



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



OPTIMASI *TOTAL OWNING COST*
TRANSFORMATOR TENAGA MELALUI EVALUASI
BIAYA RUGI – RUGI DAYA

TESIS

POLITEKNIK
MUJAB
NEGERI
1803511009
JAKARTA

PROGRAM STUDI MAGISTER TERAPAN TEKNIK ELEKTRO
PASCASARJANA POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
DEPOK
AGUSTUS 2021



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



OPTIMASI *TOTAL OWNING COST*
TRANSFORMATOR TENAGA MELALUI EVALUASI
BIAYA RUGI – RUGI DAYA

TESIS

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Mencapai Derajat Magister Terapan dalam Bidang Rekayasa Tenaga Listrik

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

MUJAB

1803511009

PROGRAM STUDI MAGISTER TERAPAN TEKNIK ELEKTRO
PASCASARJANA POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
DEPOK
AGUSTUS 2021



HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis ini saya susun tanpa tindakan plagiarisme sesuai dengan peraturan yang berlaku di Politeknik Negeri Jakarta.

Jika di kemudian hari ternyata saya melakukan tindakan plagiarisme, saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diajukan oleh Politeknik Negeri Jakarta kepada saya.

Depok, 13 Agustus 2021

Mujab

1803511009

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis yang saya susun ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Mujab

NIM : 1803511009

Tanda Tangan :

Tanggal : 13 Agustus 2021



POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini yang diajukan oleh:

Nama : Mujab

NIM : 1803511009

Program Studi : Magister Terapan Teknik Elektro

Judul : Optimasi *Total Owning Cost* Transformator Tenaga
Melalui Evaluasi Biaya Rugi – Rugi Daya

Telah diuji oleh Tim Penguji dalam Sidang Tesis pada hari Jum'at tanggal 13 Agustus tahun 2021 dan dinyatakan LULUS untuk memperoleh Derajat Gelar Magister Terapan pada Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta.

Pembimbing I : Dr. Isdawimah S.T., M.T.

Pembimbing II : Ir. Drs. Asrizal Tatang, M.T.

Penguji I : Dr. Ir. Pawenary, M.T.,
MPM., IPM

Penguji II : Fatahula, S.T., M.Kom.

Penguji III : Ikhsan Kamil, S.T., M.Kom.

Depok, 26 Agustus 2021

Disahkan oleh

Kepala Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta



Dr. Drs. Supriatnoko, M. Hum

NIP. 196201291988111001



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah *Ta'ala* atas segala kemudahan dan rahmatNya sehingga saya dapat menyelesaikan Tesis ini. Penulisan Tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai derajat Magister Terapan dalam Bidang Rekayasa Tenaga Listrik Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan, bimbingan dan masukan dari banyak pihak sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Isdawimah, S.T., M.T. selaku Pembimbing I dan Bapak Ir. Drs. Asrizal Tatang, M.T. selaku Pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran serta masukan-masukan yang berharga untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tesis ini.
2. Kedua orangtua serta seluruh keluarga saya yang terus memberikan doa, dukungan dan semangat yang sangat berharga.
3. PT. CG Power Systems Indonesia dari tim *Sales, Engineering* dan HR yang terus memberikan dukungan serta membantu memberikan data-data untuk keperluan penulisan Tesis ini.
4. Rekan-rekan Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro Rekayasa Tenaga Listrik angkatan tahun 2018 atas semua dukungannya
5. Semua pihak yang telah membantu saya dalam menyelesaikan Tesis ini, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhirnya saya berharap semoga Allah *Ta'ala* berkenan membalas segala budi baik semua pihak yang telah membantu, dan semoga Tesis ini membawa manfaat bagi pembaca dan pengembangan ilmu.

Depok, 13 Agustus 2021

Penulis

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai sivitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mujab
NIM : 1803511009
Program Studi : Magister Terapan Teknik Elektro
Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Jakarta Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Optimasi *Total Owning Cost* Transformator Tenaga Melalui Evaluasi Biaya Rugi – Rugi Daya

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Politeknik Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan/mengalihformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalah data (*database*), merawat, dan memublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 13 Agustus 2021

Yang menyatakan

Mujab

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



ABSTRAK

Transformator tenaga adalah salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang sangat penting. Dalam beberapa keadaan, kebanyakan pengguna baik dibidang industri, utilitas maupun pembangkit belum menjadikan biaya rugi-rugi daya sebagai pertimbangan pengambilan keputusan pada saat proses pembelian transformator tenaga. Pada studi kasus ini penulis melakukan evaluasi biaya rugi-rugi daya khususnya biaya rugi-rugi tanpa beban pada transformator tenaga 215 MVA 16,5/150 kV dan 140 MVA 11/157,5 kV untuk mendapatkan *total owning cost* (biaya kepemilikan) yang paling optimum. Parameter yang perlu diperhatikan pada saat proses pembelian selain harga dan spesifikasi teknis adalah biaya rugi-rugi daya, yang mana merupakan variabel biaya operasi yang harus ditanggung pengguna selama siklus hidup transformator tenaga. Biaya rugi-rugi daya dipengaruhi beberapa komponen antara lain masa operasi transformator tenaga, biaya pokok penyediaan tenaga listrik (BPP), faktor kenaikan BPP, tingkat suku bunga, faktor beban dan *loss factor*. Dengan memperhatikan batasan-batasan teknis dan standard yang berlaku, evaluasi dimulai dengan mengoptimasi desain referensi dengan membuat beberapa variasi desain yang mempunyai nilai rugi-rugi daya yang berbeda. Perhitungan biaya rugi-rugi daya dilakukan berdasarkan hasil optimasi desain dan data-data komponennya. Selanjutnya, optimasi *total owning cost* transformator tenaga dilakukan berdasarkan hasil perhitungan biaya pembelian dan biaya rugi-rugi daya. Dari hasil optimasi dan pembahasan menunjukkan bahwa *total owning cost* transformator tenaga yang optimum tidak hanya ditentukan oleh harga pembelian yang paling rendah dan atau spesifikasi teknis yang tinggi saja akan tetapi keduanya mempunyai korelasi yang erat dalam mendapatkan *total owning cost* yang paling optimum. Studi kasus ini sangat bermanfaat bagi kedua belah pihak, baik pengguna maupun pabrikan untuk mendapatkan spesifikasi dan desain yang tepat dalam proses pembelian dan produksi transformator tenaga.

Kata kunci: transformator tenaga, *total owning cost*, optimasi desain, biaya rugi-rugi daya

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRACT

A power transformer is one of the most important parts of the electrical power system. In some cases, most users in industrial, utility, and power plant do not use net present value losses as a consideration in making decisions during the purchasing process of power transformers. In this study, we evaluate net present value losses especially for no-load losses in power transformers 215 MVA 16.5/150 kV and 140 MVA 11/157.5 kV to obtain the most optimum total owning cost. Parameters needed to be considered during purchasing process besides purchase price and technical specifications is net present value losses due to it becomes variable of operating cost that must be borne by the user during the life cycle of the power transformer. The net present value losses are influenced by several components i.e. power transformer lifetime, cost of energy (BPP), increment factor of BPP, interest rates, load factors, and loss factors. Considering the limitation of technical aspects and standards applied, the evaluation begins with optimizing the reference design by developing several variations of design that have different losses value. The calculation of the net present value losses is carried out based on the results of design optimization and other component's value. Furthermore, the optimization of total owning cost is carried out based on the purchase price and net present value losses. The results of the optimization and evaluation show that the optimum cost of ownership of a power transformer is not only determined by the lowest purchase price and or technical specifications, but both of them have a correlation to obtain the most optimum cost of ownership. This practical study is beneficial for both sides, user and manufacturer to get the right specification and design in the purchasing and manufacturing process of power transformers.

Keywords: power transformer, total owning cost, design optimization, net present value losses



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

Halaman Sampul	i
Halaman Judul.....	i
Halaman Pernyataan Bebas Plagiarisme.....	ii
Halaman Pernyataan Orisinalitas.....	iii
Halaman Pengesahan	iv
Kata Pengantar	v
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi Tesis Untuk Akademik.....	vi
Abstrak	vii
Daftar isi.....	ix
Daftar table.....	xi
Daftar gambar.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Metode Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Transformator Tenaga	6
2.1.1 Definisi.....	6
2.1.2 Prinsip Operasi Transformator Tenaga	7
2.2. Komponen Utama Transformator Tenaga	9
2.2.1 Inti Besi (<i>core</i>)	9
2.2.2 Belitan (<i>winding</i>).....	11
2.2.3 Tanki dan Sistem Pendingin	13
2.2.4 Minyak Isolasi.....	16
2.2.5 Pengubah Sadapan (<i>Tap Changer</i>).....	17
2.2.6 Bushing dan Aksesori	18
2.3. Proses Pembuatan Transformator Tenaga.....	20
2.4. Rugi-rugi pada Transformator Tenaga.....	22
2.5. Umur Transformator Tenaga.....	25
2.6. Optimasi Desain Transformator Tenaga	26
2.7. <i>Total Owning Cost</i> Transformator Tenaga	29
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	32
3.1. Optimasi Desain Transformator Tenaga	32
3.1.1 Prosedur Optimasi.....	32
3.1.2 Metode Optimasi.....	32
3.2. Biaya Rugi-Rugi Daya	34
3.3. Perhitungan <i>Total Owning Cost</i> Transformator Tenaga.....	39



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	43
4.1. Data Transformator Tenaga	43
4.1.1 Spesifikasi Teknis Transformator Tenaga.....	43
4.1.2 Data Hasil Pengujian Transformator Tenaga	45
4.2. Optimasi Desain Transformator Tenaga	48
4.3. Struktur dan Komposisi Biaya Transformator Tenaga	58
4.4. Perhitungan Biaya Rugi-Rugi Daya.....	60
4.5. Optimasi <i>Total Owning Cost</i> Transformator Tenaga.....	64
BAB 5 SIMPULAN	73
5.1. Simpulan.....	73
DAFTAR PUSTAKA	74





DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Faktor biaya transformator tenaga	2
Tabel 2.1. Spesifikasi umum minyak transformator tenaga.....	17
Tabel 2.2. Aksesori pada transformator tenaga.....	20
Tabel 2.3. Perbandingan Tingkat Penuasaan Relatif Isolasi.....	26
Tabel 3.1. Harapan masa pakai kertas isolasi dalam beberapa kondisi	36
Tabel 3.2. Parameter Input dan Output Perhitungan <i>Total Owning Cost</i> (Biaya kepemilikan) Transformator	41
Tabel 4.1. Spesifikasi Transformator Tenaga 215 MVA 16,5/150 kV	44
Tabel 4.2. Spesifikasi Transformator Tenaga 140 MVA 11/157,5 kV	45
Tabel 4.3. Data hasil pengujian transformator 215 MVA 16,5/150 kV.....	46
Tabel 4.4. Data hasil pengujian transformator 140 MVA 11/157,5 kV.....	47
Tabel 4.5. Variasi desain transformator tenaga 215 MAV 16,5/150 kV	56
Tabel 4.6. Variasi desain transformator tenaga 140 MAV 11/157,5 kV	57
Tabel 4.7. Struktur dan komposisi biaya transformator tenaga	59
Tabel 4.8. Tingkat Suku Bunga Bank Korporasi	62
Tabel 4.9. Data asumsi harga satuan material.....	64
Tabel 4.10. Perbandingan optimasi teknis transformator tenaga 215 MVA.....	65
Tabel 4.11. Perbandingan optimasi teknis transformator tenaga 140 MVA.....	66
Tabel 4.12. Perbandingan optimasi keekonomian transformator 215 MVA	68
Tabel 4.13. Perbandingan optimasi keekonomian transformator 140 MVA	69

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Konstruksi internal dan eksternal pada transformator tenaga	7
Gambar 2.2. Rangkaian Transformator 1 fase tanpa beban	8
Gambar 2.3. Rangkaian skematik transformator	9
Gambar 2.4. Konstruksi Inti Besi	10
Gambar 2.5. Klasifikasi Konstruksi Inti Besi	11
Gambar 2.6. Konduktor Tipe Tunggal dan Ganda	12
Gambar 2.7. Konduktor Tipe CTC	12
Gambar 2.8. Konstruksi Belitan	13
Gambar 2.9. Komponen Aktif (<i>active parts</i>)	14
Gambar 2.10. Tipe – Tipe Sistem Pendinginan Transformator	16
Gambar 2.11. Bushing pada transformator tenaga	19
Gambar 2.12. Proses Pabrikasi Transformator Tenaga	21
Gambar 2.13. Studi Optimasi Transformator Tenaga	27
Gambar 3.1. Susunan inti besi dan belitan transformator tampak Samping	33
Gambar 3.2. Susunan inti besi dan belitan transformator tampak atas	34
Gambar 3.3. Diagram Optimasi Desain Transformator Tenaga	34
Gambar 3.4. Histori BPP average cost lima tahun terakhir	37
Gambar 3.5. Komponen <i>Total Owning Cost</i> Transformator Tenaga	40
Gambar 3.6. Diagram alir penelitian	42
Gambar 4.1. Tampilan <i>output</i> iTracs DCC, jumlah material inti besi dan belitan pada desain referensi transformator 215 MVA	49
Gambar 4.2. Tampilan <i>output</i> iTracs kerapatan fluksi dan rugi tanpa beban pada desain referensi transformator 215 MVA	50
Gambar 4.3. Tampilan <i>output</i> iTracs rugi berbeban pada desain referensi transformator 215 MVA	51
Gambar 4.4. Tampilan <i>output</i> iTracs impedansi pada desain referensi transformator 215 MVA	52
Gambar 4.5. Tampilan <i>output</i> iTracs DCC, jumlah material inti besi dan belitan pada desain referensi transformator 140 MVA	53
Gambar 4.6. Tampilan <i>output</i> iTracs kerapatan fluksi dan rugi tanpa beban pada desain referensi transformator 140 MVA	54
Gambar 4.7. Tampilan <i>output</i> iTracs rugi berbeban pada desain referensi transformator 140 MVA	54
Gambar 4.8. Tampilan <i>output</i> iTracs impedansi pada desain referensi transformator 140 MVA	55
Gambar 4.9. Data Histori BPP lima tahun terakhir	61
Gambar 4.10. Rata-rata tingkat suku bunga bank korporasi	62
Gambar 4.11. Analisis <i>total owning cost</i> transformator tenaga 215 MVA	70
Gambar 4.12. Analisis <i>total owning cost</i> transformator tenaga 140 MVA	71

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pasokan energi listrik yang handal sudah menjadi kebutuhan pokok pada saat ini untuk masyarakat pada umumnya maupun pertumbuhan sektor bisnis dan industri, oleh karena kebutuhan energi listrik yang meningkat, sangat penting untuk memaksimalkan kemampuan peralatan listrik secara optimal. Transformator tenaga adalah peralatan listrik yang vital dan kegagalan operasi sebuah transformator tenaga akan memberikan dampak pada keandalan serta kesinambungan pasokan energi listrik dan biaya [1]. Transformator tenaga berfungsi menaikkan atau menurunkan tegangan listrik untuk penyaluran tenaga listrik, transformator tenaga dengan spesifikasi yang optimum akan menguntungkan pengguna baik disisi pembangkitan maupun sisi transmisi mengingat peralatan listrik ini mempunyai nilai investasi yang besar dan siklus hidup yang panjang.

Pengambilan keputusan pada saat pembelian transformator tenaga menjadi penting untuk mengukur spesifikasi teknis dan total biaya yang optimum agar dapat diperkirakan kembalinya biaya investasi yang sudah dikeluarkan. Investasi pada transformator tenaga, seharusnya tidak hanya mempertimbangkan biaya pembelian saja, namun harus mempertimbangkan beberapa faktor lainnya yang harus diperhitungkan. Penghitungan *total owning cost* (biaya kepemilikan) transformator tenaga secara umum meliputi biaya investasi dan biaya operasi dapat digunakan untuk pertimbangan dalam proses pembelian, sehingga pengguna akan mendapatkan transformator tenaga dengan spesifikasi teknis dan desain yang optimum. Biaya investasi yang dimaksud disini adalah biaya pembelian, adapun yang dimaksud dengan biaya operasi adalah biaya yang terdiri dari biaya sifatnya tetap seperti biaya perawatan, monitoring dan biaya variable yaitu biaya rugi - rugi daya transformator tenaga yang harus ditanggung pengguna sepanjang siklus hidupnya.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengummumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Kebanyakan pengambilan keputusan dalam pembelian transformator tenaga oleh pengguna hanya mempertimbangkan harga pembelian yang murah atau hanya mempertimbangkan spesifikasi yang tinggi saja, sehingga belum optimum dari segi teknis, biaya investasi dan operasinya, padahal transformator memainkan peranan penting dalam sistem pembangkitan, transmit dan distribusi tenaga listrik, yang mana bertindak sebagai peralatan listrik yang menyalurkan daya dari pembangkit, jaringan transmisi tegangan tinggi sampai tingkat jaringan distribusi dalam sebuah negara [2].

Hal yang dapat dioptimalkan pada saat pembelian adalah menentukan parameter dari sisi elektrik atau mekanik dengan tujuan dapat meminimalkan *total owning cost* (biaya kepemilikan) transformator tenaga, salah satunya dengan menentukan rugi-rugi daya yang tepat. Untuk mendapatkan parameter yang optimal dan membuatnya selaras dengan tanpa beban dan rugi berbeban akan memudahkan proses ini [3]. Penentuan spesifikasi transformator tenaga akan menentukan desain, biaya investasi dan operasionalnya, optimasi teknis dan ekonomis pada saat pembelian akan menentukan kehandalan dan biaya operasionalnya [4], dengan demikian penentuan spesifikasi dan acuan dalam pembelian transformator tenaga untuk calon pengguna agar mendapatkan transformator tenaga yang optimum dari segi teknis dan biaya menjadi hal penting.

Sebagai gambaran, investasi pada sebuah transformator tenaga bukan hanya mempertimbangkan harga pembelian saja, namun ada faktor lainnya yang harus diperhitungkan [2] antara lain sebagai berikut:

Tabel 1.1. Faktor biaya transformator tenaga

Biaya Investasi awal	Biaya Pemasangan	Biaya Operasi
Biaya Pembelian	Biaya Instalasi	Biaya rugi-rugi daya
Biaya Transportasi	Biaya Testing & Commissioning	Biaya Pemeliharaan dan penggantian



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Spesifikasi dan desain yang optimum sangat diperlukan untuk mendapatkan total biaya yang optimum pada sebuah transformator tenaga. Studi awal menunjukkan bahwa spesifikasi dari calon pengguna transformator masih minim dan kurang detail, sehingga kepastian kualitas teknis dan biaya operasi masih besar penyimpangannya. Spesifikasi yang diberikan hanya memberikan informasi umum dan tidak memberikan kepastian material serta garansi teknis, hal ini disebabkan pengetahuan calon pengguna masih minim dan hanya berpikir jangka pendek, yaitu mendapatkan harga beli yang paling rendah.

Bertitik tolak dari uraian diatas perlu dilakukan optimalisasi *total owning cost* transformator tenaga yang terdiri dari biaya pembelian dan biaya operasi sebagai pertimbangan dalam pembelian transformator tenaga. Sebagaimana biaya pokok produksi terus mengalami peningkatan, maka kondisi ini mendorong perubahan terhadap spesifikasi transformator menjadi lebih efisien dan optimum dari segi teknis maupun biaya, untuk itu, optimasi desain, evaluasi biaya pembelian dan operasi menjadi hal yang diperlukan [5]. Penelitian ini merupakan studi kasus pada jenis desain transformator yang sudah diproduksi oleh pabrikan transformator tenaga di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini, permasalahan utama yang akan dikaji adalah:

1. Bagaimana cara optimasi desain transformator tenaga untuk mendapatkan rugi-rugi daya yang optimum?
2. Bagaimana mengoptimasi rugi-rugi daya transformator tenaga terutama rugi-rugi tanpa beban untuk mendapatkan biaya rugi-rugi daya yang paling optimum?
3. Bagaimana melakukan optimasai *total owning cost* (biaya kepemilikan) transformator tenaga agar mencapai biaya yang optimum?



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Adapun Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Untuk mendapatkan produk transformator tenaga dengan *total owning cost* (biaya kepemilikan) yang optimum sepanjang siklus hidupnya.
2. Untuk mendapatkan desain yang optimum pada sebuah transformator tenaga.
3. Untuk memberikan edukasi kepada pengguna agar dalam proses pembelian tidak hanya menentukan spesifikasi yang tinggi saja atau hanya mempertimbangkan harga pembelian yang paling murah saja.

Dan, pada penelitian ini masalah dibatasi pada:

1. Studi dilakukan pada transformator tenaga 215 MVA 16,5/150 kV dan 140 MVA 11/157,5 kV yang sudah diproduksi sesuai pesanan pelanggan PT. CG Power Systems Indonesia.
2. Optimasi desain dilakukan menggunakan perangkat lunak iTracs yang mana perangkat lunak ini dipergunakan di PT. CG Power Systems Indonesia dalam membuat desain transformator tenaga.
3. Penelitian dilakukan untuk menganalisa hasil optimasi yang dilakukan, membuat desain dan biaya yang paling optimum dan bukan untuk membuat program atau perangkat lunak.

1.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode studi kasus pada jenis desain transformator tenaga dengan kapasitas 215 MVA 16,5/150 kV dan 140 MVA 11/157,5 kV produksi PT. CG Power Systems Indonesia. Data-data yang digunakan adalah data desain, data hasil pengujian, data teknis, data biaya material, biaya produksi, data keuangan seperti suku bunga dan biaya pokok produksi tenaga listrik. Studi awal dilakukan dengan mengkaji literature - literatur yang sudah ada untuk mendapatkan pertimbangan apa saja yang diperlukan dan faktor apa saja yang mempengaruhi optimasi transformator tenaga sepanjang siklus hidupnya, dari studi awal ini diharapkan penelitian berdasarkan kelimuan yang baru. Sesuai dengan hasil studi awal, studi lanjutan dilakukan dengan melakukan optimasi desain



transformator tenaga dengan membuat variasi rugi-rugi daya, selanjutnya perhitungan biaya rugi-rugi daya akan mengacu ke standard SPLN [6]. Analisis terhadap hasil optimasi dilakukan pada dua aspek yaitu aspek teknis dan ekonomis untuk mendapatkan hasil optimasi secara keseluruhan. Namun demikian, studi yang lebih luas tetap harus dilakukan untuk mendukung dan menentukan kerangka kerja yang lebih optimum dalam menentukan desain dan total biaya yang lebih optimum.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah untuk,

1. Pengembangan desain pada transformator tenaga yang optimum,
2. Mengoptimasi desain pada transformator tenaga untuk mendapatkan rugi-rugi daya yang optimum.
3. Memberikan panduan bagi pengguna pada saat proses pembelian untuk mendapatkan transformator tenaga yang ekonomis dengan pertimbangan teknis, biaya pembelian dan biaya operasi yang tepat mengingat transformator tenaga mempunyai siklus hidup yang panjang.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika pada penulisan ini terdiri dari lima bab, yaitu: Bab satu merupakan pendahuluan berisi latar *total owning cost* kepemilikan transformator tenaga; Bab tiga merupakan pembahasan tentang metode penelitian yang merupakan penjelasan metode optimasi dan perhitungan *total owning cost* transformator tenaga, kerangka kerja dan proses penelitian; Bab empat berisi analisis, pengolahan data dan hasil penelitian sedangkan Bab lima berisikan hasil kesimpulan

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB 5. SIMPULAN

Merujuk pada hasil perhitungan dan optimasi *total owning cost* (biaya kepemilikan) transformator tenaga, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Optimasi *total owning cost* transformator tenaga melalui evaluasi biaya rugi-rugi daya pada studi kasus praktis ini menghasilkan keseimbangan antara biaya pembelian dan biaya rugi-rugi daya sehingga dapat mencapai *total owning cost* transformator tenaga yang paling optimum sepanjang siklus hidupnya. Apabila *total owning cost* transformator tenaga hanya mempertimbangkan biaya pembelian saja, maka akan sangat dipengaruhi besaran nilai rugi-rugi daya, semakin besar nilai rugi-rugi daya maka harga pembelian semakin murah, sebaliknya nilai rugi-rugi daya semakin kecil maka nilai pembelian semakin mahal.
2. Hasil optimasi desain menunjukkan bahwa desain referensi sebuah produk transformator tenaga tidak selalu memiliki nilai yang paling optimum. Pada studi kasus praktis ini didapatkan desain yang paling optimum pada kedua sampel desain referensi untuk perhitungan *total owning cost* transformator tenaga.
3. Metode optimasi pada studi kasus praktis ini dapat dimanfaatkan untuk kedua belah pihak, baik pihak pembeli maupun pihak pabrikan untuk mendapatkan spesifikasi serta desain yang tepat didalam proses pembelian dan produksi transformator tenaga.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Mehta and P. H. Jariwala, "Predication of Life of Transformer insulation by developing Relationship between Degree of Polymerization and 2-Furfural," vol. 3, no. 7, pp. 1–5, 2012.
- [2] The Electric Power Research Institute for the U.S. Department of Homeland Security Science and Technology Directorate, *Considerations for a Power Transformer Emergency Spare Strategy for the Electric Utility Industry*. 2014.
- [3] T. Orosz, P. Sorés, D. Raisz, and Á. Z. Tamus, "Analysis of the green power transition on optimal power transformer designs," *Period. Polytech. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 59, no. 3, pp. 125–131, 2015, doi: 10.3311/Ppee.8583.
- [4] Electric Power Engineering Centre University of Canterbury, "Guide to power transformer specification issues," *January 2009*.
- [5] C. J. Nochumson, "Considerations in application and selection of unit substation transformers," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 38, no. 3, pp. 778–787, 2002, doi: 10.1109/TIA.2002.1003430.
- [6] PT PLN (Persero), *SPLN T.3007:2016 Spesifikasi Transformer Tenaga Bagian 2: Transformer 150/22/10 kV*. 2016.
- [7] IEC 60076-1:2011, *Power transformers - Part 1: General*. 2006.
- [8] S. V. Kulkarni and S. A. Khaparde, *Transformer Engineering - Design, Technology, and Diagnostic*. CRC Press Taylor&Francis. 2017.
- [9] PT CG Power Systems Indonesia, "Internal documentation of PT. CG Power Systems Indonesia."
- [10] U.S. Bureau of Reclamation, "Transformers : Basics, Maintenance and Diagnostics," *Transform. diagnostics*, vol. 1, no. April, p. 256, 2005, [Online]. Available: <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/mands-pdfs/Trnsfrmr.pdf>.
- [11] Indrajit Dasgupta, *Power Transformer Quality Assurance, New Age International ISBN 978-81-224-2889-6*. 2009.
- [12] J. Perez, "Fundamental principles of transformer thermal loading and protection," *IET Conf. Publ.*, vol. 2012, no. 593 CP, 2012, doi: 10.1049/cp.2012.0103.
- [13] IEC 60076-7, *Power Transformer - Part 7: Loading guide for mineral oil immersed power transformers*. 2018.
- [14] A. Botchkarev and P. Andru, "A return on investment as a metric for evaluating information systems: Taxonomy and application," *Interdiscip. J. Information, Knowledge, Manag.*, vol. 6, no. January 2011, pp. 245–269, 2011, doi: 10.28945/1535.
- [15] A. L. Lazari and C. A. Charalambous, "Probabilistic Total Ownership Cost of Power Transformers Serving Large-Scale Wind Plants in Liberalized Electricity Markets," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 30, no. 4, pp. 1923–

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- 1930, 2015, doi: 10.1109/TPWRD.2014.2365832.
- [16] Y. Hong, W. Q. Meeker, and J. D. McCalley, "Prediction of remaining life of power transformers based on left truncated and right censored lifetime data," *Ann. Appl. Stat.*, vol. 3, no. 2, pp. 857–879, 2009, doi: 10.1214/00-AOAS231.
 - [17] B. Gorgan *et al.*, "Calculation of the remaining lifetime of power transformers paper insulation," *Proc. Int. Conf. Optim. Electr. Electron. Equipment, OPTIM*, no. 2012, pp. 293–300, 2012, doi: 10.1109/OPTIM.2012.6231792.
 - [18] P. S. Georgilakis, *Spotlight on modern transformer design*, vol. 38. 2009.
 - [19] E. I. Amoiralis, M. A. Tsili, and P. S. Georgilakis, "The state of the art in engineering methods for transformer design and optimization: A survey," *J. Optoelectron. Adv. Mater.*, vol. 10, no. 5, pp. 1149–1158, 2008.
 - [20] E. I. Amoiralis, P. S. Georgilakis, M. A. Tsili, and A. G. Kladas, "Global transformer optimization method using evolutionary design and numerical field computation," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 45, no. 3, pp. 1720–1723, 2009, doi: 10.1109/TMAG.2009.2012795.
 - [21] A. Indarto, I. Garniwa, R. Setiabudy, and C. Hudaya, "Total cost of ownership analysis of 60 MVA 150/120 kV power transformer," *QiR 2017 - 2017 15th Int. Conf. Qual. Res. Int. Symp. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2017-Decem, pp. 291–295, 2017, doi: 10.1109/QIR.2017.8168499.
 - [22] L. Beyond and N. Ratings, *IEEE standards*, vol. 12, no. 2. 2012.
 - [23] PT PLN (Persero), *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL)*. 2021.
 - [24] C. A. Mclean, "RUS BULLETIN 1724D-107 RD-GD-201 6 - 82 SUBJECT: Guide for Economic Evaluation of Distribution Transformers TO:," pp. 1–14.
 - [25] Tersedia:, "<https://www.ojk.go.id/id/kanal/perbankan/Pages/Suku-Bunga-Dasar.aspx> [Diakses 12 May 2021]."