

# KONTROL FREKUENSI BEBAN MENGUNAKAN METODE ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS) PADA SISTEM HYBRID WIND MIKROHIDRO DAN DIESEL

Walter Willy Metyu Febryanto Simorangkir<sup>1</sup>, I Made Mataram<sup>2</sup>, I Ketut Wijaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jalan Raya Kampus Unud, Jimbaran, Kec. Kuta Sel, Kabupaten Badung

Email\_wilisorangkir10@gmail.com\_1, mademataram@unud.ac.id\_2,

wijaya@ee.unud.ac.id\_3

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kinerja tiga metode kontroler load frekuensi pada pembangkit hybrid yang terdiri dari tiga jenis pembangkit energi, yaitu microhydro, diesel, dan angin. Metode kontroler yang dibandingkan adalah metode PID (*Proportional Integral Derivative*), ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*), dan Fuzzy. Analisis ini dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas sistem pembangkit hybrid dengan mengoptimalkan kontroler load frekuensi. Ketidakstabilan frekuensi dapat terjadi akibat fluktuasi beban, perubahan kondisi lingkungan, atau gangguan sistem. Oleh karena itu, penggunaan metode kontroler yang efektif dan adaptif sangat penting dalam menjaga stabilitas dan keandalan sistem pembangkit hybrid. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan pengumpulan data dan pemodelan komputer. Data yang diperlukan mencakup informasi mengenai variasi beban, produksi energi, dan kondisi lingkungan. Selanjutnya, metode PID, ANFIS, dan Fuzzy diterapkan pada data tersebut untuk membangun model kontroler load frekuensi. Hasil analisis menunjukkan bahwa ketiga metode kontroler memiliki kinerja yang berbeda-beda dalam menjaga stabilitas frekuensi pada sistem pembangkit hybrid. Metode PID memberikan respons yang cepat dan akurat terhadap fluktuasi beban, namun kurang adaptif terhadap perubahan lingkungan. Sementara metode ANFIS mampu beradaptasi dengan baik terhadap perubahan kondisi sistem, tapi membutuhkan waktu untuk pelatihan model. Metode Fuzzy dapat memberikan kontrol yang lebih adaptif dan toleran terhadap gangguan, namun mungkin membutuhkan tuning yang lebih kompleks. Namun, secara umum, penggunaan metode kontroler cerdas seperti ANFIS dan Fuzzy dapat meningkatkan kinerja pembangkit hybrid dengan menghasilkan kontrol yang lebih adaptif dan stabil. Penelitian ini memiliki implikasi penting dalam pengembangan sistem pembangkit hybrid yang lebih efisien dan andal. Dengan memilih metode kontroler yang tepat, pembangkit hybrid dapat memberikan energi secara lebih stabil dan ramah lingkungan, serta mengurangi ketergantungan pada sumber daya fosil terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan energi terbarukan dan pembangunan berkelanjutan di masa depan.

**Kata kunci** : pembangkit hybrid, load frekuensi kontroler, metode PID, ANFIS, Fuzzy, efisiensi sistem, pengembangan energi terbarukan.

## ABSTRACT

*This study aims to analyze and compare the performance of three frequency load controller methods in a hybrid generator consisting of three types of energy generation, namely microhydro, diesel and wind. The controller methods being compared are the PID (Proportional Integral Derivative) method, ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System), and Fuzzy. This analysis was carried out to improve the efficiency and stability of the hybrid generating system by optimizing the frequency load controller. Frequency instability can occur due to load fluctuations,*

changes in environmental conditions, or system disturbances. Therefore, the use of an effective and adaptive controller method is very important in maintaining the stability and reliability of the hybrid generator system. The analytical method used in this study involved data collection and computer modeling. The required data includes information on load variations, energy production, and environmental conditions. Furthermore, the PID, ANFIS, and Fuzzy methods are applied to the data to build a frequency load controller model. The results of the analysis show that the three controller methods have different performance in maintaining frequency stability in the hybrid generator system. The PID method provides a fast and accurate response to load fluctuations, but is less adaptive to environmental changes. While the ANFIS method is able to adapt well to changes in system conditions, it requires time for model training. Fuzzy methods can provide control that is more adaptive and tolerant to disturbances, but may require more complex tuning. However, in general, the use of intelligent controller methods such as ANFIS and Fuzzy can improve the performance of hybrid generators by producing more adaptive and stable controls. This research has important implications for the development of more efficient and reliable hybrid power systems. By choosing the right controller method, hybrid power plants can provide energy in a more stable and environmentally friendly manner, and reduce dependence on limited fossil resources. Therefore, this research can make a significant contribution to the development of renewable energy and sustainable development in the future.

**Keywords:** hybrid power plant, load frequency controller, PID method, ANFIS, Fuzzy, system efficiency, renewable energy development.

## 1. PENDAHULUAN

Peningkatan kompleksitas penggunaan sistem kelistrikan seiring dengan perkembangan masyarakat telah memunculkan berbagai jenis teknologi, salah satunya adalah Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence atau AI). AI memiliki kemampuan untuk melakukan Data Training, yang pada gilirannya menghasilkan beragam dalam perkembangan teknologi, khususnya di bidang rekayasa. *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) muncul sebagai metode yang mampu mengatasi tantangan tersebut.[1] ANFIS memiliki kemampuan dalam pembelajaran dan adaptasi dari plant serta pembentukan aturan melalui jaringan saraf tiruan, juga mampu dalam pengambilan keputusan melalui logika Fuzzy. ANFIS dapat menemukan parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  yang optimal untuk pengendali PID, dengan tujuan meningkatkan tanggapan transient dan menghilangkan kesalahan steady state. Dalam konteks ini, penggabungan pengendali PID dan neuro fuzzy melalui metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) dapat dianggap sebagai solusi yang efektif. Pengendali neuro fuzzy bekerja untuk menemukan parameter PID yang optimal melalui proses penalaan,

sehingga pengendali PID dapat mengatur kecepatan motor induksi dengan presisi.[1]

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 PID

(*Proportional-Integral-Derivative*) adalah salah satu jenis kontrol yang umum digunakan dalam Kontroler Frekuensi Beban. PID adalah metode kontrol umpan balik yang menggunakan tiga komponen dasar untuk menghasilkan sinyal kendali yang mengatur perubahan produksi daya berdasarkan perbedaan antara frekuensi aktual dan frekuensi nominal serta laju perubahan frekuensi.[2]

### 2.2 Penjelasan Artificial Intelligence

Kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* (AI) adalah hasil dari rekayasa teknologi yang memungkinkan pengembangan sistem komputer dan perangkat lunak yang mampu "berpikir" secara analogi dengan kemampuan manusia dan meniru tindakan mereka. Salah satu karakteristik utama AI adalah kemampuannya untuk merasionalisasikan dan mengambil tindakan yang memiliki peluang terbaik untuk mencapai tujuan tertentu. AI umumnya digunakan dalam berbagai kegiatan, termasuk pembelajaran dan penalaran.[3]

### 2.3 Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

Metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) merupakan jaringan adaptif yang terbentuk berdasarkan sistem kesimpulan *Fuzzy Inference System* (Fuzzy). Dengan menggabungkan prosedur hybrid learning, ANFIS memiliki kemampuan untuk membangun pemetaan antara input dan output yang didasarkan pada pengetahuan manusia melalui aturan *Fuzzy if-then* dan fungsi keanggotaan yang tepat. ANFIS mengintegrasikan prinsip logika Fuzzy dan *Jaringan Syaraf Tiruan* (JST).[4]

### 2.4 Sistem Hybrid Wind

Sistem pembangkit hibrida adalah hasil dari kombinasi satu atau lebih sumber energi alternatif, seperti sinar matahari, angin, mikro/minihidro, dan biomassa, dengan penerapan teknologi lain seperti baterai dan diesel. Sistem hibrida ini menawarkan penyediaan daya yang bersih dan efisien, yang seringkali lebih ekonomis dalam banyak situasi daripada sistem diesel tunggal. Keputusan untuk menerapkan sistem hibrida seringkali dipengaruhi oleh lokasi geografis tempat yang terpencil. Keadaan terpencil tersebut membuat penyedia layanan listrik (seperti PLN) sulit untuk membangun jaringan listrik yang mencapai wilayah tersebut.[5]

### 2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Pembangkit listrik tenaga angin adalah sistem yang mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik melalui turbin angin. Prinsip kerjanya melibatkan rotasi baling-baling yang dihasilkan oleh aliran angin, yang kemudian menggerakkan generator untuk menghasilkan arus listrik. Namun, fluktuasi alami dalam kecepatan dan arah angin dapat mengakibatkan variasi dalam produksi listrik, yang berpotensi mempengaruhi stabilitas jaringan listrik.[5]

### 2.6 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Sebuah pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan energi air sebagai tenaga penggerakannya, seperti melalui saluran irigasi, sungai, atau aliran air alami seperti air terjun, dimanfaatkan dengan

mengatur tinggi jatuh (*head*) dan debit air yang ada. Mikrohidro adalah istilah yang menggabungkan kata "mikro" yang mengindikasikan ukuran kecil dan "hidro" yang merujuk pada air. Dalam konteks teknis, mikrohidro terdiri dari tiga komponen utama: sumber air (sebagai sumber energi), turbin, dan generator. Energi yang dihasilkan oleh mikrohidro berasal dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Prinsip dasar mikrohidro adalah mengubah energi potensial jatuh air (*head*) menjadi energi listrik. Semakin besar perbedaan ketinggian air, semakin besar energi potensial yang dapat diubah menjadi energi listrik.[7]

### 2.7 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Pembangkit energi listrik dengan menggunakan mesin diesel sebagai penggerak utama (*prime mover*). *Prime mover* berfungsi sebagai perangkat yang menghasilkan energi mekanik yang diperlukan untuk memutar rotor pada generator. Pada pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), mesin diesel berperan sebagai *prime mover*. PLTD adalah jenis pembangkit energi listrik yang mengandalkan bahan bakar fosil dengan biaya yang lebih tinggi. Komponen-komponen utama dalam pembangkit listrik tenaga diesel meliputi penyimpanan bahan bakar, penyaring bahan bakar, penyimpanan sementara bahan bakar yang sudah disaring, pengabut, mesin diesel, turbo charger, penyaring gas pembuangan, tempat pembuangan gas yang sudah disaring, generator, trafo, dan saluran transmisi.[8]

### 2.8 Load Frequency Control

Dalam sistem tenaga listrik, pengendalian beban frekuensi, yang dikenal sebagai Load Frequency Control (LFC), berperan untuk mempertahankan konsistensifrekuensi, meratakan pembagian beban di antara generator, serta mengatur pertukaran daya pada tautan antar-sistem (*tie-line*). Pengendalian Beban Frekuensi memiliki signifikansi yang besar dalam sistem tenaga listrik karena jika frekuensi

normalnya adalah 50 Hertz dan frekuensi sistem turun di bawah 47,5 Hertz atau naik di atas 52,5 Hertz, terdapat potensi kerusakan pada sudu turbin yang dapat menyebabkan matinya generator. [7]

**3. METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Program Studi Teknik Elektro Kampus Bukit Jimbaran Universitas Udayana. Sumber data yang digunakan dalam penelitian capstone project ini diperoleh dari beberapa jurnal, artikel, karya ilmiah dari internet, buku-buku dan datasheet sampai menggunakan jenis data sekunder dan primer hingga dapat digunakan sebagai referensi

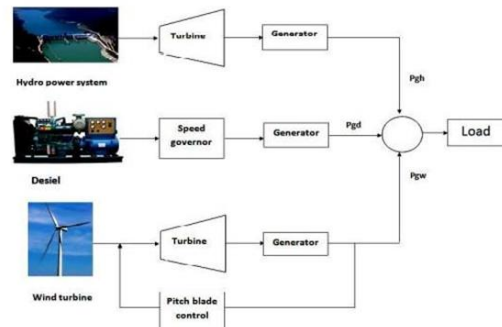
**3.1 Instrumen Penelitian**

Proses pengontrolan di dalam LFC, baik menggunakan ANFIS maupun FUZZY, diawali dengan menetapkan parameter awal seperti tipe membership function, error goal, dan epoch. Kemudian dilakukan proses training dan testing sampai ditemukan model data terbaik yang selanjutnya akan dibuat acuan dalam proses pengontrolan.

Tabel 1 Parameter System

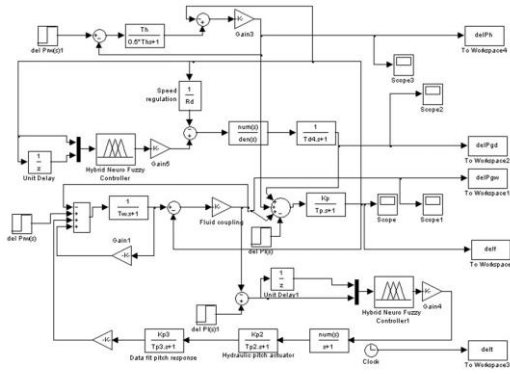
Singkatan	Parameter	Nilai parameter
Rd	Regulasi Kecepatan	5
Kd	Gain Diesel	0.3333
Td4	Time Diesel 4	3
Tw	Turbine Wind	4
Kig	Gain	0.9969
Kp	Gain daya	72
Tp	Waktu daya	14.4
Ktp	Gain	0.00333
Kpc	Gain Pitch controller	0.08
Kp1	Gain Pitch 1	1.25
Tp1	Turbine Pitch 1	0.6
Kp2	Gain Pitch 2	1
Tp2	Turbine Pitch 2	0.041
Kp3	Gain Pitch 3	1.4
Tp3	Turbine pitch 3	1
Kgh	Governor Hydro	0.2
Th	Turbine Hydro	1

Dalam konteks simulasi dengan menggunakan perangkat lunak seperti MATLAB, parameter simulasi mengacu pada nilai-nilai yang dapat dikonfigurasi untuk mengontrol berbagai aspek simulasi. Parameter ini mempengaruhi bagaimana simulasi berjalan dan memberikan pengguna kontrol atas beberapa karakteristik simulasi. Waktu simulasi Simulation Time parameter ini menentukan berapa lama simulasi akan berjalan. Pengguna dapat mengatur waktu simulasi



Gambar 1 Diagram Blok Skema Frekuensi Kontrol Menggunakan ELC

Dalam ilustrasi di atas, terlihat bahwa Algoritma Fuzzy berperan dalam menyetel parameter PI Controller agar diperoleh nilai parameter yang optimal. Parameter PI ini digunakan untuk mengatasi fluktuasi frekuensi yang timbul akibat perubahan beban. Output frekuensi dibandingkan dengan nilai frekuensi referensi untuk menghasilkan nilai error. Nilai error tersebut kemudian dijadikan input bagi sistem Fuzzy yang selanjutnya diatur untuk menghasilkan nilai Kp dan Ki guna penyetelan parameter PI pada kontroler. Meskipun begitu, nilai error juga diterapkan pada PI agar dapat mengoreksi nilai error dan mempercepat waktu naik (rise time) frekuensi.

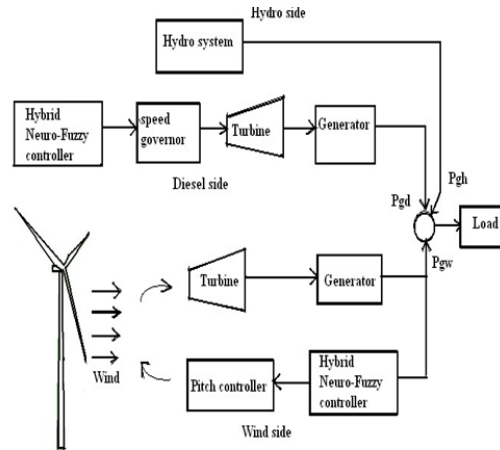


Gambar 2 Rancangan awal Model Simulink Sistem Hibrida Angin-Mikro-Diesel Dengan Pengontrolan berbasis Artificial Intelligence [9]

Pada intinya, model rangkaian simulink di atas menggabungkan tiga desain yang berjalan paralel dalam satu beban. Dua dari ketiga jenis pembangkit ini dilengkapi dengan kecerdasan buatan dalam bentuk metode Fuzzy dan metode ANFIS. Dengan demikian, setiap sistem kecerdasan buatan bertanggung jawab atas pengendalian pada bagian yang berbeda dari sistem tersebut, yaitu bagian diesel dan bagian angin. Pada bagian diesel, sistem kecerdasan buatan mengontrol operasi motor generator, sedangkan pada bagian angin, sistem kecerdasan buatan mengatur kontroler peach. Kontroler peach bertujuan untuk mencapai keseimbangan nilai frekuensi.

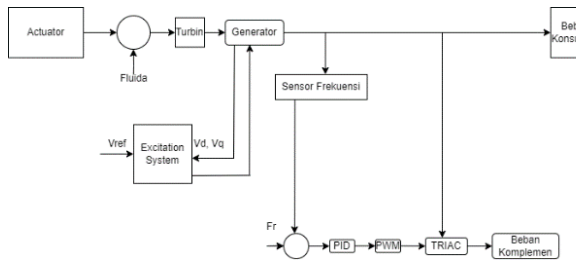
### 3.2 Perancangan Simulink

Merancang *Load Frequency Controller* (LFC) menggunakan aplikasi MATLAB melibatkan beberapa langkah penting. MATLAB adalah perangkat lunak yang sangat berguna dalam perancangan dan pengujian sistem kontrol.



Gambar 3 Wujud Angin Terisolasi [9]

Dalam skema Gambar 3 diatas dapat terlihat adanya tiga jenis pembangkit yang beragam jenisnya, yaitu hidro, diesel, dan angin. Ketiga pembangkit ini dihubungkan secara paralel ke suatu beban tunggal, dan frekuensinya dapat diukur untuk mengevaluasi stabilitasnya. Dua dari ketiga pembangkit ini dilengkapi dengan *Load Frequency Control* (LFC) yang diimplementasikan menggunakan metode ANFIS maupun metode FUZZY. Pada pembangkit diesel, kontrol frekuensi beban (LFC) bertugas mengatur kecepatan governor dari motor diesel. Sementara pada pembangkit angin, kontrol frekuensi beban diatur pada bagian speech controllernya, dan hasilnya diberikan sebagai umpan balik yang kemudian dikembalikan ke beban. Setelah umpan balik, frekuensi dapat diukur kembali sebelum dan sesudah governor diterapkan pada masing-masing pembangkit yang telah dilengkapi dengan kontrol frekuensi beban (LFC).



Gambar 4 Blok Diagram Pengontrol ELC

Prinsip pengendalian menggunakan *Electronic Load Controller* (ELC) memiliki tujuan untuk menjaga daya yang dihasilkan oleh generator selalu sejajar dengan daya yang dikonsumsi oleh konsumen, ditambah dengan daya yang dialirkan ke beban komplementer. Dengan demikian, tujuannya adalah untuk menjaga frekuensi tetap stabil.

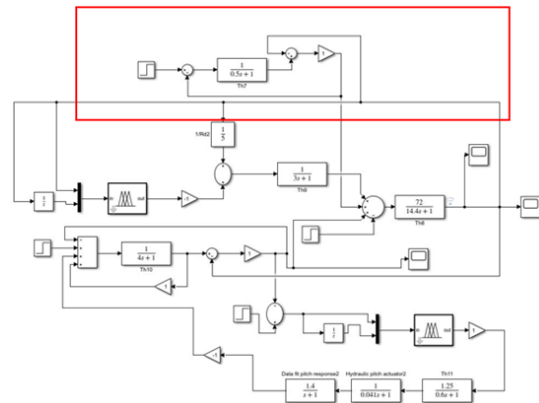
Diagram blok dari sistem pembangkit listrik hybrid tenaga angin mikrohidro diesel dengan kontroler Neuro-Fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 4. Meskipun daya yang masuk ke unit pembangkit tenaga angin tidak dapat dikendalikan dalam artian mengatur pembangkitan, namun pengontrol tambahan yang dikenal sebagai *Load Frequency Controller* (LFC) dapat mengendalikan pembangkitan unit diesel dan dengan cara ini mengatur sistem secara keseluruhan. Diagram blok fungsi transfer dari sistem *hybrid* ini mencakup LFC serta pengontrol *pitch blade* dengan pengontrol Neuro-Fuzzy berbasis ANFIS.



Gambar 5 Diagram Alir Proses Prediksi ANFIS

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.

##### 4.1 Rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Pada Design LFC



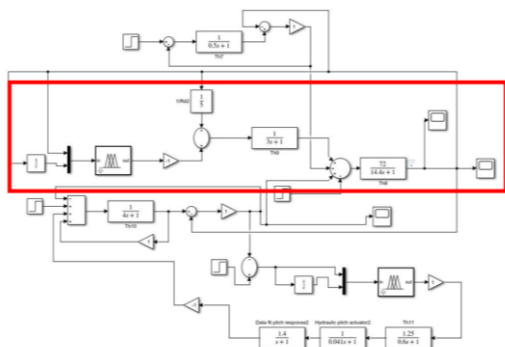
Gambar 6 PLTMH Design LFC



Gambar 6 menunjukkan pembagian yang merujuk ke LFC pada microhydro, *Load Frequency Controller* (LFC) pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro melibatkan beberapa komponen utama, seperti turbin dan governor, yang bekerja bersama untuk menjaga keseimbangan antara pembangkitan daya dan beban dalam jaringan listrik.

LFC pada pembangkit listrik mikrohidro akan menerima informasi dari governor tentang kecepatan turbin dan perubahan dalam pembangkitan daya. Jika terjadi deviasi frekuensi dari nilai referensi, LFC akan memberikan sinyal untuk mengatur governor agar mengambil langkah-langkah koreksi yang sesuai, seperti meningkatkan atau mengurangi pembangkitan daya dengan mengendalikan aliran air melalui turbin.

**4.2 Rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Pada Design LFC (Anfis)**



Gambar 7 PLTD Pada Design LFC (ANFIS)

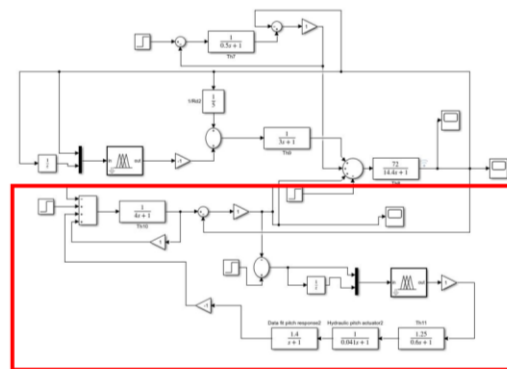
Ketika diterapkan pada pembangkit listrik tenaga diesel dengan *Load Frequency Controller* (LFC), ANFIS digunakan untuk mengontrol dan mempertahankan keseimbangan antara pembangkitan daya dan permintaan beban dalam jaringan listrik. Berikut adalah penjelasan ilmiah tentang cara kerja LFC dengan metode ANFIS pada setiap komponen penyusunnya dalam pembangkit listrik tenaga diesel

Siklus Umpan Balik Berkelanjutan: Seperti pada LFC konvensional, ANFIS juga bekerja dalam siklus umpan balik berkelanjutan. Setelah aksi koreksi diambil,

sensor akan terus memantau perubahan beban dan frekuensi. ANFIS akan terus melakukan evaluasi dan penyesuaian untuk menjaga keseimbangan antara pembangkitan dan beban.

Secara keseluruhan, metode ANFIS dalam LFC pada pembangkit listrik tenaga diesel menggabungkan pendekatan neural network dan logika Fuzzy untuk menghasilkan sistem kontrol yang adaptif dan cerdas dalam menjaga stabilitas frekuensi jaringan listrik.

**4.3 Rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Angin Pada Design LFC (Anfis)**



Gambar 8 Bermetode ANFIS

*Load Frequency Controller* (LFC) bermetode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) diterapkan pada pembangkit listrik tenaga angin untuk menjaga keseimbangan antara pembangkitan daya listrik dan permintaan beban dalam jaringan listrik. ANFIS menggabungkan konsep jaringan saraf tiruan (*neural network*) dengan logika Fuzzy untuk menciptakan sistem kontrol adaptif.

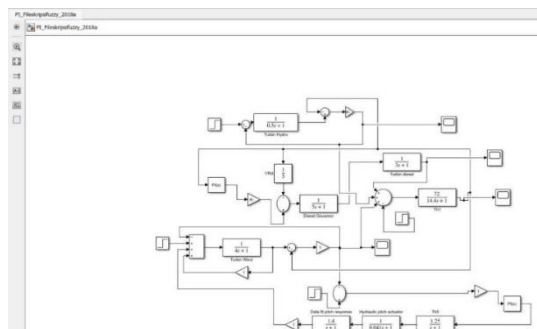
Pengendalian Aksi Koreksi: Keluaran dari jaringan saraf tiruan dalam ANFIS digunakan untuk mengatur sistem pengendalian yang mengendalikan pembangkitan daya atau kecepatan putaran turbin. Tindakan koreksi ini akan membantu menjaga keseimbangan frekuensi jaringan listrik.

Umpan Balik Berkelanjutan: Seperti LFC lainnya, sistem ANFIS juga bekerja dalam siklus umpan balik berkelanjutan. Setelah aksi koreksi diambil, sensor terus

memantau perubahan beban dan frekuensi. ANFIS akan terus melakukan evaluasi dan penyesuaian untuk menjaga keseimbangan antara pembangkitan dan beban.

**4.4 Simulink Matlab**

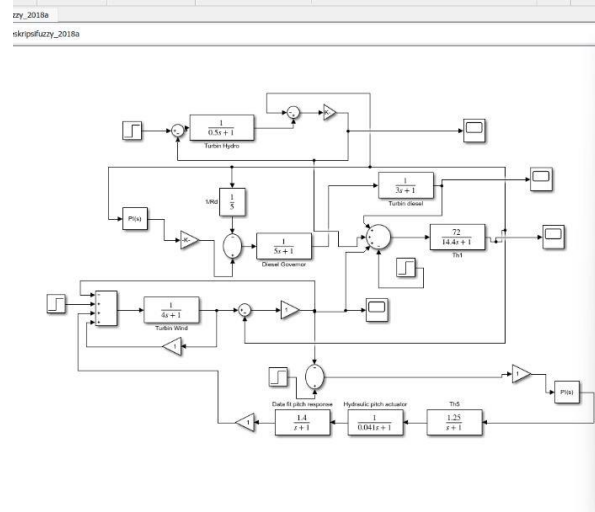
Simulink adalah penjabaran atau percobaan sederhana dari pembangkit yang akan didesign untuk mendapatkan gambaran awal yang diinginkan terhadap hasil dari percobaan yang kita inginkan, pertama kita harus menetapkan parameter yang akan dimasukkan kedalam permodelan simulink



Gambar 9 Simulink Matlab Menggunakan ANFIS

**4.5 Simulink Menggunakan PID**

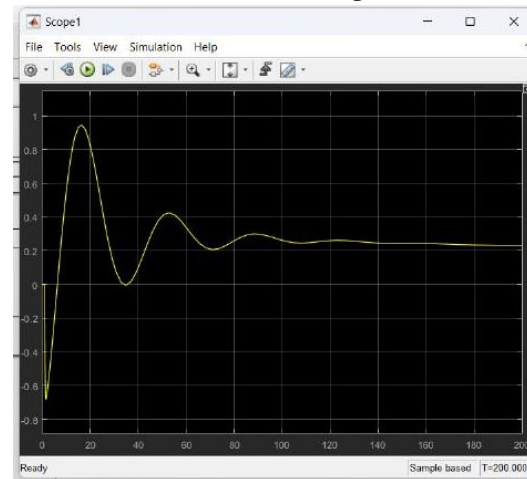
Load frequency Controller pada umumnya menggunakan controller PID. Analisis system pengendali PID dengan mengubah-ubah nilai Controller Parameter berupa P (*Proportional*), I (*Integral*), dan D (*Derivative*). Hal ini dilakukan untuk mengerahui seberapa besar efek perubahan nilai pada masing-masing parameter pengendali (P, I, dan D).



Gambar 10 Controller Parameter PID

Propotional : -0.5008  
Integral : -0.0023

**4.6 Hasil Simulink Dengan PID**



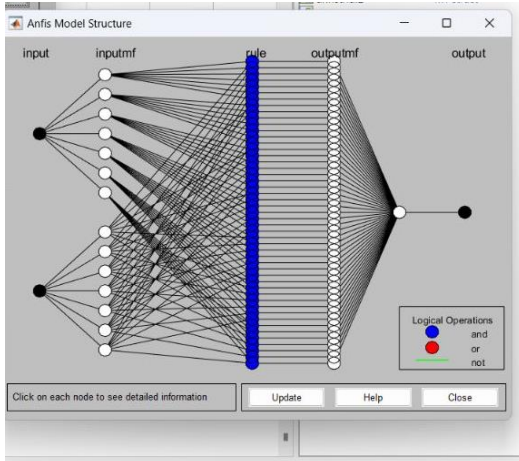
Gambar 11 Hasil Simulink Menggunakan PID

Terlihat pada grafik Gambar 11, *overshoot* yang didapatkan cukup besar, walaupun waktu respon cukup cepat, lalu perlahan lahan mendekati stabil pada 0.2 pada detik ke 151.

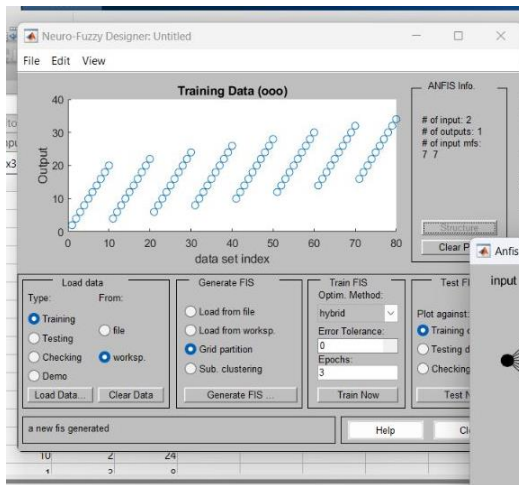
**4.7 Simulink Metode Anfis**

Pada *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) untuk *Load Frequency Controller* (LFC) dengan 2 input, pengaturan aturan atau rules akan melibatkan penentuan hubungan antara kombinasi nilai-nilai input dengan keluaran yang diinginkan.





Gambar 12 Visualisasi Struktur ANFIS



Gambar 13 Training Rules ANFIS

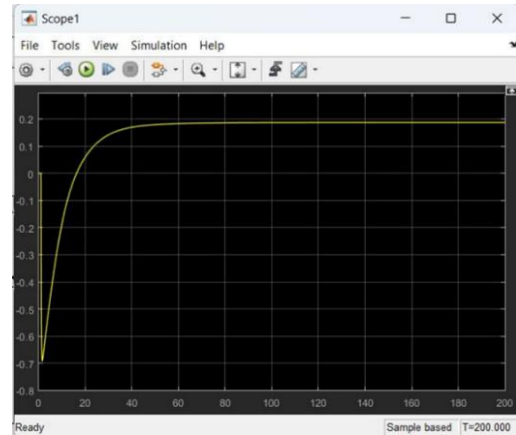
Mendefinisikan himpunan aturan dan bobot untuk setiap aturan yang ditentukan. Himpunan aturan mencakup kombinasi nilai keanggotaan yang aktif untuk setiap variabel masukan. Implementasikan ANFIS Setelah aturan dan bobot ditentukan, kita dapat mengimplementasikan.

ANFIS menggunakan algoritma pembelajaran yang sesuai. Ini melibatkan pelatihan ANFIS dengan menggunakan dataset yang mencakup nilai-nilai input dan keluaran yang relevan. Selama pelatihan, ANFIS akan mempelajari relasi antara masukan dan keluaran untuk mengoptimalkan penyesuaian bobot dan aturan Fuzzy.

**4.8 Hasil Simulasi ANFIS**

Berdasarkan hasil pengamatan kami, kami mendapatkan nilai yang lebih

baik dibandingkan Fuzzy, nilai undershoot yang dihasilkan jauh lebih rendah dibandingkan Fuzzy dan mendekati stabil di titik 0.19 pada detik ke 50



Gambar 14 Hasil Simulasi ANFIS

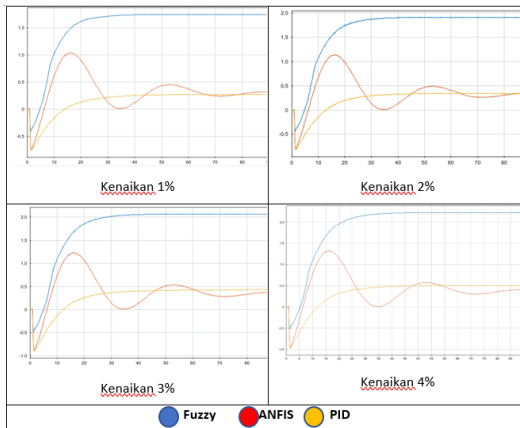
**4.9 Hasil Perbandingan Simulasi**

Tabel 2 Hasil Perbandingan Simulasi

	Steady State Error		
	PID	FUZZY	ANFIS
0%	0.2541	1.7841	0.552
1%	0.2543	1.7838	0.546
2%	0.3538	1.7834	0.538
3%	0.3534	1.7829	0.528
4%	0.3532	1.7825	0.517

Rise Time		
PID	FUZZY	ANFIS
1.14	12.26	19.17
1.13	12.39	19.48
1.09	13.4	19.09
0.99	14.08	18.56
0.87	14.88	18.08

Peak		
PID	FUZZY	ANFIS
0.945	0.95	0.96
0.941	1.75	0.88
1.364	1.91	1.36
2.04	2.07	2.05
2.72	2.23	2.73



Gambar 15 Hasil Grafik Perbandingan Kenaikan

Kurva yang dihasilkan oleh rangkaian simulink baik itu PID, ANFIS dan Fuzzy ditumpang tindih dalam 1 grafik, maka bisa dilihat berdasarkan grafik diatas bahwa PID membutuhkan waktu cukup lama dan overshoot yang cukup tinggi untuk bisa mencapai *steady state error*, berbeda dengan Fuzzy yang meskipun *steady state error*nya tidak di titik nol, waktu yang dibutuhkan relatif sedikit dan memiliki waktu tercepat untuk mencapai *steady state error*nya, sedangkan ANFIS memiliki nilai *steady state error* yang paling mendekati nol dan memiliki nilai *overshoot* yang paling sedikit.

## 5. KESIMPULAN

Kontroler Neuro-Fuzzy dirancang untuk mengendalikan frekuensi beban pada sistem tenaga hibrida hidro-diesel angin-mikro-diesel yang terisolasi, sehingga dapat mengatur deviasi frekuensi dan deviasi daya. Kontroler ini menggunakan arsitektur *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS), Hasil perbandingan kinerja makalah yang diusulkan menunjukkan bahwa sistem *Load Frequency Control* dengan aplikasi kontroler *Neuro-Fuzzy* berbasis ANFIS memiliki settling time yang cukup singkat. Hasil yang diperoleh dengan menggunakan kontroler *Neuro-Fuzzy* berbasis ANFIS lebih baik daripada kontroler PI konvensional dan kontroler logika fuzzy dengan algoritma pembelajaran hybrid. Keuntungan utama dari kontroler Neuro-

Fuzzy berbasis ANFIS adalah untuk mengendalikan deviasi frekuensi dan deviasi daya pada sistem pembangkit listrik tenaga angin-mikro-diesel hybrid, serta meningkatkan performa dinamis sistem. Pengontrol yang diusulkan terbukti efektif dan memberikan peningkatan yang signifikan dalam kinerja sistem dengan menggabungkan manfaat logika Fuzzy dan jaringan Neural. Pengontrol yang diusulkan terbukti dapat menjaga sistem tetap dapat diandalkan untuk perubahan beban mendadak.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lukman Hakim, S.Sos, MM. "Peranan Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence) dalam Pendidikan (2022) Fungsional PTP ahli Madya, Direktorat PPG.
- [2] Fendi Ferdiansyah "Teori Kontrol PID ( Proportional – Integral – Derivative ) Sultan Ageng Tirtayasa University Department Member
- [3] Kemendikbud. (2023). Peranan Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence) dalam Pendidikan. [http://repository.uinsu.ac.id/10772/1/DIKTAT%20KECERDASAN%20BUATAN%20EDISI%20REVISI%20I.pdf].
- [4] Noor Azizah, "Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) Untuk Prediksi Tingkat Layanan Jalan," Jurnal Dispotek, vol. 7, no. 1, pp. 98-111, Jan. 2019.
- [5] Mohamed El-Haddad, Abdullah Al-Muhtaseb, dan Mohamed Al-Karaghoul (2022) "Hybrid Power Systems: A Review of Current Status and Future Trends"
- [6] Agus, R., & Handoyo, W. (2023, Februari). "Desain Kendali Menggunakan Hybrid PID-BA untuk Mengatur Kecepatan Motor Induksi". Dalam Seminar Nasional Fortei7-4 Forum Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia Regional VII (pp. 1-6). Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.
- [7] Mochamad Andrik., & Mohamad Farul (2018). "Optimasi Load Frequency Control (LFC) Pada Sistem Pembangkit

Listrik Tenaga Mikro Hidro Berbasis PID Anfis". *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(1), 61-64.

[8] Andriani, H. (2023). Analisis Pengaruh Penggunaan Teknologi Augmented Reality Terhadap Hasil Belajar Matematika Siswa Sekolah Menengah Pertama. Bab 1. [repository.um-surabaya.ac.id/4075/2/BAB\_1.pdf].

[9] Setiawan, A. "Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Jurusan di SMA Menggunakan Metode SAW." *Jurnal Internasional Aplikasi Komputer* 42.6 (2012): 1-10.