

**PEMODELAN *ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM*
UNTUK RELAY DIFFERENSIAL TRANSFORMATOR DAYA 56 MVA DI
PLTG *MPP* TARAHAN**

(Skripsi)

Oleh

**NOVA TRI RAHMA ERWANTI
NPM 1715031014**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

PEMODELAN *ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM* UNTUK RELAY DIFFERENSIAL TRANSFORMATOR DAYA 56 MVA DI PLTG *MPP* TARAHAH

OLEH

NOVA TRI RAHMA ERWANTI

Abstrak-Transformator daya adalah salah satu peralatan penting dalam operasi sistem tenaga. Oleh karenanya, semakin meningkatnya kebutuhan energi listrik keandalan transformator daya harus terjaga. Transformator daya diperlengkapi dengan sistem proteksi yang berfungsi meminimalisir terjadinya kerusakan akibat gangguan, salah satu di antaranya adalah relay differensial. Sensitivitas kerja relay differensial terhadap gangguan yang terjadi pada transformator daya menjadi perhatian penting. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk pemodelan relay differensial berbasis sistem cerdas *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*. Studi kasus yang digunakan adalah transformator daya di Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) *Mobile Power Plant (MPP)* Tarahan. Simulasi kerja relay differensial pada berbagai kondisi gangguan internal dilakukan menggunakan perangkat lunak Matlab Simulink. Uji validasi data untuk berbagai kondisi gangguan sebelum dan sesudah digantikan oleh sistem cerdas *ANFIS* dilakukan dengan nilai total kesalahan kuadrat rata-rata (*root mean square error/RMSE*). Setelah dilakukan simulasi dan uji validasi, diperoleh hasil perbandingan nilai maksimum arus perbedaan dari masing-masing fasa di sisi primer dan sekunder transformator daya pada berbagai jenis gangguan sebelum dan sesudah digantikan oleh sistem cerdas *ANFIS* menghasilkan nilai total *RMSE* pada masing-masing fasa sebesar R=0,000004; fasa S=0,000015; dan fasa T=0,000003. Maka dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan pemodelan metode *ANFIS* yang dipilih dapat digunakan untuk menggantikan relay differensial original untuk memprediksi saat kondisi normal maupun saat diberikan gangguan internal.

Kata Kunci : Transformator Daya, Relay Differensial, Gangguan Internal, *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*, *Root Mean Square Error*

ABSTRACT

MODELING OF ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM FOR A 56 MVA POWER TRANSFORMER DIFFERENTIAL RELAY AT PLTG MPP TARAHAH

BY

NOVA TRI RAHMA ERWANTI

Abstract- The power transformer is one of the important equipments in the operation of the power system. Therefore, the increasing demand for electrical energy, the reliability of the power transformer must be maintained. The power transformer is equipped with a protection system that functions to minimize the occurrence of damage due to interference, one of which is a differential relay. The work sensitivity of differential relays to disturbances that occur in power transformers is an important concern. The purpose of this research is to model differential relays based on the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) intelligent system. The case study used is a power transformer at the Tarahan Mobile Power Plant (MPP) Gas Power Plant (PLTG). Differential relay working simulation on various internal fault conditions was carried out using Matlab Simulink software. Data validation tests for various disturbance conditions before and after being replaced by the ANFIS intelligent system were carried out with the root mean square error (RMSE). After simulation and validation tests have been carried out, the results of the comparison of the maximum value of the difference current of each phase on the primary and secondary sides of the power transformer on various types of faults before and after being replaced by the ANFIS intelligent system produce a total RMSE value for each phase of R = 0.000004; phase S=0.000015; and phase T=0.000003. So from these results it can be concluded that the modeling of the selected ANFIS method can be used to replace the original differential relay to predict when conditions are normal or when an internal fault is given.

Keywords: Power Transformer, Differential Relay, Short Circuit Interference, Fuzzy Inference System, Root Mean Square Error

**PEMODELAN *ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM*
UNTUK RELAY DIFFERENSIAL TRANSFORMATOR DAYA 56 MVA DI
PLTG MPP TARAHAN**

Oleh

NOVA TRI RAHMA ERWANTI

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : **PEMODELAN ADAPTIVE NEURO-FUZZY
INFERENCE SYSTEM UNTUK RELAY
DIFFERENSIAL TRANSFORMATOR DAYA 56
MVA DI PLTG MPP TARAHAN**

Nama Mahasiswa : **Nova Tri Rahma Erwanti**


Nomor Pokok Mahasiswa : 1715031014


Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI


1. Komisi Pembimbing


**Dr. Eng. Ir. Dikpride Despa, S.T.,
M.T., IPM., ASEAN Eng**
NIP. 19720428 199803 2 001


Osea Zebua, S.T., M.T.
NIP. 19700609 199903 1 002

2. Mengetahui

Ketua Jurusan
Teknik Elektro


Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 19710314 199903 2 001

Ketua Program Studi
Teknik Elektro


Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.
NIP. 19740422 200012 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Eng. Ir. Dikpride Despa, S.T.,
M.T., IPM., ASEAN Eng**



Sekretaris : **Osea Zebua, S.T., M.T.**



Penguji : **Herri Gusmedi, S.T., M.T.**



Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP. 19750928 200112 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **13 Juni 2022**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak ada terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar lampung, 21 Juni 2022

Penulis,



Nova Tri Rahma Erwanti

NPM. 1715031014

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Lampung Tengah, pada tanggal 09 Maret 1999. Penulis merupakan anak Ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Ayah Ersofyan dan Ibu Yuliyanti.

Riwayat pendidikan formal penulis dimulai di TK Satya Dharma Sudjana, Lampung Tengah dari tahun 2003-2005. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan dasar di SDN 1 Gunung Madu, Lampung Tengah dari tahun 2005-2011, SMP Satya Dharma Sudjana Lampung Tengah dari tahun 2011-2014, dan SMAN 10 Bandar Lampung pada tahun 2014 hingga tahun 2017.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, pada tahun 2017 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis berkesempatan menjadi asisten praktikum Fisika Dasar, Instrumentasi dan Pengukuran, dan Rangkaian Listrik di Laboratorium Pengukuran Besaran Listrik. Penulis juga terdaftar sebagai anggota Dept. Pengembangan Keteknikan Himatro Unila Periode 2018 dan anggota Dept. Komunikasi dan Informasi Himatro Unila Periode 2019. Penulis juga pernah mengikuti kegiatan riset Unila Robotika dan Otomasi pada tahun 2018-2019 dan menjadi anggota tim pada bagian Elektronika dalam Kontes Robotik Pemadam Api Indonesia (KRPAI). Kemudian, penulis pernah menjadi Sekretaris Dinas Komunikasi dan Informasi BEM FT Periode 2020. Penulis melaksanakan kerja praktik di PLN Unit Layanan Pelanggan (ULP) Bandar Jaya dengan mengangkat judul “Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat Untuk Memprediksi Lokasi Terjadinya Gangguan Pada Penyulang Utari Di PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Bandar Jaya”



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Karya ini kupersembahkan untuk

Ayahanda dan Ibunda Tercinta

Ersofyan & Yuliyanti

Abang dan Kakakku Tersayang

Nofin Erdiantama

Rejani Erwanda

Keluarga Besar, Dosen, Teman, dan Almamater

MOTTO

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۗ

(Q.S Asy-Syarah : 5-6)

“Allah *lihat*. Allah *dengar*. Allah *tau*. Allah *peduli*. Allah *adil*”

“Jadikanlah **sabar dan salat** sebagai penolongmu. Sesungguhnya Allah bersama orang-orang yang **sabar**”

(QS. Al Baqarah: 153)

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT atas nikmat kesehatan dan kesempatan yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir ini. Sholawat serta salam selalu penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suri teladan bagi umat manusia. Tugas Akhir dengan judul “Pemodelan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* untuk Relay Differensial Transformator Daya 56 MVA di PLTG *MPP Tarahan*” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Karomani, M.Si. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung.
4. Ibu Dr.Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
5. Ibu Dr. Eng. Ir. Dikpride Despa, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng selaku Pembimbing Utama yang memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah.
6. Bapak Osea Zebua, S.T., M.T. selaku Pembimbing Pendamping yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dengan baik dan ramah.
7. Bapak Herri Gusmedi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik yang membangun serta saran yang sangat baik kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini.

8. Bapak Dr. Eng. Charles Ronald Harahap, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing Akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, dan bimbingan yang membangun bagi penulis dalam mempersiapkan diri menjadi seorang Sarjana Teknik.
9. Segenap Dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman yang sangat berarti bagi penulis.
10. Segenap Staff di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi dan hal – hal lainnya terutama Mbak Nurul.
11. Ayahanda Ersofyan dan Ibunda Yuliyanti Tercinta, serta abang Nofin Erdiantama dan kakak Rejani Erwanda tersayang. Terima kasih atas kasih sayang, dukungan, serta do'a yang selalu diberikan kepada penulis.
12. Kepala Lab Pengukuran Besaran Listrik Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T. dan Teknisi Lab Bapak Baiqodar, serta segenap Asisten Lab PBL 2017 (Ayu, Alfandi, Fawwaz, Hendri, Fadhel, Reza, Dipa.
13. Kawan-kawan yang sudah menjadi tempat persinggahan penulis selama kuliah, khususnya (Nurul, Chindy, Ayu, Revi, Yuniar).
14. Sahabat-sahabat lama dari SDN 1 Gunung Madu (Chindy, Nurul, Adit, Roby, Gading, Reza dll) atas hiburan-hiburan kecilnya.
15. Kawan-kawan BEM FT Periode 2020 (Widya, Revi, Atika, Indah, Ria, Beti, Nando, Anggista, Reksa, Andre, Farras, Danar, Rizki) untuk kerjasamanya selama kepengurusan.
16. Keluarga online Family Inventra LMD 206 (Teh Marwah, Teh Qisti, Teh Eva, Teh Eka, Teh Ayu, Teh Sophie, Teh Thifala, Teh Natasya, Teh Sentia, Teh Oca, Kang Omar, Kang Taufiq, Kang Ickhsan, Kang Ari, Kang Ali) atas waktu, kerjasama, dan kebersamaannya yang tidak terasa sudah 1 tahun lebih, dan semoga disegerakan bertemu.
17. Angkatan tercinta HIRO 2017 terima kasih sudah menjadi keluarga selama awal kuliah sampai saat ini.
18. Keluarga Besar HIMATRO yang telah mengajarkan banyak ilmu dan pengalaman selama berkuliah.
19. Seluruh pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran konstruktif dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 21 Juni 2022

Nova Tri Rahma Erwanti

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xx
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	2
1.3. Manfaat Penelitian.....	2
1.4. Rumusan Masalah	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Hipotesis.....	3
1.7. Sistematika Penulisan.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Penelitian Terkait	5
2.2. Landasan Teori	6
2.2.1. Transformator Daya.....	6
2.2.2. Gangguan pada Transformator Daya	6
2.2.3. Relay Differensial	7
2.2.4. <i>Fuzzy Inference System (FIS)</i>	7
2.2.5. Metode <i>Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)</i>	8
2.2.6. Parameter <i>ANFIS</i>	8
2.2.7. Arsitektur <i>ANFIS</i>	9
III. METODOLOGI PENELITIAN	11
3.1. Waktu dan Tempat	11
3.2. Alat dan Bahan.....	11
3.3. Prosedur Penelitian.....	13

3.3.1.	Studi Literatur	13
3.3.2.	Studi Bimbingan	13
3.3.3.	Pengambilan Data	14
3.3.4.	Pengujian Data	14
3.3.5.	Analisa Data	15
3.3.6.	Penyelesaian Skripsi.....	15
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	16
4.1.	Perancangan Sistem.....	16
4.2.	Hasil Simulasi.....	21
4.2.1.	Kondisi normal.....	21
4.2.2.	Kondisi gangguan internal	22
4.3.	Data masukan <i>ANFIS</i>	33
4.4.	Perancangan pemodelan <i>ANFIS</i>	34
4.4.	Hasil dan Analisis.....	37
4.4.1.	Kondisi Normal.....	38
4.4.2.	Kondisi Gangguan Internal	39
V.	PENUTUP.....	54
5.1.	Kesimpulan.....	54
5.2.	Saran	54
	DAFTAR PUSTAKA	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gangguan didaerah pengaman pada transformator daya[5].....	7
Gambar 2. 2 Arsitektur <i>ANFIS</i> [13]	9
Gambar 3. 1 Diagram alir tahapan penelitian	13
Gambar 3. 2 Diagram alir tahapan pengujian data.....	14
Gambar 4. 1 Rangkaian Sistem.....	17
Gambar 4. 2 Rangkaian Subsistem	18
Gambar 4. 3 Belitan Hubung Delta[14]	19
Gambar 4. 4 Belitan Hubung Wye[14]	20
Gambar 4. 5 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat keadaan normal.....	21
Gambar 4. 6 Kondisi tegangan sisi primer dan sekunder saat keadaan normal....	21
Gambar 4. 7 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 3 phasa (R-S-T).....	22
Gambar 4. 8 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 3 phasa (R-S-T)	23
Gambar 4. 9 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa-ground (R-S-G).....	24
Gambar 4. 10 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa-ground (R-S-G).....	24
Gambar 4. 11 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa-ground (S-T-G)	25
Gambar 4. 12 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa-ground (S-T-G)	25
Gambar 4. 13 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa-ground (R-T-G).....	25

Gambar 4. 14 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa-ground (R-T-G).....	26
Gambar 4. 15 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa (R-S).....	27
Gambar 4. 16 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa (R-S).....	27
Gambar 4. 17 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa (S-T).....	28
Gambar 4. 18 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa (S-T).....	28
Gambar 4. 19 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa (R-T).....	28
Gambar 4. 20 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa (R-T).....	29
Gambar 4. 21 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 1 phasa-ground (R-G).....	30
Gambar 4. 22 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 1 phasa-ground (R-G).....	30
Gambar 4. 23 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 1 phasa-ground (S-G).....	31
Gambar 4. 24 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 1 phasa-ground (S-G).....	31
Gambar 4. 25 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 1 phasa-ground (T-G).....	31
Gambar 4. 26 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 1 phasa-ground (T-G).....	32
Gambar 4. 27 Struktur Pelatihan <i>ANFIS</i>	35
Gambar 4. 28 <i>Rules ANFIS</i>	36
Gambar 4. 29 Hasil pelatihan data <i>ANFIS</i> dengan menggunakan <i>gbellmf</i>	37
Gambar 4. 30 Relay Differensial dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	37
Gambar 4. 31 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat keadaan normal dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	38

Gambar 4. 32 Kondisi tegangan sisi primer dan sekunder saat keadaan normal dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	38
Gambar 4. 33 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 3 phasa dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	39
Gambar 4. 34 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 3 phasa dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	39
Gambar 4. 35 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa-ground (R-S-G) dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	40
Gambar 4. 36 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa-ground (R-S-G) dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	40
Gambar 4. 37 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa-ground (S-T-G) dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	41
Gambar 4. 38 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa-ground (S-T-G) dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	41
Gambar 4. 39 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa-ground (R-T-G) dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	41
Gambar 4. 40 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa-ground (R-T-G) dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	42
Gambar 4. 41 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa (R-S) dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	43
Gambar 4. 42 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa (R-S) dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	43
Gambar 4. 43 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa (S-T) dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	44
Gambar 4. 44 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa (S-T) dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	44
Gambar 4. 45 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa (R-T) dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	44
Gambar 4. 46 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 2 phasa (R-T) dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	45
Gambar 4. 47 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 1 phasa-ground (R-G) dengan menggunakan <i>ANFIS</i>	46

- Gambar 4. 48 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 1 phasa-ground (R-G) dengan menggunakan *ANFIS*..... 46
- Gambar 4. 49 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 1 phasa-ground (S-G) dengan menggunakan *ANFIS* 47
- Gambar 4. 50 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 1 phasa-ground (S-G) dengan menggunakan *ANFIS* 47
- Gambar 4. 51 Kondisi arus disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 1 phasa-ground (T-G) dengan menggunakan *ANFIS*..... 47
- Gambar 4. 52 Kondisi tegangan disisi primer dan sekunder saat gangguan hubung singkat 1 phasa-ground (T-G) dengan menggunakan *ANFIS*..... 48
- Gambar 4. 53 Diagram perbandingan nilai maksimum I_d saat sebelum dan sesudah digantikan dengan pemodelan sistem cerdas *ANFIS* pada phasa R. 49
- Gambar 4. 54 Diagram perbandingan nilai maksimum I_d saat sebelum dan sesudah digantikan dengan pemodelan sistem cerdas *ANFIS* pada phasa S . 51
- Gambar 4. 55 Diagram perbandingan nilai maksimum I_d saat sebelum dan sesudah digantikan dengan pemodelan sistem cerdas *ANFIS* pada phasa T . 52

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data transformator daya.....	11
Tabel 4. 1 Data masukan pada pelatihan <i>ANFIS</i>	33
Tabel 4. 2 Parameter pelatihan <i>ANFIS</i>	34
Tabel 4. 3 Nilai <i>RMSE</i> pada phasa R	50
Tabel 4. 4 Nilai <i>RMSE</i> pada phasa S.....	51
Tabel 4. 5 Nilai <i>RMSE</i> pada phasa T	53

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian yaitu Pembangkit, Transmisi, dan Distribusi. Seiring pertumbuhan penduduk yang semakin pesat, maka konsumen listrik juga berkembang pesat. Perkembangan konsumen yang pesat ini berujung pada penambahan sejumlah besar unit pada pembangkit, saluran transmisi dan jaringan distribusi. Hal ini memang sesuai dengan kemajuan teknologi sekarang ini dimana telah banyak kegiatan tergantung terhadap tenaga listrik yang berarti kebutuhan tenaga listrik semakin meningkat. Hal ini menimbulkan bagaimana cara mengatasi keandalan sistem tenaga listrik dan juga peralatan operasional, terutama yang ada di pembangkit harus dijaga keandalannya dari kerusakan yang diakibatkan oleh gangguan-gangguan di sekitar peralatan tersebut.

Pada sistem pembangkit, terdapat peralatan transformator daya yang merupakan peralatan terpenting dalam sistem tenaga listrik. Transformator daya sendiri perlu mendapatkan perlindungan dan pemeliharaan khusus, agar tetap terjaga kehandalan kinerjanya dengan baik, serta untuk meminimalisir terjadinya kerusakan komponen akibat gangguan yang dapat terjadi kapan saja. Gangguan yang terjadi pada transformator daya dapat diakibatkan dari beberapa faktor, khususnya adanya gangguan internal yang berada didalam wilayah proteksi.

Salah satu bentuk perlindungan pada transformator daya, yaitu dengan adanya sistem proteksi atau pengaman yang berguna untuk memisahkan dan melindungi daerah yang tidak terkena gangguan dari daerah yang terkena gangguan, sehingga

tidak mengakibatkan kerusakan yang lebih parah. Sistem proteksi yang digunakan yaitu, relay differensial yang merupakan proteksi paling penting pada transformator daya. Relay differensial merupakan proteksi yang mampu bekerja tanpa harus melakukan koordinasi dengan relay proteksi lainnya. Oleh sebab itu, sistem proteksi relay differensial harus memiliki sensitivitas dan kinerja yang cepat untuk mengenali adanya gangguan internal apabila telah melebihi arus *setting* untuk arus differensialnya, sehingga tidak menyebabkan kerusakan yang lebih parah pada unit transformator daya.

Berdasarkan pemaparan diatas, penulis berupaya melakukan penelitian untuk pemodelan relay differensial berbasis sistem cerdas *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)* yang mampu mengenali adanya gangguan internal pada peralatan transformator daya. Metode *ANFIS* merupakan gabungan dari dua metode hibrid cerdas, yaitu metode *Neural Network (NN)* dan metode *Fuzzy Logic*.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut :

1. Untuk membuat pemodelan relay differensial berbasis sistem cerdas *ANFIS* dengan menggunakan *Software Matlab*.
2. Untuk mengetahui hasil pengujian validasi data pada transformator daya saat terjadinya gangguan internal sebelum dan sesudah digantikan dengan menggunakan sistem cerdas *ANFIS*.
3. Untuk mengetahui hasil nilai *RMSE* dari pemodelan *ANFIS* untuk masing-masing fasa.

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah hasil perancangan Simulink dapat menjadi bahan referensi mahasiswa untuk mengembangkan penelitian ini dengan menyesuaikan pada data yang dimiliki.

1.4. Rumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dari penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana pemodelan relay differensial berbasis sistem cerdas *ANFIS* dengan menggunakan *Software* Matlab?
2. Bagaimana hasil pengujian validasi data pada transformator daya saat terjadinya gangguan internal sebelum dan sesudah digantikan dengan menggunakan sistem cerdas *ANFIS*?

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini yaitu hanya terbatas pada pemodelan *ANFIS* untuk relay differensial terhadap gangguan internal pada peralatan transformator daya dengan menggunakan pemodelan relay differensial berbasis sistem cerdas *ANFIS* saat diberi gangguan internal pada rangkaian sistem.

1.6. Hipotesis

Pada penelitian ini akan dilakukan uji validasi sistem pemodelan *ANFIS* untuk relay differensial transformator daya menggunakan *software* Matlab, untuk mendapatkan hasil pemodelan *ANFIS* yang baik dalam memprediksi adanya gangguan pada relay differensial dengan tingkat akurasi yang tinggi.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, dan sistematika penulisan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab kedua ini berisi tentang penelitian terkait yang menjadi landasan diambilnya pembahasan untuk penelitian ini, sekaligus berisi tentang materi dan teori dasar yang terkait dengan pembahasan dalam penelitian ini.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ketiga ini berisi tentang langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab keempat ini berisi tentang hasil yang didapat dari penelitian, pembahasan, dan analisa yang dilakukan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan.

V. PENUTUP

Bab kelima ini berisi tentang kesimpulan yang ditarik dari analisa dan pembahasan berdasarkan hasil yang didapat dari penelitian, serta saran yang diberikan penulis untuk dapat dijadikan acuan dalam pengembangan penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Ribin Mohammed dan Abdulkadir Cakir membahas mengenai relay differensial untuk proteksi generator winding Stator dengan menggunakan algoritma *ANFIS*. Tujuan dalam penelitian tersebut yaitu untuk mendeteksi kesalahan pada belitan Stator dari generator serta menentukan kesalahan dan mengklasifikasikan jenis kesalahan. Kelebihan dari penelitian ini yang penulis dapati, yaitu *ANFIS* dapat berhasil mendeteksi kesalahan relay differensial pada belitan Stator generator dalam keadaan terjadinya gangguan dengan diberi beberapa jenis gangguan[1].

Selanjutnya, terdapat penelitian yang dilakukan oleh Ferdian Ronilaya yang membahas mengenai desain dan simulasi relay differensial pada sebagai pengaman trafo 60 MVA di GI Banaran berbasis *fuzzy logic controller*. Tujuan dari penelitian tersebut untuk mendapatkan penanganan yang tepat dan handal, fast respon, selektivitas tinggi untuk pengaman relai differensial berdasarkan tanggapan sistem *fuzzy logic controller* terhadap beberapa perlakuan yang diberikan. Kelebihan dari penelitian ini, yaitu relay differensial dapat memberikan respon cepat untuk melakukan trip saat adanya gangguan dengan bantuan sistem *fuzzy* itu sendiri[2].

Kemudian, penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Azriyenni Azhari dan Hari Firdaus membahas mengenai pemodelan relay differensial pada transformator daya dengan menerapkan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*. Tujuan dari penelitian tersebut untuk memprediksi jenis gangguan internal dan

gangguan eksternal. Kelebihan dari penelitian ini yaitu, hasil yang diperoleh dari simulasi tersebut akurat dan menunjukkan bahwa teknik *ANFIS* merupakan metode yang efisien dengan memberikan *error* yang lebih kecil dan nilai yang besar. Selain itu, teknik ini dapat meminimalkan kesalahan yang terjadi pada transformator daya[3].

Penelitian ini, penulis melakukan penelitian dengan membuat pemodelan sistem cerdas *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)* pada relay differensial transformator daya yang terbukti dapat menunjukkan kinerja yang baik dalam memodelkan banyak aktivitas, pembelajaran kompetensi yang sangat baik dan pengklasifikasian sehingga dapat memperbarui banyak sistem [4]. Pada penelitian ini yang membedakan dari penelitian sebelumnya yaitu terletak pada lokasi pengambilan data, selain itu pada penelitian ini penulis menambahkan jenis gangguan internal pada wilayah proteksi, dan untuk pelatihan pada *ANFIS* menggunakan data arus differensial yang merupakan hasil dari simulasi keadaan normal dan dalam kondisi gangguan internal.

2.2. Landasan Teori

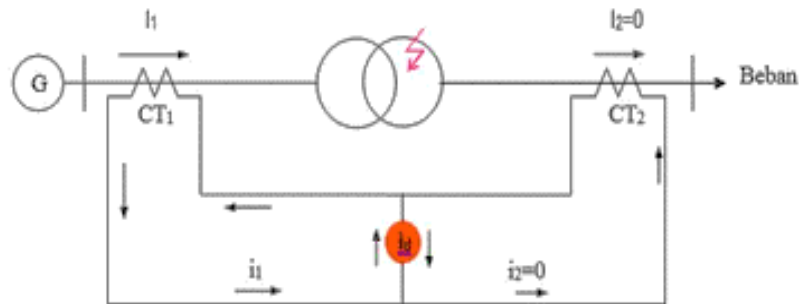
2.2.1. Transformator Daya

Transformator daya merupakan peralatan terpenting yang ada pada sistem tenaga listrik. Transformator daya berfungsi untuk menurunkan dan menaikkan tegangan, serta untuk menyalurkan daya listrik dari tegangan rendah ke tegangan tinggi begitupun sebaliknya. Dalam proses kinerja tentu saja tidak terlepas dari adanya gangguan yang sering terjadi pada transformator daya, baik dari gangguan dalam daerah pengamanan transformator daya maupun gangguan dari luar daerah pengamanan terhadap transformator daya.

2.2.2. Gangguan pada Transformator Daya

Gangguan merupakan kondisi ketidaknormalan yang terjadi salah satunya pada sistem tenaga listrik, dimana arus yang mengalir mengalami ketidakseimbangan

untuk sampai ke beban. Pada penelitian ini, membahas terkait gangguan internal yang terjadi pada transformator daya. Gangguan internal merupakan gangguan yang bersumber dari dalam transformator itu sendiri, dengan beberapa penyebab gangguannya yaitu terjadi gangguan hubung singkat, gangguan sistem pendinginan, terjadinya busur api dan pemanasan lokal. Berikut ini Gambar 2.1 yang menunjukkan posisi gangguan berada pada daerah pengaman transformator daya.



Gambar 2. 1 Gangguan didaerah pengaman pada transformator daya[5]

2.2.3. Relay Differensial

Relay differensial merupakan bagian penting dalam transformator daya sebagai sistem proteksi utama apabila timbulnya gangguan khususnya pada belitan transformator. Posisi relay differensial berada pada 2 trafo arus yaitu CT_1 dan CT_2 . Prinsip kerja relay differensial adalah membandingkan arus disisi primer dan disisi sekunder pada transformator[6][3]. Saat keadaan normal, maka kedua arus tersebut menghasilkan perbedaan 0, namun apabila mengalami gangguan didalam wilayah proteksi maka akan mengalami perbedaan yang berlebih pada masing-masing sisi trafo[7][8].

2.2.4. Fuzzy Inference System (FIS)

Fuzzy Inference System atau Sistem Inferensi Fuzzy merupakan salah satu cara yang tepat untuk menyelesaikan suatu permasalahan dengan memetakan suatu ruang *input* kedalam ruang *output* dengan keluaran nonlinear menggunakan *fuzzy logic*[5][6]. Dalam penerapannya untuk menyelesaikan suatu ruang permasalahan yang sulit didefinisikan dengan model matematis, *fuzzy inference system*

memanfaatkan *fuzzy logic* untuk memformalkan proses penalaran bahasa manusia, yaitu dengan aturan *IF-THEN*[5].

Fuzzy inference system memiliki beberapa tipe yang biasa digunakan, yaitu :

1. *Fuzzy Inference System (FIS) Mamdani*.
2. *Fuzzy Inference System (FIS) Takagi-sugeno*.
3. *Fuzzy Inference System (FIS) Tsukamoto*; dan
4. *Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS)*

Pada penelitian ini digunakanlah metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)* yaitu pengembangan dari *FIS* itu sendiri. Penulis menggunakan metode tersebut untuk mendapatkan pemodelan *ANFIS* terbaik yang dapat memprediksi adanya gangguan internal apabila arus perbedaan dari kedua sisi setelah digantikan dengan menggunakan sistem cerdas *ANFIS* hampir mendekati nilai arus perbedaan saat simulasi sebelum digantikan oleh sistem cerdas *ANFIS*.

2.2.5. Metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

Metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* merupakan gabungan dari dua metode hibrid cerdas, yaitu metode *Neural Network (NN)* dan metode *Fuzzy Logic*[3][9]. *ANFIS* dapat diterapkan secara luas dalam pemodelan, pengambilan keputusan, pemrosesan sinyal, dan kontrol. Oleh karena itu, *ANFIS* merupakan salah satu jenis *multilayer perceptron* untuk memperbaiki jaringan, menggunakan algoritma pembelajaran jaringan saraf tiruan dan penalaran *fuzzy logic* yang direpresentasikan *input* ke *output*. Kemampuan verbal untuk menyatukan nilai sistem *fuzzy logic* dengan nilai numerik *neural network adaptive*[4][10].

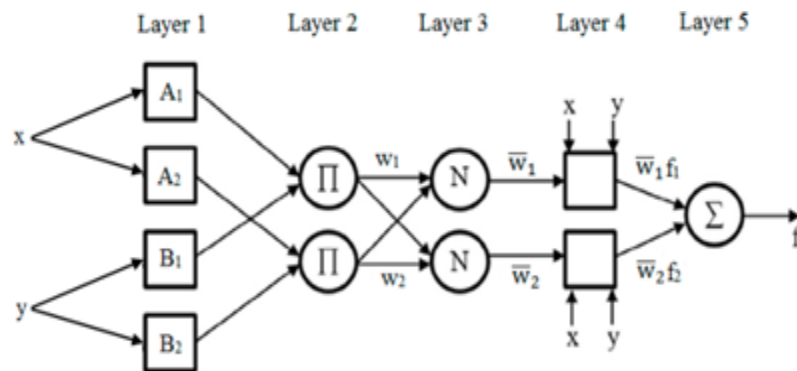
2.2.6. Parameter ANFIS

ANFIS dapat memperbaharui parameter-parameternya menurut aturan pembelajaran hibrid cerdas yang terbagi menjadi dua parameter, yaitu parameter premis dan parameter konsekuen. Pembelajaran *ANFIS* mengubah parameter fungsi keanggotaan *input* dan *output*. Pembelajaran *ANFIS* dapat menggunakan algoritma propagasi balik atau algoritma hibrid. Algoritma hibrid merupakan gabungan dari algoritma *backpropagation* dan metode *least square* (estimasi kuadrat terkecil).

Metode kuadrat terkecil digunakan untuk menentukan parameter konsekuensi, sedangkan propagasi mundur digunakan untuk memperbarui bobot premis[11][12].

2.2.7. Arsitektur ANFIS

Arsitektur ANFIS diasumsikan dengan dua *input* x dan y dan satu *output* z . Selain itu, dalam arsitektur ANFIS terdiri dari 5 *layer* dengan fungsi yang berbeda-beda untuk setiap *layer*. Berikut ini pada Gambar 2.2 yang menunjukkan arsitektur ANFIS [2]:



Gambar 2. 2 Arsitektur ANFIS[13]

Seperti terlihat pada Gambar 2.3, *layer* yang berbentuk kotak adalah *layer* yang bersifat adaptif. Sedangkan yang berbentuk lingkaran adalah bersifat tetap. Setiap *output* dari masing-masing *layer* disimbolkan dengan $O_{l,i}$ dengan i adalah urutan simpul atau *node* dan l adalah menunjukkan urutan *layer*[12]. Adapun penjelasan dari Gambar 2.3 adalah sebagai berikut[3][4][2]:

Layer 1: Fuzzifikasi

Setiap *node* pada *layer* ini adalah *node* adaptif (parameter dapat berubah). Berikut ini persamaan untuk *layer* 1 :

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \quad \text{dimana } i = 1,2 \quad (1)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y), \quad \text{dimana } i = 3 \quad (2)$$

Layer 2: Rule

Setiap *node* pada *layer* ini adalah nonadaptif (parameter tetap). *Output* yang didapat adalah hasil perkalian (Operator *AND*) dari semua *input* untuk *layer* ini. Berikut ini persamaan untuk *layer* 2 :

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y), \quad \text{dimana } i = 1,2 \quad (3)$$

Layer 3: Normalisasi

Setiap *node* pada *layer* ini adalah *node* nonadaptif (parameter tetap). *Output* pada *layer* ini disebut fungsi derajat pengaktifan ternormalisasi, yaitu rasio *node output* ke-*i* pada *layer* sebelumnya terhadap seluruh *output layer* sebelumnya. Berikut ini persamaan untuk *layer* 3 :

$$O_{3,i} = \overline{w}_i = \frac{w_i}{w_1+w_2} \quad \text{dimana } i = 1,2 \quad (4)$$

Layer 4: Defuzzifikasi

Setiap *node* pada *layer* ini adalah *node* adaptif (parameter dapat berubah). Setiap *node* dikalikan dengan parameter *p, q, r*. Berikut ini persamaan untuk *layer* 4 :

$$O_{4,i} = \overline{w}_i f = \overline{w}_i (p_1x + q_1y + r_1) \quad (5)$$

Layer 5: Neuron Addition

Setiap *node* pada *layer* ini adalah *node* nonadaptif (parameter tetap). Pada *layer* ini hanya ada satu *node*. *Node* tunggal menghitung *output* keseluruhan sebagai menjumlahkan semua *input*. Berikut ini persamaan untuk *layer* 5 :

$$O_{5,i} = \sum \overline{w}_i f_i = \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2} \quad (6)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Pengambilan data dilakukan di Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) *Mobile Power Plant (MPP)* Tarahan pada Februari 2021. Penelitian ini telah dilakukan dari bulan April 2021 hingga Juni 2022. Sedangkan untuk perancangan dan simulasi pada perangkat *software*, serta penyusunan laporan dilakukan di Laboratorium Teknik Terpadu Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Laptop
- b. *Software* Matlab R2017a
- c. Data transformator daya

Adapun data transformator daya yang diperoleh dari perusahaan adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Data transformator daya

<i>Power Nominal</i>	2 x 56 MVA
<i>Primary Voltage/Low Voltage</i>	11,5 kV
<i>Secondary Voltage/High Voltage</i>	150 kV
<i>Winding Connection</i>	YNd1
<i>Rated Frequency</i>	50 Hz

d. Data *Current Transformer*

Adapun data *current transformer* yang diperoleh dari perusahaan adalah sebagai berikut :

- *Current Transformer* sisi primer: 11,5 kV
Rasio $CT_1 = 4000/1$
- *Current Transformer* sisi sekunder: 150 kV
Rasio $CT_2 = 2000/1$

e. Data Generator

Adapun data generator yang diperoleh dari perusahaan adalah sebagai berikut :

- *Base Voltage* : 11,5 kV
- *Rated Frequency* : 50 Hz
- *Output* : 4 x 27,8 MW

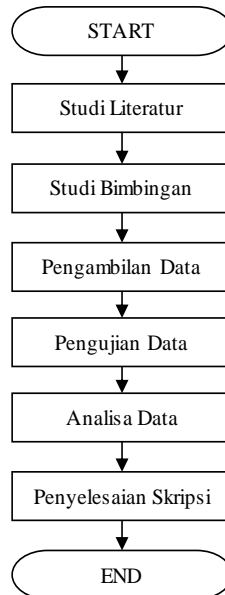
f. Data Relay Differensial

Adapun data relay differensial yang telah dilakukan perhitungan adalah sebagai berikut :

- Slope 1 : 36 %
- $I_{setting}$ gangguan internal : 0,33192 A

3.3. Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa tahap atau prosedur yang dilakukan, antar lain :



Gambar 3. 1 Diagram alir tahapan penelitian

3.3.1. Studi Literatur

Pada tahap Studi literatur ini akan dilakukan pengumpulan referensi yang akan digunakan sebagai pedoman dalam melakukan pemodelan rangkaian sistem dan pemodelan sistem cerdas *ANFIS* dengan melalui referensi-referensi yang ada berupa jurnal, *e-book* ataupun buku-buku yang terkait dengan pembahasan skripsi ini yaitu baik dari jurnal-jurnal lokal maupun internasional yang membahas mengenai relay differensial pada transformator daya maupun sistem cerdas *ANFIS*.

3.3.2. Studi Bimbingan

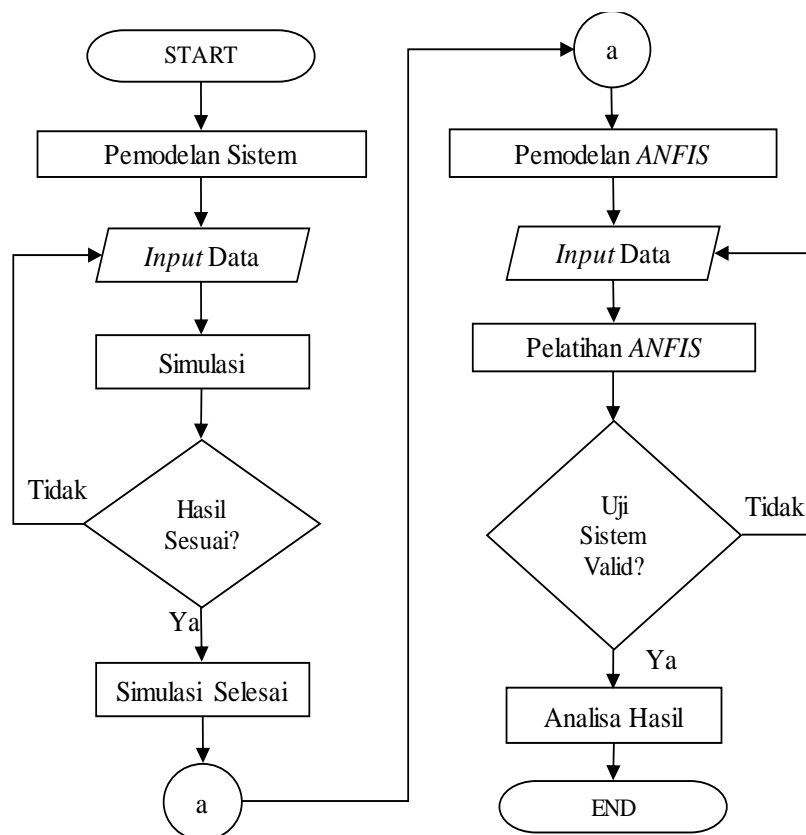
Selanjutnya, penulis melakukan studi bimbingan untuk mendapatkan informasi lebih terkait materi pembahasan skripsi dengan melakukan diskusi bersama pihak perusahaan terkait data yang dibutuhkan kemudian melakukan diskusi bersama dosen pembimbing.

3.3.3. Pengambilan Data

Setelah itu, penulis melakukan pengambilan data historis transformator daya, relay differensial, generator, dan *load* di Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) MPP Tarahan untuk memenuhi kebutuhan dalam penelitian yang dilakukan oleh penulis.

3.3.4. Pengujian Data

Dalam tahapan pengujian ini terdiri dari beberapa proses, antara lain :



Gambar 3. 2 Diagram alir tahapan pengujian data

Lalu langkah selanjutnya yaitu pengujian data dimana proses perancangan sistem jaringan dan pengolahan data untuk mendapatkan hasil *output* yang diharapkan. Langkah pertama yang perlu dilakukan yaitu membuat pemodelan relay differensial pada *software* Matlab. Setelah pemodelan selesai, kemudian melakukan *input* data pada pemodelan dengan data yang telah didapat dari perusahaan terkait peralatan yang ada. Selanjutnya dilakukan simulasi gangguan hubung singkat dengan jenis gangguan 3 fasa-fasa, 2 fasa, 2 fasa-ground, dan 1 fasa-ground. Apabila

simulasi kurang valid maka kembali ke tahapan *input* data, untuk sekaligus dilakukan pengecekan data. Namun, apabila simulasi berhasil dan didapatkan nilai *output*-nya, maka berlanjut pada perancangan *ANFIS*. Kemudian melakukan *input* data menggunakan hasil dari data perolehan simulasi gangguan hubung singkat pada transformator daya, yang digunakan untuk data pelatihan *ANFIS*. Kemudian dilakukan uji validasi pada sistem jaringan, apabila pengujian tidak valid maka akan dilakukan perbaikan dan pengecekan pada parameter *ANFIS* pada bagian *input* data, namun jika pengujian sistem valid maka dapat dilakukan analisa data.

3.3.5. Analisa Data

Setelah pengujian data berhasil dilakukan, kemudian menganalisis hasil pengujian dari data-data yang diperoleh. Hal ini merupakan bentuk penjelasan mengenai hasil dari pengujian data yang telah dilakukan. Dari hasil analisa tersebut maka akan diambil kesimpulan pada laporan akhir penelitian.

3.3.6. Penyelesaian Skripsi

Kemudian langkah terakhir, yaitu penyelesaian skripsi yang merupakan bentuk lanjutan pengerjaan untuk laporan akhir dari laporan proposal yang terlebih dahulu telah dikerjakan dan dipaparkan. Dan skripsi ini merupakan bentuk tanggungjawab penulis terhadap penelitian yang dilakukan.

IV. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemodelan relay differensial berbasis *ANFIS* dapat dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab.
2. Berdasarkan hasil uji validasi, menunjukkan bahwa dengan menggunakan pemodelan *ANFIS* yang dipilih dapat mendekati nilai aktual arus perbedaan yang melalui relay differensial saat kondisi normal maupun saat diberikan gangguan internal.
3. Berdasarkan hasil perbandingan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa perbandingan nilai arus dari masing-masing fasa di kedua sisi primer dan sekunder pada kondisi sebelum relay differensial digantikan dengan sistem *ANFIS* yang sudah dilatih dengan kondisi sesudah digantikan dengan menggunakan *ANFIS*, yaitu menghasilkan *RMSE* pada masing-masing fasa sebesar $R=0,000004$; fasa $S=0,000015$; dan fasa $T=0,000003$; dimana semakin nilai *RMSE* kecil atau mendekati 0, maka hasil prediksi akan semakin akurat dan baik.

5.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian berikutnya, yaitu dapat mengambil lebih banyak sampel data dari simulasi gangguan hubung singkat dan dapat melakukan prediksi jenis gangguannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Ronilaya, H. Rasjid, M. F. Hakim, and C. Wiharya, “Desain Dan Simulasi Relai Diferensial Sebagai Pengaman Trafo 150 / 70 kV 60 MVA Di GI Banaran Berbasis Fuzzy Logic Controller,” vol. 03, pp. 107–113.
- [2] R. Moهمmed and A. Cakir, “*Modeling And Simulation Of Differential Relay For Stator Winding Generator Protection By Using ANFIS Algorithm,*” vol. 7, no. 12, pp. 1668–1673, 2016.
- [3] H. Firdaus, “Pemodelan Relai Diferensial Pada Transformator Daya 25 MVA Menggunakan ANFIS,” vol. 5, pp. 1–7, 2018.
- [4] Azriyenni and M. W. Mustafa, “*Application Of ANFIS For Distance Relay Protection In Transmission Line,*” *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 5, no. 6, pp. 1311–1318, 2015, doi: 10.11591/ijece.v5i6.pp1311-1318.
- [5] E. Primawati, “Analisa Pengaturan Proteksi Rele Diferensial Pada Trafo III 60 MVA Di Gardu Induk Banyudono 150kV/22kV,” 2019.
- [6] E. Prasetyo Hidayat, “Pemodelan Backpropagation Neural Network Pada Relay Diferensial Transformator Gi Babadan 150 kV Eka Prasetyo Hidayat,” pp. 323–331, 2018.
- [7] A. Hajjar, “*Modeling And Testing Of A Digital Differential Relay Using MATLAB/SIMULINK,*” *Eng. Sci. Ser.*, no. August, 2011.
- [8] Ê. C. Segatto and D. V. Coury, “*A Differential Relay For Power Transformers Using Intelligent Tools,*” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 3, pp. 1154–1162, 2006, doi: 10.1109/TPWRS.2006.879268.
- [9] A. A. Zakri and H. Firdaus, “Penerapan ANFIS untuk peramalan gangguan pada transformator daya,” pp. 1–7, 2019.

- [10] A. Azhari Zakri, M. W. Mustafa, H. Firdaus, and I. Sofimieari, “*Assess the Risk Level of Power Transformer Due Short-Circuit Faults Based on ANFIS,*” *Sinergi*, vol. 23, no. 2, p. 99, 2019, doi:10.22441/sinergi. 2019. 2. 002.
- [11] E. Arohman and J. Prasetyo, “Koordinasi Rellay Pada System Kelistrikan Kapal Bulk Carrier 50 . 000 DWT (Dead Weight Ton) Berbasis *ANFIS,*” pp. 1–8.
- [12] S. Defit, “Perkiraan Beban Listrik Jangka Pendek Dengan Metode Adaptive Neuro Fuzzy,” *J. Ilm. SAINTIKOM*, pp. 165–176, 2013.
- [13] I. M. Sari and D. Y. Sukma, “Estimasi Jenis dan Lokasi Titik Gangguan pada Saluran Distribusi Bawah Tanah PT. Pertamina RU II Dumai dengan Menggunakan Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (*ANFIS,*” vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2016.
- [14] W. Wirawan, “Analisis Tegangan dan Arus pada Sekunder Transformator Tiga Fasa Delta Wye Bila Salah Satu Belitan Primernya Terbuka,” 2017.