

SISTEM PENEMPATAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI BERDASARKAN JATUH TEGANGAN (STUDI KASUS PADA PT. PLN (Persero) APJ BANYUWANGI)

Adi Ashari, Anang Widiatoro, Eddo Mahardika.

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya
Jl. Raya Sutorejo No.59, Dukuh Sutorejo, Mulyorejo, Surabaya, Jawa Timur 60113

ABSTRAK

Sistem distribusi adalah sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik dari pembangkit sampai ke konsumen dalam skala tegangan menengah sampai tegangan rendah. Dimana dalam penyaluran energi listrik diperlukan jarak yang cukup jauh dari Gardu Induk (GI) untuk sampai pada konsumen atau pelanggan, sehingga terdapat regulasi tegangan yang cukup besar sepanjang saluran sampai menuju konsumen. Pada kenyataannya terdapat transformator distribusi yang jaraknya cukup jauh dari GI sehingga terjadi tegangan jatuh (drop tegangan) yang sampai pada sisi primer transformator distribusi lebih dari yang diijinkan. Oleh sebab itu diperlukan penataan dari segi panjang saluran sistem distribusi primer dengan mengatur penempatan transformator distribusi agar kinerja transformator menjadi lebih baik. Maka pada artikel ini akan membahas pengaruh panjang saluran distribusi primer terhadap tegangan jatuh dan rugi-rugi daya yang dimulai dari GI Banyuwangi sampai pada transformator distribusi pada PT. PLN (Persero) APJ Banyuwangi, dan untuk tegangan jatuh pada saluran distribusi primer lebih dari yang diijinkan, dianalisa kembali penempatan transformator distribusi sehingga kinerja transformator distribusi tersebut menjadi lebih baik.

Kata kunci: Jatuh Tegangan; Sistem Distribusi; Trafo

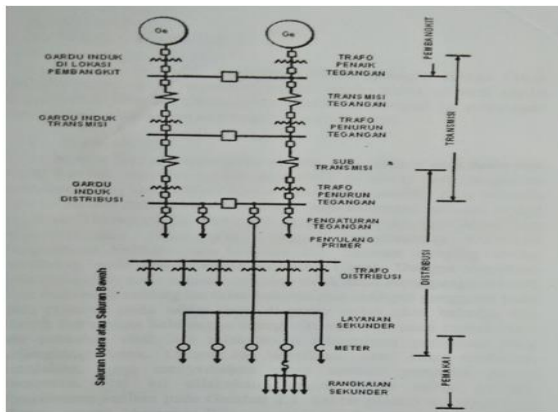
I. PENDAHULUAN

Pusat-pusat pembangkit listrik berada jauh dari pusat beban, hal ini mengakibatkan kerugian yang cukup besar dalam penyaluran daya listrik. Sehingga dalam penyaluran daya listrik melalui transmisi maupun distribusi akan mengalami tegangan jatuh sepanjang saluran yang dilalui. Panjang saluran distribusi dari gardu induk menuju transformator distribusi maupun dari transformator distribusi ke beban. Dengan adanya kondisi tersebut perlu dievaluasi dan direncanakan kembali yang memperhatikan kriteria-kriteria perencanaan seperti jatuh tegangan listrik sehingga muncul optimasi pada jaringan yang dipakai.

1.1 Sistem Distribusi Daya Listrik

Listrik dihasilkan di pusat-pusat pembangkit listrik seperti PLTA, PLTU, PLTGU, PLTG, PLTP, PLTP dan yang lainnya. Dengan tegangan yang pada umumnya merupakan tegangan menengah (TM) 6, 11, 20 kV. Pusat pembangkit tenaga listrik berada jauh dari pengguna tenaga listrik, untuk mentransmisikan tegangan listrik dari pembangkit, maka diperlukan penggunaan tegangan tinggi (TT) yaitu 70 kV, 50 kV, atau tegangan ekstra tinggi (TET) yaitu 50 kV untuk Jawa. Pemakaian tegangan tinggi diperlukan untuk berbagai alasan efisiensi antara lain pengguna penampang penghantar menjadi efisien, karena arus yang mengalir akan menjadi lebih, ketika tegangan tinggi diterapkan.

Setelah saluran mendekati pusat pemakaian tegangan listrik, yang merupakan suatu daerah industri atau suatu kota. Tegangan melalui gardu induk (GI) diturunkan menjadi tegangan menengah (TM) 20 kV. Setiap gardu induk (GI) merupakan pusat beban untuk suatu daerah pelanggan tertentu, beban berubah-ubah sepanjang waktu, sehingga daya yang dibangkitkan dalam pusat-pusat listrik harus selalu berubah. Perubahan daya yang dilakukan di pusat pembangkit bertujuan untuk mempertahankan tegangan listrik pada frekuensi 50 Hz. Proses perubahan ini dikoordinasikan dengan pusat pengaturan beban (P3B). Tegangan menengah dari gardu induk (GI) ini melalui saluran distribusi primer, untuk disalurkan ke gardu-gardu distribusi (GD) atau pemakai tegangan menengah. Dari saluran distribusi primer, tegangan menengah (TM) diturunkan menjadi tegangan rendah (TR) 220 V atau 380 V melalui gardu distribusi (GD). Tegangan rendah dari gardu distribusi disalurkan melalui saluran tegangan rendah ke konsumen tegangan rendah.



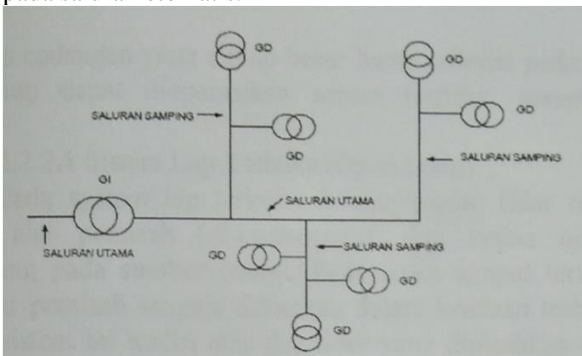
Gambar 1 Sistem Tenaga Listrik

1.2 Sistem Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

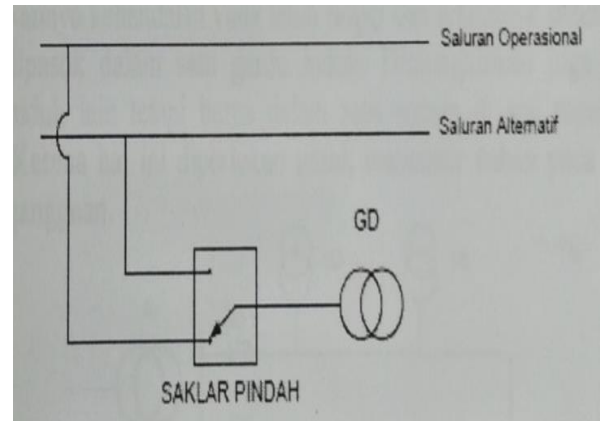
Sistem jaringan distribusi terutama distribusi primer adalah sistem distribusi yang menggunakan tegangan menengah. Pada distribusi terutama distribusi primer terdapat empat jenis dasar yaitu:

1. Sistem Radial

Sistem Radial merupakan sistem yang paling sederhana dan paling banyak dipakai, terdiri atas fider (*feeders*) atau rangkaian tersendiri, yang seolah-olah keluar dari suatu sumber atau wilayah tertentu secara radial. *Feeders* itu juga dapat dianggap sebagai suatu bagian utama dari saluran samping atau lateral lain yang bersumber dan dihubungkan dengan transformator distribusi. saluran samping sering disambung pada *feeders* dengan sekring (*fuse*). Dengan demikian maka gangguan pada saluran samping tidak akan mengganggu seluruh *feeders*. Bilamana sekring itu tidak bekerja atau terdapat gangguan pada *feeders*, proteksi pada saklar daya di gardu induk akan bekerja, dan seluruh *feeders* akan kehilangan energi. Pemasokan pada rumah sakit atau pemakaian vital lain tidak boleh mengalami gangguan yang berlangsung lama. Dalam hal demikian, satu fider tambahan disediakan, guna menyediakan satu sumber energi alternatif. Hal ini dilakukan dengan suatu saklar pindah. Saklar pindah itu dapat juga bekerja secara otomatis. Bila tegangan pada saluran operasional hilang, saklar dengan sendirinya akan memindahkan sambungan pada saluran otomatis.



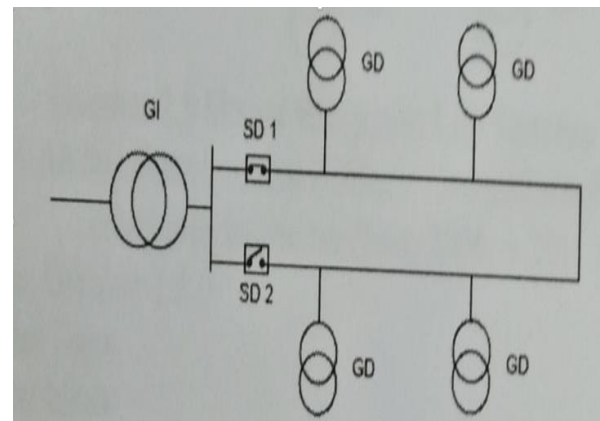
Gambar 2 Skema Saluran Radikal



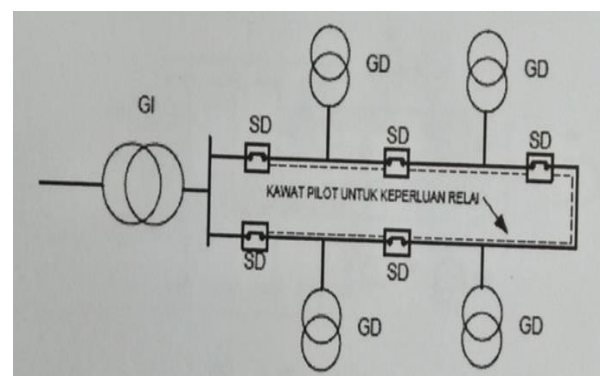
Gambar 3 Penggunaan Saluran Alternatif Dengan Saklar Pindah

2. Sistem Lup

Suatu cara lain guna mengurangi lama interupsi daya yang disebabkan gangguan adalah dengan mendesain fider sebagai Lup (*loop*) dengan menyambung kedua ujung saluran. Hal ini menunjukkan bahwa suatu pemakaian dapat memperoleh pasokan energi dari dua arah. Bila mana pasokan dari satu arah terganggu, pemakaian itu akan disambung pada pasokan dari arah lain. Kapasitas cadangan yang cukup besar harus tersedia pada setiap fider. Sistem Lup dapat dioperasikan secara terbuka, ataupun secara tertutup.



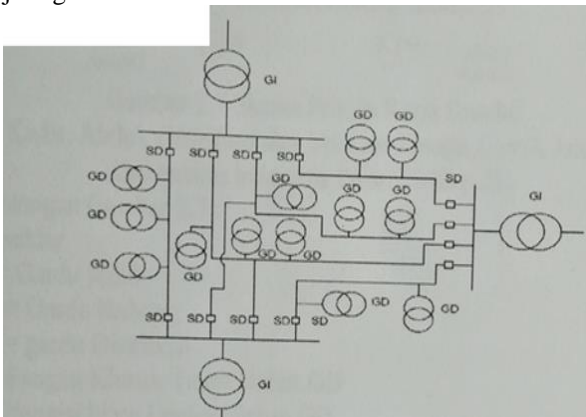
Gambar 4 Skema Rangkaian Lup Terbuka



Gambar 5 Skema Rangkaian Lup Tertutup

3. Sistem Jaringan Primer

Walaupun beberapa studi memberi indikasi bahwa pada kondisi-kondisi tertentu sistem jaringan primer lebih murah dan lebih handal daripada sistem radial, secara relatif tidak banyak sistem jaringan primer yang kini dioperasikan. Sistem ini terbentuk dengan menyambung saluran-saluran utama atau fider yang terdapat pada sistem radial yang merupakan suatu jaringan.

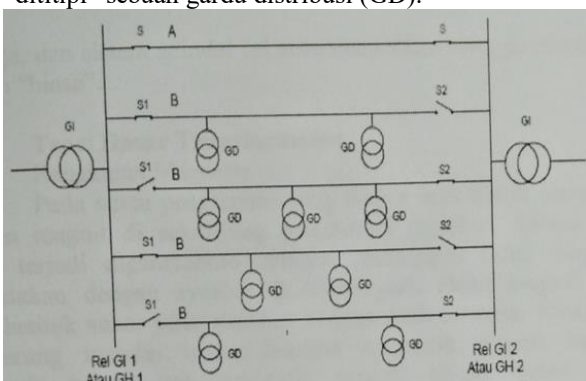


Gambar 6 Skema Sistem Jaringan Primer

Jaringan ini diisi dengan beberapa sumber tau gardu induk. Sebuah saklar daya antara transformator dan jaringan yang dikendalikan oleh relai-relai arus balik (*reverse currents*) dan relai-relai penutup kembali otomatis (*automatic reclosing relays*), melindungi jaringan terhadap terjadinya arus-arus gangguan yang dialami oleh sisi gardu induk.

4. Sistem Spindel

Di suatu kota yang besar, terdapat suatu jenis gardu tertentu yang tidak terdapat transformator daya. Gardu demikian dinamakan gardu hubung(GH). GH pada umumnya menghubungkan dua atau lebih bagian jaringan primer kota itu. Dapat pula terjadi suatu GH memiliki sebuah transformator pengatur tegangan. Karena besarnya kota itu, kabel-kabel tegangan menengah (TM) mengalami terlampaui banyak turun tegangan. Tegangan yang sedikit rendah ini dinaikkan kembali dengan bantuan transformator pengatur tegangan. Dapat juga terjadi pada GH, ditumpangi atau “dititipi” sebuah gardu distribusi (GD).

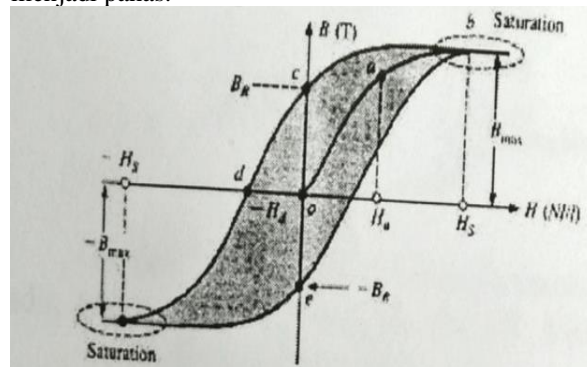


Gambar 7 Skema Prinsip Kerja Spindel

1.3 Teori Dasar Transformator

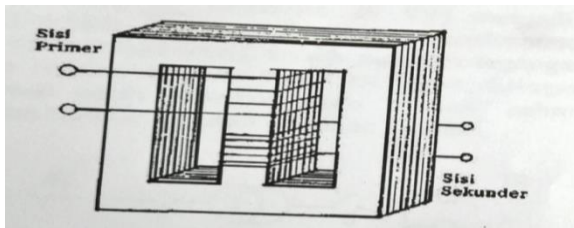
Pada suatu penghantar yang dialiri arus listrik akan muncul medan magnet disekeliling penghantar tersebut. Medan magnet yang terjadi digambarkan sebagai garis-garis fluks magnet dan dinyatakan dengan simbol Φ . Garis-garis fluks magnet tersebut membentuk suatu jalur tertutup dengan suatu arah tertentu. Fluks magnet cenderung melalui bahan bersifat magnetik seperti besi, dan baja daripada bahan non magnetik seperti udara, dan gelas. Dengan pemakaian bahan magnetik sebagai inti pada kumparan, dapat menggantikan udara untuk menaikkan kerapatan magnet. Besar kerapatan fluks magnet (B) yang terjadi dinyatakan dengan jumlah fluks yang menembus suatu luasan (A) tertentu. Intensitas medan magnet disebut sebagai kekuatan medan magnet dan dinyatakan sebagai H . Kerapatan fluks magnet (B) maupun kuat medan magnet (H) merupakan besaran vektoris yang memiliki besaran dan arah.

Kurva Histerisis yang disebut juga sebagai kurva B - H , merupakan kurva yang menyatakan hubungan antara kerapatan fluks magnet (B) terhadap kekuatan medan magnet (H) pada suatu bahan magnetis. Dengan memasang kumparan yang dialiri arus listrik pada suatu bahan magnetis akan menimbulkan kekuatan medan magnet (H) dan menghasilkan kerapatan fluks magnet (B). Jika besar kekuatan medan magnet H diperbesar, maka akan mencapai suatu titik jenuh, dimana rapat fluks magnet (B) tidak akan naik lagi. Luas kurva B - H yang terbentuk dengan menaikkan dan menurunkan kekuatan medan magnet (H) menyatakan rugi-rugi histerisis yang akan hilang menjadi panas.



Gambar 8 Kurva Histerisis

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandang magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektro magnet. Prinsip kerja transformator dalam bentuk yang sederhana, terdiri dari dua kumparan induktif yang secara listrik terpisah tetapi terhubung secara magnetis. Jika salah satu kumparan diberi tegan bolak-balik, akan timbul didalam inti besi. Fluks pada inti besi akan menginduksi kumparan kedua, sehingga pada kumparan kedua timbul tegangan induksi. Jika kumparan kedua dihubungkan kesuatu beban, maka arus akan mengalir pada kumparan kedua dan daya akan dipindah dari kumparan pertama ke kumparan kedua.



Gambar 9 Kontruksi Transformator

Pada tipe *shell* mempunyai tiga buah kaki, dan hanya kaki yang ditengah yang dibelit oleh kedua kumparan. Kumparan pertama terhubung pada sumber listrik bolak-balik disterhubung pada sumber listrik bolak-balik disebut kumparan primer, dan kumparan kedua disebut kumparan sekunder.

Macam-macam transformator menurut pemakaiannya dalam bidang tenaga listrik dikelompokkan sebagai berikut:

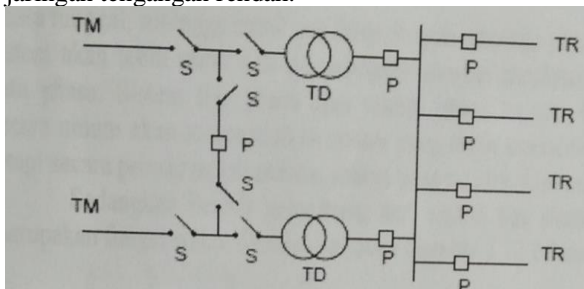
- a. Transformator daya
Transformator daya merupakan transformator yang digunakan untuk menyalurkan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya.
- b. Transformator distribusi
Transformator distribusi adalah transformator yang digunakan untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.
- c. Transformator pengukuran (*Instrumen*)
Transformator pengukuran adalah transformator yang digunakan sebagai pengukur, transformator ini terdiri atas transformator arus dan transformator tegangan.

Masing-masing tipe transformator memiliki kekhususan dalam perencanaan yang disesuaikan dengan pemakaiannya..

1.4 Gardu Distribusi

Sebuah gardu distribusi pada asalnya merupakan tempat memasang transformator distribusi beserta perlengkapannya.

Sebagaimana diketahui transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah (di Indonesia 20 kV) menjadi rendah (Indonesia 220/380 V). Dengan demikian transformator distribusi merupakan suatu penghubung antara jaringan tegangan menengah dan jaringan tegangan rendah.



Gambar 10 Skema Gardu Distribusi Dengan Dua Transformator

1.5 Sistem Tiga Fasa

Kebanyakan sistem listrik dibangun dengan sistem tiga fasa. Hal tersebut didasarkan pada alasan-alasan ekonomi dan kestabilan aliran daya pada beban. Alasan ekonomi dalam penggunaan sistem tiga fasa dikarenakan penggunaan penghantar untuk transmisi menjadi lebih sedikit. Sedangkan alasan kestabilan dikarenakan pada sistem tiga fasa daya mengalir sebagai layaknya tiga buah sistem fasa tunggal, sehingga untuk peralatan dengan catu tiga fasa, daya sistem akan lebih bila dibandingkan dengan peralatan sistem satu fasa. Sistem tiga fasa atau sistem fasa banyak lainnya, anak tetapi secara prinsip analisa, sistem tetap mudah dilaksanakan.

1.5 Kawat Penghantar

Jenis-jenis kawat penghantar yang bisa digunakan pada saluran transmisi atau distribusi adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (CU 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5% (CU 97,5%) atau aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%). Kawat penghantar aluminium terdiri dari berbagai jenis, dengan lambang sebagai berikut:

AAC = *All Aluminium Conductor*, yaitu kawat penghantar yang sebelumnya terbuat dari aluminium.

AAAC = *All Aluminium Alloy conductor*, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.

ACSR = *Aluminium Conductor, Steel Reinforced*, yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.

ACAR = *Aluminium Conductor Alloy Reinforced*, yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium karena konduktivitas dan kuat tarikannya lebih tinggi. Tetapi kelemahannya adalah untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dari aluminium dan juga lebih mahal. Untuk memperbesar kekuatan tarikan aluminium digunakan campuran aluminium (*Aluminium Alloy*). Untuk saluran-saluran transmisi tegangan tinggi dimana jarak antara dua tiang atau menara jauh (ratusan meter), dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi. Untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR.

1.6 Jatuh Tegangan./Drop Voltage

Jika karakteristik beban listrik resistansi (R) dan reaktansi (X) dari saluran distribusi diketahui dan juga power faktor ($\cos \phi$) beban maka dapat langsung dihitung voltage dropnya.

1.7 Prinsip Kerja Transformator

Transformator terdiri atas dua buah kumparan, yaitu primer dan sekunder yang memiliki sifat induktif. Kedua kumparan tersebut terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang

memiliki reluktansi (*reluctance*) rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka *fluks* bolak-balik akan muncul dalam inti yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya *fluks* di kumparan primer, maka terjadi induksi pada kumparan primer (*self induction*) dan terjadi pula induksi pada kumparan sekunder karena pengaruh dari induksi pada kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (*mutual induction*) yang mengakibatkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, maka mengalirlah arus sekunder. Jika rangkaian sekunder dibebani, maka listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetisasi).

1.8 Rugi-Rugi Pada Transformator

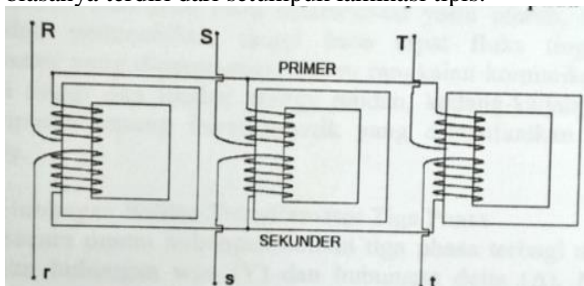
Rugi-rugi transformator terdiri dari rugi-rugi inti (*core losses*) yang besarnya tidak tergantung dari besar pembebanan transformator dan besarnya tetap konstan, baik pada kondisi dibebani maupun tidak dibebani. Sedangkan rugi-rugi tembaga (*cooper losses*) besarnya tergantung dari pembebanan transformator.

Rugi-rugi pada transformator dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Rugi Tembaga
Rugi tembaga disebabkan oleh adanya arus yang mengalir pada kawat tembaga dan terjadi pada kumparan sekunder.
2. Rugi Besi (Pi)
 - a. Rugi Histeris (Ph) yang disebabkan karena *fluks* bolak-balik pada inti besi.
 - b. Rugi Arus Eddy (Pe) yang disebabkan oleh pusaran arus pada inti besi.

1.9 Kontruksi Transformator

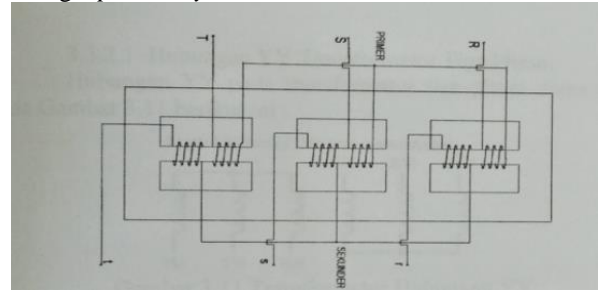
Untuk mengurangi kerugian yang disebabkan oleh arus pusar di dalam inti, rangkaian magnetik itu biasanya terdiri dari setumpuk laminasi tipis.



Gambar 11 Kontruksi Transformator Tiga Fasa Tipe Inti

Dalam jenis inti (*core type*) kumparan dililitkan disekitar dua kaki inti magnetik persegi. Dalam jenis cangkang (*shell type*) kumparan dililitkan sekitar kaki tengah dari inti berkaki tiga dengan laminasi silikon-steel. Umumnya digunakan untuk transformator yang bekerja pada frekuensi dibawah beberapa ratus Hz.

Silikon-steel memiliki sifat-sifat yang dikehendaki yaitu murah, rugi inti transformator yang digunakan dalam rangkaian komunikasi pada frekuensi tinggi dan tingkat energy rendah, kadang-kadang dibuat dari campuran tepung ferromagnetik yang dimanfaatkan sebagai *permalloy*.



Gambar 12 Transformator Tiga Fasa Tipe Cangkang

Secara umum hubungan belitan tiga fasa terbagi menjadi dua jenis, yaitu hubungan wye (Y) dan hubungan delta (Δ). Masing-masing hubungan belitan ini memiliki karakteristik arus dan tegangan yang berbeda-beda.

1.10 Spesifikasi Umum Tegangan Primer Transformator Distribusi

Tegangan primer sesuai dengan tegangan nominal sistem pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang berlaku dilingkungan ketenagalistrikan yaitu 6 kV dan 20 kV. Dengan demikian ada dua macam transformator distribusi yang dibedakan oleh tegangan primernya, yaitu :

1. Transformator distribusi bertegangan primer 6 kV
2. Transformator distribusi bertegangan primer 20 kV

1.11 Spesifikasi Umum Tegangan Sekunder Transformator Distribusi

Tegangan sekunder diterapkan tanpa disesuaikan dengan tegangan nominal sistem jaringan tegangan rendah (JTR) yang berlaku dilingkungan PLN (127 V dan 220 V untuk sistem fasa tunggal dan 127/380 V untuk system tiga fasa), yaitu 133/231 V dan 231/400 V (pada keadaan tanpa beban). Dengan demikian ada empat macam transformator distribusi yang dibedakan oleh tegangan sekunder yaitu :

1. Transformator distribusi bertegangan sekunder 133/231 V.
2. Transformator distribusi bertegangan sekunder 231/400 V.
3. Transformator distribusi bertegangan sekunder 133/231 V dan 231/400 V yang dapat digunakan secara serentak (*simultan*). Catatan: bilamana dipakai tidak serentak maka bertegangan sekunder 231/400 V daya transformator tetap 100% daya pengenal, sedangkan dengan tegangan 133/231 V dayanya hanya 75% pengenal.
4. Transformator distribusi bertegangan sekunder 133/231 V dan 231/400 V yang digunakan secara terpisah.

1.12 Spesifikasi Umum Daya Pengenal Transformator Distribusi

Nilai-nilai daya pengenal transformator ditribusi yang lebih banyak dipakai dalam SPLN 8 : 1978, IEC 76-1 (1976) seperti pada tabel.

Tabel 1 Nilai Daya Pengenal Transformator Distribusi

KVA		
5	40	315 *
6,3	50 *	400 *
8	63	500 *
10	80	630 *
12,5	100 *	800 *
16 *	125	1000 *
20	160 *	1250 *
25 *	200 *	1600 *
31,5	250 *	Dst.

Note : Yang bertanda * adalah nilai-nilai transformator yang digunakan oleh PLN.

1.13 Spesifikasi Umum Rugi-Rugi Transformator Distribusi

Berbagai nilai dari rugi-rugi transformator distribusi menurut SPLN 50 tahun 1997 dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2 Tabel Nilai Rugi-Rugi Transformator Distribusi

KVA Rating	Rugi Besi (Watt)	Rugi Tembaga (Watt)
25	115	700
50	190	1100
100	320	1750
160	400	2000
200	550	2850
315	770	3900
400	930	4600
680	1300	6500
800	1950	10200
1000	2300	12100
1250	2700	15000
1600	3300	18100

1.14 Regulasi Tegangan Transformator Distribusi

Regulasi tegangan transformator didefinisikan sebagai perubahan pada tegangan terminal sekunder transformator yang dinyatakan dalam persentase (atau dalam per unit) terhadap tegangan nominal sekunder pada saat berbeban dengan faktor yang dapat berkurang hingga nol. Jika V_2 adalah tegangan terminal sekunder untuk setiap beban dan E_2 adalah tegangan terminal sekunder pada saat tanpa beban.

II. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Dari hasil analisa data pada transformator distribusi yang besar tegangan jatuh pada sisi saluran distribusi primernya lebih dari 5%. Maka panjang transformator yang dirubah adalah pada sisi terjauh dari transformator. Dengan nomor gardu sebagai berikut:
 - WR 028 dari jarak 2,5 Kms menjadi 2,15 Kms.
 - WR 071 dari jarak 1,15 Kms menjadi 0,22 Kms.
 - WR 109 dari jarak 1,96 Kms menjadi 0,89 Kms.
 - WR 253 dari jarak 3,65 Kms menjadi 2,85 Kms.
- Dengan memperbaiki posisi atau jarak transformator distribusi pada gardu induk yang dibuat pada keempat transformator tersebut, maka akan lebih mengoptimalkan kerja pada transformator, melalui perbaikan daya input transformator, daya output transformator, dan efisiensi transformator.

III. SARAN

Analisa perhitungan yang dilakukan dengan rumus perhitungan pada Tugas Akhir ini bisa digunakan sebagai perhitungan dalam rencana pembuatan jaringan distribusi baru oleh (APJ)

IV. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chapman SJ, *Electric Machinery Fundamental*. McGraw-Hill Book Company. 1985
- [2] Gonen, Turan. *Electric Power Transmission system engineering*. John Wiley & Sons. 1987
- [3] Hadi, Abdul. *Sistem Distribusi Daya Listrik (Edisi Ketiga)*. Erlangga: Jakarta. 1994
- [4] Hutaruk, TS. *Transmisi Daya Listrik*. Bandung: Institut Teknologi Bandung 1996
- [5] Kadir, Abdul. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta: Universitas Indonesia. 2000
- [6] William, D Stevenson. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Erlangga: Jakarta. 2000
- [7] Zuhail. *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung: Institut Teknologi Bandung. 1991