

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS PEMBEBANAN OPTIMUM PADA TRANSFORMATOR TENAGA 60 MVA GARDU INDUK TELUK NAGA BERDASARKAN STANDAR IEC 60354 DAN METODE NEWTON-RAPHSON

Diajukan guna melengkapi sebagian syarat dalam mencapai
gelar Sarjana Strata Satu (S1)



Disusun Oleh :

Nama : Putri Husnah Salim
N.I.M. : 41419120214
Pembimbing : Sulistyono, ST., MM.

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2021**

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Putri Husnah Salim

NIM : 41419120214

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Tugas Akhir : Analisis Pembebanan Optimum Pada Transformator Tenaga 60 MVA Gardu Induk Teluk Naga Berdasarkan Standar IEC 60354 dan Metode Newton-Raphson

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggung jawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak dipaksakan.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 10 Juli 2021



Putri Husnah Salim

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PEMBEBANAN OPTIMUM PADA TRANSFORMATOR TENAGA 60 MVA GARDU INDUK TELUK NAGA BERDASARKAN STANDAR IEC 60354 DAN METODE NEWTON-RAPHSON



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Disusun Oleh :

Nama : Putri Husnah Salim

N.I.M : 41419120214

Program Studi : Teknik Elektro

UNIVERSITAS
Mengetahui,
MERCU BUANA
Pembimbing Tugas Akhir

(Sulistyono, ST, MM)

Kaprodi Teknik Elektro

(Dr. P. Eko Ihsanto, M.Eng)

Koordinator Tugas Akhir

(Muhammad Hafizd Ibnu Hajar, ST, M.Sc)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat dan karunianya kepada hamba-Nya berupa kemudahan dan kelancaran sehingga dapat menyelesaikan laporan ini dengan baik dan tepat waktu.

Laporan ini dibuat untuk memenuhi syarat untuk mencapai gelar Strata Satu (S1) serta dapat menambah wawasan mengenai sistem tenaga. Dalam pembuatan laporan ini, penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak dalam penjabaran teori-teori yang bersangkutan, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang membantu dalam kelancaran pembuatan laporan ini. Semoga laporan ini dapat memberikan wawasan yang lebih luas kepada pembaca.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan dan pembuatan laporan ini. Oleh karena itu, kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun selalu kami harapkan demi kesempurnaan laporan ini. Penulis berharap laporan ini dapat bermanfaat dan benar adanya dari segi kearutan datanya baik bagi seluruh pembaca pada umumnya dan bagi penulis pada khususnya. Akhir kata, penulis mengucapkan terimakasih.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 10 Juli 2021



Putri Husnah Salim

ABSTRAK

Transformator tenaga diharapkan dapat beroperasi dengan umur yang panjang. Selain faktor pemeliharaan, faktor operasinal juga sangat berpengaruh untuk menjaga umur harapan hidup transformator. Dari segi operasional, transformator tidak direkomendasikan untuk dioperasikan pada kapasitas maksimum secara terus-menerus. Saat transformator dibebani, akan timbul panas akibat rugi-rugi daya, pemanasan berlebih yang melewati batas thermal isolasi transformator akan menyebabkan degradasi pada isolasi kertas dan minyak. Hal ini tentunya akan memperpendek usia harapan hidup transformator. Selain panas dari dalam yang ditimbulkan dari rugi-rugi daya, panas eksternal dari suhu lingkungan juga sangat berpengaruh terhadap akumulasi pemanasan berlebih pada transformator tenaga.

Tugas akhir ini meneliti mengenai pengaruh pembebanan dan suhu lingkungan terhadap susut umur transformator. Kemudian mencari pembebanan optimum transformator berdasarkan kemungkinan suhu lingkungan tertinggi dan indikasi-indikasi suhu tertinggi yang pernah tercapai saat transformator beroperasi. Transformator yang menjadi objek penelitian adalah transformator unit 1, 2, dan 4 Gardu Induk Teluk Naga. Analisis susut umur mengacu pada standar IEC 60354 tahun 1991 dan analisis beban optimum menggunakan metode iterasi Newton-Raphson.

Penelitian yang mengacu pada beban tertinggi transformator di Gardu Induk Teluk Naga bulan November 2020, menghasilkan laju susut umur untuk transformator unit 1 sebesar 57,5 %/hari, transformator unit 2 sebesar 100,1 %/hari, dan transformator unit 4 sebesar 243,8 %/hari. Sedangkan untuk pembebanan optimum transformator unit 1 sebesar 99,30%, transformator unit 2 sebesar 99,31%, dan transformator unit 4 sebesar 96,77%.

Kata kunci: Transformator tenaga, suhu lingkungan, susut umur, beban optimum.

ABSTRACT

Power transformers are expected to operate with a long life. In addition to maintenance factors, operational factors are also very influential in maintaining the life expectancy of the transformer. From an operational point of view, the transformer is not recommended to be operated at maximum capacity continuously. When the transformer is loaded, there will be heat due to power losses, overheating that exceeds the thermal insulation limit of the transformer will cause degradation of the paper and oil insulation. This will certainly shorten the life expectancy of the transformer. In addition to the internal heat generated from power losses, external heat from the ambient temperature also greatly affects the accumulation of overheating in the power transformer.

This final project examines the effect of loading and environmental temperature on the life loss of the transformer. Then look for the optimum loading of the transformer based on the highest possible ambient temperature and indications of the highest temperature ever reached when the transformer is operating. The transformers that are the object of research are transformer units 1, 2, and 4 at Teluk Naga Substation. Ageing loss analysis refers to the 1991 IEC 60354 standard and the optimum load analysis uses the Newton-Raphson iteration method.

Research that refers to the highest transformer load at the Teluk Naga Substation in November 2020, resulted in a life loss rate for transformer unit 1 is 57.5 %/day, transformer unit 2 is 100.1 %/day, and transformer unit 4 is 243, 8 %/day. Meanwhile, the optimum loading of transformer unit 1 is 99.30%, transformer unit 2 is 99.31%, and transformer unit 4 is 96.77%.

Keywords: Power transformer, ambient temperatur, ageing loss, optimum load.

MERCU BUANA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Transformator.....	7
2.3 Transformator Tenaga	8
2.4 Bagian Utama Transformator Tenaga	9
2.4.1 <i>Electromagnetic Circuit</i> (Inti besi)	9
2.4.2 <i>Current Carrying Circuit</i> (Belitan)	10
2.4.3 Bushing.....	10
2.4.4 Minyak Transformator	11
2.4.5 Konservator (<i>Oil Preservation & Expansion</i>).....	12
2.4.6 Pendingin	12

2.4.7	<i>Tap Changer</i> (Perubah Tap)	14
2.5	Rugi-Rugi Pada Transformator	14
2.6	Pemanasan Transformator	15
2.7	Penuaan Isolasi	16
2.8	Pengaruh Pembebanan Transformator	16
2.9	Pengaruh Suhu Lingkungan	17
2.10	Pengaruh Pemanasan Transformator	17
2.10.1	Asumsi Dengan Diagram Thermal	18
2.10.2	Kenaikan Temperatur <i>Top-oil</i>	20
2.10.3	Selisih Kenaikan <i>Hotspot</i> dan <i>Top-oil</i>	21
2.10.4	Suhu Titik – Panas (<i>Hot – Spot</i>)	21
2.11	Penuaan Thermal Isolasi Transformator	22
2.11.1	Hukum Penuaan Thermal	22
2.11.2	Laju Penuaan Thermal Relatif	23
2.11.3	Perhitungan susut umur	24
2.12	Pembebanan Optimum	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		25
3.1	Rancangan Penelitian	25
3.1.1	Studi Literatur	25
3.1.2	Lokasi dan Waktu Penelitian	25
3.1.3	Fokus Penelitian	25
3.2	Prosedur Penelitian	26
3.3	Analisis Data	27
3.4	Diagram Alir Penelitian	28
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		29
4.1	Umum	29
4.2	Data Masukan	29
4.2.1	Data Transformator	29

4.2.2	Data Indikator Rele Suhu Transformator	31
4.2.3	Data Beban dan Suhu Transformator	32
4.3	Laju Penuaan Trafo Pada Beban Stabil.....	36
4.3.1	Menghitung Faktor Beban dan Rugi-Rugi	36
4.3.2	Kenaikan Temperatur <i>Top-Oil</i> Pada Beban Stabil ($\Delta\theta_b$)	38
4.3.3	Selisih Kenaikan <i>Hotspot</i> dan <i>Top-oil</i> ($\Delta\theta_c$)	38
4.3.4	Menentukan Temperatur <i>Hotspot</i> (θ_h)	39
4.3.5	Laju Penuaan Thermal Relatif (<i>V</i>).....	39
4.4	Ringkasan Laju Penuaan Trafo Pada Beban Stabil.....	39
4.5	Laju Penuaan Trafo Pada Beban Berubah-ubah	41
4.5.1	Faktor Rugi-rugi Pada Beban Berubah-ubah.....	43
4.5.2	Kenaikan Temperatur <i>Top Oil</i> Pada Beban Berubah-ubah ($\Delta\theta_{bt}$)	44
4.5.3	Selisih kenaikan <i>Hotspot</i> dan <i>Top-oil</i> ($\Delta\theta_c$)	45
4.5.4	Menentukan Temperatur <i>Hotspot</i> (θ_h).....	46
4.5.5	Laju Penuaan Thermal Relatif (<i>V</i>).....	46
4.5.6	Susut Umur (<i>L</i>)	46
4.6	Ringkasan Laju Penuaan Trafo Pada Beban Berubah-ubah.....	47
4.7	Pembebanan Optimum	50
BAB V PENUTUP		57
5.1	Kesimpulan.....	57
5.2	Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA		59
LAMPIRAN.....		61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip hukum elektromagnetik	8
Gambar 2.2 Transformator Tenaga	9
Gambar 2.3 Inti besi	10
Gambar 2.4 Belitan trafo	10
Gambar 2.5 Bushing	11
Gambar 2.6 Minyak isolasi trafo	12
Gambar 2.7 Konservator	12
Gambar 2.8 Radiator	13
Gambar 2.9 Diagram Thermal	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 4.1 Kurva $\Delta\theta_{hr}$ vs K	54
Gambar 4.2 Kurva θ_a vs K	56



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Macam-Macam Sistem Pendingin	13
Tabel 2.2 Karakteristik Thermal (IEC 60354-2, 1991).....	19
Tabel 2.3 Laju Penuaan Relatif.....	23
Tabel 4.1 Indikator Rele Suhu Trafo Unit 1	31
Tabel 4.2 Indikator Rele Suhu Trafo Unit 2	32
Tabel 4.3 Indikator Rele Suhu Trafo Unit 4	32
Tabel 4.4 Beban Harian Tertinggi Tahun 2020 Pada Bulan 1 – 6.....	32
Tabel 4.5 Beban Harian Tertinggi Tahun 2020 Pada Bulan 6 – 12.....	33
Tabel 4.6 Beban Tertinggi Trafo #1, November 2020.....	33
Tabel 4.7 Beban Rata-Rata Trafo #1, November 2020.....	34
Tabel 4.8 Beban Tertinggi Trafo #2, November 2020.....	34
Tabel 4.9 Beban Rata-Rata Trafo #2, November 2020.....	35
Tabel 4.10 Beban Tertinggi Trafo #4, November 2020.....	35
Tabel 4.11 Beban Rata-Rata Trafo #4, November 2020.....	36
Tabel 4.12 Ringkasan Data Masukan Perhitungan Pada Beban Stabil.....	40
Tabel 4.13 Ringkasan Hasil Perhitungan Pada Beban Stabil.....	40
Tabel 4.14 Interval Waktu Pembebanan Trafo #1.....	42
Tabel 4.15 Interval Waktu Pembebanan Trafo #2.....	42
Tabel 4.16 Interval Waktu Pembebanan Trafo #4.....	43
Tabel 4.17 Rekaman Data Suhu Pada Nilai Beban Terdekat.....	45
Tabel 4.18 Ringkasan Data Masukan Trafo Unit 1.....	47
Tabel 4.19 Ringkasan Hasil Perhitungan Susut Umur Trafo Unit 1.....	48
Tabel 4.20 Ringkasan Data Masukan Trafo Unit 2.....	48
Tabel 4.21 Ringkasan Hasil Perhitungan Susut Umur Trafo Unit 2.....	49
Tabel 4.22 Ringkasan Data Masukan Trafo Unit 4.....	49
Tabel 4.23 Ringkasan Hasil Perhitungan Susut Umur Trafo Unit 4.....	50
Tabel 4.24 Ringkasan Perhitungan Pembebanan Optimum Trafo.....	53
Tabel 4.25 $\Delta\theta hr$ vs K dengan asumsi θa tetap	54
Tabel 4.26 θa vs K dengan asumsi $\Delta\theta hr$ tetap	55