



Institut Teknologi Nasional Malang

**SKRIPSI TEKNIK ELEKTRONIKA KENDALI DAN
INSTRUMENTASI**

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI GOVERNOR ELEKTRONIK
BERBASIS FUZZY LOGIC MENGGUNAKAN BINARY
COMBINATION SWITCH**

Aura Satria Hamzah
NIM 2212014

Dosen pembimbing
Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT.
Dr. F. Yudi Limpratono, ST., MT

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
Juli 2026



Institut Teknologi Nasional Malang

**SKRIPSI TEKNIK ELEKTRONIKA KENDALI DAN
INSTRUMENTASI
DESAIN DAN IMPLEMENTASI GOVERNOR ELEKTRONIK
BERBASIS FUZZY LOGIC MENGGUNAKAN BINARY
COMBINATION SWITCH**

**Aura Satria Hamzah
NIM 2212014**

**Dosen pembimbing
Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT.
Dr. F. Yudi Limpratono, ST., MT**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
Juli 2026**

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI GOVERNOR ELEKTRONIK
BERBASIS FUZZY LOGIC MENGGUNAKAN BINARY
COMBINATION SWITCH**

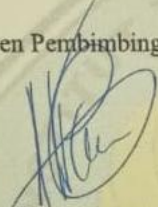
SKRIPSI

**AURA SATRIA HAMZAH
2212014**

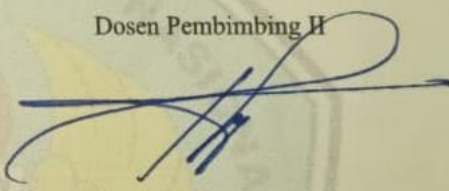
Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi Teknik Elektro S-1
Peminatan Teknik Elektronika Kendali Dan Instrumentasi
Institut Teknologi Nasional Malang

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing I

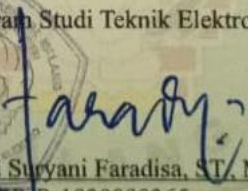

Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, M.T.
NIP.Y. 1028700171

Dosen Pembimbing II


Dr. F. Yudi Limpraptono, ST., MT.
NIP.Y. 1039500274

Mengetahui:

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1


Dr. Irmalia Suryani Faradisa, ST., MT.
NIP.P. 1030000365

**MALANG
Agustus, 2026**

ABSTRAK

DESAIN DAN IMPLEMENTASI GOVERNOR ELEKTRONIK BERBASIS FUZZY LOGIC MENGGUNAKAN BINARY COMBINATION SWITCH

Aura Satria Hamzah, NIM : 2212014

Dosen Pembimbing I: Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT.

Dosen Pembimbing II: Dr. F. Yudi Limpratono, ST., MT.

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) memerlukan sistem kontrol yang mampu menjaga kestabilan frekuensi dan tegangan keluaran generator, mengingat ketidakstabilan kedua parameter tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada komponen elektronik konsumen. Governor elektronik merupakan salah satu solusi untuk mengendalikan beban generator secara otomatis melalui konfigurasi dummy load guna meningkatkan stabilitas frekuensi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem governor elektronik pada PLTMH berbasis Arduino Mega 2560 dengan menggunakan metode Binary Combination Switch yang diintegrasikan dengan algoritma Fuzzy Logic Mamdani dalam mengatur daya dummy load secara otomatis. Pengujian dilakukan dengan berbagai tahap beban konsumen dari 0 W hingga 300 W menggunakan tiga buah lampu beban. Lampu pertama bernilai 100 W, lampu kedua bernilai 100 W, dan lampu ketiga bernilai 100 W. Konfigurasi dummy load menggunakan 9-bit dengan total kapasitas daya sekitar 440 W. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem governor elektronik mampu mempertahankan frekuensi generator pada dengan nilai rerata frekuensi sebesar 49,98 Hz. Seluruh kondisi pengujian, sistem menghasilkan nilai overshoot sebesar 0 – 1,0%, undershoot sebesar 0 – 0,4%, serta steady-state error sebesar 0,01 – 0,40 Hz. Hasil penelitian membuktikan bahwa penerapan metode Binary Combination Switch terbukti efektif dalam menjaga kestabilan frekuensi generator secara otomatis terhadap perubahan beban konsumen.

Kata Kunci: PLTMH, Governor elektronik, Binary Combination Switch, Fuzzy Logic Mamdani

ASBTRACT

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A FUZZY LOGIC BASED ELEKTRONIC GOVERNOR USING A BINARY COMBINATION SWITCH

Aura Satria Hamzah, Student ID: 2212014
Supervisor: Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT.
Supervisor II: Dr. F. Yudi Limpratono, ST., MT.

Micro-hydro power plants (PLTMH) require a control system capable of maintaining the stability of the generator's output frequency and voltage, as instability in these two parameters can cause damage to consumer electronic components. An electronic governor is one solution for automatically controlling the generator load through a dummy load configuration to improve frequency stability. This study aims to design an electronic governor system for a micro-hydro power plant based on the Arduino Mega 2560, using the Binary Combination Switch method integrated with the Mamdani Fuzzy Logic algorithm to automatically regulate the dummy load power. Testing was conducted with various consumer load levels ranging from 0 W to 260 W using three load lamps. The first lamp had a power rating of 100 W, the second 60 W, and the third 100 W. The dummy load configuration used a 9-bit system with a total power capacity of approximately 440 W. Test results showed that the electronic governor system was able to maintain the generator frequency at an average value of 50.2 Hz. Under all test conditions, the system produced an overshoot of 0–2.0%, an undershoot of 0–0.4%, and a steady-state error of 0.01–0.40 Hz. The research results prove that the application of the Binary Combination Switch method is effective in automatically maintaining generator frequency stability in response to changes in consumer load.

Keywords: Small Hydroelectric Power Plant (PLTMH), Electronic Governor, Binary Combination Switch, Mamdani Fuzzy Logic

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Design Dan Implementasi Governor Elektronik Berbasis Fuzzy Logic Dengan Menggunakan Binary Combination Switch ” Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, penulis ingin menyampaikan apresiasi kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran dan dedikasi dalam menyelesaikan penelitian ini.
2. Bapak Dr. F. Yudi Limpratono S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing penulis dengan penuh perhatian dan arahan yang berharga.
3. Ibu Dr. Irmalia Suryani Faradisa, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro ITN Malang.
4. Kedua orang tua penulis, atas doa dan dukungan edukasi maupun secara material yang telah diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.

Teman-teman Se-Angkatan 22 serta teman Laboratorium Sistem Embedded, yang telah menjadi rekan belajar, berdiskusi, serta berbagi pengalaman selama proses penelitian ini. Dukungan dan kebersamaan kalian sangat berarti bagi penulis

Malang, Agustus 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.4.1 Bagi Pemerintah Daerah	3
1.4.2 Bagi Masyarakat	4
1.4.3 Bagi Penelitian lain.....	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II LATAR BELAKANG.....	7
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).....	7
2.1.1 Konsep Dasar PLTMH.....	8
2.1.2 Hubungan Kecepatan dan Frekuensi	9
2.1.3 Kestabilan Frekuensi Pada PLTMH.....	11
2.2 Pengendali Kestabilan Frekuensi PLTMH	11
2.2.1 Governor Elektronik	12
2.2.2 Algoritma Fuzzy Logic Controller	13
2.2.3 Binary Combination Switch	17
2.3 Arduino Mega 2560.....	18
2.4 Sensor Proximity	20
2.5 Sensor PZEM-004T.....	22
2.6 Modul Solid State Relay.....	23
2.7 LCD 20 x 4 Dengan I2C.....	24
2.8 KeyPad 4 x 4	25
2.9 Arduino IDE	27
2.10 Parameter Kinerja Sistem Kontrol	27
2.10.1 Tingkat Akurasi (Error)	27
2.10.2 Overshoot dan Undershoot.....	28
2.10.3 Steady State	28
2.10.4 Settling Time	28
2.11 Penelitian Terdahulu.....	29

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 Rancangan Sistem	31
3.1.1 Gambaran Keseluruhan Sistem.....	31
3.1.2 Blok Diagram Pengendali.....	32
3.2 Perancangan Perangkat Keras	33
3.2.1 Desain Perancangan Hardware pada Pusat Pengendali	33
3.2.2 Skematik Rangkaian	34
3.3 Perancangan Perangkat Lunak.....	37
3.3.1 Perancangan Kontrol Fuzzy.....	37
3.3.2 Binary Combination Switch	42
3.4 Flowchart Keseluruhan Sistem.....	44
3.4.1 Flowchart Fuzzy Kontrol.....	45
3.4.2 Flowchart Binary Combination Switch	46
3.4.3 Program Kontrol Sistem dengan Arduino IDE	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Realisasi dan Implementasi Sistem	53
4.2 Pengujian Pengambilan Data Frekuensi ke Excel	55
4.2.1 Pengujian Sensor Proximity	56
4.2.2 Pengujian Sensor PZEM 004T	57
4.3 Pengujian Frekuensi Menggunakan Sistem Kontrol	59
4.3.1 Pengujian Tanpa Beban.....	60
4.3.2 Pengujian Beban dengan 100 W	62
4.3.3 Pengujian Beban dengan 200 W	64
4.3.4 Pengujian Beban dengan 300 W	65
4.3.5 Pengujian Penurunan Daya pada Beban Konsumen.....	68
4.4 Pengujian Governor Elektronik	70
4.5 Analisis Perbandingan Kinerja Sistem Kontrol.....	72
4.5.1 Perbandingan Parameter pada Beban 100 W	73
4.5.2 Perbandingan Parameter pada Beban 200 W	75
4.5.3 Perbandingan Parameter pada Beban 300 W	78
BAB V PENUTUP	83
5.1 Kesimpulan.....	83
5.2 Saran	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Air	8
Gambar 2.2 skematik dari sistem ELC.....	12
Gambar 2.3 Prinsip Operasi ELC	13
Gambar 2.4 Mamdani fuzzy inference system	14
Gambar 2.5 Skematik algoritma binery.....	18
Gambar 2.6 Arduino Mega 2560 R3	19
Gambar 2.7 Sensor Proximity LJ18A3-8-Z/BX NPN.....	20
Gambar 2.8 wire NPN wiring.....	21
Gambar 2.9 Modul Sensor PZEM-004T	22
Gambar 2.10 Modul SSR Solid-State Relay	24
Gambar 2.11 LCD character Display 20x4 dengan modul I2C.....	24
Gambar 2.12 Keypad 4x4.....	25
Gambar 2.13 Kondisi Saklar	26
Gambar 2.14 Wire Keypad 4x4	26
Gambar 2.15 Tampilan Software Arduino.....	27
Gambar 3. 1 Blok Diagram Keseluruhan Sistem	31
Gambar 3. 2 Alur Kerja Sistem Kontrol	32
Gambar 3. 3 Desain 3D Pusat Pengendali.....	34
Gambar 3. 4 Skematik Rangkaian	35
Gambar 3. 5 Membership function error frekuensi	38
Gambar 3. 6 Membership function error tegangan.....	39
Gambar 3. 7 Membership Function Persentase Dummy Load.....	40
Gambar 3. 8 Flowchart Keseluruhan Sistem Kontrol	44
Gambar 3. 9 Flowchart Sistem Fuzzy	45
Gambar 3. 10 Flowchart sistem kerja binary combination switch	46
Gambar 3. 11 Program Arduino.....	47
Gambar 3. 12 Program inialisasi variabel linguistik pada fuzzy logic	48
Gambar 3. 13 Implementasi Mode 1	49
Gambar 3. 14 Implementasi Rule IF-THEN Fuzzy Logik	49
Gambar 3. 15 Program Konversi Output Fuzzy ke Kombinasi Relay ..	50
Gambar 4. 1 Panel Kontrol Stabilisasi Frekuensi Governor Elektronik	53
Gambar 4. 2 Rangkaian Dummy Load.....	54
Gambar 4. 3 Hasil keseluruhan perancangan sistem kontrol	55
Gambar 4. 4 Tampilan Data pada Serial Monitor Arduino IDE	55
Gambar 4. 5 Tampilan Data Streamer pada Microsoft Excel.....	56
Gambar 4. 6 Hubungan RPM dan Frekuensi.....	59
Gambar 4. 7 Grafik Frekuensi terhadap Waktu	61

Gambar 4. 8 Grafik Frekuensi terhadap waktu pada beban 100 W	63
Gambar 4. 9 Grafik frekuensi terhadap waktu pada beban 160 W	65
Gambar 4. 10 Grafik frekuensi terhadap waktu pada beban 300 W	67
Gambar 4. 11 Grafik frekuensi terhadap waktu pada penurunan beban	69
Gambar 4. 12 Analisis kinerja Governor Elektronik	71
Gambar 4. 13 Perbandingan Respon pada Beban konsumen 100 W	74
Gambar 4. 14 Perbandingan Respon Frekuensi pada Beban Konsumen 200 W	77
Gambar 4. 15 Perbandingan Respon Frekuensi pada Beban Konsumen 300 W	80