

losses dan *drop tegangan* pada penghantar jaringan distribusi, diambil perhitungan jauh tegangan dan rugi-rugi tegangan sehingga mendapatkan nilai *losses* dan *voltage drop* dari jumlah transformator yang terpasang pada saluran. Dengan diketahuinya hasil perhitungan maka dapat digambarkan untuk keseimbangan beban antar fasa yang berbeban agar beban tiap fasa setidaknya seimbang. Tujuan pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi adalah untuk menjamin kontinuitas penyaluran tenaga listrik dan menjamin keandalan, salah satunya adalah untuk memperpanjang umur transformator.

Syafriyudin (2011), dengan judul “Perhitungan Lama Waktu Pakai Transformator Jaringan Distribusi 20 kV di APJ Yogyakarta”. Dalam perhitungan waktu pakai transformator kita dapat memprediksi waktu pakai transformator tersebut dari perhitungan arus dan tegangan yang digunakan setiap harinya, jadi bila kita mengetahui waktu pakai suatu transformator maka kita bisa mencegah kerusakan pada jaringan distribusi dengan mengganti transformator sebelum transformator tersebut terjadi kerusakan. Pengukuran transformator dilakukan pada pukul 12.00 WIB setiap harinya selama satu minggu dengan merek trafo Bambang Djaya 20 kV. Transformator ini sudah digunakan selama 1 tahun, sisa waktu pakai transformator melalui perhitungan nilai *error* adalah 4 tahun lebih 4 bulan. Maka prediksi waktu pakai transformator merek Bambang Djaya 20 kV adalah 3 tahun 4 bulan.

Winarso (2014), dengan judul “Estimasi Umur Pakai dan Rugi Daya Transformator”. Dalam perhitungan waktu pakai transformator kita dapat memprediksi waktu pakai dari transformator dari perhitungan tegangan dan arus yang digunakan setiap harinya pada pukul 10.00 – 12.00 WIB selama satu minggu. dengan mengetahui waktu pakai suatu transformator maka kita bisa mencegah kerusakan dengan mengganti transformator sebelum transformator tersebut terjadi kerusakan. Prediksi umur pakai transformator dengan asumsi 5 tahun pemakaian adalah 4 tahun 7 bulan dengan nilai *error* 5,43%. Rugi daya transformator bisa terjadi karena adanya aliran arus melalui titik netral dan pentanahan. Kondisi tersebut dapat terjadi oleh karena adanya ketidakseimbangan beban transformator. Transformator di Universitas Muhammadiyah Purwokerto (UMP) memiliki arus netral dan menyebabkan *losses* pada titik netral dan pentanahan.

Risty (2015), dengan judul “Analisis Perhitungan Susut Umur Transformator Distribusi Pada PLN Area Ciputat”. Transformator yang digunakan sebagai objek penelitian sebanyak dua buah. Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan nilai suhu titik panas (t_h) dan nilai relatif dari umur pemakaian (V) Pengukuran dilakukan selama satu

minggu dengan rentang waktu 1 jam. Pada penelitian ini mengacu berdasarkan SPLN 17A:1979, publikasi IEC 354:1972 bahwasanya umur transformator ditetapkan selama 20,55 tahun atau 7500 hari atau 180.000 jam. Dengan perhitungan $20,55 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} = 180.000 \text{ jam}$, maka ditetapkan nilai susut umur transformator CP 165 dengan kondisi pembebanan harian selama 24 jam (14 Desember 2014) akan berkurang umurnya 4,5488 jam, dan susut umur dalam 1 hari (%) sebesar $2,53 \times 10^{-3}\%$ per hari.

Dari beberapa literatur yang ada diatas menjelaskan bahwa untuk mendapatkan estimasi umur pakai transformator yaitu menggunakan hasil pengukuran arus dan tegangan disetiap phasanya pada beban sekunder transformator. Penelitian ini sangat penting dilakukan pada transformator UIN Suska Riau karena belum pernah dilakukan suatu kajian terkait tentang estimasi umur pakai transformator, serta dapat memberikan informasi kepada teknisi UIN Suska Riau terkait estimasi umur pakai transformator di UIN Suska Riau. Dari penelitian ini, peralatan yang digunakan adalah data taker yang berguna untuk menghitung tegangan dan arus pada beban sekunder. Pengukuran dilakukan selama satu minggu dengan rentang waktu 5 menit agar data yang digunakan lebih akurat. Pendekatan yang digunakan pada penelitian ini adalah pendekatan terhadap nilai *error* yang berguna untuk membandingkan nilai prakiraan dengan nilai pasti. Nilai persentase *error* memberikan perbedaan antara nilai prakiraan dan nilai eksak sebagai persentase dari nilai eksak, dan membantu untuk melihat seberapa dekat estimasi kita terhadap nilai riil. Pada prakiraan umur pakai transformator distribusi ini menggunakan batas persentase pembebanan yaitu 80% untuk melihat pengaruh umur transformator terhadap persentase pembebanan tersebut. Setelah mendapatkan hasil estimasi umur pakai transformator maka akan diberikan suatu rekomendasi berupa upaya pemeliharaan sebelum sampai pada waktu umur transformator tersebut.

2.2 Pengantar Transformator

Sebuah tranformator terdiri dari dua atau lebih lilitan yang saling dikaitkan oleh medan magnet bersama. Jika salah satu dari lilitan tersebut, yakni *primer*, dihubungkan ke sebuah sumber tegangan bolak balik, maka sebuah fluks bolak balik akan dihasilkan yang amplitudonya akan bergantung pada tegangan primer dan banyaknya lilitan. Bila banyaknya lilitan primer dan lilitan sekunder dibandingkan secara wajar, maka hampir setiap perbandingan tegangan yang diinginkan, atau perbandingan transformasi akan dapat diperoleh. Tingkat tegangan bolak balik dengan demikian dapat diubah secara mudah

dengan cara menggunakan transformator, seperti yang akan kita lihat, maka perubahan tingkat arus dan perubahan tingkat impedansi kedua-duanya akan terlihat juga. Sudah tentu, tidak ada alasan mengapa lilitan ketiga (*tersier*) atau lilitan tambahan tidak dapat dikutsertakan untuk menghubungkan antara beraneka tingkat tegangan.

Aksi transformator hanya memerlukan adanya sebuah fluks bolak balik yang mengait kedua-dua lilitan tersebut. Aksi seperti itu akan didapatkan jika digunakan teras udara, yang menghasilkan sebuah trafo teras udara (*air core transformer*). Akan tetapi aksi tersebut akan didapatkan lebih efektif, dengan sebuah teras besi atau teras bahan *feromagnetik* lain. Kebanyakan fluks tersebut kemudian akan dibatasi kepada jalan tertentu yang mengait kedua-dua lilitan dan mempunyai permeabilitas yang jauh lebih tinggi daripada permeabilitas udara. Transformator seperti itu adalah sebuah transformator teras besi (*iron core transformer*). Kebanyakan transformator adalah dari dua jenis ini, dan kekecualian yang utama adalah bahwa transformator teras udara digunakan pada frekuensi tinggi di luar jangkauan frekuensi audio.

Transformator adalah salah satu dari sebab utama penyebaran penggunaan sistem daya ac, karena trafo tersebut memungkinkan dihasilkannya listrik pada tegangan generator yang paling ekonomis, memungkinkan perpindahan daya pada tegangan transmisi yang paling ekonomis, dan memungkinkan penggunaan daya pada tegangan yang paling sesuai untuk alat pemanfaatan yang khas. Bila referensi dibuat kepada lilitan transformator daya, maka biasanya digunakan istilah lilitan tegangan tinggi (*high voltage winding*) dan istilah lilitan tegangan rendah (*low voltage winding*). Sudah tentu, lilitan yang manapun diantaranya akan mampu bertindak sebagai primer dan sekunder.

Transformator sangat banyak digunakan dalam rangkaian elektronik berdaya rendah dan dalam rangkaian kontrol. Dalam rangkaian-rangkaian tersebut transformator melakukan fungsi sebagai pengimbang impedansi sebuah sumber dan bebannya untuk mendapatkan perpindahan daya yang maksimum, yang mengisolasi satu rangkaian dari yang lain, atau yang memisahkan arus searah sambil mempertahankan kontinuitas ac diantara dua rangkaian (Silaban, 1981).

2.3 Prinsip Kerja Transformator

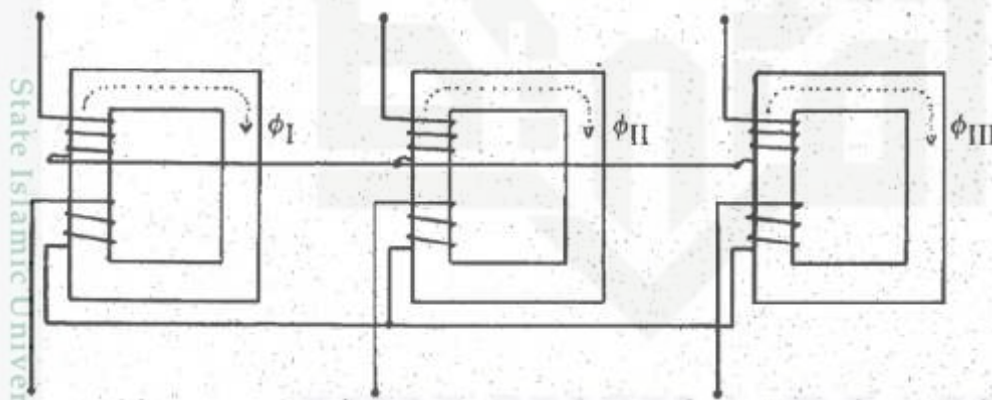
Apabila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan (sumber), maka akan mengalir arus bolak balik (I₁) pada kumparan tersebut. Oleh karena kumparan mempunyai inti, arus I₁ menimbulkan fluks magnet yang juga berubah-ubah pada intinya. Akibat adanya fluks magnet yang berubah-ubah, pada kumparan primer akan timbul Gerak Gaya Listrik (GGL) induksi e_p (Sumanto, 1991).

Fluks magnet yang menginduksikan GGL induksi e_p juga dialami oleh kumparan sekunder karena merupakan fluks bersama (mutasi fluks). Dengan demikian fluks tersebut menginduksikan GGL induksi e_s pada kumparan sekunder.

2.4 Transformator Tiga Fasa

Transformator tiga fasa dapat disusun dari tiga buah transformator satu fasa. Akan tetapi biasanya transformator tiga fasa terdiri dari tiga buah transformator satu fasa yang dipasang pada satu inti.

Pada transformator tiga fasa terdapat 3 buah kumparan primer dan 3 buah kumparan sekunder. Dari ketiga kumparan (primer/sekunder) dapat dibuat hubungan bintang maupun segitiga.

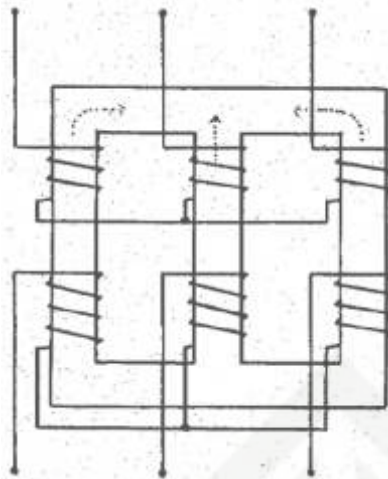


Gambar 2-1 Transformator 3 fasa yang disusun dari 3 buah transformator 1 fasa dalam hubungan bintang.

(Sumber : Sumanto, 1991)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 2-2 Transformator 3 fase yang disusun dari 3 buah transformator 1 fase yang dipasang pada satu inti dalam hubungan bintang.

(Sumber : Sumanto, 1991)

2.4.1 Fluks dan Gaya Gerak Listrik (GGL)

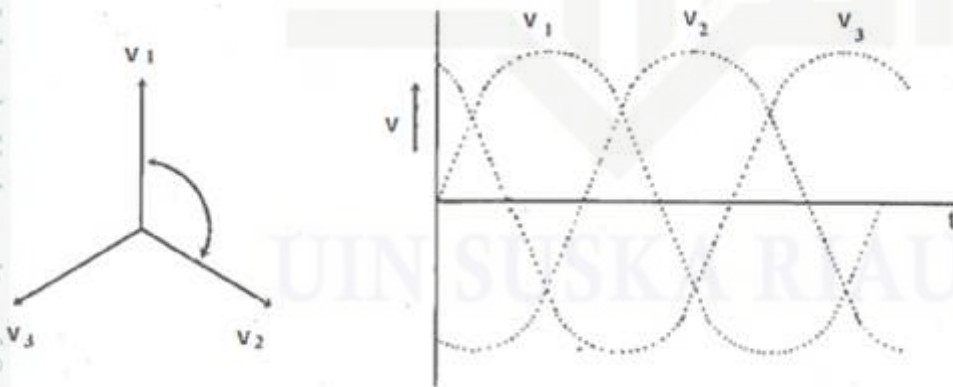
Dalam transformator 3 fase dimasukkan arus bolak-balik 3 fase. (Sumber :

Sumanto, 1991)

$$V_1 = V_m \sin \omega t \dots\dots\dots(2-1)$$

$$V_2 = V_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \dots\dots\dots(2-2)$$

$$V_3 = V_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \dots\dots\dots(2-3)$$



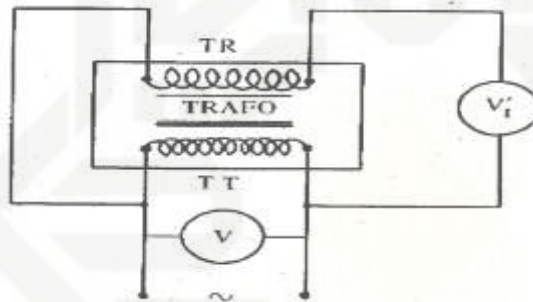
Gambar 2-3 Tegangan 3 fase yang dimasukkan.

(Sumber : Sumanto, 1991)

Jika arus yang dimasukkan ini merupakan sinus murni dan transformatornya ideal, maka arus tanpa beban akan berimpit dengan fluks magnet, akan tetapi ketinggalan 90° terhadap tegangan sumber V_1 (Sumanto 1991).

2.4.2 Polaritas Transformator

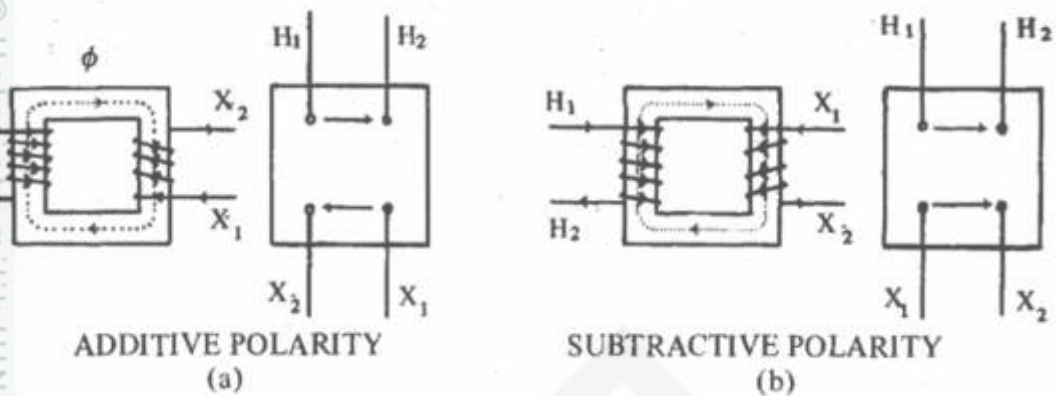
Masing-masing ujung primer dari suatu transformator satu fasa polaritasnya selalu bergantian waktu bekerja. Hal yang sama juga terjadi pada kumparan sekunder. Polaritas perlu kita ketahui untuk membuat sambungan-sambungan pada transformator (yang dimaksudkan polaritas di sini adalah *polaritas sesaat*). Polaritas dari suatu transformator ditentukan oleh arah-arah lilitannya. Untuk menentukan polaritas (arah lilitan) dilakukan dengan tes polaritas (Sumanto 1991) Lihat gambar 2-4



Gambar 2-4 Tes Polaritas.
(Sumber : Sumanto, 1991)

Ujung kumparan TT (kumparan tegangan tinggi) disambung dengan ujung TR (kumparan tegangan rendah) yang terdekat, ujung-ujung yang lain dipasang voltmeter (V'), ujung-ujung kumparan TT dihubungkan dengan sumber dan dipasang voltmeter (V). Pada pengukuran di atas apabila $V' > V$, kedua GGL induksi saling menjumlahkan dan dikatakan *ADDITIVE POLARITY*. Sedangkan apabila $V' < V$, GGL induksi pada kedua lilitan ada hubungan pengurangan dan dikatakan *SUBRACTIVE POLARITY*.

Menurut ASA (*the American Standards Association*) pada tegangan tinggi (TT) ujung-ujungnya diberi tanda H1, H2, H3, dan seterusnya, dimana H1 terletak disebelah kiri pembaca, H2 disebelah kanan pembaca (apabila menghadap dari sisi tegangan rendah TR), sedangkan pada kumparan tegangan rendah (TR) ujung-ujungnya diberi nama X1, X2, X3, dan seterusnya. Letak X1 berdekatan dengan H1 : untuk *SUBRACTIVE POLARITY*, atau arah menyudut dari H1 : untuk *ADDITIVE POLARITY* lihat (gambar 2-5).



Gambar 2-5 Additive Polarity and Subtractive Polarity.

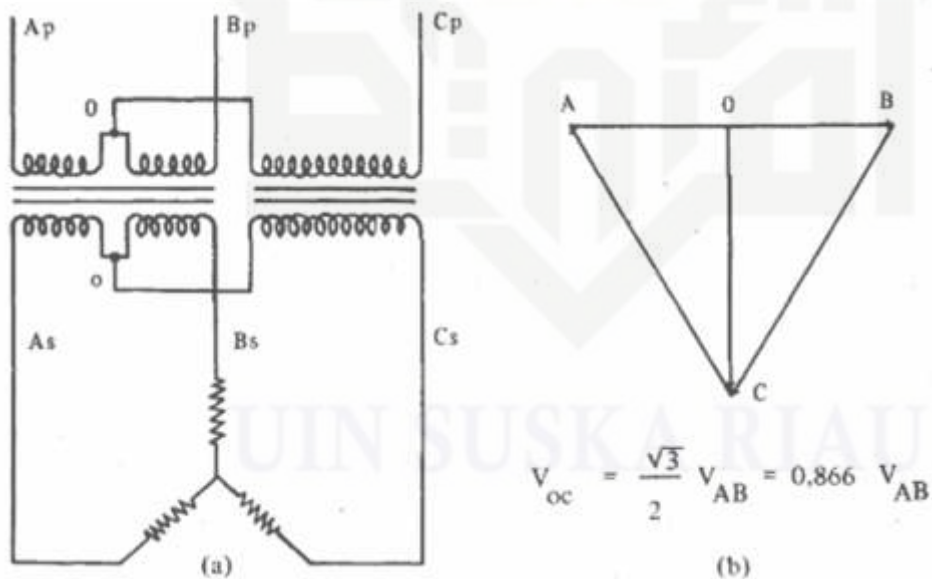
(Sumber : Sumanto, 1991)

2.4.3 Hubungan T. Scott

Hubungan T. Scott terdiri dari dua buah transformator yaitu :

1. *Main transformer* (transformator utama), mempunyai 2 buah kumparan primer dan 2 buah kumparan sekunder (masing-masing sisi mempunyai *center tap*).
2. *Tester transformer*, mempunyai kumparan primer dan sekunder.

Rangkaian dari hubungannya dapat dilihat pada (gambar 2-6a)

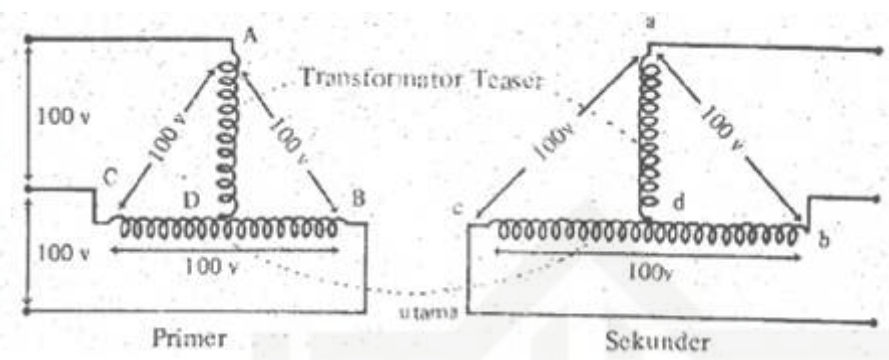


Gambar 2-6 Hubungan T-T Scott untuk sistem 3 fasa.

(Sumber : Sumanto, 1991)

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

Hubungan T-Scott dapat dioperasikan untuk 3 fase ke 3 fase (gambar 2.6) dan dapat juga dioperasikan untuk 3 fase ke 2 fase. Diagram tegangan hubungan T-Scott yang dioperasikan untuk 3 fase ke 3 fase $a=1$, $U_L = 100 V$, lihat pada (gambar 2-7).



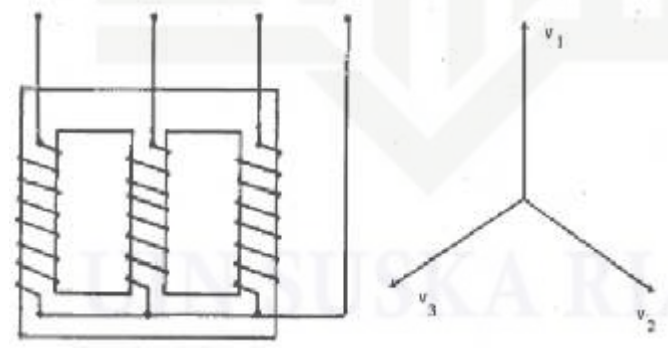
Gambar 2-7 Diagram tegangan hubungan T-Scott.
(Sumber : Sumanto, 1991)

2.4.4 Hubungan-hubungan Transformator 3 Phasa

Kumparan primer ataupun sekunder dari transformator tiga phasa bisa dihubungkan :

1. Secara bintang

Hubungan bintang ialah hubungan transformator 3 phasa, dimana ujung-ujung awal atau akhir lilitan disatukan. Titik dimana temapt penyatuan dari ujung-ujung lilitan akan merupakan titik netral.

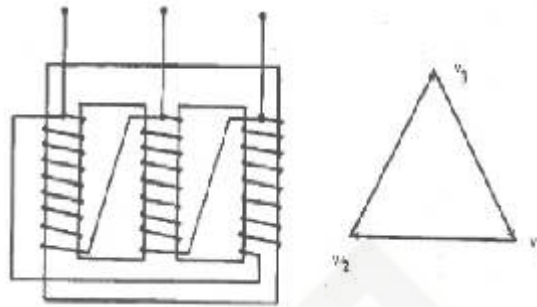


Gambar 2-8 Hubungan Bintang.
(Sumber : Sumanto, 1991)

2. Secara segitiga

Hubungan segitiga ialah suatu hubungan transformator 3 phasa, dimana cara penyambungannya ialah ujung akhir lilitan phasa pertama disambung dengan ujung

mula lilitan fase kedua, akhir fase kedua dengan ujung mula fase ketiga dan akhir fase ketiga denganujung mula fase pertama.



Gambar 2-9 Hubungan Segitiga.

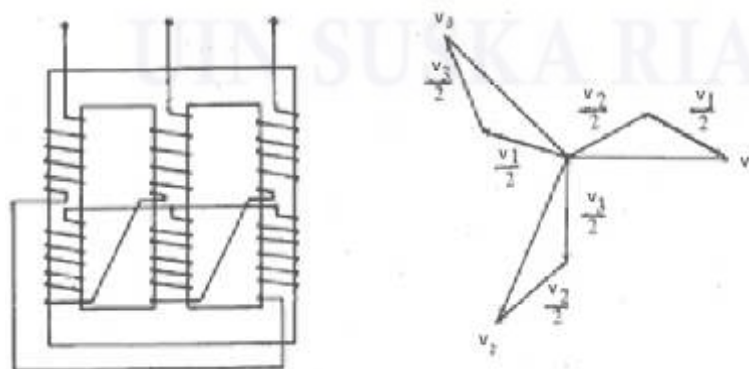
(Sumber : Sumanto, 1991)

Atau boleh juga awal dari lilitan fase pertama dengan akhir fase kedua, awal fase kedua dengan akhir fase ketiga dan awal fase ketiga dengan akhir fase kesatu.

3. Zig-zag (sekunder)

Untuk distribusi tenaga listrik dapat digunakan sistem bintang. Supaya dapat bekerja dengan baik, makasalah satu syarat yang diperlukan adalah setiap fase hendaknya bebannya sama, akan tetapi hal ini sukar dipenuhi. Untuk itu lilitan sekunder dapat dibuat dalam hubungan *interconnected* (zig-zag).

Perubahan-perubahan yang terjadi pada kumparan sekunder adalah sebagai berikut, dimana masing-masingkumparan dibagi atas 2 bagian yang sama. Kumparan fase pertama dibagi atas kumparan a1 dan b1, fase kedua kumparan a2 dan b2, sedangkan kumparan fase ketiga kumparan a3 dan b3. Prinsip penyambungan kumparan-kumparan sekunder sebagai berikut :



Gambar 2-10 Hubungan zig-zag kumparan sekunder.

(Sumber : Sumanto, 1991)

Besarnya tegangan phasa yang dikeluarkan adalah :

$$V1 = \frac{1}{2} V2 + \frac{1}{2} V1 \quad (\text{penjumlahan vektor})$$

$$V2 = \frac{1}{2} V3 + \frac{1}{2} V2 \quad (\text{penjumlahan vektor})$$

$$V3 = \frac{1}{2} V1 + \frac{1}{2} V3 \quad (\text{penjumlahan vektor})$$

Berbagai hubungan yang dipunyai pada transformator-transformator 3 phasa. Pemilihan hubungan bintang atau segitiga berdasarkan bermacam-macam pertimbangan. Hubungan bintang relatif lebih murah, sebab pada hubungan bintang hanya memerlukan sedikit lilitan dan isolasi yang seperlunya, daripada hubungan segitiga.

Dalam hubungan bintang dengan titik netral, tegangan *line* terhadap *core* tau inti (*frame or earth*) hanya 58% dari tegangan *line*. Sedabgkan pada hubungan segitiga tegangan antara *line* terhadap inti (jika terjadi *fault*) akan sama dengan tegangan *line*. Oleh sebab itu hubungan $\Delta - Y$ biasa digunakan untuk *step-up*, sedangkan $Y - \Delta$ untuk transformator *step-down*.

2.5 Jenis-Jenis Transformator

2.5.1 Transformator *step-up*

Transformator *step-up* yaitu transformator yang dapat menaikkan tegangan listrik.

Transformator *step-up* memiliki sifat-sifat sebagai berikut (Hermawan, dkk. 2015) :

- Tegangan sekunder lebih besar daripada tegangan primernya.
- Jumlah lilitan sekunder lebih banyak daripada jumlah lilitan primernya.
- Arus primer lebih besar daripada arus sekundernya.

2.5.2 Transformator *step-down*

Transformator *step-down* yaitu transformator yang dapat menurunkan tegangan listrik. Transformator *step-down* memiliki sifat-sifat sebagai berikut (Hermawan, dkk. 2015) :

- Tegangan primer lebih besar daripada tegangan sekundernya.
- Jumlah lilitan primer lebih besar daripada lilitan sekundernya.
- Arus sekunder lebih besar daripada arus primernya.

2.6 Gardu Beton

Gardu beton yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya terbuat dari beton (campuran pasir, batu dan semen). Gardu beton termasuk gardu jenis pasangan dalam, karena pada umumnya semua peralatan penghubung/pemutus, pemisah dan transformator distribusi terletak di dalam bangunan beton. Dalam pembangunannya semua peralatan tersebut didesain dan diinstalasi di lokasi sesuai dengan ukuran bangunan gardu. Gambar 2-14 memperlihatkan sebuah gardu distribusi konstruksi beton (Suhadi, dkk. 2008).



Gambar 2-11 Gardu Beton UIN Suska Riau

Ketentuan teknis komponen gardu beton, komponen tegangan menengah (contoh rujukan PHB tegangan menengah), yaitu :

- a) Tegangan perencanaan 25 kV;
- b) *Power frekuensi withstand voltage* 50 kV untuk 1 menit;
- c) *Impulse withstand voltage* 125 kV;
- d) arus nominal 400 A;
- e) arus nominal transformator 50 A;
- f) arus hubung singkat dalam 1 detik 12,5 kA;
- g) *short circuit making current* 31,5 kA.

Komponen tegangan rendah (contoh rujukan PHB tegangan rendah), yaitu :

- a) tegangan perencanaan 414 V (phasa-phasa);
- b) *Power frekuensi withstand* 3 kV untuk 1 menit test phasa-phasa;
- c) *Impulse withstand voltage* 20 kV;
- d) Arus perencanaan rel/busbar 800 A, 1.200 A, 1.800 A;
- e) Arus perencanaan sirkit keluar 400 A;
- f) Test ketahanan tegangan rendah.

2.7 Transformator Distribusi

2.7.1 Transformator Buatan Indonesia

Transformator distribusi yang digunakan di Indonesia saat ini pada umumnya adalah transformator produksi dalam negeri. Ada lima pabrik trafo di Indonesia, yaitu (Suhadi, dkk. 2008) :

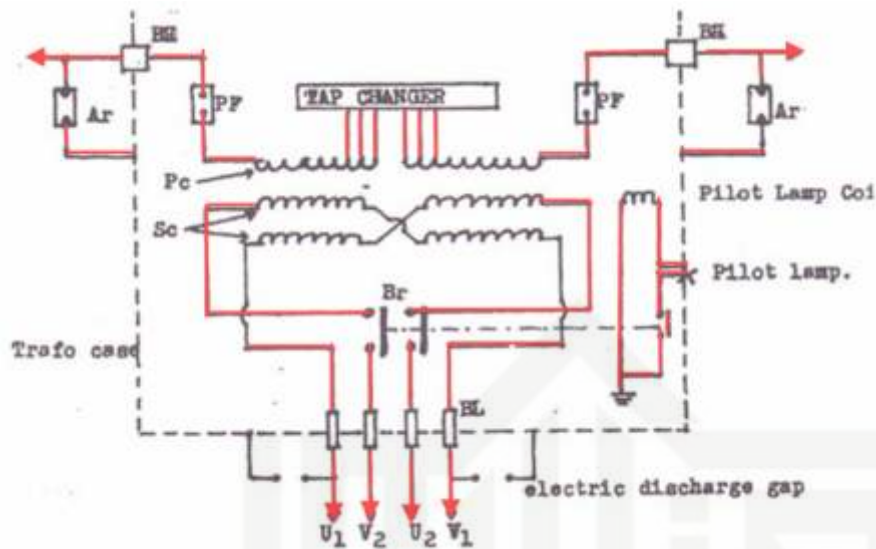
- a. PT. UNINDO,
- b. PT. TRAFINDO,
- c. PT. ASATA di Jakarta,
- d. PT. MURAWA di Medan,
- e. PT. Starlite
- f. PT. Bambang Djaja di Surabaya.

Ditinjau dari jumlah phasanya, transformator distribusi ada dua macam, yaitu transformator satu phasa dan transformator tiga phasa. Trafo tiga phasa mempunyai dua tipe yaitu tipe sekunder dan ganda dan tipe sekunder tunggal. Sedangkan transformator satu phasa juga mempunyai dua tipe yaitu tipe satu kumparan sekunder dan tipe dua kumparan sekunder saling bergantung, yang dikenal dengan transformator tipe “*NEW JEC*”. (Gambar 2-15) memperlihatkan sebuah transformator distribusi tiga phasa kelas 20 kV produksi Starlite Indonesia menurut standarisasi SPLN 50 : 1997.



Gambar 2-12 Transformator distribusi 20 kV UIN Suska Riau.

2.7.2 Transformator Standar “NEW JEC”



Keterangan gambar 2.16 :

BH	= Primarry Bushing High	PF	= Power Fuse
BL	= Primarry Bushing Low	Pc	= Primarry Coil
Br	= Breaker Switch	Ar	= Arrester

Gambar 2-13 Hubungan dalam transformator distribusi tipe “New Jec”.

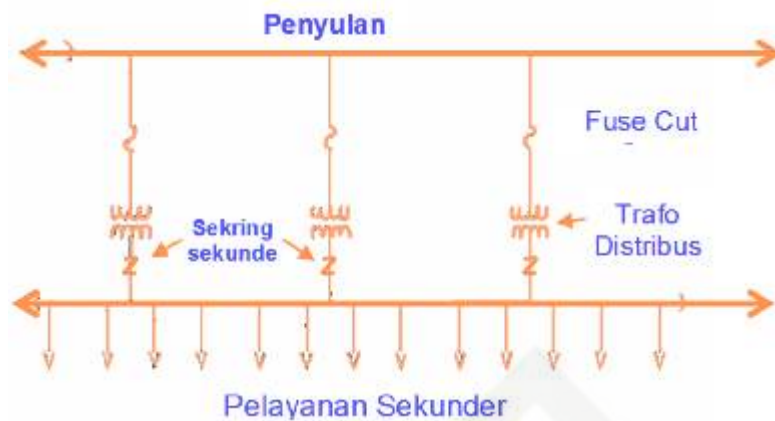
(Sumber : Suhadi, dkk. 2008)

Dengan mengubah posisi “*tab charger*” tegangan sisi sekunder dapat diatur dari 115 Volt sampai dengan 133 Volt. Kesitimewaan tranformator tipe *new jec* ini adalah setiap phasanya terdiri dari satu tabung dapat diinstalasi untuk mendapatkan dua sistem tegangan, yaitu sistem 127 Volt dan sistem 220 Volt.

2.7.3 Transformator Bank

A. Bank Transformator Dengan Ril Sekunder

Yang dimaksud dengan transformator bank adalah menghubungkan paralel tegangan pada sisi sekunder sejumlah transformator, yang semuanya disambungkan dengan jaringan sisi primer yang sama. Gambar 2/17-19 memperlihatkan beberapa model transformator bank (*transformator banking*).



Gambar 2-14 Transformator bank dengan ril.

(Sumber : Suhadi, dkk. 2008)

Sekring sekunder tidak dapat mengamankan secara lengkap melawan beban lebih dari transformator dan gangguan sekunder dengan impedansi tinggi, disebabkan sekring memerlukan waktu pemutusan yang relatif lama. Dalam susunan ini akan terjadi pemutusan total pada sekunder, jika ada bagian pelayanan sekunder yang terganggu.

B. Transformator Bank Dilengkapi Sekring Sekunder



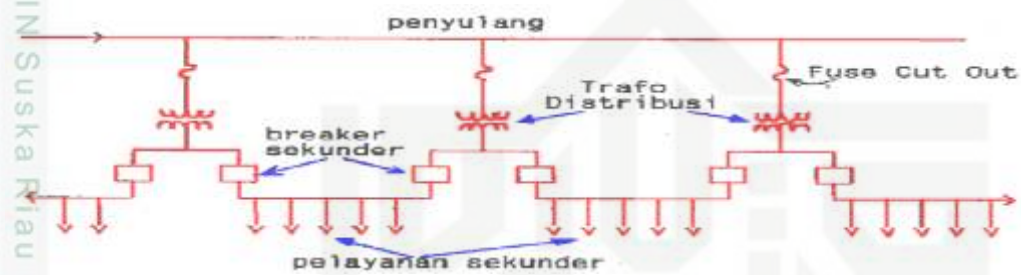
Gambar 2-15 Transformator bank dilengkapi sekring pada relnya.

(Sumber : Suhadi, dkk. 2008)

Hubungan dari transformator distribusi langsung ke pelayanan sekunder. pelayanan sekunder terdiri dari bagian trafo-trafo dengan sekring sekunder. dalam susunan ini jika transformator mengalami gangguan, maka akan terjadi pemutusan pelayanan sekunder pada kelompok transformator yang terganggu. Sebaliknya jika ada bagian pelayanan sekunder yang terganggu, maka satu transformator pada kelompok beban tersebut terputus (trip).

C. Transformator Bank Dengan Pengamanan Lengkap

Transformator distribusi dihubungkan ke pelayanan sekunder dengan 2 buah "circuit breaker". Maksudnya masing-masing transformator dilengkapi dengan 2 buah breaker yang identik. Bila arus lebih melalui sebuah breaker, maka breaker ini akan trip dan tidak bergantung dengan breaker lain. Untuk suatu kegagalan transformator, maka pengaman rangkaian primer (FCO) akan terbuka (trip) bersama-sama kedua breaker sekunder.



Gambar 2-16 Transformator bank dilengkapi sekering pada relnya.

(Sumber : Suhadi, dkk. 2008)

2.8 Pelayanan Konsumen

Didalam melayani konsumen atau pemakai listrik, yang perlu diperhatikan adalah :

2.8.1 Tegangan

Tegangan harus selalu dijaga konstan, terutama rugi tegangan yang terjadi diujung saluran. Tegangan yang tidak stabil dapat berakibat merusak alat-alat yang peka terhadap perubahan tegangan (khususnya alat-alat elektronik). Dengan demikian juga tegangan yang terlalu rendah akan mengakibatkan peralatan listrik tidak dapat beroperasi sebagaimana mestinya. salah satu syarat penyambungan peralatan listrik, yaitu tegangan sumber harus sama dengan tegangan yang dibutuhkan oleh peralatan listrik tersebut. tegangan terlalu tinggi akan dapat merusak peralatan listrik (Suhadi, dkk. 2008).

2.8.2 Frekuensi

Perubahan frekuensi akan sangat dirasakan oleh pemakai listrik yang orientasi kerjanya berkaitan dengan kestabilan frekuensi. Konsumen kelompok ini biasanya adalah industri-industri yang menggunakan mesin-mesin otomatis dengan menggunakan setting waktu/frekuensi (Suhadi dkk, 2008).

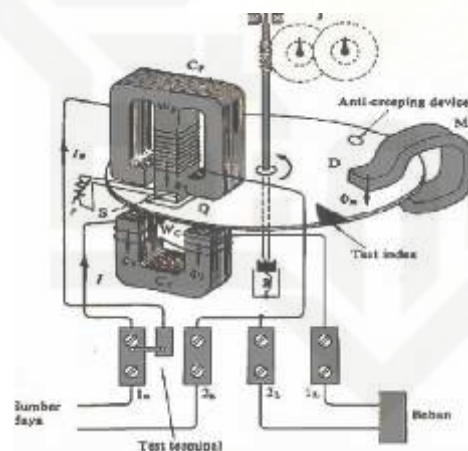
2.8.3 Kontinuitas Pelayanan

Kelangsungan pelayanan listrik secara kontiyu merupakan dambakan setiap pelanggan/pemakai. Pemadaman listrik dapat mengakibatkan kerugian yang besar pada industri-industri yang orepasionalnya sangat bergantung kepada tenaga listrik. Oleh karenanya jika pemadaman listrik tidak dapat dihindari, misalnya karena perbaikan jaringan yang sudah direncanakan atau karena gangguan dan sebab-sebab lain, maka pelaksanaan pemadaman harus didahului dengan pemberitahuan (Suhadi, dkk. 2008).

2.9 Alat Ukur Energi Arus Bolak-Balik

2.9.1 Prinsip-Prinsip Kerja

Dalam alat ukur energi, kumparan-kumparan arus dan tegangan merupakan suatu belitan pada dua buah magnet seperti tampak pada gambar 2.20. kumparan arus akan membangkitkan fluks magnet, (ϕ_1) dengan nilai berbanding lurus terhadap besar arus. Sementara kumparan tegangan akan membangkitkan fluks magnet, (ϕ_2). (Sumber : Suhadi, dkk. 2008)



Gambar 2-17 Konstruksi kWh meter.

(Sumber : Suhadi, dkk. 2008)

Perputaran dari piringan aluminuim terjadi karena interaksi dari kedua medan magnet ini. Fluks magnetik akan membangkitkan arus Eddy pada piringan yang akan menghasilkan gaya yang melawan arah putaran piringan. Gaya yang dihasilkan berbanding lurus terhadap sudut phasa antara fluks-fluks kumparan tegangan dan kumparan arus, gaya maksimum akan terjadi jika sudut phasanya 90° . Gaya ini sebanding dengan dya aktif $V \times I \times \cos \theta$, yang sama dengan kecepatan putaran piringan. jumlah putaran dalam waktu

tertentukan memberikan pengukuran dari energi yang digunakan karena energi = daya x waktu. (Sumber : Suhadi, dkk. 2008)

2.9.2 Tang Ampere

Alat ukur tang ampere atau dikenal juga dengan sebutan ampere meter jepit bekerja dengan prinsip, yang sama dengan inti primer sebuah transformator arus seperti tampak pada (gambar 2-21). denngan alat ukur tang ampere ini pengukuran arus dapat dilakukan tanpa memutuskan suplai listrik terlebih dahulu. konstruksi dari alat ukur tang ampere ini diperlihatkan pada (gambar 2-21).



Gambar 2-18 Tang ampere.
(Sumber : Bhineka.com, 2017)

2.9.3 Power Quality Analyzer

Pengukuran kualitas daya listrik dengan menggunakan perangkat *power quality analyzer* mungkin bukanlah suatu pekerjaan yang asing bagi kita. Pengukuran dengan tujuan mendapatkan beberapa parameter power (*active power, apparent power, reactive power, integration and power factor*) adalah salah satu contoh pengukuran yang mungkin telah menjadi rutinitas kita dalam proses *maintenance powerline*. Paradigma pengukuran *power quality analyzer* yang berbasiskan parameter di atas ternyata masih bertahan hingga saat sekrang ini. Hal tentu menjadi sebuah ironi mengingat dalam proses pengukuran, beberapa diantara kita telah dibekali alat ukur dengan label “*Power Quality Analyzer*”. Pada (gambar 2-22) akan ditampilkan gambar *Power Quality Analyzer*.



Gambar 2-19 Alat Data Taker Merek *Hioki 3168-20* Lab. Fakultas Sains dan Teknologi.

Fakta menunjukkan bahwa permasalahan *power quality* saat ini tidaklah sesederhana 10 atau 20 tahun yang lalu. Berkembangnya beban-beban non linier serta ditemukannya sumber-sumber energi baru telah menimbulkan permasalahan baru pula pada sisi *power quality*.

Setidaknya terdapat ratusan parameter yang dapat diukur dengan menggunakan *power quality analyzer* dalam pengukuran di sistem kelistrikan. Dalam sistem kelistrikan 3 fasa, besarnya tegangan dan arus dari masing-masing fasa haruslah sama atau minimal mendekati sama. Ketidakseimbangan dari tegangan maupun arus dapat berakibat menurunnya performa beban 3 fasa yang dicatunya. Bila hal ini terjadi pada transformator, maka dapat dipastikan kerusakan terjadi pada transformator tersebut. Umur transformator akan berkurang dikarenakan ketidakseimbangan beban. Kondisi ketidakseimbangan ini sering terjadi karena variasi dari beban, ketika beban satu fasa dengan fasa lainnya berbeda, maka saat itulah kondisi ketidakseimbangan terjadi.

2.10 Keadaan Pembebanan Transformator Distribusi

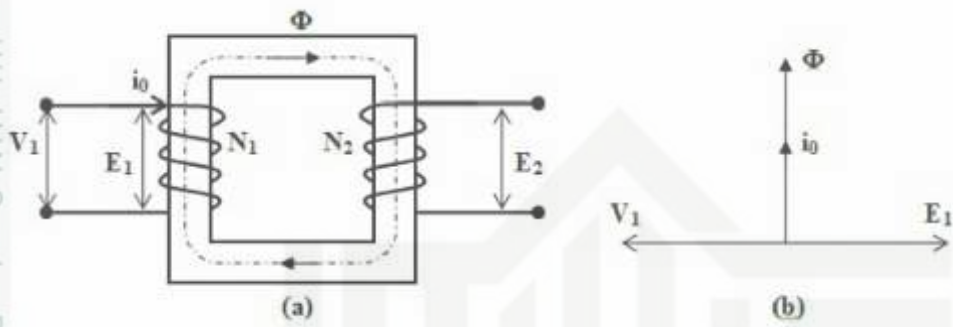
2.10.1 Keadaan Transformator Tanpa Beban

Transformator dalam keadaan tanpa beban mengambil arus dari jala-jala yang terdiri atas arus yang bersifat resistif berupa rugi inti dan arus yang bersifat induktif untuk membangkitkan fluksi. Rugi inti transformator dapat dibedakan atas rugi histerisis dan rugi arus pusar. Rugi histerisis disebabkan oleh terjadinya gesekan antara molekul-molekul logam inti dalam usaha menyesuaikan diri dengan perubahan arah fluksi magnet (Hutama, dkk. 2014).

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

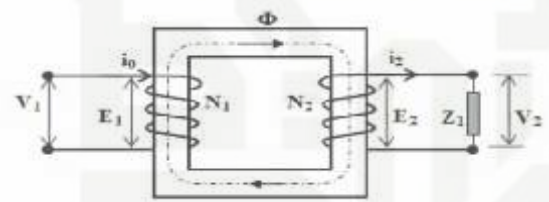
Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoidal, akan mengalirkan arus primer I_0 yang juga sinusoidal dan menganggap belitan N_1 reaktif murni, I_0 akan tertinggal 90° dari V_1 (gambar 2.22). arus primer I_0 menimbulkan fluks (ϕ) yang se-fasa juga berbentuk sinusoidal.



Gambar 2.20 Transformator tanpa beban.
 (Sumber : Riza, 2013)

2.10.2 Keadaan Transformator Berbeban

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_1 , I_1 mengalir pada kumparan sekunder dimana $I_2 = V_2/V_L$ dengan $q_2 =$ faktor kerja beban.



Gambar 2.21 Transformator dalam keadaan berbeban.
 (Sumber : Riza, 2013)

Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks (ϕ) bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan I_m . Agar fluks bersama tidak berubah nilainya, maka pada kumparan primer harus mengalir arus I_2' yang dibangkitkan arus yang mengalir pada kumparan primer.

2.11 Pembebanan Transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut : (Suhadi, 2008)

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots(2-4)$$

Keterangan :

- S = Daya transformator (kVA)
- V = tegangan sisi primer transformator (kV)
- I = Arus jala-jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) atau arus nominal dapat menggunakan rumus: (Suhadi, 2008)

$$I_{\text{nominal}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \dots\dots\dots(2-5)$$

Keterangan :

- I_{nominal} = Arus beban penuh (A)
- S = Daya transformator (kVA)
- V = Tegangan sisi sekunder transformator (kV)

Untuk mencari arus rata-rata transformator yang terdiri dari tiga fasa, dapat menggunakan rumus :

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \dots\dots\dots(2-6)$$

Keterangan :

- I_R = Arus pada fasa R (Ampere)
- I_S = Arus pada fasa S (Ampere)
- I_T = Arus pada fasa T (Ampere)

Setelah mengetahui hasil perhitungan dari arus beban penuh (A) dan arus rata-rata, maka dilakukanlah untuk menghitung pembebanan transformator distribusi menggunakan rumus :

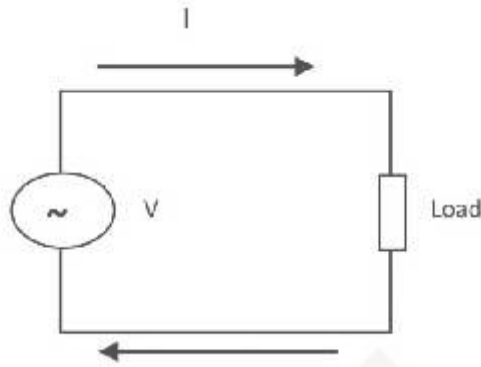
$$\% \text{Pembelian} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{FL}} \times 100\% \dots\dots\dots(2-7)$$

Setelah kita mengetahui hasil dari perhitungan persentase pembebanan, barulah kita mengetahui berapa besarkah persentase pembebanan transformator yang kita hitung, ingat bahwasanya persentase transformator standarnya adalah 80% (PT. PLN (Persero), 2010).

2.12 Daya

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya memiliki satuan *watt*, yang merupakan perkalian dari tegangan (*volt*) dan arus (*ampere*). Daya dinyatakan dalam P, tegangan dalam V, dan arus dalam I.

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



Gambar 2-22 Arah aliran arus listrik.
 (Sumber : Caang, 2011)

Aliran elektro yang bergerak pada suatu penghantar listrik dengan kecepatan tertentu dinamakan arus listrik (I). Timbulnya arus listrik karena terdapat beda potensial pada dua ujung penghantar. Sedangkan terjadinya beda potensial pada dua penghantar disebabkan karena adanya salah satu ujung penghantar yang mendapatkan suatu tenaga yang mendorong elektron-elektron untuk bergerak (Caang, 2011).

2.12.1 Daya Aktif

Daya aktif (*active power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi yang sebenarnya. Satuan dari daya aktif adalah watt. Adapun persamaan dalam daya aktif sebagai berikut (Suhadi, 2008) :

Untuk satu fasa :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots(2-8)$$

Keterangan :

- P = Daya Aktif (watt)
- V = Tegangan (volt)
- I = Arus (ampere)
- Cos φ = Faktor daya

Untuk tiga fasa :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots(2-9)$$

Keterangan :

- P = Daya Aktif (watt)

- V = Tegangan (volt)
- I = Arus (ampere)
- $\cos \varphi$ = Faktor daya
- $\sqrt{3}$ = Untuk tiga fasa (1,73)

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam bentuk kerja.

2.12.2 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya reaktif adalah transformator, motor dan lain-lainnya. Satuan daya reaktif adalah Var (volt ampere reaktif). (Suhadi, 2008)

2.12.3 Daya Semu

Daya semu (*apparent power*) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan dan arus dalam satuan jaringan. Satuan daya semu adalah VA (volt-ampere) (Suhadi, 2008).

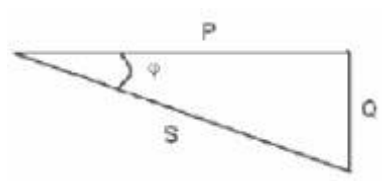
$$S = V \cdot I \dots\dots\dots(2-10)$$

Keterangan :

- S = Daya semu (VA)
- V = Tegangan (V)
- I = Arus (A)

2.13 Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe-tipe daya yang berbeda antara daya semu, daya aktif, dan daya reaktif berdasarkan prinsip trigonometri.



Gambar 2-23 Segitiga daya.
(Sumber : Riyadus, 2012)

Dimana berlaku hubungan :

$$S = V.I \text{ (VA)}$$

$$P = S.\cos \varphi \text{ (watt)}$$

$$Q = S.\sin \varphi \text{ (VAR)}$$

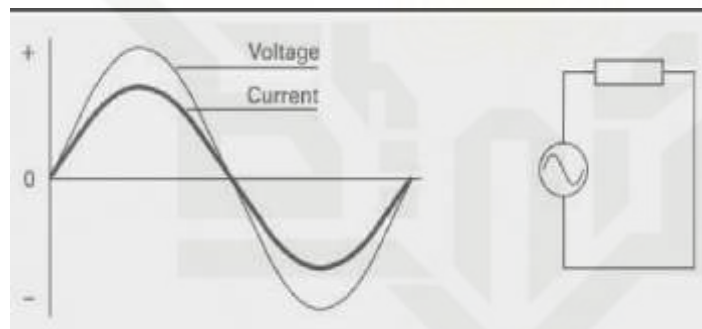
2.14 Faktor Daya

Faktor daya (\cos) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (watt) dan daya semu (VA) yang digunakan dalam listrik arus bolak-balik (AC) atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam $\cos \varphi$.

2.14.1 Faktor Daya Terbelakang (*Lagging*)

Faktor yang terbelakang (*lagging*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut :

1. Beban atau peralatan listrik memerlukan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat induktif.
2. Arus (I) terbelakang dari tegangan (V), V mendahului I dengan sudut φ .



Gambar 2-24 Arus tertinggal dari tegangan sebesar sudut φ .

(Sumber : Pratama, 2013)

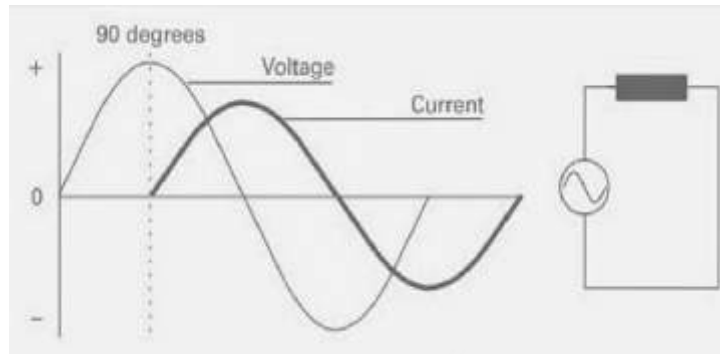
2.14.2 Faktor Daya Mendahului (*Leading*)

Faktordaya yang mendahului (*Leading*) adalah faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut :

1. Beban atau peralatan listrik memberikan daya reaktif dari sistem atau beban kapasitif.
2. Arus mendahului tegangan, V terbelakang dari I dengan sudut φ .

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 2-25 Arus mendahului tegangan sebesar sudut ϕ .

(Sumber : Pratama, 2013)

2.15 Sifat Beban Listrik

Dalam suatu rangkaian listrik selalu dijumpai suatu sumber dan beban. Nilai sumber listrik DC, maka sifat beban hanya bersifat resistif murni, karena frekuensi sumber DC adalah 0. Reaktansi induksi (X_L) akan menjadi 0 yang berarti bahwa induktor tersebut akan *short circuit*. Reaktansi kapasitif (X_C) akan menjadi tak terhingga yang berarti bahwa kapasitif tersebut akan *open circuit*. Jadi sumber DC akan mengakibatkan beban-beban induktif dan beban kapasitif tidak akan berpengaruh pada rangkaian.

2.15.1 Beban Resistif

Beban resistif yang merupakan suatu resistor murni. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali. Tegangan dan arus fasa ke fasa. Secara matematis dinyatakan : (Sumber : Riyadus, 2012)



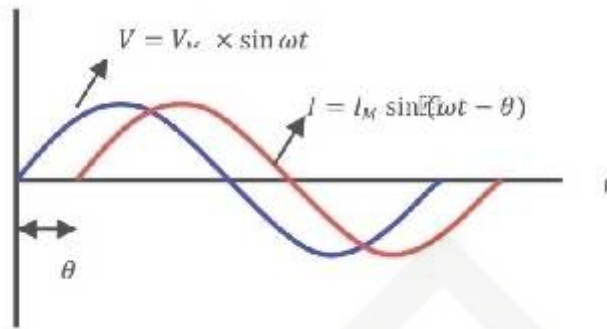
Gambar 2-26 Arus dan tegangan pada beban resistif.

(Sumber : Riyadus, 2012)

2.15.2 Beban Induktif

Beban induktif adalah beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti biasanya inti besi, contoh : motor-motor listrik, induktor dan transformator. beban ini mempunyai faktor daya antara 0-1 "*lagging*". Beban ini menyerap

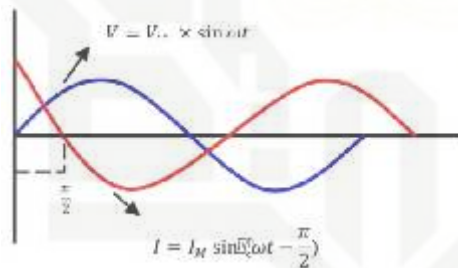
daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR). tegangan mendahului arus sebesar φ° . Secara matematis dapa dinyatakan :



Gambar 2-27 Arus, tegangan dan GGL induksi diri pada beban induktif.
 (Sumber : Riyadus, 2012)

2.15.3 Beban Kapasitif

Beban kapasitif adalah beban yang mengandung suatu rangkaian kapasitor. Beban ini mempunyai faktorf daya antara 0-1 “*leading*”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan mengeluarkan daya reaktif (kVAR). Arus mendahului tegangan sebesar φ° . Secara matematis dinyatakan :



Gambar 2-27 Arus, tegangan dan GGL induksi diri pada beban kapasitif.
 (Sumber : Riyadus, 2012)

2.16 Nilai Rata-Rata

Nilai rata-rata ini mencakup nilai rata-rata dari arus nominal, arus beban, tegangan input, tegangan output dan beban. Arus nominal adalah arus yang tertera pada transformator, tetapi ada pada sebagian transformator yang tidak menuliskan arus nominal pada *name plate* transformator, untuk menghitung arus nominal kita bisa gunakan persamaan (2-9) (Sujito, 2009).

$$I_{\text{nominal}} = \frac{\sum I_{\text{nominal}}}{n} \dots\dots\dots(2-11)$$

Arus beban didapatkan dari pengukuran arus pada fasa R, S dan T pada transformator, untuk mendapatkan arus rata-rata selama satu minggu maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_{\text{Beban}} = \frac{\sum I_{\text{Beban}}}{n} \dots\dots\dots(2-12)$$

Untuk rata-rata perhitungan tegangan input pada transformator selama 7 hari, menggunakan persamaan :

$$V_{\text{Input}} = \frac{\sum V_{\text{Input}}}{n} \dots\dots\dots(2-13)$$

Untuk rata-rata perhitungan tegangan output pada transformator selama 7 hari, menggunakan persamaan :

$$V_{\text{output}} = \frac{\sum V_{\text{output}}}{n} \dots\dots\dots(2-14)$$

Untuk rata-rata perhitungan beban pada transformator selama 7 hari, menggunakan persamaan :

$$P_{\text{beban}} = \frac{\sum P_{\text{beban}}}{n} \dots\dots\dots(2-15)$$

2.16.1 Nilai Persentase Arus, Tegangan dan Daya Transformator

Nilai rata-rata yang dimaksud adalah nilai rata-rata dari arus nominal (A), arus beban (A), tegangan input (V), tegangan output (V) dan daya beban (watt). Tujuan dilakukannya perhitungan nilai rata-rata adalah untuk mengetahui arus nominal, arus beban, tegangan input, tegangan output dan daya beban dalam satu minggu. Nilai persentase ini didapatkan dari hasil perhitungan nilai rata-rata pada sub-bab (2.14). untuk menghitung nilai persentase arus, tegangan dan beban menggunakan persamaan (Sujito, 2009) :

$$I\% = \frac{I_{\text{nominal}} - I_{\text{beban}}}{I_{\text{nominal}}} \times 100\% \dots\dots\dots(2-16)$$

$$V\% = \frac{V_{\text{input}} - V_{\text{output}}}{V_{\text{input}}} \times 100\% \dots\dots\dots(2-17)$$

$$P\% = \frac{P_{\text{nominal}} - P_{\text{beban}}}{P_{\text{nominal}}} \times 100\% \dots\dots\dots(2-18)$$

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.17 Nilai Error

Nilai *error* adalah selisih antara nilai duga (*predicted value*) dengan nilai pengamatan yang sebenarnya apabila data yang digunakan adalah data populasi, dalam hal ini adalah data perhitungan transformator. Digunakan nilai *error* karena didalam perhitungannya menggunakan nilai hasil penjumlahan dari nilai persentasi, nilai persentasi pada pembahasan ini memiliki variabel arus (A), tegangan (V) dan daya (watt), nilai-nilai variabel inilah yang dimasukkan datanya melalui pengukuran transformator. Selain menggunakan nilai hasil penjumlahan nilai persentasi, nilai *error* juga memasukkan/menggunakan nilai ketetapan batasan transformator sebesar 80% (PT. PLN Persero, 2010) yang merupakan nilai duga (*predicted value*). Untuk mendapatkan nilai persentase *error* dapat digunakan persamaan (Sumber : Sujito. 2009) :

$$\text{Persentase error} = \frac{\text{Nilai Eksak} - \text{Nilai Prakiraan}}{\text{Nilai Eksak}} \times 100\% \dots\dots\dots(2-19)$$

$$E\% = \frac{P - P^*}{P} \times 100\% \dots\dots\dots(2-20)$$

Keterangan :

- E = Nilai *error* (%)
- P = Nilai ketetapan batasan pemakaian transformator sebesar 80% (Standar PLN)
- P* = Jumlah nilai presentasi (%)

2.18 Prediksi Waktu Pakai Transformator

Prediksi waktu pakai transformator dilakukan untuk mendapatkan hasil berapa lama umur pakai suatu transformator. Pada penelitian ini pendekatan yang digunakan adalah pendekatan terhadap nilai *error*. Adapun persamaan untuk mendapatkan hasil prediksi waktu pakai transformator adalah sebagai berikut (Sujito, 2009) :

$$\text{Sisa Waktu Pakai} = 100\% - \text{Persentase nilai error} \dots\dots\dots(2-21)$$

Keterangan :

100% = Waktu pemakaian transformator selama 20,55 tahun

$$\text{Estimasi Umur Trafo} = \text{Sisa waktu pakai} - \text{Waktu yang telah digunakan} \dots\dots\dots(2-22)$$

2.19 Standar Perusahaan Listrik Negara

Standar Perusahaan listrik negara (SPLN) yang ditetapkan direksi bersifat wajib. Dapat berupa peraturan, pedoman, instruksi, cara pengujian dan spesifikasi teknik. Sejak tahun 1976 sudah lebih dari 264 buah standar yang dirangkumkan. 61 standar bidang pembangkitan, 71 standar bidang transmisi, 99 standar bidang distribusi dan 33 standar bidang umum (Purnomo, 2010). Dalam pembahasan tugas akhir ini ada beberapa parameter yang terkait pada Standar Perusahaan Listrik Negara yaitu :

2.19.1 Standar Umur Transformator

Berdasarkan SPLN 17A:1979, publikasi IEC 354:1972 umur suatu transformator ditetapkan selama 20,55 tahun atau 7500 hari atau 180.000 jam, dengan perhitungan $20,55 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} = 180.000 \text{ jam}$. Ini terlihat pada kondisi di lapangan dimana transformator harus mengalami revisi ataupun penggantian dengan transformator yang baru sebelum berumur 20 tahun, yang disebabkan oleh pembebanan.

2.19.2 Standar Tegangan Primer

Tegangan primer ditetapkan sesuai dengan tegangan nominal pada jaringan menengah (JTM) yang berlaku di Indonesia, yaitu 20 kV (SPLN 50:1997).

2.19.3 Standar Tegangan Sekunder

Tegangan sekunder ditetapkan atau disesuaikan dengan tegangan nominal sistem pada jaringan tegangan rendah (JTR) yang berlaku di Indonesia 231 Volt (untuk sistem fase tunggal) dan 400/231 Volt (untuk sistem tiga fasa), yaitu 231 Volt dan 400/231 Volt (pada keadaan tanpa beban). Dengan demikian ada dua macam transformator yang dibedakan oleh tegangan sekunder (SPLN 50:1997) yaitu :

- a) Transformator bertegangan sekunder 231/462 Volt (fase-tunggal);
- b) Transformator bertegangan sekunder 400/231 Volt (fase-tiga).

2.19.4 Standar Suhu Sekitar

Suhu adalah besaran yang menyatakan derajat panas atau dinginnya suatu benda. Suhu sekitar merupakan suhu yang ada disekitaran suatu benda dalam hal ini adalah transformator yang panasnya langsung terjadi karena radiasi matahari. suhu sekitar memiliki rata-rata 30°C (SPLN 17:1979).

2.20 Penyebab Berkurangnya Umur Transformator

2.20.1 Pembebanan

Transformator dalam keadaan bertegangan dan belum dibebani akan timbul rugi-rugi yang dapat menimbulkan kondisi transformator tersebut panas, namun panas yang timbul kecil. Apabila transformator tersebut dibebani maka kumparan dan minyak didalam transformator akan bertambah panas sesuai dengan kenaikan bebannya atau sebesar I^2R . Panas yang timbul pada kumparan akan diteruskan secara konduksi pada minyak transformator yang berfungsi sebagai pendingin. Baik kumparan maupun minyak transformator mempunyai batas-batas operasi panas yang diizinkan. Isolasi kumparan yang terdiri dari kertas kraft mempunyai batas panas yang diizinkan sesuai dengan klas isolasi spesifikasi transformator. Demikian juga minyak isolasi transformator mempunyai batas panas yang diizinkan. Apabila panas-panas tersebut dilampaui maka isolasi akan rusak dan secara keseluruhan transformator tersebut akan rusak. Panas tersebut harus direduksi dengan memasang sistem pendingin (Sigid, 2009).

2.20.2 Suhu

Isolasi yang biasa dipakai dalam transformator bisa cepat sekali menjadi buruk apabila dikenai panas dengan suhu diatas 100°C secara terus menerus. Suhu diatas 100°C ini hanya dapat ditahan dalam selang waktu yang relatif singkat, namun efek kumulatif dan hubungan antara suhu dengan waktu tidak dapat ditentukan.

Kenaikan suhu pada belitan, inti dan minyak transformator dirancang untuk pemakaian dengan ketinggian tidak lebih dari 1000 meter diatas permukaan laut. Untuk transformator yang menggunakan media pendingin air, maka suhu air tidak boleh lebih dari 25°C , sedangkan untuk transformator yang menggunakan media pendingin udara, maka suhu udaranya tidak boleh lebih dari 40°C dan tidak boleh dibawah -25°C untuk pemasangan luar dan tidak boleh -5°C untuk pemasangan dalam. Sebagai tambahan untuk pendinginan dengan udara, suhunya tidak melebihi (Sigid, 2009) :

- a. Rata-rata 30°C untuk satu hari
- b. Rata-rata 20°C untuk satu tahun

Di dalam transformator minyak timbulnya panas akibat rugi besi dan rugi tembaga didinginkan dengan minyak transformator. Bila keadaan ini berlangsung terus menerus lama kelamaan minyak transformator akan menjadi panas. Dengan kenaikan suhu minyak, komposisi minyak transformator akan mengalami perubahan melalui reaksi kimia.

terjadinya reaksi tersebut akan menghasilkan zat (persenyawaan) lain dan akan mengubah sifat dari minyak transformator perubahan-perubahan itu antara lain (Sigid, 2009) :

- a. Warna coklat
- b. Kadar asam tinggi
- c. Mengandung endapan (kotor)
- d. Kekuatan daya elektrik menurun
- e. Viskositas tinggi

Apabila perubahan-perubahan tersebut dibiarkan dapat menyebabkan turunya nilai isolasi dariminyak yang mneyebabkan umur transformator menurun.

2.21 Rekomendasi

Rekomendasi merupakan saran yang sifatnya menganjurkan, membenarkan, atau menguatkan mengenai sesuatu atau seseorang. Rekomendasi sangat penting artinya untuk meyakinkan orang lain bahwa sesuatu atau seseorang tepat dan layak. Rekomendasi biasanya dibuat dalam bentuk tertulis seperti *review* produk dan testimoni di internet atau dalam bentuk yang lebih formal dalam bentuk surat rekomendasi (Kotler dan Keller, 2007).

2.22 Pemeliharaan Transformator Distribusi

emeliharaan adalah untuk mempertahankan kondisi dan meyakinkan bahwa transformator dapat berfungsi sebagaimana mestinya sehingga dapat dicegah terjadinya gangguan yang menyebabkan kerusakan, selain itu juga bertujuan untuk menjamin kontinuitas penyaluran tenaga listrik dan menjamin keandalan, antara lain (Pamujo, 2016) :

- a. Untuk meningkatkan *relibiality*, *availability* dan *effiency*.
- b. Untuk memperpanjang umur peralatan.
- c. Mengurangi resiko terjadinya kegagalan atau kerusakan peralatan.
- d. Meningkatkan *safety* peralatan.
- e. Mengurangi lama waktu padam akibat gangguan.

Faktor yang paling dominan dalam pemeliharaan pada transformator adalah pada sistem isolasi. Isolasi disini meliputi isolasi padat dan isolasi minyak. Suatu transformator akan sangat mahal jika isolasinya sangat bagus, dari demikian isolasi merupakan bagian yang terpenting dan sangat menentukan umur dari transformator. Untuk itu kita harus

memperhatikan atau memelihara sistem isolasi sebaik mungkin, baik terhadap isolasinya maupun penyebab kerusakan isolasi.

2.23 Jenis-Jenis Pemeliharaan dan Perawatan Transformator

Jenis-jenis pemeliharaan dan perawatan transformator adalah sebagai berikut (Wahyudiyanto, 2009) :

2.23.1 *Predictive Maintenance (Conditional Maintenance)*

Predictive Maintenance (Conditional Maintenance) adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan cara memprediksi kondisi suatu transformator, apakah dan kapan kemungkinannya suatu transformator tersebut menuju kegagalan. Dengan memprediksi kondisi tersebut dapat diketahui gejala kerusakan secara dini.

2.23.2 *Preventive Maintenance (Time Base Maintenance)*

Preventive Maintenance (Time Base Maintenance) adalah kegiatan pemeliharaan yang dilaksanakan untuk mencegah terjadinya kerusakan transformator secara tiba-tiba dan untuk mempertahankan unjuk kerja peralatan yang optimum sesuai umur teknisnya.

2.23.3 *Corrective Maintenance*

Corrective Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan berencana pada waktu-waktu tertentu ketika transformator mengalami kenaikan atau unjuk kerja rendah pada saat menjalankan fungsinya dengan tujuan untuk mengembalikan pada kondisi semula disertai perbaikan dan penyempurnaan isolasi.

2.22.4 *Breakdown Maintenance*

Breakdown Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan mendadak yang waktunya tidak tertentu dan sifatnya darurat.

Pelaksanaan pemeliharaan peralatan dapat dibagi 2 macam :

- a. Pemeliharaan yang berupa monitoring dan dilakukan oleh petugas operator atau petugas patroli Gardu Induk yang tidak dijaga.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- b. Pemeliharaan yang berupa pembersihan dan pengukuran yang dilakukan oleh petugas pemeliharaan.

2.24 Jadwal Pemeliharaan Transformator

Jadwal pemeliharaan dan perawatan transformator (Wahyudiyanto, 2009) :

- a. Jadwal mingguan
- b. Jadwal bulanan
- c. Jadwal tahunan

2.24.1 Jadwal Mingguan

Tabel 4.5 Jadwal mingguan pelaksanaan pemeliharaan transformator distribusi.

No	Peralatan/Komponen Yang Diperiksa	Cara Pelaksanaan
1.	Tangki, radiator, pipa-pipa, katup-katup	Periksa apakah ada kebocoran minyak.
2.	Bushing	Periksa apakah ada yang retak, kotor, pecah dan kebocoran minyak.
3.	Suhu / temperatur minyak dan kumparan transformator	Periksa temperatur minyak dan kumparan transformator.
4.	Beban transformator	Periksa beban transformator.
5.	Kipas-kipas pendingin	Periksa kipas-kipas apakah ada karat pada sirip dan berputar dengan baik serta stabil.
6.	Terminal utama, rel, terminasi kabel, jumper-wire, lemari kontrol	Periksa dari kotoran/bangkai binatang serta benda asing lainnya.
7.	Indikator tinggi minyak	Periksa tinggi permukaan minyak pada indikator tangki, konservator.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

8.	Indikator pompa sirkulasi	Periksa indikator pompa sirkulasi apakah masih menunjukkan aliran minyak dengan sempurna.
9.	Sumber arus searah (DC)	Periksa sumber arus DC/AC apakah sakelar dalam keadaan tertutup dan MCB-nya keadaan ON dengan sempurna.
10.	Pemadam kebakaran	Periksa tekanan air dalam tangki pemadam, botol-botol CO2, BCF dan sistem alarmnya.
11.	Lemari kontrol dan proteksi	Periksa pintu apakah sudah menutup dengan sempurna, bila perlu tutup kembali dan bersihkan bila kotor.
12.	Tekanan gas Nitrogen (untuk transformator tanpa konservator)	Periksa tekanan gas Nitrogen.

2.24.2 Jadwal Bulanan

Tabel 4.6 Jadwal bulanan pelaksanaan pemeliharaan transformator distribusi.

No	Peralatan/Komponen Yang Diperiksa	Cara Pelaksanaan
1.	Silicagel dan sistem pernapasan.	Periksa warna selicagel pada sistem pernapasan transformator apakah masih biru dan apakah mulut pernapasannya masih kerendam minyak.
2.	Lemari kontrol/proteksi dan box control serta Marshaling kios.	Periksa lemari kontrol/proteksi dan box control serta marshaling

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

		kios dari kotoran/bangkai binatang serta benda asing lainnya.
3.	Kerja OLTC	Periksa jumlah kerja OLTC apakah sudah melampaui jumlah kerja untuk penggantian minyaknya atau minyaknya sudah kotor.

2.24.3 Jadwal Tahunan

Tabel 4.7 Jadwal tahunan pelaksanaan pemeliharaan transformator distribusi.

No	Peralatan/Komponen Yang Diperiksa	Cara Pelaksanaan
1.	Bushing transformator.	Bersihkan porselin dengan air atau sakapen periksa dan keraskan bila terdapat mur baut yang kendur. Periksa paking/perapat, dan bila bocor diganti yang baru.
2.	Diafragma	Periksa diafragma apakah masih menutup sempurna/rapat, pada diafragma tipe tidak hancur (<i>non shattering type diapragma</i>), periksa tertutupoleh karat atau cat.
3.	Tahanan isolasi pentanahan dan pentanahan tanah	Periksa tahanan isolasi dengan <i>megger</i> antara belitan dan belitan ketanah serta tahanan tanahnya.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

		Apabila ada yang kendor kencangkan dan nilai tahanan tanah pentanahan berubah, kembalikan kenilainya.
4.	Ratio	Ukur ratio transformator apakah terjadi perubahan.
5.	Dielektrik minyak	Uji dielektrik minyak, apakah masih sesuai standar yang dipergunakan.
6.	Kadar asam minyak	Uji dielektrik minyak, apakah masih sesuai standar yang dipergunakan.
7.	Kadar air dalam minyak	Uji kadar air dalam minyak, apakah masih sesuai standar yang dipergunakan.
8.	Kadar viscositas minyak	Uji kadar viscositas minyak, apakah masih sesuai standar yang dipergunakan.
9.	Warna minyak	Uji warna minyak, apakah masih sesuai standar yang dipergunakan.
10.	Kandungan gas dalam minyak	Uji kandungan gas dalam minyak menggunakan DGA, apakah masih sesuai standar yang dipergunakan.
11.	Peralatan pengamanan transformator (Bucholz, Sudden Pressure, rele temperatur)	Bersihkan terminal dari debu. Periksa seal pada tempat masuk kabel <i>tripping</i> dan alarm bila rusak diganti.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

		<p>Bersihkan rongga tempat sambungan kabel dari <i>socket sudden pressure</i> dari bangkai binatang kecil dan periksa seal pada tempat masuk kable <i>tripping</i> dan alarm bila rusak diganti.</p> <p>Bersihkan dari debu dan kotoran lalu beri velt.</p>
12.	Roda gigi OLTC	<p>Periksa dan kencangkan serta bersihkan roda gigi dan beri pelumas.</p>
13.	Baut terminal, baut bushing, baut body, dan baut pentanahan,	<p>Periksa dan kencangkan bila terdapat baut-baut sambungan yang kendur, keraskan semua baut penghubung.</p>