

**ANALISIS KELAYAKAN GAS TERLARUT MINYAK
TRANSFORMATOR 3 FASA 150 KV DENGAN
*FUZZY LOGIC***

SKRIPSI

OLEH:

MOULANDO TAMPUBOLON

19.812.0015



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

2024

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 2/6/24

Access From (repository.uma.ac.id)2/6/24

**ANALISIS KELAYAKAN GAS TERLARUT MINYAK
TRANSFORMATOR 3 FASA 150 KV DENGAN**

FUZZY LOGIC

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh

Gelar Sarjana di Fakultas Teknik

Universitas Medan Area

Oleh :

Moulando Tampubolon

198120015

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

2024

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

i

Document Accepted 2/6/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)2/6/24


LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi adalah salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana di Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Judul Skripsi : Analisis Kelayakan Gas Terlarut Minyak Transformator 3 Fasa 150 Kv Dengan *Fuzzy Logic*
Nama : Moulando Tampubolon
NPM : 19.812.0015
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:



Komisi
Pembimbing



Dr. Ir. Dina Maizana M.T
Pembimbing



Dr. Dede Supriatno, S.T., M.T
Dekan



Ir. Habib Satria, M.T., IPM
Ka. Prodi

Tanggal Lulus :

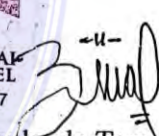
HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, Februari 2024




Moulando Tampubolon

NPM.19.812.0015

ABSTRAK

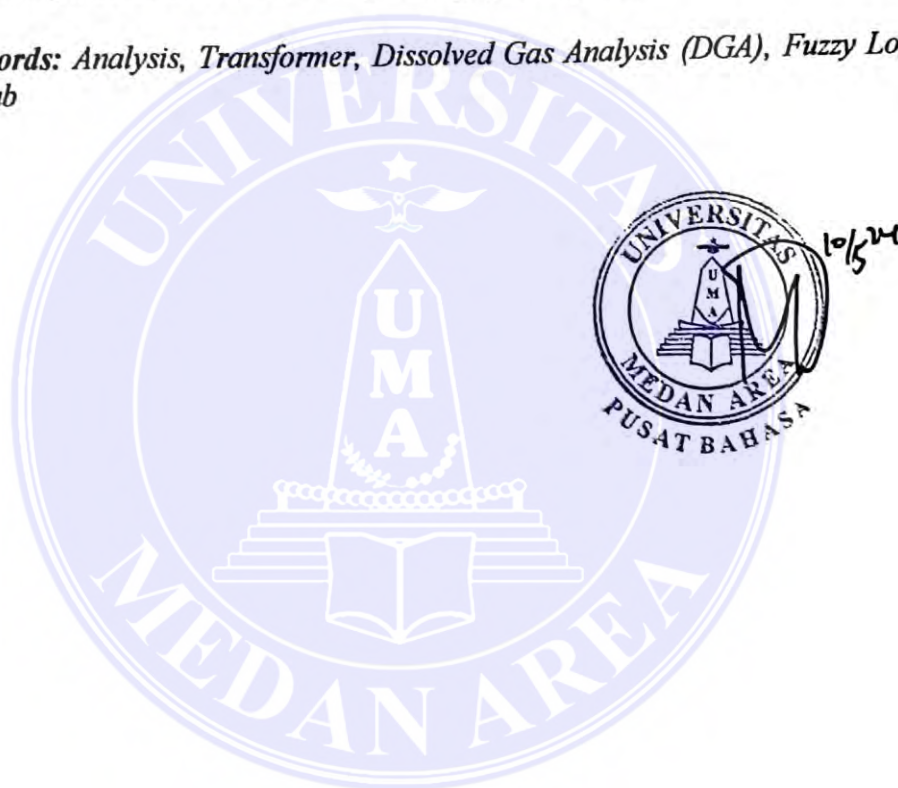
Transformator adalah suatu alat tenaga listrik yang fungsinya mengubah energi listrik dari suatu nilai tegangan ke nilai tegangan lainnya melalui aksi medan magnet. Transformator merupakan peralatan listrik yang penting karena terhubung langsung dengan jaringan transmisi dan distribusi tenaga listrik. Tujuan penelitian ini untuk menganalisa minyak transformator dan standart kelayakannya. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif dengan menggunakan metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA). Data yang diperoleh untuk metode tersebut akan dihitung dengan cara mengaplikasikan *Fuzzy Logic* sebagai pemetaan masalah atau menentukan variabel. Hasil pemetaan tersebut selanjutnya akan dihitung dengan Matlab sebagai hasil analisis data matematik dalam bentuk gfarik.

Kata kunci : Analisis,Transformator,Dissolved Gas Analysis (DGA),Fuzzy Logic, Matlab

ABSTRACT

A transformer is an electrical power device that functions to convert electrical energy from one voltage level to another through the action of a magnetic field. Transformers are crucial electrical equipment because they are directly connected to the transmission and distribution networks of electrical power. The purpose of this research was to analyze transformer oil and its suitability standards. The type of research used was quantitative research using the Dissolved Gas Analysis (DGA) method. Data obtained from this method would be processed by applying Fuzzy Logic to map the problem or determined variables. The results of this mapping would then be analyzed using MATLAB as the outcome of mathematical data analysis in graphical form.

Keywords: *Analysis, Transformer, Dissolved Gas Analysis (DGA), Fuzzy Logic, Matlab*



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Moulando Tampubolon

NPM : 19.812.0015

Program Studi : Teknik Elektro

Elektro Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi

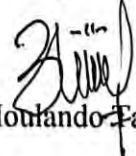
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty- Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : “Analisis Kelayakan Gas Terlarut Minyak Transformator 3 Fasa 150 Kv Dengan *Fuzzy Logic*”.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir/skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada Tanggal :

Yang menyatakan


(Moulando Tampubolon)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

I. Data Pribadi

Nama : Moulando Tampubolon
Tempat Tanggal Lahir : Taratak, 28 Juni 2000
Agama : Kristen
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Taratak, Desa Meranti Utara, Kecamatan
Pintupohan Meranti, Kabupaten Toba
Samosir
Anak Ke : 3 (Tiga) dari 6 (Enam) Bersaudara

II. Identitas Orang Tua

Nama Ayah : Manahan Tampubolon
Pekerjaan Ayah : Wiraswasta
Nama Ibu : Loiker Hutagaol
Pekerjaan Ibu : Wiraswasta

III. Riwayat Pendidikan

Tahun 2006-2012 : SDN 178493 Batumamak
Tahun 2012-2015 : SMPN 2 Pintupohan Meranti
Tahun 2015-2018 : SMAN 1 Pintu Pohan Meranti
Tahun 2019-2024 : Program Studi S1 Teknik Elektro,
Fakultas Teknik Universitas Medan Area

KATA PENGANTAR

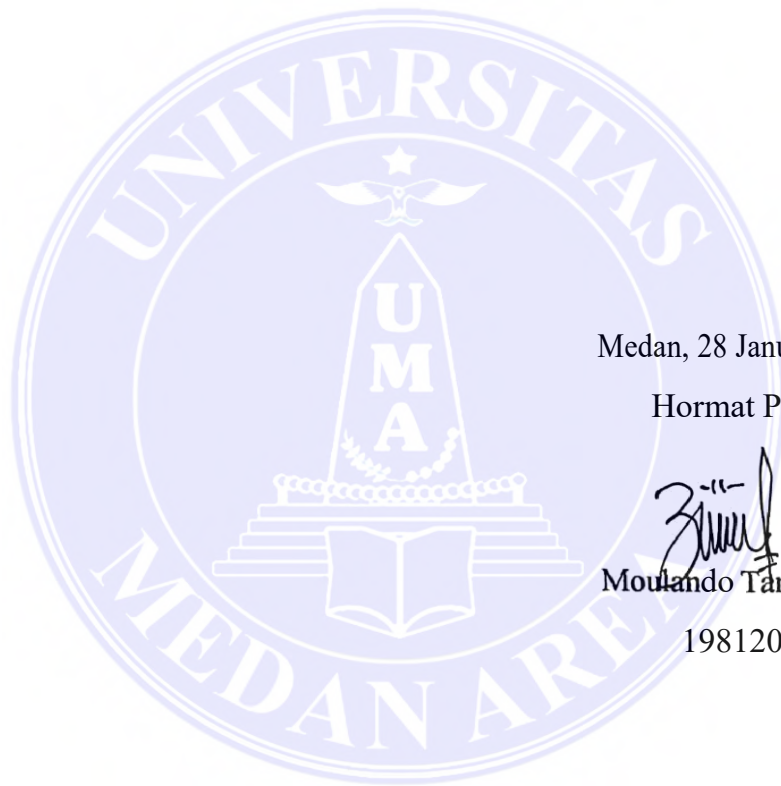
Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kekuatan, pengetahuan, dan kesempatan sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu.

Tema yang dipilih dalam penelitian ini adalah “Analisis Kelayakan Gas Terlarut Minyak Transformator 3 Fcasa 150 KV Dengan Fuzzy Logi”. Skripsi ini disusun guna menyelesaikan program pendidikan Strata 1 program Studi Teknik Elektro Universitas Medan Area.

Dalam penyelesaian skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan, baik moral maupun material dari berbagai pihak, dan pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis yang selalu memanjatkan do'a dan dukungan secara moral maupun material.
2. Bapak Prof. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc, selaku Rektor Universitas Medan Area
3. Bapak Dr. Eng. Suprianto, ST, MT selaku Dekan Fakultas Teknik.
4. Bapak Ir. Habib Satria, M.T, IPM, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro
5. Ibu Dr. Ir. Dina Maizana, M.T, selaku dosen pembimbing skripsi ini, yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam penyusunan skripsi hingga selesai.
6. Seluruh staff pengajar Universitas Medan Area khususnya Program Studi Teknik Elektro, rekan-rekan kelas terkhususnya buat Teknik Elektro angkatan 2019 yang telah banyak memberikan kenangan manis dan persahabatan yang baik.
7. Teman-teman sekontrakan atas kebersamaan dan dukungan mengerjakan skripsi ini.
8. Orang terkasih yang selalu memberikan dukungan selama pengerjaan skripsi ini.

Untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis menerima kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan s ini. Semoga proposal ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan maupun bagi dunia usaha dan pemerintah. Akhirnya kembali penulis ucapkan terimakasih semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, sehingga dapat bermanfaat bagi siapapun yang membacanya.



Medan, 28 Januari 2024

Hormat Penulis

Moulando Tampubolon

198120015

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II LANDASAN TEORI.....	4
2.1 Uraian Teori.....	4
2.1.1 Pengertian Transformator	4
2.1.2 Fungsi Transfromator	4
2.1.3 Jenis-jenis Transformator.....	5
2.1.4 Bagian-bagian Transformator	6
2.1.5 Prinsip Kerja Transformator.....	9
2.2 Gangguan-gangguan Pada Transformator	10
2.3 Pemeliharaan Transformator.....	11
2.4 Minyak Transformator	11
2.4.1 Fungsi Minyak Transformator.....	12
2.4.2 Syarat-syarat Minyak Transformator.....	12
2.5 Gas-gas Terlarut Pada Minyak Transformator	14
2.6 Fuzzy logic.....	16
2.6.1 Sistem Fuzzy	16
2.6.2 Aplikasi Fuzzy.....	16

BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	18
3.2 Flowchart Penelitian.....	18
3.3 Metode Pengumpulan Data.....	18
3.1.1 Dissolved Gas Analys	18
3.3.2 Fuzzy Logic.....	20
3.2.1 Konsep Fuzzy Logic	21
3.2.2 Rancangan Fuzzy Logic.....	22
3.2.3 Matlab	23
BAB IV HASIL DAN ANALISA.....	26
4.1 Hasil Penelitian	26
4.1.1 Gas Terlarut Minyak Trafo	26
4.2 Pembahasan	27
4.2.1 Rancangan Fuzzy Pada Matlab	27
4.2.2 Gas Terlarut	29
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1 Kesimpulan	33
5.2 Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA.....	34
LAMPIRAN	36

DAFTAR GAMBAR

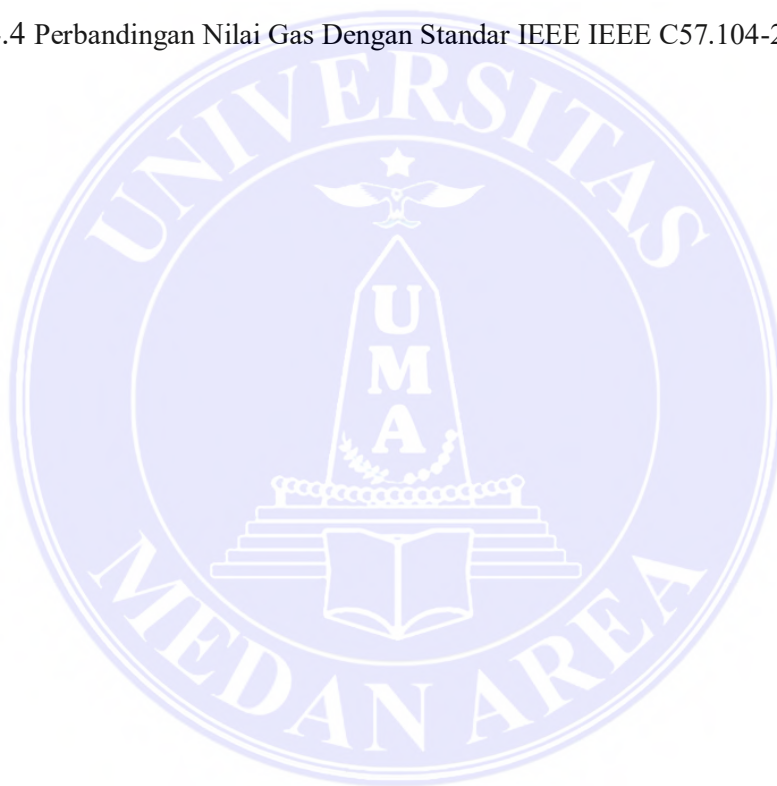
Gambar 2.1. Transformator Daya.....	5
Gambar 2.2. Inti Transformator.....	7
Gambar 2.3. Kumparan Transformator.....	8
Gambar 2.4. Minyak Transformator.....	9
Gambar 2.5. Bushing	10
Gambar 2.6. Breather.....	11
Gambar 2.7. Prinsip hukum elektromagnetik.....	12
Gambar 2.8. Minyak isolasi transformator.....	15
Gambar 2.9. Standarisasi minyak isolasi baru	16
Gambar 2.10 Standarisasi minyak isolasi pakai.....	14
Gambar 3.1. Flowchart penelitian	18
Gambar 3.2 Rancangan Fuzzy.....	23
Gambar 3.3. Tampilan Matlab 2021a	25
Gambar 3.4 Tampilan Editor Matlab.....	25
Gambar 4.1 Rancangan logika fuzzy pada matlab	27
Gambar 4.2 Fungsi Keanggotaan H ₂	27
Gambar 4.3 Fungsi Keanggotaan CH ₄	28
Gambar 4.4 Fungsi Keanggotaan CO	28
Gambar 4.5 Fungsi Keanggotaan CO ₂	28
Gambar 4.6 Fungsi Keanggotaan C ₂ H ₄	28
Gambar 4.7 Fungsi Keanggotaan C ₂ H ₆	28

Gambar 4.8 Fungsi keanggotaan C ₂ H ₂	29
Gambar 4.9 Output Hasil Defuzzyfikasi Gas Dengan Matlab	29
Gambar 4.10 Fungsi Keanggotaan TDCG	31
Gambar 4.11 Output Fuzzy TDCG 2D	31



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 High Volttage-Therminal.....	7
Tabel 3.1	20
Tabel 4.1 Gas Terlarut Minyak Transformator Unit 1,2, dan 3	27
Tabel 4.2 Total TDCG	27
Tabel 4.3 Kondisi Gas Terlarut	31
Tabel 4.4 Perbandingan Nilai Gas Dengan Standar IEEE IEEE C57.104-2008	34



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Tingginya kebutuhan listrik membuat PT PLN sebagai perusahaan yang bergerak di bidang penyediaan tenaga listrik di Indonesia harus mampu memenuhi kebutuhan listrik konsemennya. Pada sistem energi, PT PLN menyediakan sistem pembangkitan yang merupakan sumber pembangkit listrik. Trafo merupakan salah satu elemen sistem kelistrikan yang dapat menjamin terpenuhinya kebutuhan listrik masyarakat secara berkesinambungan. Oleh karena itu trafo harus dirawat agar tetap berfungsi maksimal dan terhindar dari gangguan fungsi yang dapat mengakibatkan trafo gagal.

Transformator adalah suatu alat tenaga listrik yang fungsinya untuk mengubah energi listrik dari suatu nilai tegangan ke tegangan lainnya melalui aksi medan magnet. Trafo merupakan perangkat kelistrikan yang penting karena terhubung langsung dengan jaringan transmisi dan distribusi listrik. Peranan transformator ini sangatlah penting dalam sistem pembangkit maka perlu dilakukan penelitian yang berhubungan dengan transformator, terutama pada minyak transformator yang sangat berpengaruh terhadap kinerja transformator, dimana minyak transformator berfungsi sebagai pendingin dan isolasi.

Dikarenakan mahalnya harga minyak transformator maka pemeliharaan dan perawatan minyak trafo sangat diperlukan. Salah satu bentuk pemeliharaan dan perawatan minyak trafo adalah uji *Dissolved Gas Analisis* (DGA). Uji DGA dapat diartikan sebagai analisis kondisi transformator berdasarkan banyaknya gas terlarut (*fault gas*) yang ada pada trafo. Uji DGA ini sangat berguna dalam dunia industri karena dapat dilakukan pada saat transformator sedang beroperasi atau pada kondisi dimana trafo bertegangan dan masih menyalurkan daya listrik ke konsumen. Hasil DGA ini yang menjadi acuan PT.PLN dalam melaksanakan pemeliharaan minyak transformator.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Amalia (2017) dengan judul Analisa Gas Terlarut Minyak Transformator Daya 150 KV dengan Menggunakan Metode Duval Pentagon. Berdasarkan hasil penelitian ditemukan trafo terindikasi adanya

Overheating Of Cellulose sehingga menghasilkan gas beracun yaitu CO dan CO₂ yang cukup yang tinggi pada isolasi kertas. Indikasi tersebut ditemukan dari dilakukannya pemeliharaan (*maintenance*) pada trafo berupa purifikasi pada minyak.

Hasil penelitian lainnya dilakukan oleh Anni (2022) dengan judul Analisa Keadaan Minyak Transformator Menggunakan Metode Logika Fuzzy Berdasarkan Kadar Gas Terlarut. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan rata-rata kandungan gas terlarutnya dalam keadaan normal hingga tinggi. Sistem pakar fuzzy lebih efektif dalam diagnosis gangguan transformator dan menganalisa DGA, sehingga dapat didapat hasil yang lebih optimal dan tindakan pencegahan dapat dilakukan secepat mungkin.

PLN telah melakukan pengujian *Dissolved Gas Analysis (DGA)* pada setiap minyak isolasi transformator untuk mengetahui kondisi minyak isolasi masing-masing transformator. Namun hasil analisis PLN untuk penentuan kondisi minyak masih mempunyai kekurangan mengenai kondisi minyak isolasi dan keadaan transformator, analisis hasil DGA yang dilakukan oleh PLN hanya mempertimbangkan hasil *Total Dissolved Combustible Gas (TDCG)* atau total gas terlarut yang mudah terbakar untuk penentuan kondisi transformator tanpa memperhitungkan sifat dan konsentrasi gas-gas lain yang terkandung dalam minyak isolasi transformator.

Berdasarkan uraian diatas maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Analisa Kelayakan Gas Terlarut Minyak Transformator 3 Fasa 150 KV Dengan *Fuzzy Logic*”.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana menganalisa kelayakan gas terlarut dalam minyak transformator?
2. Bagaimana peranan *fuzzy logic* dalam menganalisis gas terlarut?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisa gas terlarut pada minyak transformator.
2. Menentukan kelayakan minyak trafo sesuai standart kelayakannya.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Meningkatkan pemahaman tentang kondisi transformator melalui analisis gas terlarut.
2. Meningkatkan efisiensi operasional transformator.
3. Menambah umur transformator dengan melakukan pemeliharaan.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian hanya untuk menganalisis gas terlarut dalam minyak trafo
2. Minyak yang digunakan untuk mengambil sampel adalah jenis minyak Diala B



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Uraian Teori

2.1.1 Pengertian Transformator

Transformator merupakan suatu peralatan listrik yang fungsinya untuk menyalurkan energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah dan sebaliknya. Transformator menggunakan hukum induksi Faraday dan hukum Korentz dalam mendistribusikan daya. Pada proses ini arus bolak-balik yang mengalir mengelilingi inti besi maka inti besi akan berubah menjadi magnet, dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan, maka kedua ujung belitan tersebut akan berbeda potensial (Pranata, 2012).

Dalam bidang distribusi tenaga listrik trafo merupakan pusat penyaluran dari sistem transmisi dan distribusi. Diharapkan trafo dapat bekerja terus menerus pada kondisi seperti ini. Mengingat pengoperasian trafo yang intensif dan hampir konstan, maka perlu diperhatikan pengoperasiannya. Pembebanan transformator, suhu kumparan, temperatur minyak traansformator dan temperatur lingkungan merupakan faktor yang harus diperhatikan untuk menjamin kinerja trafo secara optimal dan mencegah berkurangnya umur dari transformator itu sendiri (Utomo, 2019).

2.1.2 Fungsi Transformator

Sebagai salah satu komponen kelistrikan yang penting, trafo mempunyai fungsi yang sangat penting. Salah satunya adalah memindahkan energi listrik antara dua buah rangkaian. Biasanya pemindahan ini terjadi pada frekuensi yang sama, sehingga selain memindahkan energi listrik trafo juga mempunyai beberapa fungsi lain yaitu (Djufri, 2021):

1. Transformator berfungsi dalam sebuah sistem komunikasi, transformator sering digunakan untuk menentukan frekuensi radio dan video.
2. Transformator juga digunakan untuk menaikkan tegangan listrik atau disebut juga dengan *transformator step-up*. Beberapa alat elektronik yang memanfaatkan transformator untuk menaikkan tegangan adalah komputer, lemari es, dan televisi.

3. Transformator digunakan untuk menurunkan tegangan listrik atau disebut *transformator step-down*.

2.1.3 Jenis-jenis Transformator

1. Transformator 3 Fasa

Transformator tiga fasa pada dasarnya tidak berbeda dengan trafo satu fasa. Perbedaan paling mendasar terletak pada sistem kelistrikannya yaitu sistem satu fasa dan tiga fasa, sehingga trafo tiga fasa dapat dihubungkan secara bintang, segitiga, atau zig-zag. Karena alasan ekonomi trafo tiga fasa lebih banyak digunakan dalam sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik. Transformator tiga fasa juga mempunyai kekurangan antara lain, apabila salah satu fasanya mengalami kerusakan maka seluruh trafo harus dipindahkan (diganti), namun jika trafo tersebut terdiri dari tiga buah trafo satu fasa bila salah satu fasa mengalami kerusakan sistem masih bisa dioperasikan dengan sistem “*open delta*”.

Sebuah trafo tiga fasa mempunyai enam buah kumparan, tiga buah kumparan primer dengan jumlah lilitan N_1 yang dihubungkan dengan sumber tegangan primer V_R , V_S , dan V_T . Tiga buah kumparan sekunder dengan jumlah lilitan N_2 dihubungkan pada sumber tegangan primer V_r , V_s , dan V_t . Untuk setiap fasa, rasio transformasi tegangannya sama dengan rasio trafo satu fasa, namun untuk tegangan *line to line* trafo tiga fasa akan mengikuti konfigurasi hubungan kumparannya (Dutch, 2023).



Gambar 2.1 Tranformator 3 Fasa (UPT Pematang Siantar)

Jenis Transformator yang digunakan yaitu B&D transformator yang dibuat pada tahun 2020 dengan spesifikasi seperti di bawah:

Standard : ICE 60076
 Rated power : 36/60 MVA
 Cooling : ONAN/ONAF
 Frequency : 50 Hz
 Phases : 3

Tabel 2.1 High Voltttage-Therminal

HIGH VOLTAGE-TERMINALS : 1N-1V-1W			
NO	VOLT	AMPERE	MVA
1	165000	209.9	60
2	163215	212.4	60
3	161250	214.8	60
4	159375	217.4	60
5	157500	219.9	60
6	155625	222.6	60
7	153750	225.3	60
8	151875	228.1	60
9	150000	230.9	60
9A	150000	230.9	60
9B	150000	230.9	60
9C	148125	233.9	60
10	146250	236.9	60
11	144375	239.9	60
12	142500	243.1	60
13	140625	246.3	60
15	138750	249.7	60
16	136875	253.1	60
17	135000	256.6	60

2. Transformator *Step-up*

Transformator *step-up* adalah transformator yang mempunyai lilitan sekunder lebih banyak dibandingkan lilitan primer sehingga berfungsi sebagai penaik tegangan. Trafo ini biasanya digunakan pada pembangkit energi listrik sebagai penaik tegangan yang dihasilkan oleh generator menjadi tegangan tinggi yang digunakan pada transmisi jarak jauh (Hendra, 2017).

3. Transformator *Step-down*

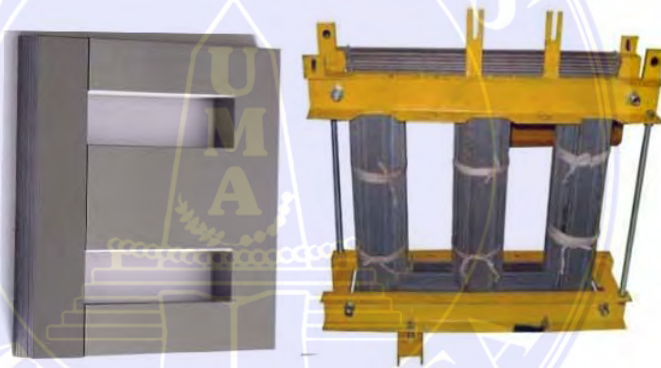
Transformator *step-down* mempunyai jumlah lilitan sekunder yang lebih sedikit dibandingkan lilitan primer sehingga berfungsi sebagai penurun tegangan. Transformator jenis ini sangat mudah ditemukan, terutama pada adaptor AC-DC (Hendra, 2017).

2.1.4 Bagian-bagian Transformator

Transformator memiliki bagian-bagian utama yaitu (Utomo, 2019):

1. Inti Besi

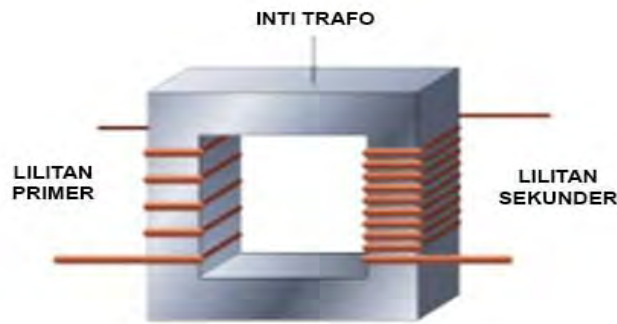
Inti besi pada transformator berfungsi untuk mempermudah jalannya fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan dibuat dari lempengan besi tipis berisolasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan rugi-rugi inti besi (eddy current losses).



Gambar 2.2 Inti Transformator (Utomo, 2019)

2. Kumparan Transformator

Kumparan trafo terdiri dari beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk kumparan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder, diisolasi baik oleh inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton atau pertinak dan lain-lain.



Gambar 2.3 Kumparan Transformator

3. Tangki Pernafasan Transformator

Tangki pernafasan (*reservoir tank*) didesain agar oli dapat menguap pada saat temperatur oli trafo tinggi. Ketika temperatur oli trafo kembali normal maka minyak akan mengembum dan turun dari tangki pernafasan ke tangki trafo. Disekitar tangki pernafasan dipasang relai *Bucholzt* untuk mendeteksi gas yang dihasilkan akibat kerusakan minyak trafo.

4. Minyak Transformator

Minyak trafo berperan penting dalam sistem isolasi trafo dan juga berfungsi sebagai pendingin untuk menghilangkan panas akibat rugi-rugi daya pada trafo. Minyak transformator memiliki fungsi ganda, yaitu mendinginkan dan mengisolasi.



Gambar 2.4 Minyak Transformator (Roza, 2019)

5. Bushing

Bushing atau terminal pada transformator berfungsi untuk menghubungkan trafo ke sirkuit. *Bushing* dipasang pada setiap ujung dari kumparan trafo, baik kumparan primer maupun sekunder.



Gambar 2.5 *Bushing*

6. Breather

Breather berfungsi untuk mengatur aliran udara pada tangki transformator. Dengan adanya sistem ini minyak pendingin yang ada di dalam tangki tidak terhindar dari kelembaban yang berdampak kurang baik.



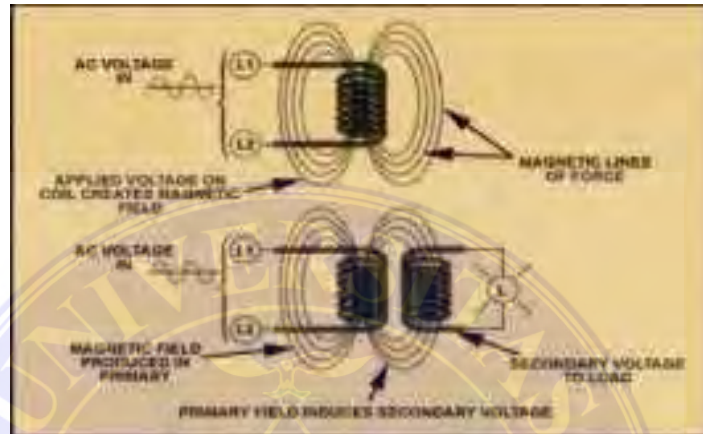
Gambar 2.6 *Breather*

7. Radiator dan Kipas Pendingin

Jenis transformator besar dengan daya yang sangat besar akan menghasilkan suhu panas yang tinggi sehingga diperlukan radiator untuk mendinginkan minyak lebih cepat. Minyak pendingin yang merendam trafo akan dialirkan melalui radiator untuk didinginkan.

2.1.5 Prinsip Kerja Transformator

Transformator menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet/fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi (Catur, 2019).



Gambar 2.7 Prinsip hukum elektromagnetik (Catur, 2019)

2.2 Gangguan-gangguan Pada Transformator

Pada dasarnya gangguan pada trafo dapat dibedakan menjadi dua yaitu (Irfan, 2021):

1. Gangguan internal

- a. Kegagalan pada isolasi belitan, kegagalan pada isolasi belitan dapat mengakibatkan gangguan bumi (*earth faults*).
- b. Penurunan kualitas minyak, yang disebabkan oleh kualitas minyak yang buruk, penetrasi kelembapan, dekomposisi karena terlalu panas, atau pembentukan endapan oleh oksidasi sebagai akibat dari sambungan yang buruk.
- c. Berkurangnya atau habisnya minyak karena kebocoran.
- d. Ketidakmampuan menahan *stress* (tekanan). Hal ini disebabkan karena desain yang buruk dan arus yang sangat besar berulang-ulang menyebabkan tekanan mekanis yang parah.

2. Gangguan eksternal

- a. Gangguan hubung singkat pada sistem. Arus sangat tinggi yang disebabkan oleh hubung singkat yang terjadi pada sistem mengakibatkan *mechanical stress* yang sangat tinggi pada belitan trafo.
- b. Overload, overload dapat mengakibatkan *overheating* dan juga menimbulkan *mechanical stress* dalam belitan trafo dan isolasi.
- c. Gangguan surja hubung (*switching surges*). Besarnya tegangan surja hubung bisa sampei berkali-kali lipat dari tegangan nominal sistem. Hal ini mengakibatkan *stress* pada ujung akhir belitan.
- d. Petir. Hal ini hanya mungkin terjadi pada trafo yang terhubung pada saluran listrik overhead. Solusi untuk mengatasi gangguan petir adalah dengan menggunakan *arrester* atau *spark gaps*.

2.3 Pemeliharaan Transformator

Kerusakan pada trafo akan mempengaruhi kontinuitas pelayanan terhadap konsumen. Dalam pemeliharaan trafo, dapat dibedakan antara pemeliharaan/monitoring (melihat, mencatat, meraba dan mendengar) selama pengoperasian dan pemeliharaan (kalibrasi/pengujian, koreksi, serta memperbaiki) dalam keadaan padam. Pemeriksaan dapat dilakukakn oleh operator atau petugas dengan menggunakan sistem *check list* atau catatan. Sementara pemeliharaan yang harus dilakukakn oleh tim pemeliharaan .

Beberapa jenis pemeliharaan yang dilakukan terhadap transformator:

1. *Predictive maintenance*

Merupakan pemeliharaan dengan dilakukannyaprediksi dari kondisi suatu peralatan listrik, apa serta kapan kemungkinannya suatu peralatan listrik menuju kegagalan

2. *Preventive maintenance*

Merupakan kegiatan pemeliharaan yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan peralatan secara tiba-tiba serta untuk mempertahankan kemampuan kerja peralatan yang baik sesuai ketentuan umurnya.

3. *Breakdown maintenance*

Merupakan pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadinya suatu kerusakan yang waktunya tidak menentu dan sifatnya bisa sangat darurat.

2.4 Minyak Transformator

Minyak transformator adalah cairan yang dihasilkan dari pemurnian minyak mentah. Selain itu, minyak ini juga berasal dari bahan organik seperti minyak piranol dan minyak silikon. Beberapa jenis minyak trafo yang umum digunakan dipasaran adalah minyak trafo jenis Diala A, Diala B, dan Mectrans. Minyak trafo merupakan bahan isolasi cair yang digunakan sebagai isolasi dan pendingin pada trafo. Sebagai bahan isolasi minyak harus mampu untuk menahan tegangan tembus, sedangkan sebagai pendingin minyak trafo harus mampu meredam panas yang ditimbulkan (Afandi, 2018)



Gambar 2.8 Minyak isolasi transformator(Afandi, 2018)

2.4.1 Fungsi Minyak Transformator

Minyak trafo mempunyai beberapa fungsi, yaitu:

1. Insulator berfungsi mengisolasi kumparan di dalam trafo agar tidak terjadi lompatan bunga api (hubungan pendek) akibat tegangan tinggi.
2. Pendingin berfungsi menyerap panas yang dihasilkan pada belitan, inti dan bagian-bagian trafo lainnya yang mengakibatkan panas. Panas pada transformator terjadi antara lain karena adanya rugi-rugi transformator (rugi-rugi tembaga dan rugi-rugi inti), arus bocor, pembebanan berlebih dan gangguan-gangguan seperti surja dan hubung singkat.

3. Melindungi komponen-komponen pada transformator terhadap korosi dan oksidasi.
4. Melarutkan gas yang dihasilkan oleh degradasi minyak, gas dari isolasi selulosa dan gas akibat *fault* (Tohari, 2020).

2.4.2 Syarat Minyak Transformator

Syarat-syarat minyak transformator yang layak untuk digunakan yaitu:

1. Kekuatan isolasi harus tinggi, yaitu untuk minyak baru dan belum difilter adalah $>30 \text{ kv}/2,5 \text{ mm}$.
2. Penyalur panas yang baik, berat jenis kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap secara cepat.
3. *Viscositas* yang rendah agar mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik.
4. Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan
5. Tidak merusak bahan isolasi padat
6. Tidak mengandung uap air, adanya uap air dalam minyak isolasi akan menurunkan tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolasi serta kana mempercepat kerusakan kertas pengisolasian.
7. Minyak transformator harus bersih tidak boleh mengandung suspense, endapan atau sedimen.
8. Tidak mengandung karbon, adanya gas karbon terlarut dan gas dalam minyak isolasi dapat digunakan untuk mengetahui kondisi transformator dalam operasi. Adanya gas seperti *hydrogen* (H_2), *metana* (CH_4), *etana* (C_2H_6), *etilen* (C_2H_4) menunjukkan dekomposisi minyak isolasi pada kondisi operasi, sedangkan adanya karbondioksida (CO_2) dan karbon monoksida (CO) menunjukkan kerusakan pada bahan isolasi.
9. Angka kenetralan (*neutralization*) maksimum 0,5 mg KOH/g. Angka merupakan angka yang menunjukkan angka penyusun asam minyak isolasi dan dapat mendeteksi kontaminasi minyak, menunjukkan kecenderungan perubahan kimia atau cacat. Angka kenetralan dapat

menjadi petunjuk untuk menentukan apakah minyak sudah harus diganti atau cukup diolah (*purify/filtering/treatment*).

Untuk itu pemantauan dan pemeliharaan kualitas minyak transformator adalah hal yang sangat penting untuk menjamin keandalan operasi peralatan listrik khususnya transformator, dan para ahli yang berwenang telah menetapkan petunjuk dalam bentuk standar uji dan spesifikasi teknik seperti *IEC, ASTM, BS* dll. Minyak transformator baru (*Unused mineral insulating oil*) *IEC 60296-2003*. Minyak transformator pakai (*mineral oil in service*) *SPLN 49-1:1982 IEC 422:1982* diperbaharui menjadi *IEC 422:1989*. Spesifikasi dan pengujian minyak yang digunakan untuk minyak isolasi transformator adalah menggunakan standar *IEC Publ 296*. Untuk standarisasi minyak isolasi baru dan pakai dapat dilihat pada gambar di bawah ini (Roza, 2019)

**STANDART HASIL PEMERIKSAAN
MINYAK TRAF0
BATASAN MINYAK ISOLASI PAKAI (IEC 60422:2005)**

BATASAN MINYAK ISOLASI PAKAI (IEC 60422:2005)

No.	Parameter	Metoda	Batasan IEC 60422:2005			
			Jenis trafo (kV)	Baik	Cukup	Buruk
1.	Tegangan tensesus. (kV/ 2.5 mm)	IEC 156	D, A	≥ 60	50 - 60	≤ 30
			B	≥ 50	40 - 50	≤ 40
			C	≥ 40	30 - 40	≤ 30

Gambar 2.9 Standarisasi minyak isolasi baru

**STANDART HASIL PEMERIKSAAN
MINYAK TRAF0
BATASAN MINYAK ISOLASI BARU (IEC 60296-2003)**

BATASAN MINYAK ISOLASI BARU (IEC 60296-2003)

No.	Parameter uji	Batasan
1	Fungsi	
1.1	Viskositas pada 40 °C	Min. 12 cSt
1.2	Titiktuang	Max. - 40 °C
1.3	Kadar air	Max. 30 mg/kg
1.4	Tegangan tensesus : - Sebelum treatment	Min. 30 kV
	- Setelah treatment	Min. 60 kV

Gambar 2.10 Standarisasi minyak isolasi pakai

2.5 Gas-gas Terlarut Pada Minyak Transformator

Menganalisis gas terlarut dalam minyak trafo merupakan langkah yang penting dalam memantau kesehatan trafo. Gas-gas terlarut yang terdeteksi pada minyak trafo dapat memberikan petunjuk mengenai kondisi transformator dan memungkinkan untuk deteksi dini potensi permasalahan dan malfungsi pada trafo. Ada beberapa gas terlarut dalam trafo, yaitu:

1. Gas Hidrogen (H_2)

Gas hidrogen dapat dihasilkan akibat reaksi kimia normal dalam minyak transformator, namun peningkatan konsentrasi gas hidrogen dapat mengidentifikasi adanya gangguan seperti *overheating* atau pembusukan isolasi.

2. Gas Metana (CH_4)

Gas metana terbentuk akibat dekomposisi selulosa dalam kertas isolasi. Tingginya konsentrasi metana bisa menjadi tanda potensi permasalahan isolasi pada transformator.

3. Gas Etilen (C_2H_4)

Gas etilen dapat terbentuk dari proses degradasi termal pada minyak transformator. Tingginya konsentrasi etilen mengidentifikasi adanya masalah pada isolasi atau *overheating*.

4. Gas Asetilen (C_2H_2)

Gas asetilen terbentuk dari reaksi degradasi termal yang intens. Peningkatan konsentrasi asetilen bisa menunjukkan potensi masalah yang serius pada transformator.

5. Gas Karbon Dioksida (CO_2)

Gas karbon dioksida terbentuk akibat reaksi kimia normal dalam minyak transformator, namun peningkatan tajam konsentrasi CO_2 dapat mengidentifikasi proses oksidasi yang tidak normal.

6. Gas Monoksida Karbon (CO)

Gas monoksida karbon terbentuk akibat *overheating* dalam transformator. Kehadiran CO_2 bisa menjadi tanda bahaya potensi bagi kesehatan manusia karena sifatnya yang beracun.

7. Gas Nitrogen (N_2)

Gas nitrogen biasanya hadir dalam minyak transformator sebagai kontaminasi dari lingkungan sekitar. Peningkatan konsentrasi nitrogen dapat mengidentifikasi kebocoran atau masalah pada transformator.

2.6 Fuzzy Logic (logika Fuzzy)

Logika fuzzy pertama kali dikembangkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Landasan dasar logika fuzzy adalah teori himpunan. Logika fuzzy merupakan cara yang tepat untuk suatu ruang *input* ke dalam suatu ruang *output* (Yulmaini, 2019). Sebagai contoh bentuk logika fuzzy adalah:

1. Manager gudang mengatakan pada manager produksi berapa banyak persediaan barang pada akhir minggu ini, kemudian manager produksi akan menetapkan jumlah barang yang akan diproduksi esok hari.
2. Pelayan restoran memberikan informasi seberapa baik pelayanan terhadap pelanggan, kemudian tamu akan memberikan tip yang sesuai pada pelayannya.

2.6.1 Sistem fuzzy

Sistem fuzzy adalah sistem yang didasarkan pada aturan-aturan (pengetahuan) dan dibangun dari serangkaian aturan IF-THEN. Misalnya IF mesin panas THEN putar kipas lebih cepat, IF jarak mobil dekat THEN tekan rem kuat-kuat, IF permintaan naik THEN produksi barang meningkat.

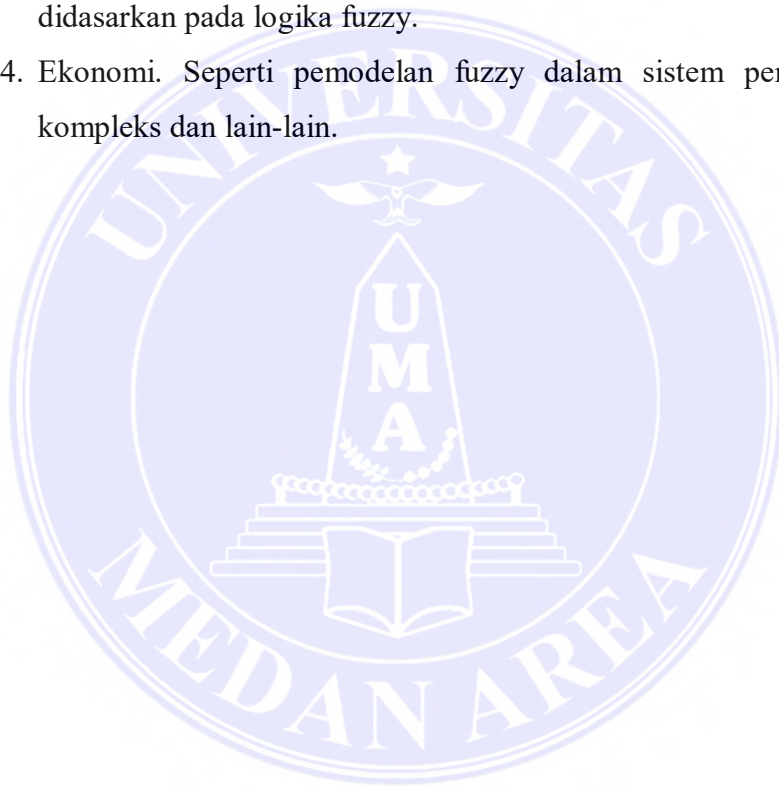
Ada beberapa alasan mengapa menggunakan sistem fuzzy adalah sebagai berikut:

1. Banyak hal yang sangat kompleks
2. Pengetahuan dan pemahaman manusia diperlukan dalam menyelesaikan masalah. Perlu teori untuk merumuskan ke bentuk matematis.
3. Sistem fuzzy akan melakukan transformasi dari pengetahuan manusia ke dalam bentuk matematis.

2.6.2 Aplikasi fuzzy

Ada beberapa aplikasi logika fuzzy, diantaranya adalah:

1. Pada tahun 1990 pertama kali dibuat mesin cuci dengan logika fuzzy di Jepang (*Matsushita Elektrik Industrial Company*). Sistem fuzzy digunakan untuk menentukan putaran yang tepat secara otomatis berdasarkan jenis dan banyaknya kotoran serta jumlah yang akan dicuci.
2. Transmisi otomatis pada mobil. Mobil Nissan sudah menggunakan sistem fuzzy pada transmisi otomatis yang mampu menghemat bensin 12-17%.
3. Ilmu kedokteran dan biologi. Misalnya sistem diagnosis yang didasarkan pada logika fuzzy, penelitian kanker, manipulasi peralatan prostetik yang didasarkan pada logika fuzzy.
4. Ekonomi. Seperti pemodelan fuzzy dalam sistem pemasaran yang kompleks dan lain-lain.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

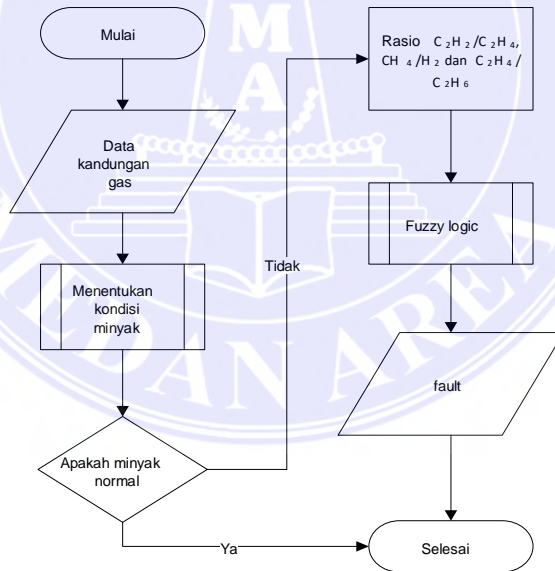
Adapun tempat dan waktu akan dilaksanakannya penelitian untuk tugas akhir sebagai tempat pengambilan data guna menyelesaikan skripsi penulis sebagai syarat untuk tugas akhir :

Tempat penelitian : Jalan Aek Tolang PT.PLN P3B Sumatera GI- Sibolga 150

Kv

Waktu penelitian : Desember 2023 hingga Januari 2024

3.2 Flowchart Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

3.3 Metode Pengumpulan Data

3.3.1 Dissolved Gas Analysis (DGA)

Dissolved gas analysis (DGA) dapat diartikan sebagai analisis kondisi trafo berdasarkan banyaknya gas terlarut dalam minyak trafo. Uji DGA dilakukan terhadap suatu sampel minyak transformator, kemudian gas-gas terlarut (*dissolved gas*) diekstrak, gas yang sudah diekstrak lalu dipisahkan, masing-masing komponen diidentifikasi dan dihitung kuantitasnya (dalam satuan ppm).

Keuntungan utama analisis DGA adalah memungkinkan identifikasi fenomena gangguan pada transformator yang dianalisis secara tepat waktu. Namun kelemahannya adalah memerlukan tingkat kemurnian yang tinggi dari sampel minyak yang dianalisis (Hermawan, 2011).

Gas-gas yang terdeteksi dari hasil analisis DGA adalah H₂ (hidrogen), CH₄ (metana), N₂ (nitrogen), O₂ (oksigen), CO (karbon monoksida), CO₂ (karbon dioksida), C₂H₄ (etilen), C₂H₆ (etana), C₂H₂ (asetilen).

Kondisi	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂	TDCG
Kondisi 1 (normal)	100	120	35	50	65	350	2.500	720
Kondisi 2 (up normal)	101- 700	121- 400	36-50	51- 100	66- 100	351- 570	2.501- 4.000	721- 1.920
Kondisi 3 (dekomposisi)	701- 1.800	401- 1.000	51-80	101- 200	101- 150	571- 1.400	4001- 10.000	1.921- 4.630

Tabel 3.1 Standar IEEE C57.104-2008 Gas Terlarut

Empat klasifikasi kondisi operasi transformator yaitu:

Kondisi 1 (Normal)

Total Dissolve Combustible Gas (TDCG) menunjukkan transformator masih dapat beroperasi normal dan lanjutkan pengoperasian.

TDCG: H₂ (100) + CH₄ (120) + C₂H₂ (35) + C₂H₄ (50) + C₂H₆ (65) + CO (350)+ CO₂ (2.500).

Kondisi 2 (Up normal)

Total Dissolve Combustible Gas (TDCG) menunjukkan gas yang mudah terbakar dan telah melebihi batas normal. Apabila salah satu gas melebihi batas level ini, maka harus segera dilakukan investigasi.

TDCG: H₂ (100-700) + CH₂ (121-400) + C₂H₂ (36-50) + C₂H₄ (51-100) + C₂H₆ (66-100) + CO (351-570) + CO₂ (2.500-4.000).

Kondisi 3 (Dekomposisi)

Total Dissolve Combustible Gas (TDCG) menunjukkan terjadinya dekomposisi tingkat tinggi. Bila salah satu gas nilainya melebihi batas level ini, maka harus dilakukan investigasi.

TDCG: H₂ (701-1.800) + CH₂ (401-1.000) + C₂H₂ (51-80) + C₂H₄ (101-200) + C₂H₆ (101-150) + CO (571-1.400) + CO₂ (4.001-10.000).

Kondisi 4 (Dekomposisi tinggi)

Total Dissolve Combustible Gas (TDCG) menunjukkan dekomposisi yang berlebihan dan melanjutkan operasi dapat mengakibatkan kegagalan transformator (Amalia, 2017).

TDCG: H₂ (>1.800) + CH₂ (>1.000) + C₂H₂ (>80) + C₂H₄ (>200) + C₂H₆ (>150) + CO (>1.400) + CO₂ (>10.000).

Hasilnya adalah: Transformator baik apabila terpenuhi kondisi 1 (normal), transformator cukup apabila terpenuhi kondisi 2 (up normal), transformator buruk apabila dalam kondisi 3 dan 4 (dekomposisi).

3.3.2 Fuzzy Logic

Pada akhir abad ke-19 sampai akhir abad ke-20, teori probabilitas memegang peranan penting dalam memecahkan masalah ketidakpastian. Metode yang umum digunakan pada saat itu adalah analisis regresi dan regresi berganda. Perkembangan teknologi yang pesat tidak hanya mengembangkan teknologi perangkat keras dan perangkat lunak saja, tetapi juga metode komputasi. Salah satu metode komputasi yang cukup berkembang adalah sistem cerdas. Salah satu metode dalam sistem cerdas yang dapat digunakan untuk melakukan peramalan adalah penggunaan logika *fuzzy* yang diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 (Nur, 2021).

Secara umum logika fuzzy merupakan metode perhitungan yang menggunakan variabel kata-kata (*linguistic variabel*) dan menggantikan perhitungan dengan bilangan. Meskipun kata-kata yang digunakan dalam *fuzzy* tidak setepat bilangan, namun kata-kata yang digunakan lebih sesuai dengan intuisi manusia, misalnya kata meresahkan, kira-kira, kurang lebih dan sebagainya. Dengan perkembangan daya pikir manusia, maka logika fuzzy ini menjadi populer untuk digunakan dalam riset kerana mampu menjembatani bahasa mesin yang serba tepat dengan bahasa manusia yang umumnya tidak akurat. Logika samar atau *fuzzy logic* dapat dianggap sebagai pendekatan untuk memetakan suatu ruang *input* atau masukan ke dalam suatu ruang *output* atau keluaran.

Logika fuzzy digunakan sebagai cara untuk memetakan masalah mulai dari *input* menuju *output* yang diharapkan. Pada himpunan *fuzzy*, nilai keanggotaannya antara rentang 0 sampai 1 (Prihatini, 2001). Himpunan fuzzy adalah suatu kelompok yang mewakili suatu kondisi atau situasi tertentu dalam suatu variabel fuzzy. Variabel fuzzy adalah variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*, misalnya umur, suhu, dan lain-lain. Fungsi keanggotaan atau *membership function* berupa suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaan yang mempunyai interval antara 0 sampai 1 (Setiawan, 2018).

Beberapa alasan orang menggunakan logika *fuzzy*, yaitu:

1. Konsep logika *fuzzy* mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari penalaran *fuzzy* sangat sederhana dan mudah dimengerti.
2. Logika *fuzzy* sangat fleksibel.
3. Logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap data-data yang sangat tepat.
4. Logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinier yang sangat kompleks.
5. Logika *fuzzy* dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
6. Logika *fuzzy* dapat bekerja sama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
7. Logika *fuzzy* didasarkan pada bahasa alami.

3.3.3 Konsep Logika Fuzzy

Motivasi utama dalam teori logika fuzzy adalah memetakan sebuah ruang input ke dalam ruang output menggunakan IF-THEN *rules*. Pemetaan dilakukan dalam sistem *Fuzzy Inference System (FIS)*. FIS mengevaluasi semua aturan secara simultan untuk menarik kesimpulan. Oleh karena itu, semua aturan harus didefinisikan terlebih dahulu sebelum membangun sebuah FIS yang dapat menginterpretasikan semua aturan tersebut.

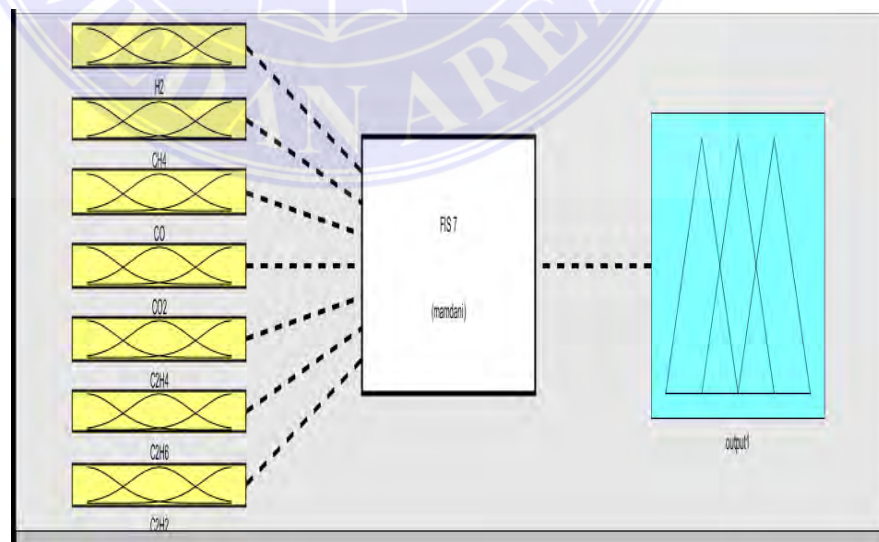
Mekanisme FIS dapat dirancang seperti berikut: FIS adalah sebuah metode yang menginterpretasikan harga dalam suatu vektor input, menarik kesimpulan berdasarkan sekumpulan IF-THEN aturan yang diberikan dan kemudian menghasilkan vektor output (Naba, 2009).

3.3.4 Rancangan Fuzzy

Logika fuzzy adalah salah satu metode logika yang memungkinkan kita untuk mengolah informasi yang tidak pasti atau ambigu. Rancangan sistem logika fuzzy terdiri dari beberapa tahapan, yaitu:

1. Tentukan variabel input. Variabel input adalah parameter yang digunakan sebagai masukan ke dalam sistem logika fuzzy. Setiap variabel input harus didefinisikan dengan jelas dan memiliki rentang nilai tertentu. Contoh variabel input:
 Konsentrasi gas Hidrogen (H₂)
 Konsentrasi gas Metana (CH₄)
 Konsentrasi gas Nitrogen (N₂)
 Konsentrasi gas Etilen (C₂H₄)
 Konsentrasi gas Karbon Dioksida (CO₂)
2. Bagilah variabel input menjadi fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan menentukan sejauh mana suatu nilai input termasuk ke dalam setiap himpunan fuzzy (rendah, sedang dan tinggi).
 H₂: Rendah, sedang, tinggi
 CH₄: Rendah, sedang, tinggi
 N₂: Rendah, sedang, tinggi
 C₂H₄: Rendah, sedang, tinggi

- C₂H₂: Rendah, sedang, tinggi
CO₂: Rendah, sedang, tinggi
3. Menentukan variabel output. Variabel output merupakan hasil yang ingin kita peroleh dari sistem logika fuzzy. Misalnya “Kondisi trafo normal, up normal, buruk”.
 4. Bagi variabel output menjadi fungsi keanggotaan. Sama dengan langkah yang kedua, kita perlu mendefinisikan fungsi keanggotaan untuk variabel output. Misalnya, untuk variabel output “keputusan untuk melakukan pemeliharaan terhadap transformator”, mungkin ada fungsi keanggotaan “tidak diperlukan”, “sedikit perlu”, dan “sangat diperlukan”.
 5. Menentukan aturan fuzzy. Aturan fuzzy adalah pernyataan yang menghubungkan input dan output. Aturan ini biasanya berbentuk “JIKA (input adalah A), DAN (input adalah B), MAKA (output adalah C). Misalnya, “ JIKA kondisi gas terlarut dalam transformator buruk DAN mempengaruhi kinerja transformator, MAKA keputusan melakukan pemeliharaan terhadap transformator adalah sangat perlu”.
 6. Defuzzyfikas. Proses terakhir ini adalah mengubah hasil output fuzzy menjadi nilai konstan. Metode defuzzyfikasi yang berbeda dapat digunakan, misalnya metode *centroid* atau metode rata-rata tertimbang.



Gambar 3.2 Rancangan Fuzzy

3.3.5 Matlab

Matlab merupakan bahasa pemrograman yang hadir dengan fitur dan fungsinya yang berbeda dengan bahasa pemrograman yang sudah ada lebih dulu seperti Delphi, Basic dan C++. Matlab adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi (*High Level Language*) yang mengkhususkan diri pada kebutuhan komputasi teknis, analisis data dan pemrograman seperti komputasi matematik, pengembangan algoritma, simulasi, pemodelan dan grafi perhitungan. Matlab hadir dengan berbagai warna yang berbeda, karena matlab membawa keistimewaan dalam fungsi-fungsi matematika, fisika, statistik, dan visualisasi (Muzaini, 2022).

Matlab dikembangkan oleh MathWorks dan pada awalnya dibuat untuk memberikan kemudahan mengakses data matrik di proyek LINPACK dan EISPACK. Saat ini Matlab memiliki banyak fitur yang dapat digunakan untuk menyelesaikan *problem solver* mulai dari masalah yang sederhana hingga masalah yang kompleks dalam berbagai disiplin ilmu (Setiawan, 2018). Beberapa bagian dari *Windows Matlab*, yaitu:

1. *Current Directiory*

Windows ini menampilkan isi dari direktori kerja yang digunakan dalam Matlab. Kita dapat mengubah direktori ini sesuai direktori kerja yang diinginkan. *Default* dari alamat direktori berada pada *folder works* tempat program file Matlab berada. Namun kita bisa merubah arah direktori sesuai yang kita inginkan.

2. *Command History*

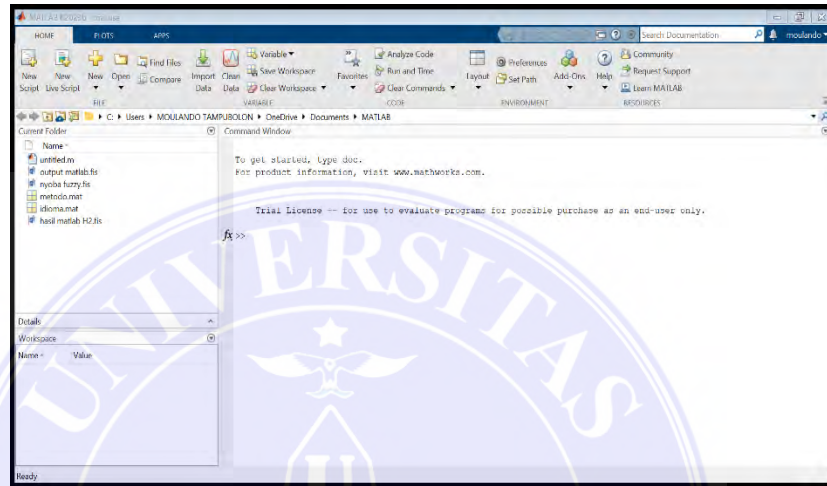
Windows ini berfungsi untuk menyimpan semua perintah apa saja yang sebelumnya dijalankan oleh pengguna terhadap Matlab. Windows ini biasanya akan terbuka secara otomatis ketika kita pernah menggunakan file yang dibuka atau dibuat.

3. *Command Windows*

Windows ini adalah windows utama dari Matlab. Command windows digunakan untuk menjalankan fungsi, mendeklarasikan variabel, menjalankan proses-proses, dan menampilkan isi variabel. Biasanya file disimpan dalam bentuk M-File.

4. *Workspace*

Workspace berfungsi untuk menampilkan seluruh variabel yang sedang aktif saat menggunakan matlab. Jika suatu variabel berupa data matriks berukuran besar maka *user* dapat melihat variabel tersebut. Matlab secara otomatis akan menampilkan windows "array editor" yang berisi data untuk setiap variabel yang dipilih *user*.



Gambar 3.3 Tampilan Matlab

Pembuatan program Matlab dapat dilakukan dengan menggunakan form editor, dengan cara klik menu FileNew-Script atau dapat pula menekan tombol *keyboard* CTRL+N. Sehingga tampak pada gambar 3.4 dibawah.



Gambar 3.4 Tampilan Editor Matlab

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil analisis didapatkan hasil bahwa gas terlarut yang terkandung di dalam minyak transformator memiliki nilai rata-rata dalam keadaan normal, terlihat pada tabel 4.2. Pada tabel terlihat hanya nilai CO₂ pada unit 2 dan 3 yang memiliki nilai ppm yang tinggi.
2. Dari hasil penelitian menggunakan *fuzzy logic* berperan untuk mengambil keputusan yang menentukan suatu gas terlarut dalam minyak tersebut apakah dalam kondisi normal, up normal dan dekomposisi. Gas yang memiliki nilai rendah merupakan dalam kondisi normal, kemudian jika nilai gas sedang merupakan dalam kondisi up normal, dan jika nilai gas tinggi maka gas dalam keadaan dekomposisi.

5.2 Saran

Penggunaan metode *fuzzy logic* dalam melakukan analisis sudah cukup baik dan sangat membantu. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk mengoptimalkan parameter logika fuzzy agar mendapatkan performa yang lebih baik dalam mendeteksi potensi kerusakan transformator. Untuk mengkonfirmasi keandalan metode ini, penelitian selanjutnya dapat melibatkan kasus riil di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, Y. (2018). Diagnosa Analisis Gas Terlarut Minyak Transformator Dengan Menggunakan Logika Fuzzy.
- Amalia, D. (2017). Analisa Gas Terlarut Pada Minyak Transformator Daya 150 kV Dengan Menggunakan Metode Duval Pentagon.
- Catur, D. (2019). Analisis Keadaan Minyak Isolasi Transformator Daya Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berdasarkan Data Dissolved Gas Analisis (DGA), 08.
- Djufri, A. (2021). *Transformator*. Ternate: Deepublish.
- Dutch, T. (2023). Analisa Unjuk Kerja Transformator Tiga Fasa Gardu Induk Pematang Siantar, 12.
- Hendra, D. (2017). Analisis Penambahan transformator Daya Baru (60 MVA) Untuk Menambah Suplai Daya Area Distribusi Pada gardu Induk Kentungan 150 KV.
- Hermawan. (2011). Analisis Gas Terlarut Pada Minyak Isolasi Transformator Tenaga Akibat Pembebanan Dan Penuaan.
- Irfan, A. (2021). Gangguan Pada Transformator.
- Muzaini, M. (2022). *Pemrograman Matlab*. (Ma'rup, Ed.). Sukabumi: Haura Utama. Nur, A. (2021). *Modul Ajar Fuzzy*. Malang: Ahlimedia Press.
- Nur, A. (2021). *Modul Ajar Fuzzy*. Malang: Ahlimedia Press.
- Pranata, Y. (2012). Analisis Keadaan Minyak Isolasi Transformator Daya 150 kV Menggunakan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA) dan Fuzzy Logic.
- Roza, I. (2019). Analisis Umur Minyak Terhadap Temperatur Transformator 150Kv Akibat Penurunan Tegangan Tembus Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) 2.1 PT PLN (PERSERO).
- Saefudin, A. (2020). Optimalisasi Material Utama Pada Autotransformator 100 MVA.
- Setiawan, A. (2018). *Logika Fuzzy Dengan Matlab*. Denpasar: Jayapangus Press.

Sri, I. (2021). Pentingnya Kualitas Trafo Arus (Current Transformer) Dengan Menerapkan Quality Plan Dalam Proses Assembly.

Syukri. (2022). Kajian Pemeliharaan Trafo Distribusi Menggunakan Metode Condition Based Maintenance (CBM), 02.

Tohari, M. (2020). Analisis Kondisi Transformator Daya 20Kv/150Kv Dengan Metode Uji Dissolved Gas Analysis (DGA).

Utomo, P. (2019). Studi Analisis Kualitas Transformator Daya Gardu Induk 150 Kv Siantan.

Yulmaini. (2019). *Logika Fuzzy*. Bandar Lampung: Andi.



DAFTAR LAMPIRAN



