



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS BIAYA TRAFIK AKIBAT RUGI –
RUGI DAYA TOTAL DENGAN METODE NILAI
TAHUNAN (*ANNUAL WORTH METHOD*)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

BENSON MARNATA SITUMORANG

0806365551

FAKULTAS TEKNIK

**PROGRAM TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS BIAYA TRAFIK AKIBAT RUGI –
RUGI DAYA TOTAL DENGAN METODE NILAI
TAHUNAN (*ANNUAL WORTH METHOD*)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

BENSON MARNATA SITUMORANG

0806365551

FAKULTAS TEKNIK

**PROGRAM TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Benson Marnata Situmorang

NPM : 0806365551

Tanda Tangan :

Tanggal : 4 juli 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Benson Marnata Situmorang

NPM : 0806365551

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Biaya Trafo Akibat Rugi – Rugi Daya Total Dengan Metode Nilai Tahunan (*Annual Worth Method*)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

Dewan Penguji

Pembimbing : Ir I Made Ardita Y, MT

(.....)

Penguji : Ir Agus R. Utomo, MT

(.....)

Penguji : Dr.-Ing. Eko Adhi Setiawan, ST, MT

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Juli 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada pembuatan skripsi ini, Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ir. I Made Ardita Y ,MT., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (3) sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 15 Juni 2011

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Benson Marnata Situmorang
NPM : 0806365551
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**” ANALISIS BIAYA TRAF0 AKIBAT RUGI – RUGI
DAYA TOTAL DENGAN METODE NILAI TAHUNAN
(*ANNUAL WORTH METHOD*)”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari 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 : 15 Juni 2011

Yang menyatakan

(Benson Marnata Situmorang)

Abstrak

Name : Benson Marnata Situmorang

Study Program : Electrical Engineering

Title : Analisis Biaya Trafo Akibat Rugi-Rugi Daya Total Dengan Metode Nilai Tahunan (*Annual Worth Method*)

Rugi-rugi atau *losses* adalah hilangnya sejumlah energy, yang dibangkitkan sehingga mengurangi jumlah energy yang dapat dijual kepada konsumen sehingga berpengaruh pada tingkat profitabilitas perusahaan bersangkutan. Besar kecilnya rugi-rugi dari suatu system tenaga listrik menunjukkan tingkat efisiensi system tersebut, makin rendah prosentase rugi-rugi yang terjadi makin efisien system tersebut. Rugi-rugi dari trafo akan berbeda, walaupun kapasitas (*rated*) kedua trafo tersebut sama dan menimbulkan perbedaan biaya rugi-rugi. Seberapa besar biaya yang ditimbulkan oleh perbedaan rugi-rugi daya trafo tersebut akan dievaluasi dalam tugas akhir ini. Biaya-biaya tersebut adalah biaya rugi-rugi daya tanpa beban, biaya rugi – rugi daya berbeban dan biaya investasi. Dengan demikian dari hasil evaluasi dua buah trafo distribusi, dapat dipilih trafo yang menguntungkan.

ABSTRACT

Name : Benson Marnata Situmorang

Study Program : Electrical Engineering

Title : Cost Analysis of Transformer Due to Total Power Loss with Annual Value Methods

losses is the loss of energy, it is raised, there by reducing the amount of energy that can be sold to consumers so that the effect on company profitability level itself. Amount loss of a power system shows the level of efficiency of these systems, the lower the percentage of loss- loss is the more efficient the system tersebut. loss from the transformer will be different, although the capacity (rated) the two transformers are equal and lead to differences in the cost of large-loss rugi. Seberapa costs caused by differences in power transformer *losses* will be evaluated in the task ini. end-cost is the cost of power loss without the burden, expense and loss - loss of power load and thus cost of evaluation results investation . Within two distribution transformers, transformer that benefit can be selected.

Key words:

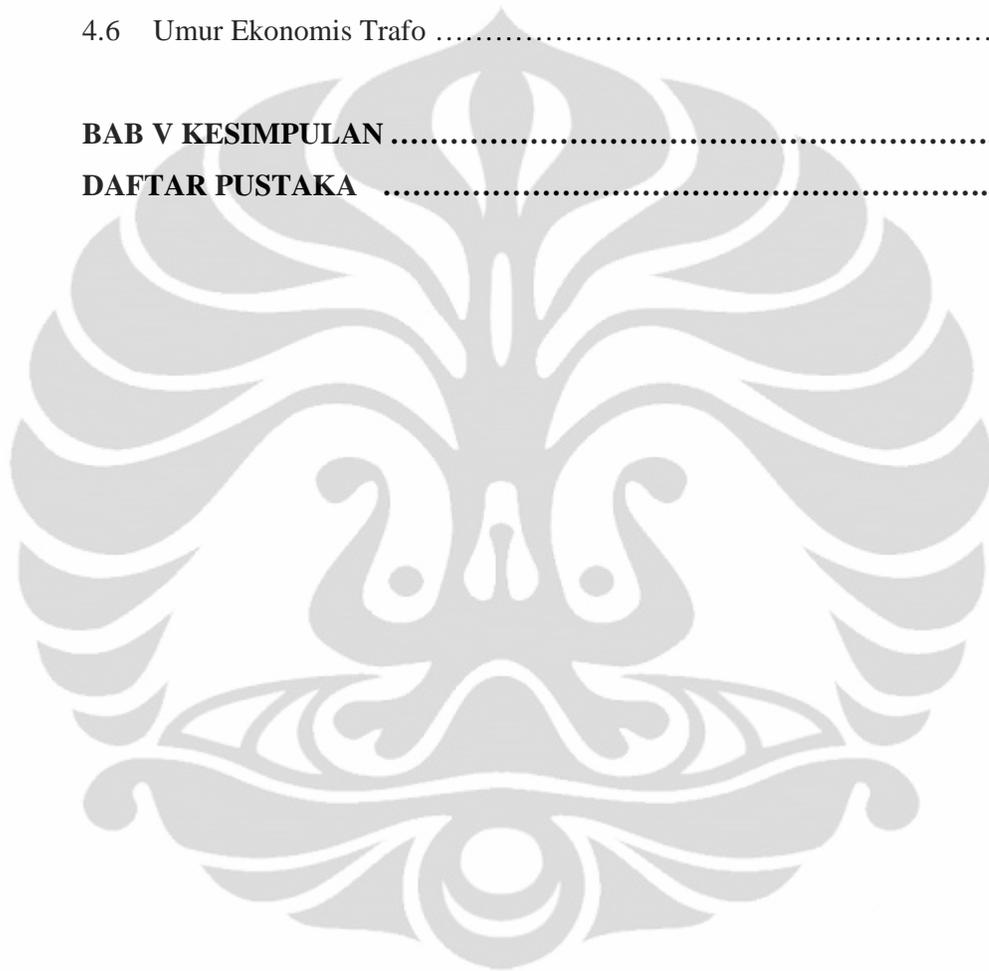
Losses energy, efficient transformer

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMAKASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penulisan.....	1
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Metodologi	2
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	4
2.1. Transformator Daya	4
2.1.2 Bagian – bagian Transformator	6
2.2 Transformator Distribusi	9
2.2.1 Large Distribution Transformator	10
2.2.2 Medium Distribution Transformator	10
2.2.3 Small Distribution Transformator	11
2.3. Rugi – rugi Tenaga Listrik	11
2.3.1 Rugi-rugi pada trafo.....	12
2.3.2 Rugi Inti	12
2.3.2.1 Keadaan Trafo Tanpa Beban	13

2.3.3 Rugi Tembaga	16
2.3.2.2 Keadaan Trafo Berbeban	17
2.4 Faktor yang mempengaruhi beban	18
2.4.1 Beban Rata-rata.....	18
2.4.2 Pertumbuhan Beban	18
2.4.3 Karakteristik Beban Trafo	19
2.4.4 Kurva Beban	20
2.4.5 Beban Puncak	20
2.4.6 Faktor Daya (<i>Power Factor</i>)	20
2.5 Biaya Rugi-rugi Daya pada Transformator	20
2.5.1 Biaya Rugi – rugi Daya Tanpa Beban	20
2.5.2 Biaya Rugi – rugi Daya Berbeban	21
2.6 Biaya Investasi Trafo	23
2.7 Metode Nilai Tahunan (<i>Annual Worth Method</i>).....	23
BAB III DATA DAN HASIL PENGUKURAN.....	24
3.1 Spesifikasi data Transformator 1	24
3.2 Spesifikasi data Transformator 2	26
3.3 Metode Pengujian Open Circuit dan Short Circuit Trafo	27
3.3.1 Metode Pengujian Open Circuit Trafo	27
3.3.2 Metode Pengujian Short Circuit Trafo	29
3.4 Hasil Pengujian Pengukuran Trafo	30
3.4.1 Trafo 1	30
3.4.2 Trafo 2	30
BAB IV ANALISA DATA DAN PERHITUNGAN	31
4.1 Perhitungan Biaya Rugi Daya	31
4.2 Perhitungan Biaya Rugi Daya Tanpa Beban Trafo 1 dan 2	31
4.3 Perhitungan Biaya Rugi Daya Berbeban Trafo	32
4.3.1 Perhitungan Biaya Rugi Daya Berbeban Trafo 1	38
4.3.2 Perhitungan Biaya Rugi Daya Berbeban Trafo 2	40

4.4	Perhitungan Biaya Rugi Daya Total Trafo	42
4.4.1	Perhitungan Biaya Rugi Daya Total Trafo 1	42
4.4.2	Perhitungan Biaya Rugi Daya Total Trafo 2	43
4.4.3	Perbandingan Biaya Rugi Daya Total Trafo 1 dan 2	45
4.5	Penyusutan berdasarkan Biaya Rugi Daya Total Trafo.....	46
4.6	Umur Ekonomis Trafo	48
 BAB V KESIMPULAN		51
DAFTAR PUSTAKA		52



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Transformator Daya.....	4
Gambar 2.2	Tipe Inti Core Trafo.....	6
Gambar 2.3	Tipe Shell Trafo.....	6
Gambar 2.4	Inti Besi Trafo	7
Gambar 2.5	Kumparan Trafo	7
Gambar 2.6	Tangki Minyak Trafo.....	8
Gambar 2.7	Bushing Trafo.....	9
Gambar 2.8	Transformator Distribusi (<i>Large</i>).....	9
Gambar 2.9	Transformator Distribusi (<i>Medium</i>).....	10
Gambar 2.10	Transformator Distribusi (<i>Small</i>)	11
Gambar 2.11	Rangkaian Ekuivalen Rugi Inti	13
Gambar 2.12	Rangkaian Inti Trafo.....	14
Gambar 2.13	Rangkaian Trafo Tanpa Beban.....	14
Gambar 2.14	Rangkaian Ekuivalen Hubung Singkat.....	16
Gambar 2.15	Rangkaian Trafo Berbeban	17
Gambar 2.16	Grafik Pertumbuhan Beban Listrik.....	19
Gambar 3.1	Transformator 1	25
Gambar 3.2	Transformator 2.....	27
Gambar 3.3	Pengujian Trafo <i>Open Circuit</i>	28
Gambar 3.4	Pengujian Trafo <i>Short Circuit</i>	29
Gambar 4.1	Kurva Beban Harian	35
Gambar 4.2	Grafik Biaya Rugi Daya Berbeban Trafo 1.....	41
Gambar 4.3	Grafik Biaya Rugi Daya Berbeban Trafo 2.....	42
Gambar 4.4	Grafik Biaya Rugi Total Trafo 1	44
Gambar 4.5	Grafik Biaya Rugi Total Trafo 2	46
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Biaya Rugi Total Trafo 1 Dan 2.....	46
Gambar 4.7	Perbandingan Hasil Penyusutan Trafo 1 & 2.....	48

Gambar 4.8 Perbandingan O & M Trafo 1 & 2 49
Gambar 4.9 Perbandingan Umur Ekonomis Trafo 1 & 2 50



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data Hasil Pengujian Trafo 1.....	30
Tabel 3.2	Data Hasil Pengujian Trafo 2.....	30
Tabel 4.1	Beban Maksimum Trafo	33
Tabel 4.2	Faktor Rf.....	34
Tabel 4.3	Beban Maksimum Trafo Per Tahun.....	36
Tabel 4.4	Faktor K Pada Kurun Waktu 10 Tahun.....	38
Tabel 4.5	Biaya Rugi Daya Berbeban Trafo 1	39
Tabel 4.6	Biaya Rugi Daya Berbeban Trafo 2	40
Tabel 4.7	Biaya Rugi Daya Total Trafo 1.....	42
Tabel 4.8	Biaya Rugi Daya Total Trafo 2.....	44
Tabel 4.9	Harga Trafo	46
Tabel 4.10	Hasil Penyusutan Trafo 1 dan 2 setelah dikurangi Biaya Rugi Daya Total	46
Tabel 4.11	Persentase nilai penyusutan Trafo 1 dan 2 akibat rugi daya total.....	48
Tabel 4.12	Biaya Operasional & Maintenance (O & M).....	49

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang termasuk dalam klasifikasi mesin listrik statis dan berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, dengan frekuensi sama. Dalam pengoperasiannya, transformator-transformator tenaga pada umumnya ditanahkan pada titik netral, sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan atau proteksi. Sebagai contoh transformator 150/70 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV, dan transformator 70/20 kV ditanahkan dengan tahanan di sisi netral 20 kV nya. Transformator yang telah diproduksi terlebih dahulu melalui pengujian sesuai standar yang telah ditetapkan.

Dasar dari Transformator apabila ada arus listrik bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda tegangan mengelilingi magnet, sehingga akan timbul gaya gerak listrik (GGL).

Dengan adanya gaya gerak listrik yang mengalir ke inti besi secara terus menerus maka lempengan – lempengan besi yang terisolasi tersebut dapat menimbulkan panas yang ditimbulkan oleh arus eddy (eddy current).salah satu pengujiannya adalah dengan memberi tegangan pada *sirkuit* transformer dalam keadaan terbuka untuk mengetahui rugi – rugi inti yang didapat pada inti besi tersebut, Sedangkan rugi berbeban terjadi akibat tahanan pada rangkaian dialiri arus beban karena rugi ini terjadi pada belitan trafo yang terbuat dari tembaga maka rugi berbeban sering disebut sebagai rugi tembaga.Dari uraian diatas akan membandingkan dua transformator dengan *losses* yang berbeda terhadap kehandalan biayanya.

Dengan uraian tersebut maka penulis akan membahas tentang "Analisis Pemilihan Dua Buah Transformator 3 phase berdasarkan biaya akibat rugi-rugi daya total".

1.2 Tujuan Penulisan

- Mengetahui besarnya rugi –rugi daya tak berbeban dan berbeban
- Mengetahui besarnya rugi – rugi daya total trafo
- Mengetahui perbandingan rugi – rugi daya total trafo 1 dan trafo 2
- Mengetahui besarnya rugi terhadap investasi trafo

1.3 Batasan Masalah

Agar tidak menyimpang dari pokok bahasan yang telah ditentukan maka penulis akan membatasi masalah sebagai berikut :

- Membahas tentang rugi – rugi trafo terhadap biaya yang ditimbulkan
- Membandingkan dua transformator yang sama dengan *losses* berbeda terhadap biaya yang ditimbulkan dalam jangka waktu tertentu

1.4 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini, antara lain adalah : Studi literatur tentang pengujian hubung singkat trafo 3 phasa dengan trafo, survey data historis pada trafo, perhitungan dan analisa data.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan untuk memberikan gambaran umum mengenai penulisan skripsi ini.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisikan tinjauan pustaka yang melandasi pokok permasalahan yang akan dibahas seperti teori transformator, rugi – rugi inti besi, teori short circuit trafo, teori susut daya.

BAB III DATA OBSERVASI

Bab ini berisi data yang telah didapat dari hasil observasi lapangan berupa pengujian trafo hubung singkat, data rugi – rugi tanpa beban dan berbeban, data peralatan listrik, data spesifikasi dua trafo yang berbeda *losses*nya.

BAB IV ANALISA DATA DAN PERHITUNGAN

Bab ini berisi perhitungan *losses* daya terhadap biaya yang ditimbulkannya dan hasil evaluasi pemilihan terhadap dua buah trafo dengan kapasitas yang sama tapi dengan *losses* yang berbeda, serta besar investasi trafo akibat *losses* trafo yang berbeda

BAB V KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil perhitungan

DAFTAR PUSTAKA

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Transformator daya [4]

Transformator daya adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika.

Transformator daya bertugas sebagai penyalur tenaga listrik pada beban beban tegangan rendah. Jika transformator mensuply beban non linier, maka akan timbul arus harmonisa yang akan mengganggu kinerja pada trafo tersebut dari sisi tegangan rendah.



Gambar 2.1 Transformator daya

Dalam IEC 60076-1 Transformator Daya adalah, sebuah transformator daya yang didefinisikan sebagai bagian statis aparatur dengan dua atau lebih gulungan dengan induksi elektromagnetik, mengubah sistem bolak-balik tegangan dan arus ke sistem lain yang tegangan dan arus biasanya memiliki nilai yang berbeda dan pada frekuensi yang sama untuk tujuan transmisi tenaga listrik.

Secara umum transformator mengubah tegangan sumber ke tegangan konsumen (biasanya 400 V atau kurang) disebut trafo distribusi. Transformator daya Istilah dalam bahasa sehari-hari digunakan untuk transformator dengan tegangan yang lebih tinggi dan rating daya yang tinggi. Substation dan Unit Transformator Substation tiga fasa diproduksi dengan changer tap off-sirkuit atau changer on -load. Inti terbuat dari laminasi baja. kumparannya terbuat dari aluminium atau tembaga baik dalam gulungan tegangan tinggi dan rendah. Tangkinya dilengkapi dengan radiator. Secara umum untuk transformator daya tidak terlepas dari ukuran dan aplikasi fisika dasar dan bahan yang dominan, seperti:

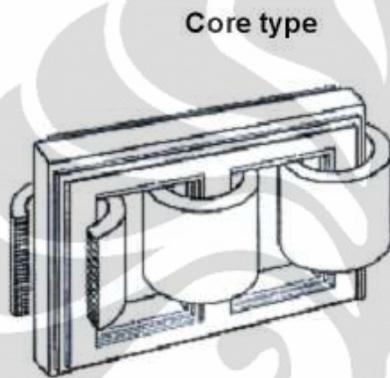
- jenis khusus dari baja pelat magnetik tipis dalam inti, yang ada diperlukan untuk kuat medan magnet karena sifat magnetik yang unik dari besi. Tanpa inti besi secara luas penyebaran penerapan energi listrik tidak mungkin bisa terjadi
- Tembaga atau aluminium sebagai bahan konduktor dalam gulungan
- Produk selulosa seperti kertas dengan kepadatan tinggi dan papan yang kuat sebagai bahan isolasi padat yang dominan
- Minyak mineral adalah cairan isolasi yang dominan, yang juga memiliki fungsi pendinginan.

Dalam desain transformator ,produsen memiliki pilihan antara dua dasar yang konsep yang berbeda:

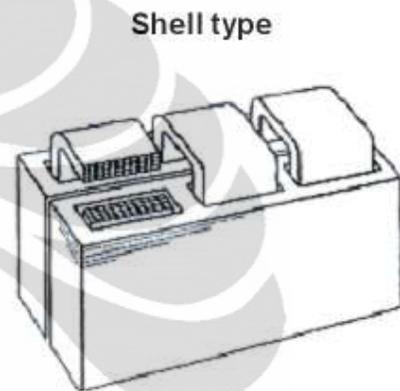
- tipe Inti
- tipe Shell

Singkatnya dapat kita katakan bahwa gulungan dari tipe – core dari tipe shell membungkus gulungan. Terlihat bagian aktif (yaitu inti dengan gulungan) dari tipe

inti, baik gulungan terlihat, tetapi tipe ini menyembunyikan anggota badan inti. Hanya kulk atas dan bawah inti terlihat. Di tipe shell ini menyembunyikan inti utama dari gulungan. Perbedaan lainnya adalah bahwa sumbu gulungan tipe – core biasanya vertikal sementara tipe-shell dapat horizontal atau vertikal. Banyak tipe-core dan tipe-shell transformator dari transformator daya diproduksi didunia



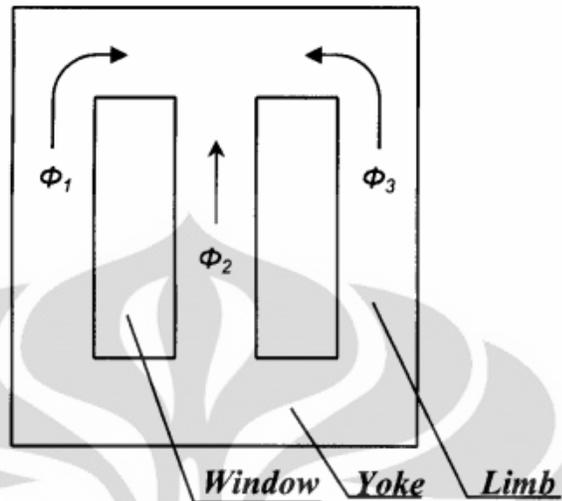
Gambar 2.2 Tipe-core Trafo



Gambar 2.3 Tipe-shell Trafo

2.1.2 Bagian bagian transformator

- a. Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Inti besi ini terbuat dari lempengan lempengan besi tipis terisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi rugi besi) yang ditimbulkan oleh arus eddy.



Gambar 2.4 Inti Besi Transformator

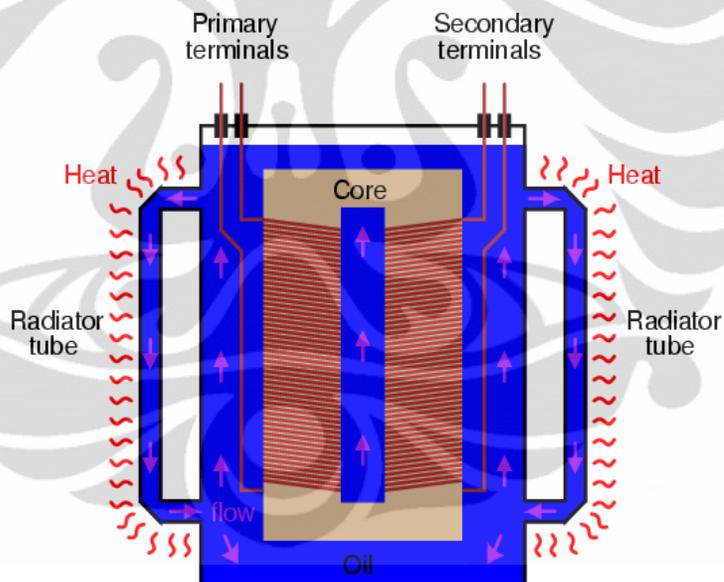
- b. Kumbaran trafo adalah beberapa lilitan kawat berisolasi akan membentuk suatu kumbaran. Kumbaran itu diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap kumbaran lain dengan isolasi padat seperti karton, pertinax dan lain lain.



Gambar 2.5 Kumbaran Transformator

Umumnya pada trafo terdapat kumparan primer dan kumparan sekunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/arus bolak balik maka pada kumparan tersebut timbul fluksi. Fluksi ini akan menginduksikan tegangan, dan bila pada rangkaian sekunder ditutup maka akan menghasilkan arus pada kumparan ini. Jadi kumparan sebagai alat transformasi tegangan arus

- c. minyak trafo, sebagian besar trafo tenaga, kumparan kumparan dan intinya di rendam dalam minyak trafo, terutama trafo trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai media sebagai isolasi sehingga minyak trafo tersebut berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.



Gambar 2.6 Tangki Minyak Transformator

- d. Bushing, Merupakan penghubung antara kumparan trafo ke jaringan luar. Bushing adalah sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki trafo.



Gambar 2.7 Bushing Transformator

Transformator dirancang untuk menyalurkan daya yang dibutuhkan ke beban dengan rugi-rugi minimum pada frekuensi fundamentalnya

2.2. Transformator Distribusi [3]

Transformator Distribusi dibagi menjadi beberapa tipe berdasarkan rating daya, dan tegangannya,yaitu : Large distribution Transformers, Medium distribution Transformers,dan Small distribution Transformers

2.2.1. *Large distribution Transformers, LDT*



Gambar 2.8 Transformator Distribusi (large)

Transformers jenis ini digunakan pada substation dan Unit Transformator Substation tiga fasa menggunakan changer tap off-load atau changer on-load. Menggunakan standar ANSI / IEEE Rating Daya 112,5 kVA - 20 MVA dengan tegangan primer sampai dengan 69 kV tegangan sekunder sampai 34,5 kV

Gardu transformator dilengkapi dengan bushing penutup terpasang untuk koneksi ke saluran luar dan Unit Gardu transformator dengan dinding dipasang bushing baik pada sisi primer, sekunder atau kedua transformator yang dikoneksikan dengan switchgear .

2.2.2 Medium distribution Transformers, MDT



Gambar 2.9 Transformator Distribusi (Medium)

Transformers jenis ini digunakan untuk step down tiga-fasa tegangan tinggi ke tegangan rendah untuk distribusi daya, menggunakan Standar IEC Rating Daya 400 - 5000kVA Tegangan Primer Sampai 36kV digunakan terutama di daerah metropolitan dan untuk aplikasi industri. Transformer ini tertutup rapat. Fleksibel dinding tangki bergelombang memungkinkan pendinginan yang cukup dari transformator dan mengkompensasi perubahan volume minyak karena variasi suhu selama operasi. Keuntungan dari transformer tertutup rapat-rapat adalah bahwa adalah minyak yang tidak bersentuhan dengan atmosfer sehingga menghindari penyerapan air dari lingkungan, transformator juga dilengkapi dengan konservator minyak

2.2.3 *Small Distributions Transformer (SDT)*



Gambar 2.10 Transformator Distribusi (*small*).

Transformers jenis ini digunakan untuk step down tiga-fasa tegangan tinggi ke tegangan rendah untuk distribusi daya, Standar IEC kapasitas sampai 315 kVA utama tegangan sampai 36 kV digunakan terutama di daerah pedesaan atau rendah kepadatan penduduknya. Transformer tiga fasa minyak terendam tertutup rapat, beradaptasi dengan kutub mounting atau perakitan di gardu. transformator juga dilengkapi dengan konservator minyak.

2.3 Rugi Tenaga Listrik [5]

Rugi Tenaga Listrik terbagi menjadi 2 bagian, yaitu rugi teknis tenaga listrik dan rugi non teknis.

- Rugi non teknis tenaga listrik akan mengakibatkan penurunan efisiensi system tenaga listrik, yang berarti menurunkan perolehan laba perusahaan, dengan kata lain peningkatan rugi tenaga listrik dapat mempengaruhi pendapatan pada pihak pengelola. Apabila hal ini dibiarkan tetap berlangsung terus maka rugi tenaga listrik yang terjadi akan berkembang menjadi tidak wajar hingga pada

suatu saat pengelola system tenaga tersebut mengalami kerugian. Sehubungan dengan hal itu, maka rugi tenaga perlu sekali dibicarakan.

- Rugi Teknis tenaga listrik adalah kehilangan energy sebagai dampak dari penggunaan peralatan tenaga listrik yang diperlukan untuk menjalankan operasi tenaga listrik. Rugi teknis ini harus ditanggung oleh pihak pengelola dan tidak mungkin memperoleh imbalan ganti rugi.

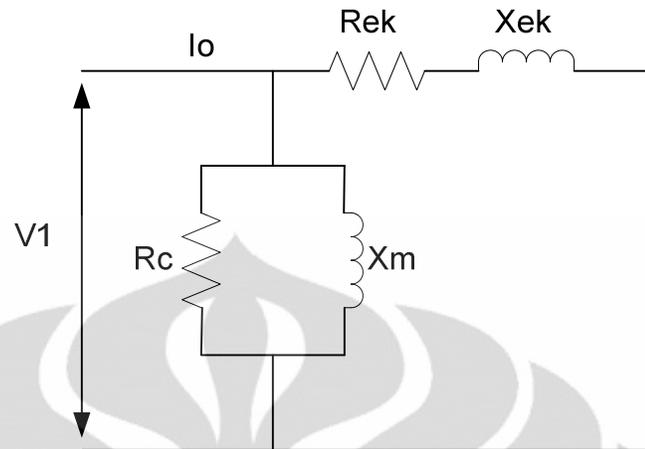
2.3.1 Rugi – rugi pada Trafo

Rugi Trafo berkisar antara 20 hingga 25% dari keseluruhan rugi jaringan, Rugi - rugi trafo dibedakan menjadi 2 bagian yaitu rugi tanpa beban dan rugi berbeban. Rugi - rugi tanpa beban terdiri dari semua Rugi - rugi yang timbul karena rangkaian primer diberikan tegangan , dan rangkaian sekundernya dalam keadaan terbuka.

Yang termasuk dalam rugi tanpa beban adalah rugi akibat arus eddy, histerisis magnetic, arus eksitasi pada tahanan rangkaian dan karena material dielektrik. Seluruh rugi-rugi ini terjadi pada inti trafo, sehingga rugi tanpa beban sering disebut sebagai rugi inti. Sedangkan rugi berbeban terjadi akibat tahanan pada rangkaian dialiri arus beban karena rugi ini terjadi pada belitan trafo yang terbuat dari tembaga maka rugi berbeban sering disebut sebagai rugi tembaga

2.3.2 Rugi Inti

Rugi Inti dapat diperoleh melalui percobaan beban nol, yaitu dengan menghubungkan rangkaian primernya dengan sumber tegangan V_1 sehingga mengalir I_0 dan membiarkan rangkaian sekundernya dalam keadaan terbuka



Gambar 2.11 Rangkaian Ekivalen Rugi Inti

Pada open circuit, sisi sekunder pada trafo terbuka sedangkan sisi primer terhubung dengan rating tegangan penuh. Dengan terhubungnya sisi primer maka tegangan input, arus input dan daya input dapat diukur besarnya. Dari informasi tersebut didapat :

$$R_{c_p} = \frac{(V_{o-p})^2}{P_{o-p}}$$

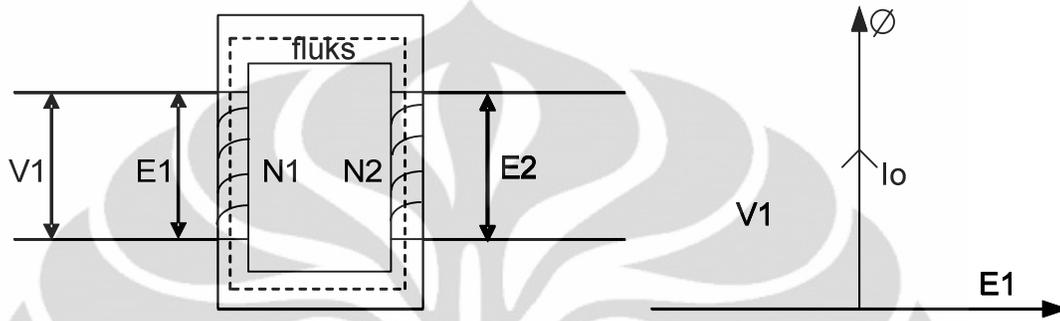
$$Y_{o-p} = \frac{I_{o-p}}{V_{o-p}}$$

$$[Y] = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X^2}} \dots\dots\dots(2.1)$$

2.3.2.1 Keadaan Trafo tanpa beban

Bila kumparan primer suatu trafo dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 , sedangkan kumparan sekundernya dalam keadaan terbuka maka akan mengalir arus primer I_0 yang berbentuk sinusoidal. Dengan menganggap N_1 yang mempunyai tahanan reaktif murni, arus primer (I_0) akan tertinggal 90° dan V_1 dan ditunjukkan

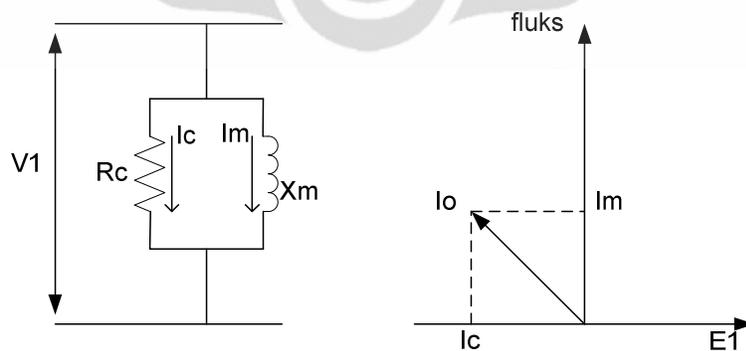
pada gambar 2.12 arus I_0 menimbulkan fluks (ϕ) yang sefasa dan juga berbentuk sinusoidal.



Gambar 2.12 Rangkaian Inti Trafo

Arus primer I_0 yang mengalir pada saat kumparan sekunder tidak dibebani disebut juga arus penguat yang terdiri dari dua komponen :

1. Arus magnetisasi (I_m), arus yang timbul karena adanya inti besi dan menghasilkan fluks.
2. Arus rugi besi (I_c), arus yang mengakibatkan daya yang hilang akibat dari adanya rugi histerisis dan Rugi - rugi arus pusar. I_c sefasa dengan V_1 , sehingga hasil perkalian ($I_c \times V_1$) merupakan daya yang hilang dalam watt.



Gambar 2.13 Rangkaian Trafo Tanpa Beban

Rugi - rugi tanpa beban dari suatu trafo adalah Rugi - rugi besi yang disebabkan oleh arus I_c dan tergantung dari frekuensi serta rapat fluksi maksimum. Rugi - rugi besi ini terdiri dari rugi histerisis dan rugi arus eddy (arus pusar) yang diperoleh dengan hasil pengukuran beban nol.

Rugi – rugi histerisis yaitu Rugi - rugi yang disebabkan fluks bolak-balik pada inti besi

$$P_h = k_h \cdot f \cdot B_{\text{maks}} \text{ (watt)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana : P_h = Rugi - rugi histerisis (watt)

k_h = konstanta Steinmentz

f = frekuensi (Hz)

B_{maks} = rapat fluks maksimum (wb)

Rugi arus pusar (rugi arus eddy) yaitu Rugi - rugi yang disebabkan oleh arus yang mengalir mengitari bagian dari suatu lapisan inti besi. Besarnya arus pusar ditentukan oleh tegangan yang diinduksikan pada bagian tersebut, dan sifat tegangan yang diinduksikan pada bagian tersebut dan sifat tahanan dari pada bahan inti yang dipakainya. Besarnya rugi arus pusar adalah :

$$P_e = k_e \cdot f^2 \cdot B^2 \text{ (watt)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana: P_e = Rugi - rugi arus pusar

k_e = konstanta Steinmantz

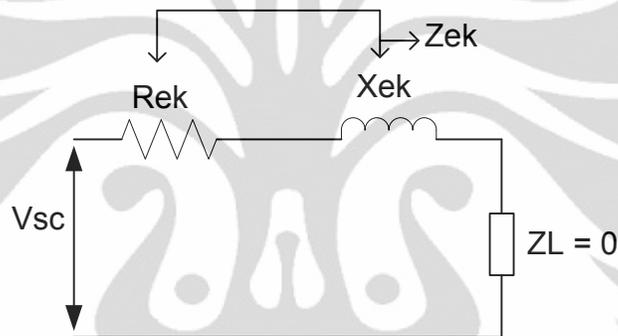
Jadi Rugi - rugi tanpa beban adalah penjumlahan persamaan 6 dan 7

$$P_i = P_h + P_e \dots\dots\dots (2.4)$$

2.3.3 Rugi Tembaga

Rugi Tembaga adalah rugi yang timbul sebagai akibat dari mengalirnya arus beban pada kawat belitan. Nilai rugi tembaga diperoleh dengan melakukan percobaan hubung singkat.

Pada keadaan hubung singkat impedansi beban Z_2 diperkecil hingga mencapai nol, sehingga yang membatasi arus hanya R_{ek} dan X_{ek} . Tetapi karena nilai keduanya relative kecil, maka tegangan yang diberikan $V_{sc} = V_1$, harus dijaga supaya tidak besar sehingga arus yang dihasilkan tidak melebihi arus nominal.

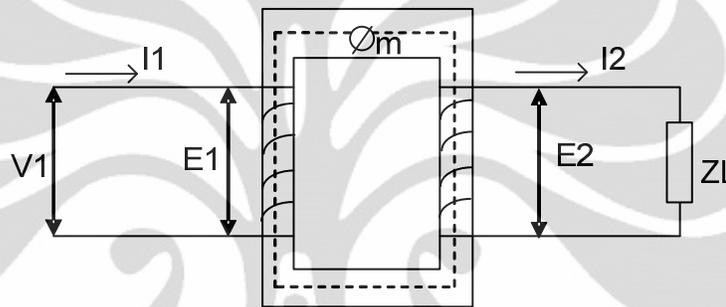


Gambar 2.14 Rangkaian Ekuivalen Hubung Singkat

Rugi tembaga besarnya selalu berubah tergantung kepada beban yang diberikan, rugi ini mencapai nilai maksimum pada saat beban puncak. Seperti pada rangkaian gambar 2.14 menunjukkan adanya arus dari system pemasok jika satu kumparannya diberi penguatan dan kumparan sekundernya tidak dibebani. Arus penguatan pada saat tanpa beban terdiri dari komponen Rugi - rugi dan komponen magnetisasi. Arus pada komponen magnetisasi akan menghasilkan fluks dalam inti, sehingga tegangan yang dihasilkan sama dengan tegangan induksi dalam belitan. Sedangkan komponen Rugi - rugi akan menghasilkan Rugi - rugi besi.

2.3.3.1 Keadaan Trafo Berbeban

Apabila pada sisi sekunder dihubungkan dengan beban (Z_L), maka pada sisi sekunder akan mengalir arus ($I_2 = V_z/Z_L$) dengan factor daya $\cos \phi$ seperti yang diperlihatkan pada gambar. Arus sekunder tersebut akan menghasilkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang ϕ_m yang terjadi akibat arus pemagnetan



Gambar 2.15 Rangkaian Trafo Berbeban

Agar supaya ϕ_m tidak berubah nilainya, maka pada kumparan primer harus mengalir arus I_2' untuk menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban (I_2) sehingga arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi :

$$I_1 = I_0 + I_2' \dots\dots\dots(2.5)$$

Bila rugi besi diabaikan diperoleh $I_0 = I_m$, disubstitusikan, maka didapat:

$$I_1 = I_m + I_2' \dots\dots\dots(2.6)$$

Untuk menjaga agar fluks tidak berubah sebesar gaya gerak magnet yang dihasilkan oleh arus pemagnetan, berlaku hubungan :

$$N_1 I_m = N_1 I_1 - N_2 I_2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Substitusikan persamaan 1 & 2 maka didapat

$$N_1 I_m = N_1 (I_m + I_2') - N_2 I_2 \dots\dots\dots(2.8)$$

Atau

$$N_1 I_2' = N_2 I_2 \dots\dots\dots (2.9)$$

Karena nilai I_m dianggap kecil $I_2' = I_1$ maka diperoleh :

$$I_2 = \frac{N_1}{N_2} \cdot I_2' = a \cdot I_1 \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana: N_1 =jumlah lilitan primer

N_2 =jumlah lilitan sekunder

a =perbandingan trafo

2.4 Faktor yang mempengaruhi beban

2.4.1. Beban Rata-rata (Pr)

Beban rata-rata adalah banyaknya energy listrik dalam suatu periode waktu tertentu dibagi dengan waktu tersebut

$$Pr = Ep/h \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana : Ep = jumlah energy terpakai (kwh)

H = jumlah jam pemakaian (h)

2.4.2 Pertumbuhan Beban

Pemilihan kapasitas suatu peralatan sistem distribusi dan perhitungan2 teknis seperti rugi-rugi biasanya tidak semata – mata didasarkan pada keadaan beban saat ini.

Tingkat pertumbuhan beban dapat ditentukan dengan menganalisa keadaan beban dimasa lampau kemudian diproyeksikan ke masa yang akan datang. Kalau tingkat

pertumbuhan beban dan beban awal diketahui, maka keadaan beban pada tahun mendatang dapat ditentukan.

$$P_n = P_o (1 + g)^n \dots\dots\dots(2.12)$$

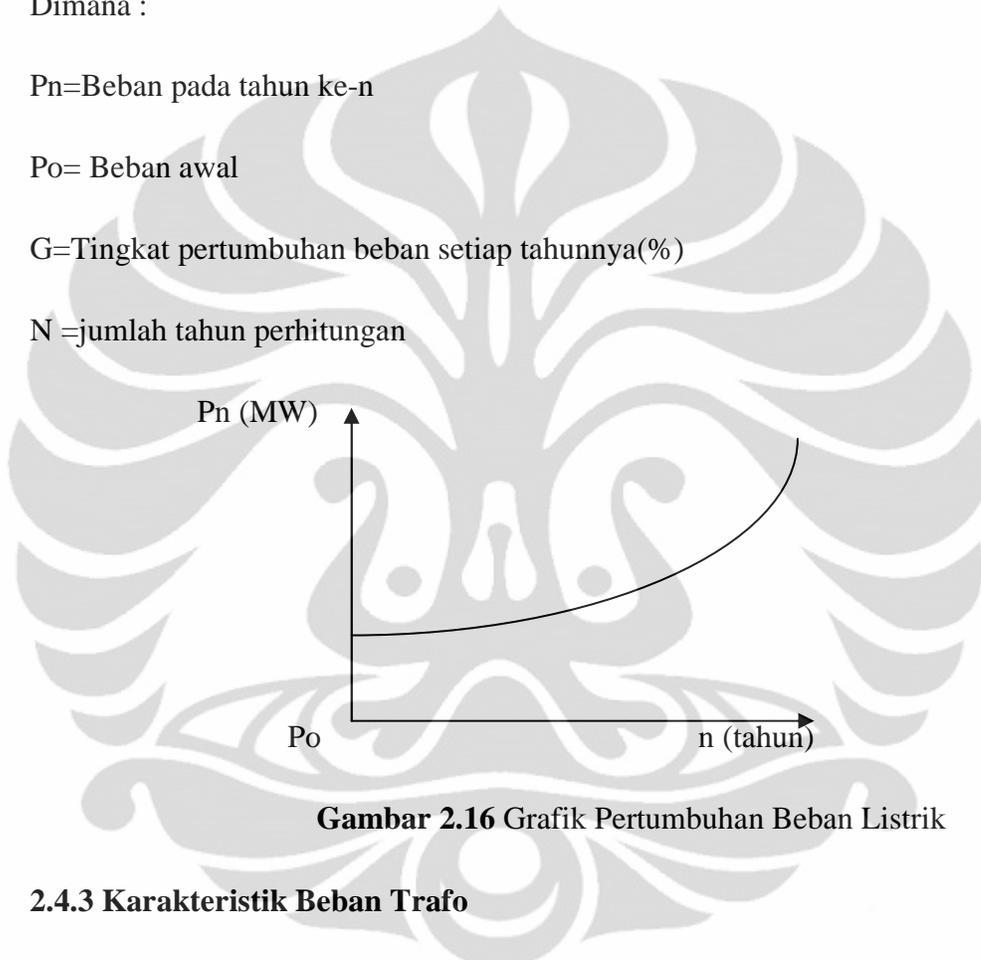
Dimana :

P_n = Beban pada tahun ke- n

P_o = Beban awal

G = Tingkat pertumbuhan beban setiap tahunnya (%)

N = jumlah tahun perhitungan



Gambar 2.16 Grafik Pertumbuhan Beban Listrik

2.4.3 Karakteristik Beban Trafo

Umumnya karakteristik beban dibutuhkan untuk perhitungan rugi-rugi, kebutuhan maksimum daya, factor daya, factor beban, factor rugi-rugi dan factor kemampuan beban maksimum. Beban suatu gardu distribusi tergantung pada jenis beban yang dilayani, Karakteristik beban biasanya dinyatakan dalam bentuk kurva beban, beban puncak, factor beban (load factor), factor rugi-rugi (loss factor), factor daya (power factor) dan besaran lainnya.

2.4.4 Kurva Beban

Kurva beban menunjukkan variasi beban setiap saat. Bentuk kurva beban gardu distribusi bergantung pada jenis beban yang dilayaninya. Kurva beban sendiri merupakan gambaran dari kebutuhan beban pada selang waktu tertentu. Kebutuhan beban suatu system tenaga listrik adalah beban rata-rata system selama interval tertentu.

2.4.5 Beban puncak

Beban puncak merupakan beban yang terjadi pada saat kebutuhan beban mencapai batas tertinggi. Sehingga beban puncak dari suatu kurva beban sangat penting dalam menentukan pembebanan dan kapasitas trafo yang akan dipasang. Beban puncak dapat dinyatakan sebagai nilai sesaat atau sebagai kebutuhan beban.

2.4.6 Faktor Daya (Power Factor)

Faktor daya merupakan perbandingan antara daya aktif/nyata (p) dan daya kompleks (s). Karena distribusi beban trafo yang selalu berubah secara kontinu, sehingga harga factor daya juga berubah-ubah. Oleh karena itu, factor daya ditentukan untuk kondisi beban tertentu, seperti pada beban maksimum, beban ringan maupun beban rata-rata. Besarnya factor daya trafo ini, terdapat dalam rumusan berikut ini :

$$\text{Pf} = \cos \Theta = \frac{P}{S} \dots\dots\dots(2.15)$$

2.5 Biaya rugi – rugi daya pada Transformator [6]

2.5.1 Biaya Rugi - rugi Daya Tanpa Beban

Rugi - rugi daya tanpa beban adalah Rugi - rugi yang terjadi pada inti besi trafo. Besarnya Rugi - rugi ini dapat diukur pada saat trafo tidak dibebani. Besarnya biaya rugi daya tanpa beban adalah tetap dan tidak tergantung pada keadaan pembebanan, oleh karena itu dalam perhitungan biaya rugi daya tanpa beban tidak

perlu dimasukkan peak responsibility factor, factor rugi beban maupun factor pertumbuhan beban. Biaya rugi daya tanpa beban trafo selama pengusahaan dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Brdtb (n)} = (\text{Bdl} + 8760 \cdot \text{Btl}) \cdot \text{Rdtb} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

Brdtb (n) = biaya rugi daya tanpa beban (Rp/Th)

Bdl = biaya daya listrik pada factor daya tertinggi (Rp/Kwth)

8760 = Jumlah jam operasi dalam satu tahun (jam/thn = h/th)

Btl = Biaya tenaga listrik (Rp/kwh per tahun)

Rdtb = Rugi daya tanpa beban (kw)

2.5.2 Biaya Rugi - rugi daya berbeban

Rugi - rugi daya berbeban besarnya akan berubah sepanjang waktu mengikuti perubahan beban unit trafo yang ada. Jika beban naik, maka besarnya Rugi - rugi daya berbeban akan naik juga, sehingga biaya Rugi - ruginya otomatis akan naik pula dan jumlahnya tidak tetap. Karena besarnya rugi berbeban ini tergantung pada beban, maka dalam perhitungan biayanya harus dimasukkan factor pertumbuhan beban, responsibility factor dan factor Rugi - rugi. Biaya Rugi - rugi daya berbeban trafo tiap tahun dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Brdb(n)} = (\text{Bdl} \cdot \text{Rf} + \text{Fr} \cdot 8760 \cdot \text{Btl}) \cdot \text{Rdb} (\text{Smaks/Sn})^2 \cdot k \dots\dots(2.17)$$

Dimana : Brdb = Biaya rugi daya berbeban (Rp/thn)

Rf = Peak responsibility factor

Fr = factor Rugi - rugi

Rdb = Rugi daya berbeban trafo(KW)

Smaks = Beban Maks.trafo (KVA)

$$Smaks = Po (1 + g)^n \dots\dots\dots(2.18)$$

Po = beban awal

Sn = Kapasitas nominal trafo (KVA)

k = factor pertumbuhan beban

$$k = \frac{[(1+g)^2 [(1+i)^n - (1+g)^{2n}].i}{[(1+i) - (1+g)^2][(1+i)^n - 1]} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana : I = tingkat bunga pertahun asumsi (16%)

G = tingkat pertumbuhan beban pertahun asumsi (6%)

N = jumlah tahun perusahaan

Jadi biaya Rugi - rugi daya total trafo tiap tahun adalah:

$$\begin{aligned} Bdrtt(n) &= Brdtb(n) + Brdb(n) \dots\dots\dots(2.20) \\ &= (Bdl + 8760.Btl).Rdtb + (Bdl.Rf + Fr.8760.Btl).Rdb. \\ &\quad (Smaks/Sn)^2 .k \end{aligned}$$

2.6 Biaya Investasi Trafo

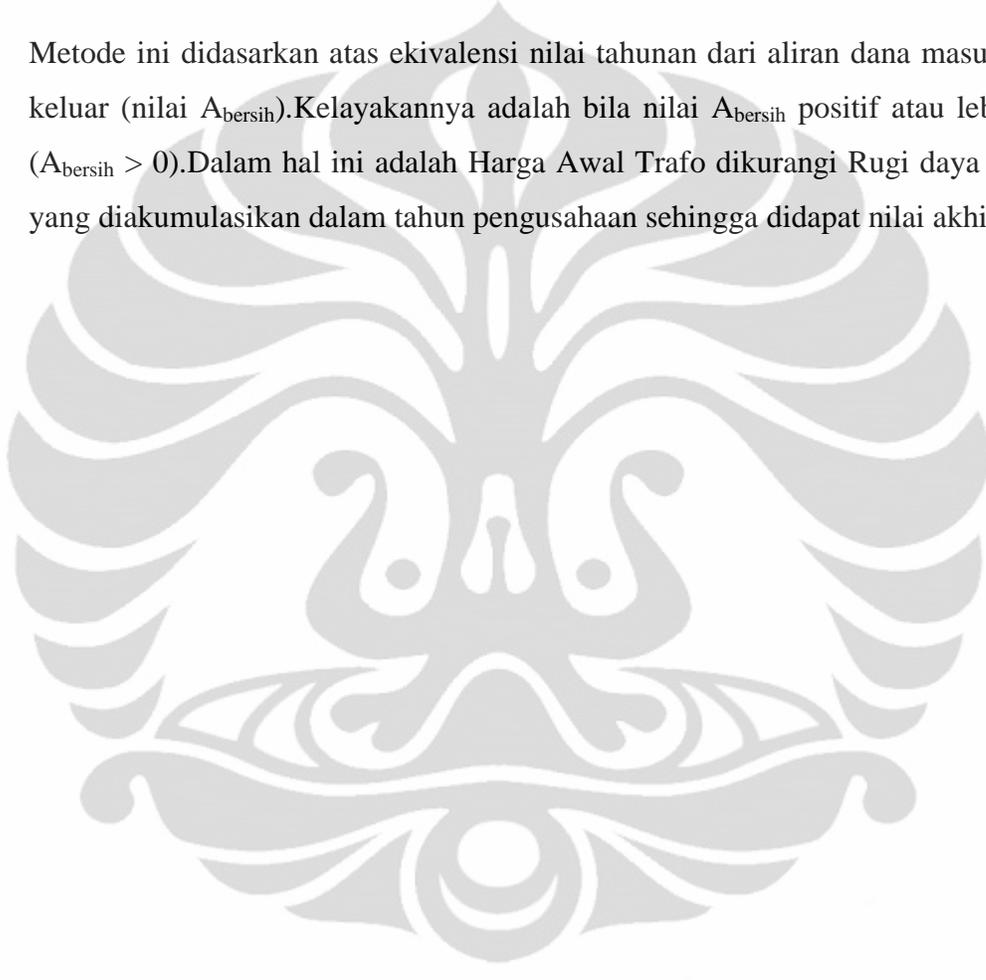
Banyak faktor yang dapat dipertimbangkan dalam penentuan besarnya biaya investasi dari trafo distribusi, antara lain adalah:

1. Harga unit trafo
2. Biaya pemasangan trafo
3. Biaya bahan konstruksi ruang trafo
4. Biaya untuk pengaman, pemisah
5. Biaya perlengkapan lainnya.

Tetapi yang menimbulkan perbedaan biaya untuk jenis trafo yang kapasitasnya sama adalah harga dari unit trafo tersebut, sedangkan biaya yang lain tidak menimbulkan perbedaan yang besar.

2.7 Metode Nilai Tahunan (*Annual Worth Method*)

Metode ini didasarkan atas ekivalensi nilai tahunan dari aliran dana masuk dan aliran dana keluar (nilai A_{bersih}). Kelayakannya adalah bila nilai A_{bersih} positif atau lebih besar dari nol ($A_{\text{bersih}} > 0$). Dalam hal ini adalah Harga Awal Trafo dikurangi Rugi daya total pertahunnya yang diakumulasikan dalam tahun pengusahaan sehingga didapat nilai akhirnya.



BAB III

DATA DAN HASIL PENGUJIAN

Penulis melakukan pengambilan data dan kelengkapannya dilakukan pada PLN, dimana terdapat dua buah transformator dengan kapasitas yang sama akan diuji, untuk melihat nilai losses tanpa beban dan losses yang terjadi pada lilitan dengan cara :

1. Pengujian rugi-rugi inti besi (No-load losses trafo)
2. Pengujian rugi-rugi belitan (Load losses trafo)

Dimana satu sama lain mempunyai pengujian yang berbeda. Dari sana akan menguji dua buah transformator dengan kapasitas yang sama namun mendapatkan hasil losses yang berbeda, dari hasil tersebut akan dicari nilai investasi yang terbaik dari dua buah trafo tersebut.

3.1 Spesifikasi Data Transformator 1

Spesifikasi Data Transformator 1

Nomor Seri	2010221
Tahun Pembuatan	2010
Jumlah Fase	3 (tiga)
Daya Pengenal	630 KVA
Frekuensi Pengenal	50 Hz
Tegangan Primer	20 KV
Tegangan Sekunder	400 V
Arus primer	7,21 A
Arus Sekunder	360,84 A
Kelompok Vektor	YNYN0

Cara Pendinginan	ONAN
Impedans	4,12 %
Volume Minyak	250 L
Berat Total	1271 kg
Jumlah sadapan	5 langkah
Identifikasi terminal	
Sisi Tegangan tinggi	1U, 1V,1W
Sisi Tegangan rendah	2u, 2v, 2w, 2N



Gambar 3.1 Transformator 1

3.2 Spesifikasi Data Transformator 2

Spesifikasi Data Transformator 2

Pelat Nama

Nomor Seri	201044308
Tahun Pembuatan	2010
Jumlah Fase	3 (tiga)
Daya Pengenal	630 KVA
Frekuensi Pengenal	50 HZ
Tegangan Primer	20 KV
Tegangan Sekunder	400 V
Arus Primer	7,21 A
Arus Sekunder	360,84 A
Kelompok vektor	DYN5
Cara Pendinginan	ONAN
Impedans	4 %
Volume Minyak	311 L
Berat total	1182 kg
Jumlah Sadapan	5 Langkah

Identifikasi Terminal

Sisi Tegangan tinggi	1U, 1V, 1W
Sisi Tegangan rendah	2U, 2V, 2W, 2N



Gambar 3.2 Transformator 2

3.3 Metode Pengukuran Open Circuit dan Short Circuit Trafo

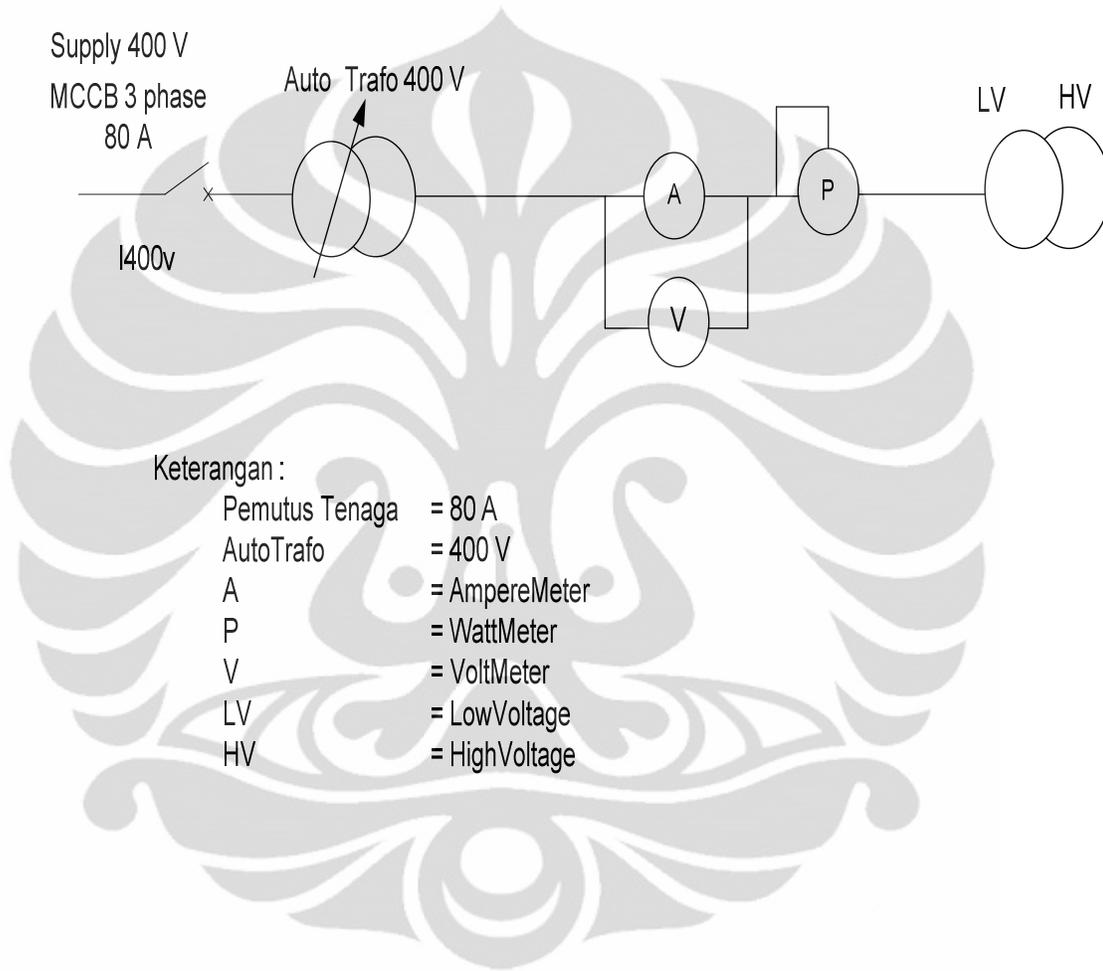
Metode pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan alat ukur Ampere meter , dan Watt meter yang dapat menunjukkan beberapa parameter yang dibutuhkan untuk mengetahui besarnya rugi – rugi transformator. Untuk pengujian open circuit digunakan untuk mengetahui besarnya nilai rugi-rugi inti besi (no-load test), sedangkan pada pengujian berbeban digunakan untuk mengetahui besarnya nilai rugi-rugi belitan (full load test). Adapun parameter-parameter yang didapat dari hasil pengukuran antara lain berupa :

- Arus Tanpa beban
- Tegangan Impedans
- Daya nyata

3.3.1 Pengujian open circuit (No-Load Losses test)

Berikut adalah pengujian open circuit trafo yang fungsinya untuk mengetahui rugi – rugi inti besi yang terjadi di trafo

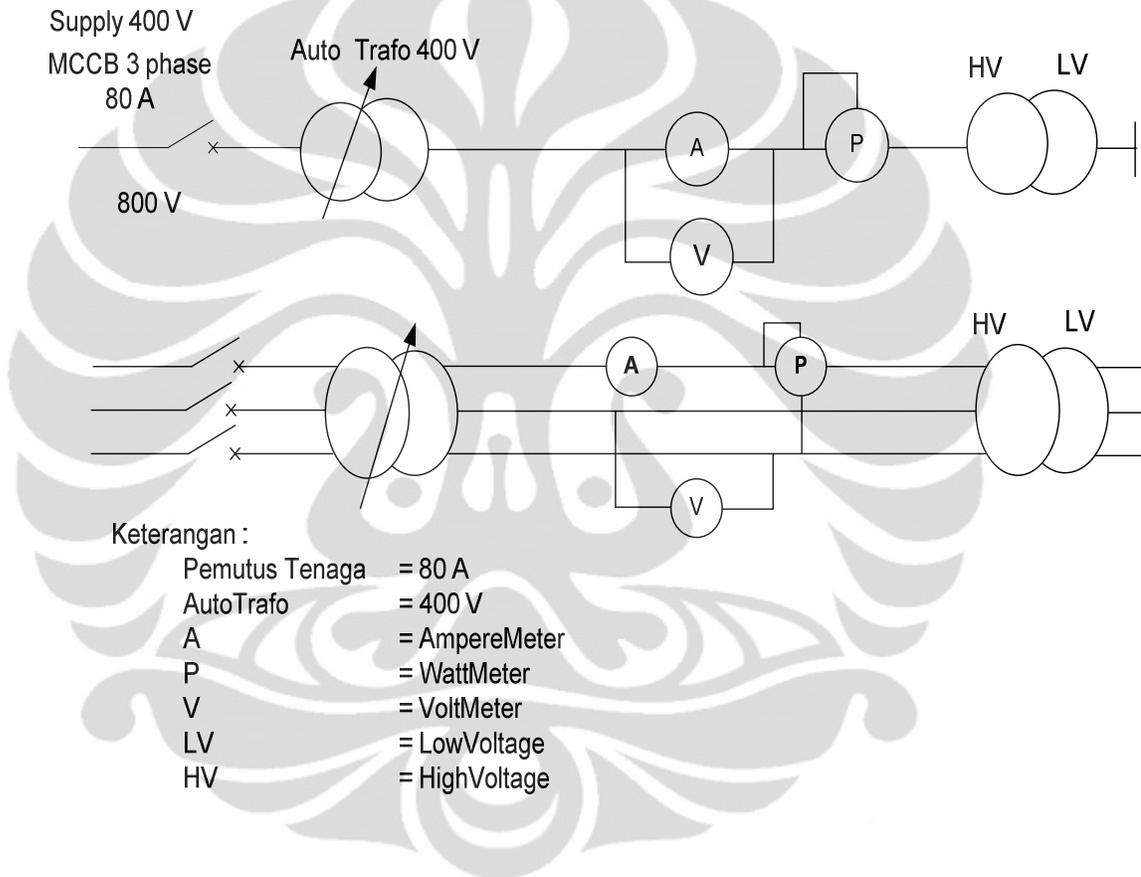
Rangkaian Uji



Gambar 3.3 Pengujian Trafo Open circuit.

3.3.2 Pengujian Trafo Berbeban (Load Losses test)

Berikut adalah pengujian trafo berbeban yang fungsinya untuk mengetahui rugi – rugi belitan yang terjadi di trafo.



Gambar 3.4 Pengujian Trafo Berbeban

3.4 Hasil Pengujian Transformator

3.4.1 Transformator 1

Berikut adalah hasil pengujian rugi – rugi tanpa beban dan pengujian rugi – rugi berbeban.

Tabel 3.1 Data Hasil Pengujian Trafo 1

Rugi total

No.	Rugi-rugi transformator			Rugi total	
	Komponen rugi	W	%	W	%
1	Rugi tanpa beban	1242,17	0,20	7830,65	1,24
2	Rugi berbeban	6588,48	1,05		
Persyaratan standar				Nom	1,24
				Maks	1,36

3.4.2 Transformator 2

Berikut adalah hasil pengujian rugi – rugi tanpa beban dan pengujian rugi – rugi berbeban.

Tabel 3.2. Data Hasil Pengujian Trafo 2

Rugi total

No.	Rugi-rugi transformator			Rugi total	
	Komponen rugi	W	%	W	%
1	Rugi tanpa beban	1396,54	0,22	8155,67	1,29
2	Rugi berbeban	6759,13	1,07		
Persyaratan standar				Nom	1,24
				Maks	1,36

BAB IV

ANALISA DATA DAN PERHITUNGAN

4.1 Perhitungan Biaya Rugi Daya

Berdasarkan teori ada dua perhitungan untuk menghasilkan besarnya rugi – rugi total yang dihasilkan akibat pengujian tanpa beban dan berbeban..Dengan pengujian tersebut maka didapat nilai daya aktif (w) dari dua buah trafo 630 KVA yang akan dibandingkan nilai biaya yang ditimbulkan, dan dari sana akan dilihat nilai investasi terbesarnya.Untuk menghitung biaya rugi daya tanpa beban dan berbeban harus memperhitungkan beberapa faktor yaitu :

- biaya daya listrik pada faktor daya tertinggi (B_{DL})
- rugi daya tanpa beban
- rugi daya berbeban
- biaya tarif listrik
- tingkat pertumbuhan beban per tahun
- tingkat bunga per tahun
- faktor rugi-rugi
- Jumlah energy terpakai (KW) dari kurva harian
- Beban maks.trafo (KVA)

4.2 Perhitungan Biaya Rugi Daya Tanpa Beban Trafo 1 dan 2

Berdasarkan hasil pengujian didapat nilai daya aktif (w) rugi daya tanpa beban pada kedua trafo.Untuk menghitung Biaya rugi daya tanpa beban adalah :

Untuk Trafo 1 dengan $R_{DTB} = 1.242$ KW (Tabel 3.1)

$$B_{RDTB} = (B_{DL} + 8760. B_{TL}).R_{DTB}$$

$$= (1173762,18 + 8760. 680).1,242 \text{ KW}$$

$$= \text{Rp.}8856158,2276$$

Untuk Trafo 2 dengan $R_{DTB} = 1.396 \text{ KW}$ (Tabel 3.2)

$$\begin{aligned} B_{RDTB} &= (B_{DL} + 8760 \cdot B_{TL}) \cdot R_{DTB} \\ &= (1173762,18 + 8760 \cdot 680) \cdot 1,396 \text{ KW} \\ &= \text{Rp.}9.954.264,803 \end{aligned}$$

Dimana:

B_{DL} = Biaya Daya Listrik pada faktor daya tertinggi (Rp/KW)

B_{TL} = Biaya Tarif Listrik golongan I-3/TM (Rp.680,00)

R_{DTB} = Rugi Daya Tanpa Beban (KW)

4.3 Perhitungan Biaya Rugi Daya Berbeban Trafo

Untuk mendapatkan biaya rugi daya berbeban ada beberapa hal penting yang harus diperhatikan yaitu masalah pertumbuhan beban pada pelanggan, dimana untuk menghitung rugi daya berbeban memperhitungkan faktor pertumbuhan beban pertahunnya pada pelanggan. Untuk menghitung rugi daya berbeban :

$$B_{RDB} (n) = (B_{DL} \cdot R_f + F_r \cdot 8760 \cdot B_{TL}) \cdot R_{DB} \cdot \left(\frac{S_{maks}}{S_n}\right)^2 \cdot K$$

Sebelum mencari Biaya rugi daya berebeban, harus terlebih dahulu mencari parameter R_f , F_r , S_{maks} , S_n dan faktor K serta beban maksimum trafo.

Gardu	:	E 212	
Type	:	BETON	
Penyulang	:	FAJAR	
Jml Trap	:		
Trap ke	:	3	
<u>TRAFO</u>		1	
KVA	:	630	KVA
<u>RAK TR</u>			
Jml Jurusan	:	7	bh
Jrsn	:	6	bh

Terpakai
 | Jl.Raya Bogor

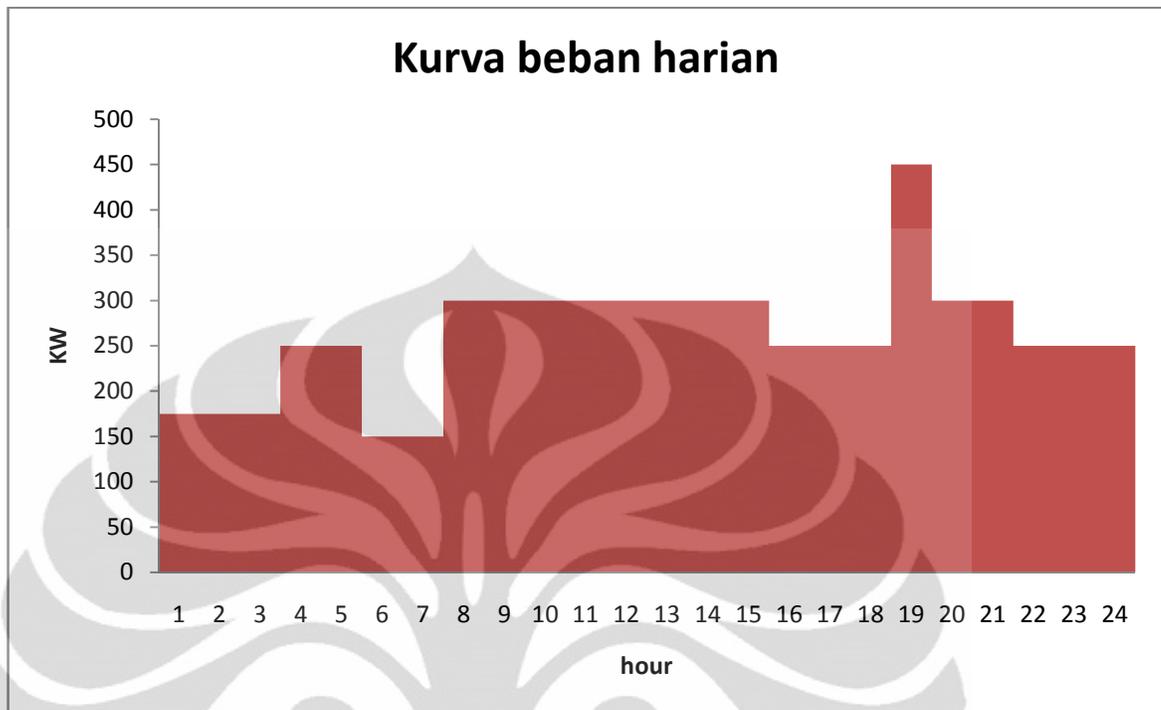
Tabel 4.1 Beban Maksimum Trafo

Permintaan Terpasang (VA)	Banyak Langganan	Kebutuhan maks rata2 (VA)	Beban Trafo (VA)
1300	36	993.41	35763
2200	45	1231.4	55413
3500	26	1435.96	37335
4400	18	2772.83	49911
6600	15	4951.8	74277
10600	2	8646	17292

PoTotal : 269.991 VA

B_{DL} = Rp 1173762,18

Sumber PLN



Gambar 4.1 Kurva Beban Harian

Dimana :

- R_f = Perbandingan antara beban trafo pada waktu beban puncak system yang terjadi dengan jumlah beban puncak trafo yang ada.

Tabel 4.2 Faktor R_f [5]

Jenis Trafo	R_f
Transformator step-up	1,0
Transformator step-down	0,9
Transformator distribusi	0,84

Untuk mendapatkan faktor rugi-rugi trafo adalah dengan :

$$Fr = Fb (c) + (1-c)Fb^2$$

Dimana :

$$Fb = \frac{Pr}{Pmax} \times 100 \%$$

Pr = daya beban rata-rata

Pmax = Daya yang tertinggi pada saat beban puncak besarnya 450 kw dari beban kurva harian

$$Pr = \frac{Ep}{h} = \frac{6100}{24} = 254,166$$

Ep = Jumlah energy terpakai (kw) dari kurva beban harian (Gambar 4.1)

$$Ep = 6100 \text{ kw}$$

h = Jumlah jam pemakaian (h)

$$Pr = 254,166 \text{ kw/h}$$

$$Fb = \frac{Pr}{Pmax} = \frac{254,166}{450} \times 100 \% = 56.48\% = 0,56$$

c = konstanta yang besarnya 0,15 untuk sistem distribusi dan 0,3 dan untuk system transmisi

maka :

$$\begin{aligned} Fr &= 0,56(0,15) + (1 - 0,15).(0,56)^2 \\ &= 0,084 + 0,85.0,3136 \\ &= 0,350 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Smaks} &= \text{Beban maksimum trafo per tahun} \\ \text{Smaks} &= P_o (1 + g)^n \\ &= 269.991 \text{ VA } (1 + 6/100)^1 \\ &= 286190,46 \text{ VA} \\ &= 286,190 \text{ KVA} \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Beban Maksimum Trafo per tahun

Smaks Tahun ke -n	Daya (KVA)
1	286,190
2	303,36
3	321,563
4	340,857
5	361,308
6	382,98
7	405,966
8	430,324

9	456,144
10	483,512

- $S_n = 630$ KVA (kapasitas Trafo)

Faktor K merupakan faktor pertumbuhan beban per- tahunnya, dengan menggunakan rumus :

$$K = \frac{(1+g)^2 [(1+i)^n - (1+g)^{2n}] \cdot i}{[(1+i) - (1+g)^2][(1+i)^n - 1]}$$

Dimana :

i = tingkat bunga pertahun (16%) *assumption* [7]

g = tingkat pertumbuhan beban pertahun (6%) *assumption* [8]

n = jumlah tahun perusahaan

Untuk Tahun pertama didapat:

$$= \frac{(1+6/100)^2 [(1+16/100)^1 - (1+6/100)^{2 \cdot 1}] \cdot 16/100}{[(1+16/100) - (1+6/100)^2][(1+16/100)^1 - 1]}$$

$$= \frac{(1,1236) [(1,16) - (1,1236)] \cdot 0,16}{[(1,16) - (1,1236)] [1,16 - 1]}$$

$$= \frac{0,00654}{0,005824}$$

$$= 1,122$$

Tabel 4.4 Faktor K pada kurun waktu 10 tahun

k	Value
1	1.122
2	1,195
3	1,226
4	1,359
5	1,391
6	1,457
7	1,521
8	1,592
9	1,652
10	1,718

4.3.1 Perhitungan Biaya Rugi Daya Berbeban Trafo 1

Setelah perhitungan R_f, F_r, S_{maks}, S_n dan faktor K dan besar R_{DB} (Tabel 3.1) dapat dicari secara keseluruhan nilai Biaya Rugi daya berbeban

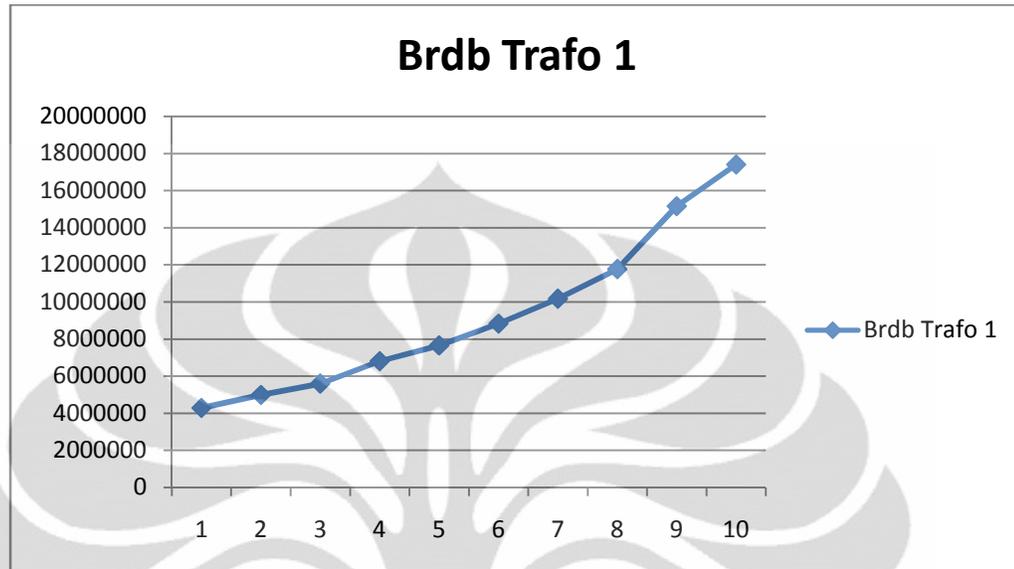
$$\begin{aligned}
 B_{RDB(1)} &= (B_{DL} \cdot R_f + F_r \cdot 8760 \cdot B_{TL}) \cdot R_{DB} \left(\frac{S_{maks}}{S_n} \right)^2 \cdot k \\
 &= (1.173.762,18 \cdot 0,84 + 0.350 \cdot 8760 \cdot 680) \cdot 6,588 \left(\left(\frac{269.991}{630} \right)^2 \cdot 1,122 \right) \\
 &= (985960,2312 + 2954572.8) \cdot 6,588 (0.18) \cdot 1,122 \\
 &= \text{Rp } 4.286.453,880
 \end{aligned}$$

Sehingga didapat biaya rugi berbeban trafo 1 dari tahun 1 s/d 10

Tabel 4.5 Biaya rugi daya berbeban trafo 1

BRDB Trafo 1 Thn ke - n	Cost (Rp)
1	4.286.453,880
2	4.983.953,507
3	5.595.873,450
4	6.804.004,947
5	7.655.465,818
6	8.832.005,824
7	10.174.497,908
8	11.771.705,898
9	15.161.165,704
10	17.408.390,132

Setelah mendapatkan nilai rugi berbeban, maka didapat grafik sebagai berikut:



Gambar 4.2 Grafik Biaya Daya Berbeban Trafo 1

4.3.2 Perhitungan Biaya Rugi Daya Berbeban Trafo 2

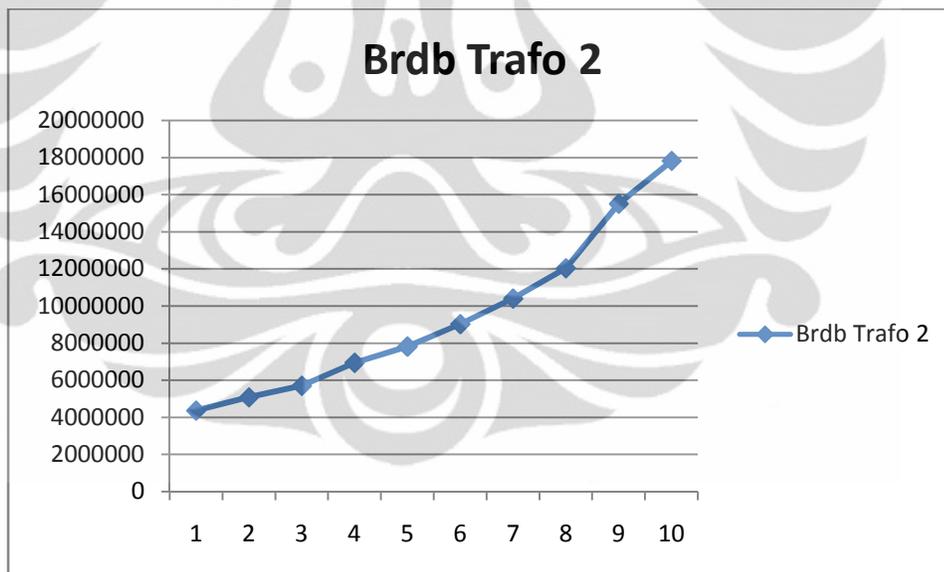
$$\begin{aligned}
 B_{RDB(1)} &= (B_{DL} \cdot R_f + F_r \cdot 8760 \cdot B_{TL}) \cdot R_{DB} \left(\frac{S_{maks}}{S_n} \right)^2 \cdot k \\
 &= (1.173.762,18 \cdot 0,84 + 0.350 \cdot 8760 \cdot 680) \cdot 6.759 \left(\left(\frac{269.991}{630} \right)^2 \cdot 1,122 \right) \\
 &= (985960,2312 + 2954572,8) \cdot 6,759 (0,18) \cdot 1,122 \\
 &= \text{Rp } 4.369.000,224
 \end{aligned}$$

Sehingga didapat biaya rugi berbeban trafo 2 dari tahun 1 s/d 10

Tabel 4.6 Biaya Rugi Daya Berbeban Trafo 2

B_{RDB} Trafo 2 Tahun ke - n	Cost (Rp)
1	4.369.000,224
2	5.082.736,143

3	5.709.745,906
4	6.945.832,29
5	7.818.574,981
6	9.023.964,531
7	10.399.664,842
8	12.036.513,394
9	15.507.297,097
10	17.811.162,057



Gambar 4.3 Grafik Biaya Rugi Daya Berbeban Trafo 2

Dari Tabel 4.6 terlihat nilai biaya rugi daya berbeban trafo 2 pada tahun pertama sebesar Rp. 4.369.000,224 lebih besar dibandingkan nilai rugi daya berbeban trafo 1 pada Tabel 4.5 sebesar Rp. 4.286.453,880

4.4 Perhitungan Biaya Rugi Daya Total Trafo

4.4.1 Perhitungan Biaya Rugi Daya Total Trafo 1

Setelah mendapatkan nilai biaya rugi daya tanpa beban dan berbeban maka didapat biaya rugi daya total tahunannya, dengan *formula*

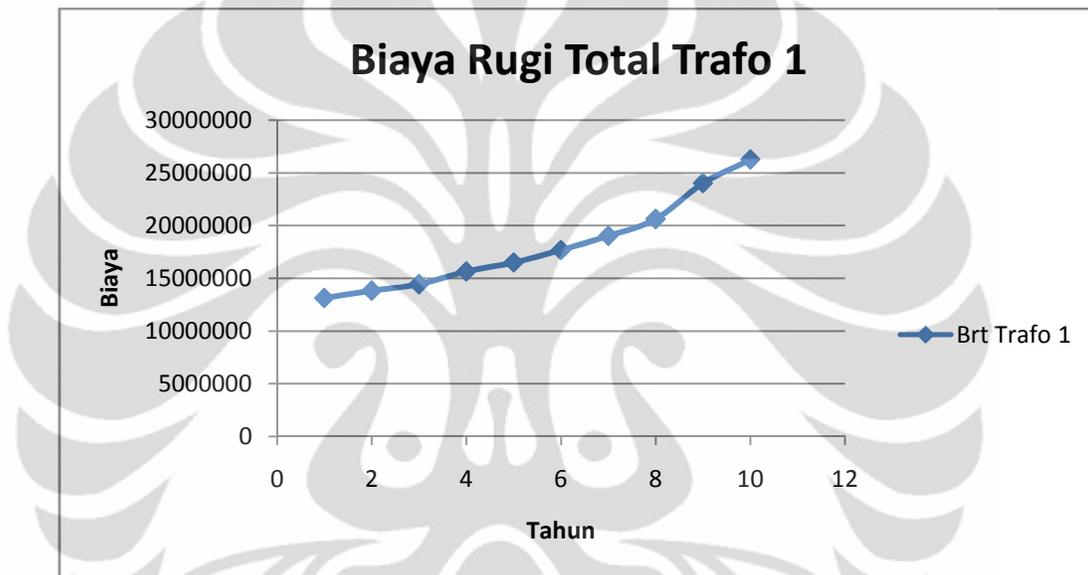
$$\begin{aligned}
 B_{RT}(n) &= B_{RDTB} + B_{RDB} \\
 &= (B_{DL} + 8760 \cdot B_{TL}) \cdot R_{DTB} + (B_{DL} \cdot R_f + Fr \cdot 8760 \cdot B_{TL}) \cdot R_{DB} \left(\frac{S_{maks}}{Sn} \right)^2 \cdot k \\
 B_{RT}(1) &= B_{RDTB} + B_{RDB} \\
 &= Rp.8856158,2276 + Rp.4286453,880 \\
 &= Rp13.142.612,11
 \end{aligned}$$

Berikut adalah rugi total dari tahun pertama sampai tahun pengusahaan ke sepuluh.

Tabel 4.7 Rugi Daya Total Trafo 1

B_{RT} Trafo 1 Thn ke - n	Cost (Rp)
1	13.142.612,11
2	13.840.111,73
3	14.452.031,68
4	15.660.163,17
5	16.511.624,05
6	17.688.164,05
7	19.030.656,13

8	20.627.864,12
9	24.017.323,93
10	26.264.548,36



Gambar 4.4 Biaya Rugi Total Trafo 1

4.4.2 Perhitungan Biaya Rugi Daya Total Trafo 2

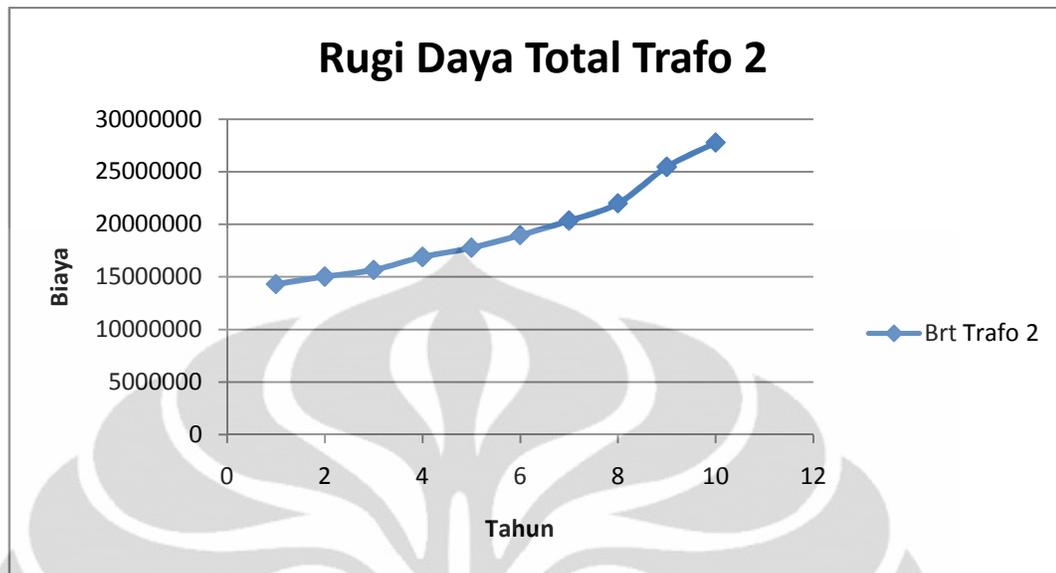
Perhitungan Biaya Rugi Daya Total Trafo 2 adalah:

$$\begin{aligned}
 B_{RT}(n) &= B_{RDTB} + B_{RDB} \\
 &= (B_{DL} + 8760 \cdot B_{TL}) \cdot R_{DTB} + (B_{DL} \cdot R_f + Fr \cdot 8760 \cdot B_{TL}) \cdot R_{DB} \left(\frac{Smaks}{Sn} \right)^2 \cdot k \\
 B_{RT}(1) &= B_{RDTB} + B_{RDB} \\
 &= Rp. 9954264.803 + Rp. 4369000.224 \\
 &= Rp. 14.323.265,03
 \end{aligned}$$

Berikut adalah rugi total dari tahun pertama sampai tahun pengusahaan tahun ke sepuluh.

Tabel 4.8 Biaya Rugi Daya Total Trafo 2

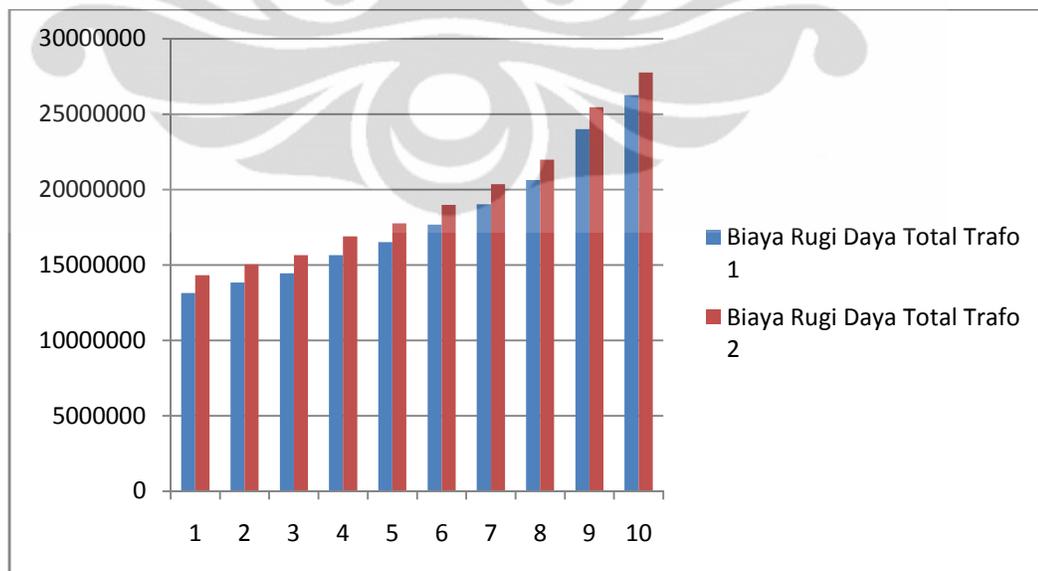
B _{RT} Trafo 1 Thn ke - n	Cost (Rp)
1	14.323.265,03
2	15.037.000,95
3	15.664.010,71
4	16.900.097,09
5	17.772.839,78
6	18.978.229,33
7	20.353.929,64
8	21.990.778,19
9	25.461.561,89
10	27.765.426,85



Gambar 4.5 Grafik Biaya Rugi Total Trafo 2

4.4.3 Perbandingan Biaya Rugi Daya Total Trafo 1 dan Trafo 2

Dari Perhitungan Biaya rugi total keseluruhan maka perbandingan antara trafo 1 dan 2 adalah sebagai berikut :



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Biaya Rugi Total Trafo 1 dan 2

Dari gambar 4.6 terlihat bahwa biaya rugi daya total trafo 1 lebih kecil dibandingkan dengan trafo 2, dan hal ini membuktikan bahwa biaya rugi daya total trafo 1 lebih baik dibandingkan trafo 2.

4.5 Penyusutan Trafo berdasarkan Biaya Rugi Daya Total Trafo

Dari harga trafo, maka bisa didapat besar investasi trafo berdasarkan kurun waktu tertentu:

Tabel 4.9 Harga Trafo [9]

Harga Trafo	Rp
Trafo 1	259.000.000
Trafo 2	240.000.000

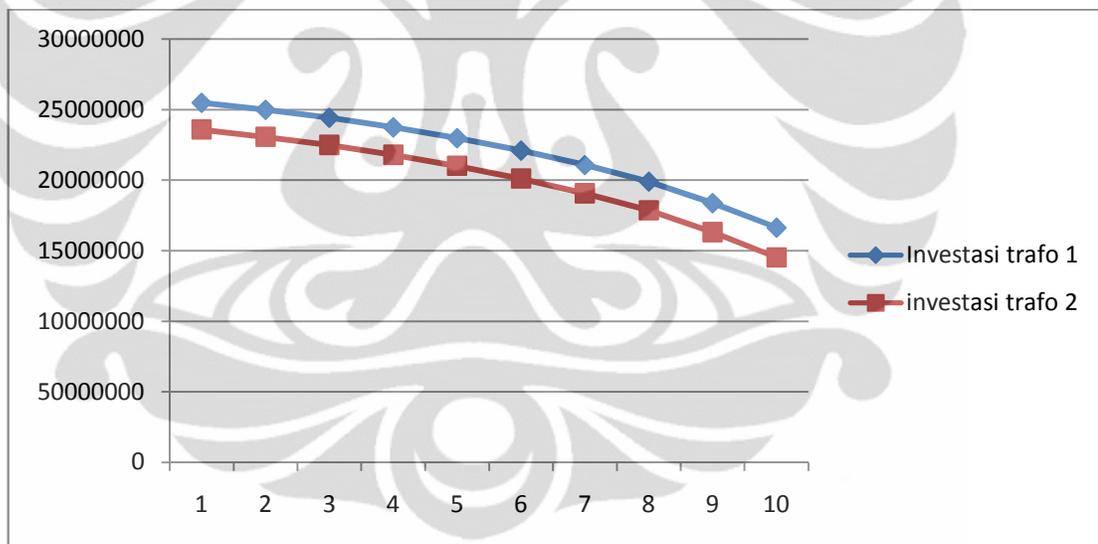
Dengan mengurangi harga trafo terhadap biaya rugi daya total yang dihasilkan berdasarkan tahun maka didapat hasil penyusutan trafo

Tabel 4.10 Hasil Penyusutan Trafo 1 dan 2 setelah dikurangi Biaya Rugi Daya Total

Tahun	Trafo 1 (Rp)	Trafo 2 (Rp)
1	254.713.546,1	235.713.546,1
2	249.729.592,6	230.548.263,6
3	244.133.719,2	224.838.517,7
4	237.329.714,2	217.892.685,4
5	229.674.248,4	210.074.110,5
6	220.842.242,6	201.050.145,9
7	210.667.744,7	190.650.481,1
8	198.896.038,8	178.613.967,7
9	183.734.873,1	163.106.670,6
10	166.326.483	145.295.508,6

Tabel 4.11 Persentase nilai penyusutan Trafo 1 dan 2 akibat rugi daya total

Tahun	Trafo 1 (%)	Trafo 2 (%)
1	1,655	1,786
2	3,579	3,938
3	5,739	6,317
4	8,366	9,211
5	11,322	12,469
6	14,732	16,229
7	18,661	20,562
8	23,206	25,577
9	29,059	32,038
10	35,79	39,47

**Gambar 4.7** Perbandingan Hasil Penyusutan Trafo 1 dan 2

Dari Tabel 4.10 terlihat bahwa nilai Susut trafo 1 sebesar Rp 254.713.546,1 sedangkan pada trafo 2 sebesar Rp. 235.713.546,1. Sedangkan nilai Investasi Trafo 1 lebih besar dibandingkan nilai investasi trafo 2 dengan selisih Rp.19.000.000 pada tahun pertama

Gambar 4.7 menunjukkan perbandingan nilai penyusutan trafo dari tahun pertama hingga tahun ke-sepuluh, terlihat kurvanya berangsur turun mendekati

nol.hal ini menunjukkan nilai susut trafo berdasarkan rugi daya total pada masing – masing trafo.

Pada nilai investasi trafo 1 (*total owning cost*) pada tahun ke-sepuluh memiliki nilai Rp. 166.326.483 atau

$$\begin{aligned} \% &= \frac{\text{Rp. 166.326.483}}{\text{Rp. 259.000.000}} \\ &= 64.21\% \end{aligned}$$

Sedangkan pada nilai investasi trafo 2 pada tahun ke-sepuluh memiliki nilai Rp 145.295.508,6 atau

$$\begin{aligned} \% &= \frac{\text{Rp. 145.295.508,6}}{\text{Rp. 240.000.000}} \\ &= 60.53\% \end{aligned}$$

Dengan adanya perhitungan ini maka efisiensi untuk investasi trafo berdasarkan rugi – rugi daya total berdasarkan nilai susut pada tahun ke-10 adalah :

$$\begin{aligned} \text{Untuk Trafo 1} &= 100\% - 64,21\% \\ &= 35,79\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk Trafo 2} &= 100\% - 60,53\% \\ &= 39,47\% \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai penyusutan akibat rugi-rugi daya total maka efektifitas dan efisiensi terdapat pada pemilihan trafo 1 yang mencapai 35,79% dibandingkan trafo 2 mencapai 39,47%

4.6 Umur Ekonomis Trafo

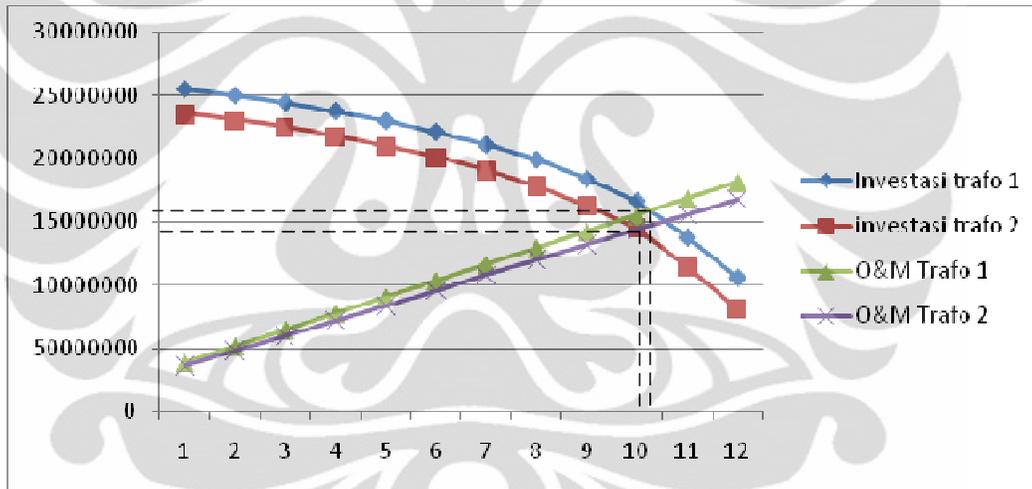
Dengan memasukkan biaya operasional dan *maintenance* (perawatan) selama menggunakan Trafo dengan nilai asumsi (O & M) 10 % dari harga trafo dan meningkat sebesar 5 % pertahunnya maka didapat

Tabel 4.12 Biaya Operasional & Maintenance (O & M)

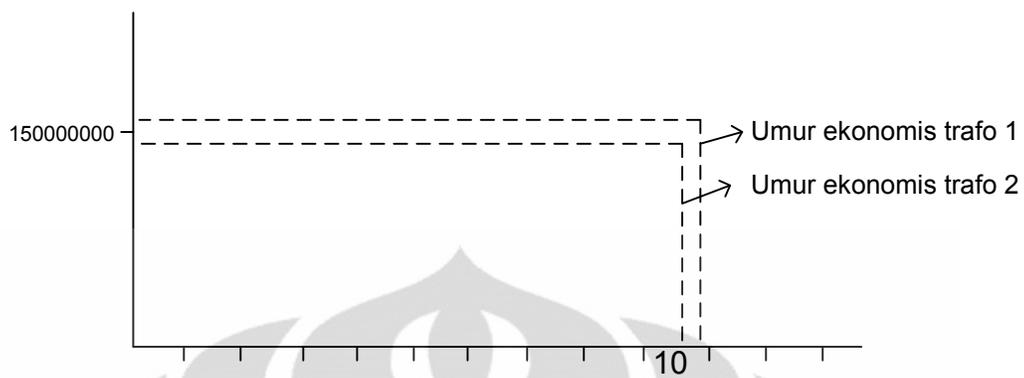
O & M Trafo 1	O & M Trafo 2
38850000	36000000
51800000	48000000

64750000	60000000
77700000	72000000
90650000	84000000
103600000	96000000
116550000	108000000
129500000	120000000
142450000	132000000
155400000	144000000
168350000	156000000
181300000	168000000

Maka didapat umur penggunaan nilai ekonomis pada trafo



Gambar 4.8 Perbandingan O&M Trafo 1 dan 2



Gambar 4.9 Perbandingan Umur Ekonomis trafo 1 & 2

Setelah didapat grafik umur ekonomis trafo maka bisa ditentukan nilainya yaitu:

trafo 1 umur ekonomis = 9 tahun 11 bulan

trafo 2 umur ekonomis = 9 tahun 7 bulan

Dengan perhitungan umur ekonomis ini trafo 1 lebih baik dibandingkan trafo 2 dari sisi umur ekonomis.

BAB V

KESIMPULAN

Dari uraian data, serta dari hasil perhitungan dan analisa pada pengukuran rugi tanpa beban dan rugi belitan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil perhitungan biaya rugi – rugi daya tanpa beban pada trafo 1 sebesar Rp. 8856158,2276 sedangkan pada trafo 2 sebesar Rp.9.954.264,803. Dari kedua hasil tersebut bahwa rugi daya tanpa beban trafo 2 lebih besar dibandingkan trafo 1 dan nilai rugi daya tanpa beban setiap tahunnya sama
2. Berdasarkan hasil perhitungan biaya rugi – rugi daya berbeban pada trafo 1 sebesar Rp 4.286.453,880 sedangkan pada trafo 2 sebesar Rp. 4.369.000,224 pada tahun pertama dan berangsur naik pada tahun berikutnya. Dari kedua hasil tersebut bahwa rugi daya berbeban trafo 2 lebih besar dibandingkan trafo 1
3. Berdasarkan hasil perhitungan biaya rugi – rugi daya total pada trafo 1 sebesar Rp13.142.612,11 sedangkan pada trafo 2 sebesar Rp. 14.323.265,03 pada tahun pertama dan berangsur naik pada tahun berikutnya. Dari kedua hasil tersebut bahwa rugi daya berbeban trafo 2 lebih besar dibandingkan trafo 1
4. Nilai susut investasi pada tahun ke-sepuluh mencapai 35.79 % pada trafo 1 sedangkan pada trafo 2 mencapai 39.47%
5. Umur Ekonomis Trafo 1 lebih baik dibandingkan trafo 2 sebesar 9 tahun 11 bulan.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Barry W, Kenedy. 2000. *Power Quality Primer*.
- [2] Pabla, AS. 1994. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta. Erlangga
- [3] <http://www.scribd.com/doc/26804497/teori-trafo>
- [4] Baskoro Fani, "Pemilihan konfigurasi trafo berdasarkan efisiensi", Teknik Elektro Universitas Indonesia, 2006
- [5] Marpaung Sabar, "Evaluasi biaya rugi – rugi trafo distribusi", Teknik Elektro Universitas Indonesia, 1994
- [6] Koswara Indra, "Analisis pengaruh harmonic pada trafo distribusi di industri semen", Teknik Elektro Universitas Indonesia, 2010
- [7] http://www.bi.go.id/web/id/677788/suku_bunga
- [8] <http://www.esdm.go.id/index.html>
- [9] <http://www.alibaba.com/products/transformer/--141907.html>
- [10] William G Sullivan. 1997. *Engineering Economy Tenth Edition*. New Jersey. Prentice-Hall, Inc