

SKRIPSI

**STUDI ANALISIS PENGARUH BEBAN DAN SUHU AMBIENT 30°C
TERHADAP SISA UMUR TRANSFORMATOR TENAGA 11/150 KV
BERDASARKAN IEEE Std C57.91-2011**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan Pendidikan Strata Satu

(S-1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri

Universitas Bung Hatta

Oleh:

GANDHI HARDOYO

2310017111047



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS BUNG HATTA**

PADANG

2025

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**STUDI ANALISIS PENGARUH BEBAN DAN SUHU AMBIENT 30°C
TERHADAP SISA UMUR TRANSFORMATOR TENAGA 11/150 KV
BERDASARKAN IEEE Std C57.91-2011**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan Pendidikan Strata
Satu (S-1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri
Universitas Bung Hatta*

Oleh:

GANDHI HARDOYO
2310017111047

Disetujui Oleh:

Pembimbing,



Dr. Ir. Indra Nisfa, M.Sc.
NIDN: 1028076501

Fakultas Teknologi Industri
Dekan,

Jurusan Teknik Elektro
Ketua,



(Prof. Dr. Eng. Reni Desmiarti, ST, MT)
NIDN: 990 500 496



(Ir. Arzul, M.T)
NIDN: 1027086201

LEMBAR PENGUJI SKRIPSI

**STUDI ANALISIS PENGARUH BEBAN DAN SUHU AMBIENT 30°C
TERHADAP SISA UMUR TRANSFORMATOR TENAGA 11/150 KV
BERDASARKAN IEEE Std C57.91-2011**

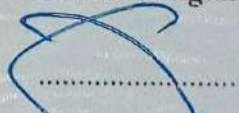
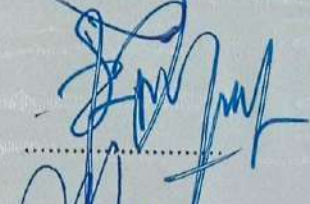
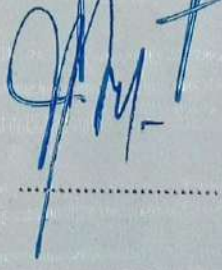
SKRIPSI

Oleh:

GANDHI HARDOYO
NPM: 2310017111047

**Dipertahankan didepan Penguji Skripsi Program
Strata Satu (S-1) Pada Jurusan Teknik Electro Fakultas Teknologi Industri
Universitas Bung Hatta Padang**

Hari: Kamis, Tanggal: 30 Januari 2025

NO	Nama	Tanda Tangan
1	Dr. Ir. Indra Nisja, M.Sc (Ketua dan Penguji)	
2	Dr. Ir. Ija Darmana, M.T., IPM (Penguji)	
3	Dr. Hidayat, S.T., M.T., IPM (Penguji)	

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Gandhi Hardoyo

NIM : 2310017111047

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Universitas : Universitas Bung Hatta

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya susun dengan judul:

“STUDI ANALISIS PENGARUH BEBAN DAN SUHU AMBIENT 30°C

TERHADAP SISA UMUR TRANSFORMATOR TENAGA 11/150 KV

BERDASARKAN IEEE STD C57.91-2011.”

Adalah benar merupakan hasil karya sendiri dan tidak mengandung unsur plagiarisme. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat unsur plagiat dalam skripsi ini, baik sebagian maupun seluruhnya, saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Bung Hatta.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Padang, 30 Januari 2025



Gandhi Hardoyo

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala Puji Bagi Allah SWT, Sang Maha Pencipta dan Maha Segala. Dengan penuh ketundukan dan syukur, kupersembahkan karya ini sebagai bentuk kecil dari segala anugerah yang telah Engkau limpahkan. Tiada daya dan upaya tanpa ridha-Mu, ya Rabb. Engkau yang telah membimbing langkah-langkahku, menguatkan hati di saat lemah, dan memberi cahaya dalam kegelapan. Segala ilmu, kesehatan, dan kesempatan ini adalah karunia-Mu yang tak ternilai.

Dengan kerendahan hati serta rasa suka cita yang sangat dalam, saya ingin mempersembahkan hasil yang telah di capai ini, kepada:

❖ Ayah dan Ibu, Cahaya Hidupku

Langkah kecilku dulu, yang kalian bimbing dengan penuh kasih, kini telah membawaku menuju titik ini. Pengorbanan, doa yang tak terputus, dan cinta tanpa syarat adalah bahan bakar yang menggerakkan setiap perjuanganku. Tanpa kalian, aku hanyalah debu di tengah badai.

❖ Istri Tercinta dan Anak-anakku, Sumber Semangat dan Kebahagiaanku

Untuk istriku yang selalu setia mendampingi dalam suka dan duka, terima kasih atas pengertian, kesabaran, dan cinta yang tak terhingga. Engkau adalah pilar kekuatanku. Untuk anak-anakku, yang senyumnya adalah energi terbesarku, semoga perjuangan ini menjadi teladan bagi kalian untuk terus berjuang meraih impian. Kalian adalah alasan terbesar mengapa aku harus terus melangkah.

❖ Keluarga Besar Tercinta

Kalian adalah tumpuan di saat lelah, penghibur di kala jatuh, dan motivasi di setiap perjalanan. Terima kasih atas tawa, doa, dan pelukan hangat yang selalu menyertai setiap langkahku.

❖ Para Pengajar dan Pembimbing

Setiap ilmu yang kalian tanamkan adalah cahaya yang menerangi jalanku. Koreksi, arahan, dan bimbingan yang telah kalian berikan akan selalu menjadi bekal bagi masa depanku.

❖ Sahabat Seperjuangan

Kita telah melalui hari-hari panjang, mengarungi badai dan menapaki jalan yang penuh liku. Terima kasih telah hadir sebagai keluarga kedua yang selalu menguatkan.

❖ Untuk Diriku Sendiri

Aku bangga padamu. Setiap luka, lelah, dan air mata telah terbayar dengan pencapaian ini. Ini bukan akhir, akan tetapi awal dari perjuangan yang lebih besar. Teruslah melangkah, karena impian tidak pernah mengenal kata lelah.

Skripsi ini adalah awal dari perjalanan menjadi seorang tenaga ahli di bidang listrik, profesi yang menuntut ketekunan, inovasi, dan dedikasi tanpa batas. Semoga ilmu yang telah diperoleh menjadi cahaya bagi dunia, menerangi masa depan, dan membawa perubahan yang berarti. Karena seorang tenaga ahli listrik bukan hanya tentang memahami arus dan tegangan, tetapi juga tentang menciptakan solusi, menerangi kehidupan, dan membangun masa depan dengan keahlian, pemikiran yang luas serta hati yang tulus.

Dengan segala hormat dan harapan,

Gandhi Hardoyo

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wata'ala. Alhamdulillah atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan judul **“Studi Analisis Pengaruh Beban dan Suhu Ambient 30°C terhadap Sisa Umur Transformator Tenaga 11/150 kV Berdasarkan IEEE Std C57.91-2011”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro di Universitas Bung Hatta.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. **Kedua orang tua** tercinta yang selalu memberikan do'a, cinta, dan semangat yang tak ternilai kepada penulis dalam setiap langkah.
2. Ibu **Prof. Dr. Eng. Reni Desmiarti, S.T., M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta, yang telah memberikan dukungan selama masa studi.
3. Bapak **Ir. Arzul, M.T.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Bung Hatta, atas motivasi dan arahannya selama perkuliahan.
4. Bapak **Dr. Ir. Indra Nisja, M.Sc.**, selaku pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan pengetahuan yang sangat berharga hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Bapak **Mirza Zoni, S.T., M.T.**, selaku Penasehat Akademis, yang telah memberikan perhatian dan dukungan selama masa studi.
6. Seluruh **Dosen dan Staf** jurusan Teknik Elektro Universitas Bung Hatta atas ilmu dan pengalaman yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
7. **Ilyas Yamin** selaku General Manager Power Business Unit dan rekan – rekan yang bekerja di lingkungan *Power Plant* di PT AMNT.
8. **PT . Amman Mineral Nusa Tenggara** selaku perusahaan tempat melakukan penelitian.

9. **Larasati Herlambang Putri**, istri tercinta, yang selalu setia mendampingi dan memberikan dukungan moril maupun spiritual, serta kedua putra penulis, **Albian Abizard Gandhi** dan **Attarazka Ibrahim Gandhi**, yang menjadi sumber inspirasi dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik, saran, dan masukan yang membangun demi perbaikan dan peningkatan kualitas skripsi ini di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi kontribusi positif dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang Teknik Elektro.

Padang, 30 Januari 2025

GANDHI HARDOYO

ABSTRAK

Studi Analisis Pengaruh Beban Dan Suhu Ambient 30°C Terhadap Sisa Umur Transformator Tenaga 11/150 kV Berdasarkan IEEE Std C57.91-2011. Penelitian ini memberikan rekomendasi penting bagi operator pembangkit listrik untuk memantau suhu hotspot dan mengatur pembebanan transformator guna meminimalkan risiko kegagalan dan memperpanjang umur operasional transformator. Implementasi pemantauan berbasis data operasional dapat meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik dan mengurangi biaya perawatan jangka panjang. Hasil analisis menunjukkan bahwa suhu hotspot meningkat seiring dengan peningkatan rasio beban. Beban yang lebih tinggi dari 80% kapasitas nominal menyebabkan suhu hotspot melebihi 110°C, yang mempercepat laju penuaan isolasi secara signifikan. Berdasarkan hasil perhitungan, kehilangan umur transformator berkisar antara 0,333% hingga 0,418% per tahun, tergantung pada beban dan suhu lingkungan. Kurva hubungan antara rasio beban, suhu hotspot, dan faktor percepatan penuaan menunjukkan bahwa menjaga beban operasional di bawah 80% kapasitas nominal dapat memperlambat degradasi isolasi dan memperpanjang masa pakai transformator.

Kata kunci : Transformator, Umur Transformator, Hot-Spot Temperature, Loss of Life.

ABSTRACT

Analysis Study of the Influence of Load and 30°C Ambient Temperature on the Remaining Life of a 11/150 kV Power Transformer Based on IEEE Std C57.91-2011. This study provides important recommendations for power plant operators to monitor hotspot temperatures and regulate transformer loading to minimize failure risks and extend transformer operational life. The implementation of data-driven operational monitoring can enhance power system reliability and reduce long-term maintenance costs. The analysis results indicate that the hotspot temperature increases as the load ratio rises. Loads exceeding 80% of the nominal capacity cause the hotspot temperature to surpass 110°C, significantly accelerating insulation aging. Based on the calculations, the transformer's loss of life ranges between 0.333% and 0.418% per year, depending on the load and ambient temperature. The relationship curve between load ratio, hotspot temperature, and aging acceleration factor suggests that maintaining operational load below 80% of the nominal capacity can slow down insulation degradation and extend transformer lifespan.

Keywords: *Power Transformer, Transformer Remaining Life, Hot-Spot Temperature, Loss of Life.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
LEMBAR PENGUJI SKRIPSI	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Landasan Penelitian.....	6
2.2. Landasan Teori	10
2.2.1. Prinsip Kerja Transformator.....	10
2.2.2. Bagian – Bagian dari Transformator dan Fungsinya.....	12
2.2.3. Jenis – Jenis Sistem Pendingin Transformator	15
2.2.4. Aplikasi Transformator 3 Fasa	16
2.2.5. Pengertian Daya dan Dasar Listrik 3 Fasa	17
2.2.6. Faktor Daya dan Pengaruh Terhadap Transformator	18

2.2.7.	Rugi – Rugi Daya dan Efisiensi Transformator	19
2.2.7.1.	Rugi – Rugi Daya Transformator	19
2.2.7.2.	Efisiensi Transformator	20
2.2.8	Beban Rasio Transformator.....	21
2.2.9	Mekanisme Penuaan Isolasi pada Transformator	21
2.3.	Standard Institute Of Electrical And Electronic Engineers	22
2.3.1.	Metode Perhitungan Sisa Umur IEEE C57.91	24
2.3.1.1.	Top Oil Temperature (<i>TTOT</i>).....	24
2.3.1.2.	Hot-Spot Temperature (<i>THST</i>).....	24
2.3.1.4.	Kehilangan Umur Pada Transformator (<i>LOL</i>):.....	26
2.3.1.5.	Perkiraan Sisa Umur (<i>RLA</i>)	26
2.4.	Kerangka Pemikiran dan Hipotesis	27
BAB III	METODE PENELITIAN	28
3.1	Rancangan Penelitian	28
3.2	Lokasi Penelitian	28
3.3	Data Transformator	30
3.4	Alur Penelitian.....	31
BAB IV	PEMBAHASAN DAN ANALISA.....	32
4.1	Deskripsi Penelitian.....	32
4.2	Perhitungan Rasio Beban Tranformator.....	32
4.3	Perhitungan Suhu Top Oil.....	34
4.4	Perhitungan Suhu <i>Hotspot</i>	39
4.5	Perhitungan Faktor Percepatan Penuaan.	44
4.6	Perhitungan Total Kehilangan Umur Transformator.	46
4.7	Perhitugan Kehilangan Umur Transformator Dalam Periode ...	48
4.8	Perhitugan Persentase Kehilangan Umur Transformator	49
4.9	Perhitungan Perkiraan Sisa Umur Transformator	50
4.10	Analisa Kehilangan Umur Transformator	51

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Transformator.	11
Gambar 2. 2 Transformator Tenaga Tiga Fasa	12
Gambar 2. 3 Kurva Hot-Spot Temperatur Transformator (IEEE C57.91)	22
Gambar 3. 1 Diagram Listrik Satu Garis Batu Hijau.....	29
Gambar 3. 2 Lokasi Penelitian Pada PLTU PT AMMAN.....	29
Gambar 3. 3 Alur Penelitian.	31
Gambar 4. 1 Kurva Pembebanan Transformator.	34
Gambar 4. 2 Kurva Hubungan Load Ratio, Hotspot Dan FAA.	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis - Jenis Sistem Pendingin Transformator.	16
Tabel 2. 2 Umur Isolasi Transformator Normal.	23
Tabel 3. 1 Daftar Transformator Penelitian	30
Tabel 3. 2 <i>Name Plate</i> Transformator.....	30
Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Rasio Beban Transformator.	33
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan <i>TTOT</i> 51-TL-EM301 Transformator.	35
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan <i>TTOT</i> 52-TL-EM301 Transformator.	36
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan <i>TTOT</i> 53-TL-EM301 Transformator.	37
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan <i>TTOT</i> 54-TL-EM301 Transformator.	38
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Hot Spot 51-TL-EM301 Transformator.....	39
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Hot Spot 52-TL-EM301 Transformator.....	40
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Hot Spot 53-TL-EM301 Transformator.....	41
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Hot Spot 54-TL-EM301 Transformator.....	42
Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Faktor Percepatan Penuaan Transformator.	44
Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Total Kehilangan Umur Pada Transformator.....	46
Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Kehilangan Umur Transformator Periode.....	48
Tabel 4. 13 Persentasi Total Kehilangan Umur Transformator Satu Tahun.....	49
Tabel 4. 14 Perkiraan Sisa Umur Transformator Tenaga.	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 01 - <i>Name Plate</i> Transformator.....	52
Lampiran 02 - <i>Overall Single Line Diagram</i> Batu Hijau Site.....	53
Lampiran 03 - <i>Ratio</i> Pembebanan Transformator.	54
Lampiran 04 - Data 51-TL-EM301 Transformator Tenaga.	55
Lampiran 05 - Data 52-TL-EM301 Transformator Tenaga.....	56
Lampiran 06 - Data 53-TL-EM301 Transformator Tenaga.....	57
Lampiran 07 - Data 54-TL-EM301 Transformator Tenaga.....	58
Lampiran 08 - Data Perhitungan Sisa Umur Transformator.....	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Transformator adalah komponen penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan sesuai kebutuhan distribusi. Menurut dokumen CAL-5020-65-001-C *Estimate of Transformer Life Expectancy*, masa pakai rata-rata transformator dengan nomor peralatan 51-TL-EM301, 52-TL-EM301, 53-TL-EM301 dan, 54-TL-EM301 adalah 22 tahun. Namun, transformator yang menjadi objek penelitian telah beroperasi selama 26 tahun, melebihi batas umur yang direkomendasikan. Penggunaan yang lebih lama dari masa pakai ideal dapat meningkatkan risiko kerusakan akibat faktor degradasi seperti pembebanan berlebih, kenaikan suhu operasi, dan penurunan kualitas minyak isolasi. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengevaluasi kondisi aktual transformator. [1]

Salah satu standar internasional yang digunakan untuk menganalisis dan memprediksi susut umur transformator adalah standar IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) C57.91 - 2011. [2]

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk memahami lebih dalam faktor-faktor yang mempengaruhi susut umur transformator, terutama melalui analisis data historis dan simulasi termal. Jurnal-jurnal ilmiah yang mendalami topik ini sering kali menggabungkan aspek-aspek analisis eksperimental dengan pemodelan teoritis yang diacu pada standar IEEE C57.91. Misalnya, Pada saat pembebanan maka akan ada arus yang mengalir ke dalam kumparan transformator sehingga mengakibatkan temperatur transformator meningkat. Temperatur yang terlalu panas akan mengakibatkan kerusakan pada isolasi transformator dan akan berakibat pada pengurangan masa guna transformator itu sendiri. Penelitian ini dilakukan pengamatan dan analisa dengan mengetahui kinerja transformator dalam durasi 24 jam normal operasi dengan membandingkan antara pengaruh temperatur operasi ketika perubahan beban, temperatur lingkungan dan temperature *hotspot*. [3]

Faktor-faktor yang mempengaruhi masa pakai transformator adalah beban berlebih dan suhu sekitar. Pada penelitian ini membahas tentang Analisis perkiraan umur transformator terhadap pembebanan menggunakan metode *time series* dan metode montsinger. [4]

Usia transformator sendiri dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya yaitu pembebanan dan suhu lingkungan sekitar transformator. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pembebanan dan suhu lingkungan pada transformator. Berdasarkan analisis tersebut didapatkan masa pakai transformator, dengan metode yang digunakan ialah metode kuantitatif dan teknik analisis statistik deskriptif. [5]

Kebutuhan listrik di Aceh terutama di daerah Lhokseumawe berpengaruh terhadap salah satu peralatan yang membantu penyaluran energy listrik dari pembangkit ke konsumen. Salah satu peralatan pembantu penyaliran listrik ke konsumen adalah transformator atau yang biasa disingkat dengan trafo. Menurut publikasi IEC 60076-7 ditetapkan bahwa trafo memiliki umur selama 20,55 tahun atau 180000 jam. Namun, kenyataannya umur trafo dapat menjadi lebih pendek karena pengaruh faktor pembebanan dan suhu dari trafo. [6]

Meski berperan penting, transformator rentan mengalami penyusutan umur akibat pemanasan yang disebabkan oleh beban dan kondisi lingkungan. Di Indonesia, transformator umumnya didesain untuk suhu lingkungan 20°C, tetapi sering beroperasi pada suhu sekitar 30°C, yang meningkatkan laju penuaan dan menurunkan efisiensinya. Penelitian ini dilakukan untuk memahami hubungan antara suhu dan pembebanan terhadap umur transformator, dengan fokus pada pengaruh suhu "hot-spot" terhadap penuaan isolasi dan masa pakai transformator.

Implementasi standar IEEE C57.91 dalam konteks transformator yang digunakan di lapangan sering kali membutuhkan penyesuaian sesuai dengan kondisi operasional (*load demand*). Faktor lingkungan seperti suhu lingkungan, kelembaban, dan kontaminasi dapat menyumbang percepat proses penuaan transformator, meskipun pengoperasiannya berada dalam batas

standar. Oleh karena itu, pendekatan analitis berbasis standar IEEE C57.91 tidak hanya memberikan panduan umum, tetapi juga membutuhkan kajian spesifik sesuai dengan kondisi aktual transformator yang digunakan di lapangan.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh peningkatan beban operasional terhadap suhu hotspot (T_{HST}) dan percepatan penuaan isolasi transformator berkapasitas 50 MVA?
2. Bagaimana suhu ambient 30°C mempengaruhi kenaikan suhu oli (T_{TOT}) dan laju degradasi isolasi transformator?
3. Bagaimana metode IEEE Std C57.91-2011 dapat digunakan untuk memprediksi sisa umur transformator berdasarkan parameter beban dan suhu ambient?
4. Bagaimana strategi optimal dalam pengelolaan beban transformator untuk memperpanjang umur operasional dan meningkatkan keandalan sistem kelistrikan?

1.3. Batasan Masalah

1. Standar yang digunakan dalam analisis adalah IEEE Std C57.91, 2011 yang berfokus pada evaluasi termal dan pengaruh beban terhadap umur transformator berkapasitas daya 50MVA.
2. Faktor lingkungan yang diperhitungkan terbatas pada suhu lingkungan 30°C , dengan asumsi bahwa parameter-parameter dalam kondisi standar wilayah Nusa Tenggara Barat.
3. Studi ini tidak mencakup analisis ekonomi atau biaya perawatan transformator, fokusnya pada aspek teknis dan prediksi susut umur.
4. Dalam studi ini, semua pengujian listrik, pengujian mekanikal serta pengujian kimia pada minyak pada transformator dianggap dalam kondisi baik dan normal.

1.4. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis hubungan antara peningkatan beban operasional dengan suhu hotspot (T_{HST}) dan dampaknya terhadap percepatan penuaan isolasi transformator.
2. Menyelidiki pengaruh suhu ambient 30°C terhadap suhu oli (T_{TOT}) dan degradasi isolasi transformator dalam jangka panjang.
3. Mengimplementasikan metode IEEE Std C57.91-2011 dalam memprediksi sisa umur transformator berdasarkan parameter operasional seperti beban dan suhu ambient.
4. Merumuskan strategi optimal dalam pengelolaan beban transformator guna memperpanjang umur isolasi serta meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem kelistrikan.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis.

Mengontribusi pengembangan metode prediktif berdasarkan standar IEEE C57.91, yang dapat membantu meningkatkan keandalan peralatan listrik dalam sistem tenaga.

2. Manfaat Praktis.

Memberikan panduan yang lebih akurat bagi perencana sistem tenaga listrik dalam merencanakan perawatan transformator berdasarkan prediksi masa pakai.

Menyediakan informasi untuk meningkatkan strategi perawatan preventif dan prediktif guna meminimalkan risiko kerusakan transformator secara tiba-tiba.

Meningkatkan efisiensi operasional dan umur transformator melalui identifikasi kondisi kritis yang dapat mempercepat susut umur transformator.

3. Manfaat Industri.

Membantu perusahaan energi dan utilitas listrik dalam memperpanjang masa pakai transformator dengan biaya perawatan yang lebih terkontrol.

Mengurangi risiko gangguan pasokan listrik akibat kegagalan transformator melalui implementasi strategi perawatan yang berbasis data dan standar internasional.