas doa, dukungan, semangat, kesabaran, serta motivasi yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi ini. Dukungan yang diberikan menjadi penyemangat bagi penulis dalam menghadapi berbagai tantangan hingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.
8. Kepada rekan-rekan seperjuangan Powerplant 22, terima kasih atas kebersamaan dan bantuan kalian dalam setiap kegiatan perkuliahan. Mulai dari saling berdiskusi materi hingga penyelesaian tugas kelompok, kehadiran kalian menjadikan perjalanan studi ini terasa jauh lebih menyenangkan dan penuh kesan.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Pertanyaan Penelitian.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.4.1 Tujuan Umum Penelitian	4
1.4.2 Tujuan Khusus Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan Skripsi	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Landasan Teori.....	6
2.1.1 Sensor Water Flow Meter	6
2.1.2 Pengukuran Debit Aliran Air.....	8
2.1.3 Kalibrasi Sensor	8
2.1.4 Regresi Linear	9
2.1.5 Logika Fuzzy.....	11
2.1.6 Persentase Error	17
2.2 Kajian Literatur.....	18
2.3 Kajian Sistem	22
2.3.1 Pompa Hidram	23
2.3.2 Sensor Flow Meter.....	23
2.3.3 Pengukuran Debit Aktual.....	23
2.3.4 Matlab Fuzzy Sugeno & Regresi Linear.....	24
2.4 Kerangka Pemikiran.....	24
2.5 Hipotesis.....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	28



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.1 Jenis Penelitian.....	28
3.2 Diagram Alir	28
3.3 Identifikasi Masalah.....	31
3.4 Objek Penelitian.....	32
3.5 Alat dan Bahan.....	33
3.6 Skematik Pengujian Sistem.....	35
3.6.1 Skematik Pengujian Mekanik	36
3.6.2 Skematik Pengujian Elektrik.....	37
3.7 Metode Pengambilan Sampel.....	37
3.8 Jenis dan Sumber Data Penelitian.....	38
3.9 Perancangan Kalibrasi Regresi Linear	38
3.10 Perancangan Sistem Fuzzy Sugeno.....	40
3.10.1 Penentuan Variabel Input dan Output Fuzzy Sugeno	40
3.10.2 Pembentukan Fungsi Keanggotaan Frekuensi Sensor	42
3.10.3 Penentuan Nilai Konstanta Output Fuzzy Sugeno	44
3.10.4 Penyusunan Rule Base Fuzzy Sugeno	47
3.10.5 Proses Defuzzifikasi.....	50
3.11 Metode Analisis Data.....	52
3.11.1 Perhitungan Frekuensi Rata-Rata.....	52
3.11.2 Perhitungan Debit Aktual.....	53
3.11.3 Perhitungan Debit Regresi Linear.....	53
3.11.4 Perhitungan Debit Fuzzy Sugeno.....	54
3.11.5 Perhitungan Persentase Error.....	55
3.11.6 Perhitungan Rata-Rata Error.....	55
3.11.7 Perhitungan RMSE	56
3.11.8 Perbandingan Kinerja Metode	56
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	58
4.1 Skema Pengujian Penelitian.....	58
4.2 Analisis Penyimpangan Pembacaan Sensor melalui Regresi Linear	59
4.2.1 Hasil Pengukuran Waktu dan Debit Aktual.....	59
4.2.2 Pengaruh Tegangan terhadap Waktu dan Debit Aktual.....	62
4.2.3 Hasil Kalibrasi Regresi Linear	63



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.2.4 Pembahasan Kinerja Regresi Linear	65
4.3 Perancangan dan Implementasi Sistem Kalibrasi Fuzzy Sugeno	66
4.3.1 Hasil Perancangan Sistem Fuzzy Sugeno	67
4.3.2 Hasil Pengujian Fuzzy Sugeno	69
4.3.3 Pembahasan Kinerja Fuzzy Sugeno	71
4.4 Evaluasi dan Perbandingan Peningkatan Performa Sistem.....	73
4.4.1 Perbandingan Hasil Regresi Linear dan Fuzzy Sugeno	73
4.4.2 Hasil Perhitungan RMSE	74
4.4.3 Perbandingan Regresi Linear dan Fuzzy Sugeno	75
BAB V PENUTUP	77
5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....	79

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sensor Water Flow Meter	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 2 Diagram Blok Cara Kerja Sensor Water Flow Meter	7
Gambar 2. 3 Diagram Blok Sistem Sensor Flow Meter Objek Penelitian	23
Gambar 2. 4 Alur Penelitian	25
Gambar 3. 1 Diagram Alir.	29
Gambar 3. 2 Diagram proses pengujian identifikasi masalah	32
Gambar 3. 3 Diagram Skematik Pengujian Mekanik	36
Gambar 3. 4 Diagram Skematik Pengujian Elektrik	36
Gambar 3. 5 Fungsi keanggotaan input frekuensi sensor	43
Gambar 3. 6 Nilai konstanta output Fuzzy Sugeno	45
Gambar 3. 7 Rule base sistem Fuzzy Sugeno	48
Gambar 3. 8 Output Defuzzyfikasi	50
Gambar 4. 1 Skema Pengujian Penelitian.....	59
Gambar 4. 2 Hubungan frekuensi sensor terhadap debit aktual	63
Gambar 4. 3 Perbandingan error regresi linear dan Fuzzy Sugeno	73



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan	33
Tabel 3. 2 Variabel input dan output sistem Fuzzy Sugeno	40
Tabel 3. 3 Parameter fungsi keanggotaan input frekuensi.....	42
Tabel 3. 4 Nilai konstanta output Fuzzy Sugeno	44
Tabel 3. 5 Rule base sistem Fuzzy Sugeno	47
Tabel 4. 1 Ringkasan waktu pengukuran.....	59
Tabel 4. 2 Hasil perhitungan debit aktual	60
Tabel 4. 3 Hasil debit regresi linear	64
Tabel 4. 4 Hasil eror regresi linear	65
Tabel 4. 5 Parameter fungsi keanggotaan input frekuensi.....	68
Tabel 4. 6 Nilai konstanta output Fuzzy Sugeno	68
Tabel 4. 7 Basis aturan Fuzzy Sugeno	69
Tabel 4. 8 Hasil debit Fuzzy Sugeno	70
Tabel 4. 9 Hasil error Fuzzy Sugeno	70
Tabel 4. 10 Perbandingan hasil pengujian metode kalibrasi.....	73
Tabel 4. 11 Perbandingan RMSE regresi linear dan Fuzzy Sugeno	73
Tabel 4. 12 Penurunan error setelah penerapan Fuzzy Sugeno	75

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pompa Hidram (*Hydraulic Ram Pump*) merupakan salah satu teknologi pompa air hemat energi yang bekerja berdasarkan prinsip perubahan energi kinetik aliran air menjadi energi tekanan. Pompa ini beroperasi tanpa menggunakan energi listrik melainkan memanfaatkan perubahan kecepatan aliran dan tekanan air secara berulang melalui pembukaan katup limbah hingga terciptanya fenomena *water hammer* yang mendorong air menuju pipa penghantar.[1]

Pengukuran debit air pada sistem perpipaan dapat dilakukan menggunakan water flow meter tipe turbin. Sensor tersebut bekerja dengan memanfaatkan aliran air untuk memutar rotor di dalam sensor. Putaran rotor kemudian dideteksi oleh sensor Hall effect dan diubah menjadi sinyal pulsa listrik. Frekuensi pulsa yang dihasilkan digunakan sebagai dasar untuk menentukan nilai debit air[2]. Meskipun demikian, hasil pembacaan sensor tidak selalu sama dengan debit aktual karena dapat dipengaruhi oleh karakteristik aliran, respons mekanis rotor, kondisi pemasangan, serta faktor kalibrasi yang digunakan[3].

Pada penelitian ini, sensor water flow dipasang pada jalur suplai air dari pompa celup menuju penampungan atas pada simulator pompa hidram. Air dialirkan melalui pipa, melewati sensor, kemudian keluar melalui ujung pipa menuju wadah penampung. Dengan posisi tersebut, sensor tidak mengukur secara langsung aliran berdenyut yang dihasilkan oleh mekanisme water hammer pada pompa hidram. Permasalahan yang ditemukan lebih mengarah pada adanya perbedaan antara nilai debit hasil pembacaan sensor dengan debit aktual yang diperoleh melalui metode volumetric. Oleh karena itu, diperlukan proses kalibrasi untuk memperoleh hubungan antara keluaran sensor dan nilai pengukuran acuan. Proses

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

kalibrasi yang tepat dapat memperkecil penyimpangan dan meningkatkan keandalan hasil pengukuran debit[4].

Salah satu metode yang umum digunakan dalam proses kalibrasi adalah regresi linear. Metode ini membentuk hubungan matematis antara frekuensi pulsa sebagai variabel masukan dan debit aktual sebagai variabel keluaran. Regresi linear memiliki proses perhitungan yang sederhana dan mudah diterapkan pada mikrokontroler. Namun, satu persamaan linear belum tentu mampu merepresentasikan karakteristik sensor secara merata pada seluruh rentang aliran. Sensor aliran tipe turbin dapat menunjukkan karakteristik kalibrasi yang tidak sepenuhnya linear akibat perubahan kondisi operasi dan karakteristik fluida [5]. Kondisi tersebut dapat menyebabkan hasil koreksi pada beberapa rentang frekuensi masih berbeda dari debit aktual.

Sebagai pendekatan lanjutan, metode Fuzzy Sugeno digunakan untuk menghasilkan debit terkoreksi berdasarkan frekuensi pulsa sensor. Sistem ini dirancang melalui fungsi keanggotaan, basis aturan, dan keluaran konstanta sehingga termasuk Sugeno orde nol. Nilai akhir diperoleh menggunakan metode weighted average berdasarkan derajat aktivasi setiap aturan. Model Takagi–Sugeno mampu merepresentasikan hubungan nonlinier melalui beberapa aturan lokal yang digabungkan menjadi satu keluaran tegas [6]. Perancangan dan simulasi dilakukan menggunakan MATLAB R2013a dengan frekuensi pulsa sebagai input dan debit terkoreksi sebagai output.[7]

Penelitian ini membandingkan hasil kalibrasi regresi linear dan Fuzzy Sugeno terhadap debit aktual yang diperoleh melalui metode volumetrik. Metode dengan nilai debit paling mendekati kondisi aktual dan persentase error lebih kecil dinilai memiliki kinerja kalibrasi yang lebih baik. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengambil judul “Penerapan Metode Fuzzy Sugeno pada Sistem Kalibrasi Sensor Water Flow di Simulator Pompa Hidram”.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Pembacaan sensor water flow masih menunjukkan perbedaan terhadap debit aktual yang diperoleh menggunakan metode volumetrik.
2. Kalibrasi menggunakan regresi linear belum selalu memberikan tingkat akurasi yang sama pada seluruh variasi debit aliran.
3. Belum diketahui seberapa besar peningkatan akurasi yang dapat diperoleh melalui penerapan metode Fuzzy Sugeno dibandingkan metode regresi linear.

1.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka pertanyaan penelitian dalam tugas akhir ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Menganalisis tingkat akurasi sensor *water flow* melalui proses kalibrasi menggunakan metode regresi linear konvensional guna mendapatkan basis data penyimpangan awal.
2. Merancang dan mengimplementasikan sistem kalibrasi menggunakan metode Fuzzy Sugeno dengan frekuensi pulsa sensor sebagai input dan debit terkoreksi sebagai output melalui penentuan fungsi keanggotaan, konstanta keluaran, dan basis aturan.
3. Mengevaluasi peningkatan performa sistem dengan membandingkan nilai persentase kesalahan antara metode regresi linear dan metode Fuzzy Sugeno guna membuktikan efektivitas peningkatan akurasi pengukuran debit.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.4 Tujuan Penelitian

1.4.1 Tujuan Umum Penelitian

Tujuan umum penelitian ini adalah meningkatkan akurasi pembacaan sensor water flow pada sistem aliran air simulator pompa hidram melalui penerapan metode Fuzzy Sugeno berbasis frekuensi pulsa sensor.

1.4.2 Tujuan Khusus Penelitian

Tujuan Khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik penyimpangan pembacaan sensor water flow terhadap debit aktual metode volumetrik melalui pemodelan regresi linear konvensional, dengan target diperolehnya persamaan kalibrasi linear, nilai koefisien determinasi (R^2), serta nilai persentase error dasar sebagai pembanding.
2. Merancang dan mengimplementasikan sistem kalibrasi menggunakan metode Fuzzy Sugeno dengan frekuensi pulsa sensor sebagai input dan debit terkoreksi sebagai output, dengan target menghasilkan nilai error yang lebih kecil dibandingkan metode regresi linear.
3. Mengevaluasi peningkatan performa sistem dengan membandingkan nilai persentase kesalahan antara metode regresi linear dan metode *Fuzzy Sugeno* guna membuktikan efektivitas optimasi akurasi yang dihasilkan.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi Mahasiswa
Menambah pemahaman dalam penerapan sistem pengukuran laju aliran air serta metode kalibrasi menggunakan regresi linear dan Fuzzy Sugeno berbasis mikrokontroler.
2. Bagi Perguruan Tinggi
Menjadi referensi dalam pengembangan sistem instrumentasi dan pengukuran berbasis Arduino.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Bagi Pengembangan Teknologi

Memberikan kontribusi dalam peningkatan akurasi sistem pengukuran laju aliran air melalui metode kalibrasi adaptif.

1.6 Sistematika Penulisan Skripsi

A. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat gambaran umum penelitian yang mencakup latar belakang permasalahan, rumusan dan batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan skripsi.

B. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, meliputi sumber data, tahapan pengumpulan data, serta teknik analisis data yang diterapkan untuk mencapai tujuan penelitian.

C. BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menyajikan kajian teori dan literatur yang mendukung penelitian, yang bersumber dari jurnal ilmiah, buku referensi, manual teknis, serta sumber informasi lain yang relevan dan dapat dipertanggungjawabkan.

D. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, meliputi sumber data, tahapan pengumpulan data, serta teknik analisis data yang diterapkan untuk mencapai tujuan penelitian.

E. BAB V PENUTUP

Bab ini merupakan bagian yang berisi kesimpulan yang didapatkan dari penelitian dan saran yang didapatkan dari hasil penelitian.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai penerapan metode Fuzzy Sugeno pada sistem kalibrasi sensor water flow YF-G1, diperoleh kesimpulan sebagai berikut

1. Kalibrasi menggunakan regresi linear menghasilkan persamaan:

$$Q_{regresi} = 0,8892f + 0,1823$$

dengan nilai koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,9957$. Meskipun menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara frekuensi sensor dan debit aktual pada data pembentukan model, hasil pengujian akhir masih menghasilkan rata-rata error sebesar 14,06% dan RMSE sebesar 3,458 L/min. Debit hasil regresi juga cenderung lebih rendah dibandingkan debit aktual, terutama pada rentang tegangan 200–250 V.

2. Sistem kalibrasi berbasis Fuzzy Sugeno berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan satu variabel input berupa frekuensi pulsa sensor dan satu variabel output berupa debit terkoreksi. Variabel input dibagi menjadi enam himpunan fuzzy yang terdiri atas lima fungsi keanggotaan segitiga dan satu fungsi keanggotaan trapesium. Sistem menggunakan enam konstanta output serta enam basis aturan yang menghubungkan setiap daerah frekuensi dengan nilai debit yang sesuai.
3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Fuzzy Sugeno menghasilkan rata-rata error sebesar 2,90% dan RMSE sebesar 0,812 L/min. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan hasil regresi linear pada seluruh variasi tegangan pengujian. Penerapan Fuzzy Sugeno menurunkan rata-rata error sebesar 11,16 poin persentase atau memberikan



perbaikan relatif sebesar 79,37%. Nilai RMSE juga mengalami penurunan sebesar 76,52%.

5.2 Saran

1. Penggunaan sensor water flow YF-G1 sebaiknya diawali dengan proses kalibrasi sesuai dengan kondisi pemasangan, karakteristik pompa, dan sistem perpipaan yang digunakan agar hasil pengukuran debit lebih mendekati nilai aktual.
2. Metode Fuzzy Sugeno dapat diterapkan sebagai salah satu alternatif kalibrasi sensor karena mampu memberikan koreksi pembacaan yang lebih adaptif pada berbagai kondisi aliran dibandingkan penggunaan satu persamaan regresi linear.
3. Pemeriksaan kondisi sensor, sambungan kabel, kestabilan aliran, dan kebersihan saluran perlu dilakukan secara berkala untuk menjaga kestabilan pulsa serta mempertahankan akurasi sistem pengukuran debit.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. H. Zulfiar, “Penerapan Teknologi Pompa Hidram bagi Masyarakat Pedesaan,” *BERDIKARI : Jurnal Inovasi dan Penerapan Ipteks*, vol. 8, no. 1, 2020, doi: 10.18196/bdr.8171.
- [2] A. M. A. Caldas, A. G. A. Caldas, C. A. C. Dos Santos, A. A. V. Ochoa, K. L. Cézar, and P. S. A. Michima, “Design, development and construction of Hall effect-based turbine meter type to measure flow in low-cost lithium bromide salt: Proposed flowmeter and first results,” *International Journal of Refrigeration*, vol. 112, pp. 240–250, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2020.01.002.
- [3] R. C. . Baker, *Flow measurement handbook : industrial designs, operating principles, performance, and applications*. Cambridge University Press, 2016.
- [4] P. J. C. Biselli, R. S. Nóbrega, and F. G. Soriano, “Nonlinear Flow Sensor Calibration with an Accurate Syringe,” *Sensors*, vol. 18, no. 7, p. 2163, Jul. 2018, doi: 10.3390/s18072163.
- [5] J. A. Prakosa, N. Alias, P. Purwowibowo, A. D. Algarni, and N. F. Soliman, “Not-A-Knot cubic spline model to predict accurately the viscosity calibration curve of turbine flow meter with experiment validation,” *Flow Measurement and Instrumentation*, vol. 102, p. 102765, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2024.102765.
- [6] T. Takagi and M. Sugeno, “Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control,” *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. SMC-15, no. 1, pp. 116–132, Jan. 1985, doi: 10.1109/TSMC.1985.6313399.
- [7] S. Prasetya *et al.*, “Implementation of interleaved bi-directional DC-DC converter with multi stage constant current charging based on fuzzy control for disturbance-resistant electric vehicle battery swapping stations,” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 5, no. 5 (137), pp. 6–18, Oct. 2025, doi: 10.15587/1729-4061.2025.342160.
- [8] A. M. A. Caldas, A. G. A. Caldas, C. A. C. Dos Santos, A. A. V. Ochoa, K. L. Cézar, and P. S. A. Michima, “Design, development and construction of Hall effect-based turbine meter type to measure flow in low-cost lithium bromide salt: Proposed flowmeter and first results,” *International Journal of Refrigeration*, vol. 112, pp. 240–250, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2020.01.002.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [9] L. A. Salami, "Effect of upstream velocity profile and integral flow straighteners on turbine flowmeters," *Int. J. Heat Fluid Flow*, vol. 5, no. 3, pp. 155–165, Sep. 1984, doi: 10.1016/0142-727X(84)90073-0.
- [10] "Fluid mechanics." doi: 10.1036/1097-8542.262300.
- [11] Bipm, "International vocabulary of metrology-Basic and general concepts and associated terms (VIM) 3rd edition 2008 version with minor corrections Vocabulaire international de métrologie-Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM) 3 e édition," 2012.
- [12] P. J. C. Biselli, R. S. Nóbrega, and F. G. Soriano, "Nonlinear Flow Sensor Calibration with an Accurate Syringe," *Sensors*, vol. 18, no. 7, p. 2163, Jul. 2018, doi: 10.3390/s18072163.
- [13] J. Jumrianto, "Kalibrasi Sensor Tegangan dan Sensor Arus dengan Menerapkan Rumus Regresi Linear menggunakan Software Bascom AVR," *Journal of System Information Technology and Electronics Engineering (J-SITEE)*, vol. 1, no. 1, p. 1, Jun. 2021, doi: 10.31331/jsitee.v1i1.1718.
- [14] D. C. Jeronymo, Y. C. C. Borges, and L. dos S. Coelho, "A calibration approach based on Takagi–Sugeno fuzzy inference system for digital electronic compasses," *Expert Syst. Appl.*, May 2011, doi: 10.1016/j.eswa.2011.04.155.
- [15] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, Jun. 1965, doi: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
- [16] L. Wang, C. Wang, and F. Yang, "On-Site Metrology Calibration Method for River-Piping Flowmeter," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 438–439, pp. 1294–1298, Oct. 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.438-439.1294.
- [17] Aziz Adela Rashad, Ulikaryani, Bayu Aji Girawan, Radhi Ariawan, Jenal Sodikin, and Hety Dwi Hastuti, "UJI FUNGSI DAN KALIBRASI SENSOR WATER FLOW YF-S201 BERBASIS ARDUINO UNO PADA MESIN PENJERNIH AIR SUNGAI," *Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, vol. 3, no. 2, pp. 1–9, Jul. 2023, doi: 10.55606/teknik.v3i2.1850.
- [18] M. Tahir, "Measuring water Flow Rate and Volume using Arduino and Flow Sensor," 2021.
- [19] Muhammad Rasyid Siahaan, "Rancang Bangun Simulator Pompa Hidram Skala Laboratorium dengan Metode VDI 2221," 2025.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [Online]. Available: <https://indonesian.alibaba.com/Hydraulic-Ram-Pump>
- [20] A. S. Khatatbeh and Y.-O. Kim, "Accuracy assessment and error decomposition of internet of things sensor: Low-flow conditions in Dorimcheon stream," *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, vol. 16, no. 3, p. 100595, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.jrras.2023.100595.
- [21] A. khatatbeh, "Iot Sensor Integration and Calibration for Open Channel Flow Measurement," *SSRN Electronic Journal*, 2022, doi: 10.2139/ssrn.4272171.
- [22] S. Thu, N. Aung, and K. Ko, "A Calibration Technique for Water Flow Sensor YF-S201 1." [Online]. Available: www.ijtrd.com
- [23] M. Mulianti, S. Saehana, and G. Gustina, "Desain Alat Praktikum Pengukur Debit Air Menggunakan Sensor Flow Berbasis Arduino Uno pada Materi Fluida Dinamis," *JPFT (Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online)*, vol. 13, no. 2, pp. 278–287, Aug. 2025, doi: 10.22487/jpft.v13i2.4798.
- [24] E. O. . Doebelin and D. N. . Manik, *Measurement systems: application and design*. McGraw-Hill, 2007.
- [25] M. Zain *et al.*, "EKSPLORA INFORMATIKA v 17 Implementasi Forecasting Pada Perancangan Sistem Pembukaan Kelas di STIKOM Bali dengan Menggunakan Metode Regresi Linear."
- [26] D. C. . Montgomery, E. A. . Peck, and G. Geoffrey. Vining, *Introduction to linear regression analysis*. John Wiley & Sons, Inc., 2021.
- [27] T. J. . Ross, *Fuzzy logic with engineering applications*. John Wiley, 2010.
- [28] T. J. Ross, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. Wiley, 2010. doi: 10.1002/9781119994374.
- [29] C. Willmott and K. Matsuura, "Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance," *Clim. Res.*, vol. 30, pp. 79–82, 2005, doi: 10.3354/cr030079.
- [30] T. Chai and R. R. Draxler, "Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature," *Geosci. Model Dev.*, vol. 7, no. 3, pp. 1247–1250, Jun. 2014, doi: 10.5194/gmd-7-1247-2014.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tegangan (V)	RMSE regresi (L/min)	RMSE Fuzzy (L/min)	Error regresi (%)	Error Fuzzy (%)
125	0,737	0,184	12,35	2,58
150	1,421	0,441	9,52	2,53
175	2,715	0,448	12,89	1,93
200	4,454	0,967	17,53	3,34
225	4,719	1,333	16,81	4
250	4,441	0,902	15,26	3,04
Keseluruhan data	3,458	0,812	14,06	2,90



**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**