

IEC STANDAR 60076 LABORATORIUM SEBAGAI STANDAR UJI TRAFODAYA TEGANGAN MENENGAH

Marsud Hamid

Jurusan Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar

Abstrak

Sebelum trafo dikeluarkan dari pabriknya atau sebelum digunakan sesuai fungsinya, maka perlu dilakukan uji kelayakan (*Quality Assurance* : QA). Klasifikasi standar pengujian yang diperlukan sebagai dasar acuan bagi pengujian transformator adalah *no load test*, *load losses test*, *dielektrik test*, *impulesed test*, *induces over-voltage test*, dan *short circuit test*. Dalam pengujian transformator, diperlukan suatu standar pengujian khususnya dalam desain laboratorium pengujian. Standar yang digunakan adalah IEC Standar 60076. Berdasarkan standar IEC 60076, maka laboratorium pengujian trafo daya tegangan menengah yang akan didesain terbatas pada empat jenis pengujian trafo daya. Keempat jenis pengujian trafo daya tersebut adalah *no-load losses test*, *load losses test*, *induced over-voltage test* dan *dielectric test*. Keempat fasilitas pengujian di atas akan diwujudkan menjadi tiga titik pengujian pada laboratorium pengujian yang akan didesain. Hal ini disebabkan jenis pengujian *no-load losses test* dan *load losses test* didesain pada satu saluran pengujian dan menggunakan satu titik pengujian yang sama. Saluran pengujian ini disebut dengan *No-load and load losses test*. Pengujian *induced over-voltage test* didesain dengan menggunakan dua titik uji, yakni satu titik uji yang sama dengan pengujian *no-load and load losses test* dan saluran pengujian yang satu lagi pada saluran pengujian yang menggunakan peralatan *AC Test System*. Sementara saluran pengujian *dielectric test* menggunakan peralatan *impulse Generator*.

Kata kunci: Transformator, *no-load losses test*, *load losses test*, *induced over-voltage test* dan *dielectric test*.

Transformator (trafo) daya adalah salah satu peralatan utama dalam penyaluran energi listrik yang berfungsi mengkonversikan tegangan. Trafo ini tentunya diharapkan dapat bekerja pada performa yang diinginkan. Karena apabila peralatan ini tidak bekerja dengan semestinya, maka penyaluran energi listrik menjadi terganggu dan bahkan dapat menyebabkan terhentinya pasokan listrik pada suatu jaringan listrik yang saling terinterkoneksi satu sama lain.

Sebelum trafo dapat digunakan pada sistem tenaga listrik, maka perlu dilakukan beberapa rangkaian pengujian pada trafo daya tersebut. Hal ini dimaksudkan agar trafo daya tersebut dapat bekerja sesuai dengan spesifikasinya pada berbagai kondisi di lapangan. Agar dapat memfasilitasi pengujian pada trafo, maka diperlukan desain suatu laboratorium pengujian trafo daya medium voltage, yang nantinya akan digunakan telah memenuhi uji kelayakan untuk dipergunakan di lapangan. Oleh sebab itu, dipandang perlu adanya suatu

laboratorium pengujian trafo daya, terutama untuk tegangan menengah yang dapat memfasilitasi beberapa jenis pengujian yang akan diterapkan pada trafo dengan standar pengujian dasar acuan IEC Standard 60076.

TRANSFORMATOR

Transformer atau trafo merupakan suatu peralatan yang dapat mengubah tenaga listrik dari suatu level tegangan ke level tegangan lainnya. Trafo biasanya terdiri atas dua bagian inti besi atau lebih yang dibungkus oleh belitan - belitan kawat tembaga. Prinsip perubahan level tegangan dilakukan dengan memanfaatkan banyaknya jumlah belitan pada inti trafo. Bila salah satu kumpulan belitan, biasanya disebut belitan primer, diberikan suatu tegangan yang berubah-ubah, maka akan menghasilkan *mutual flux* yang berubah-ubah dengan besar amplitude yang tergantung pada tegangan, frekuensi tegangan, dan jumlah lilitan kawat tembaga di

belitan primer. *Mutual flux* yang terjadi akan terhubung dengan belitan lain yang disebut sisi sekunder dan akan menginduksi suatu tegangan yang berubah-ubah di dalamnya dengan nilai tegangan yang bergantung pada jumlah lilitan pada belitan sekunder. Dengan mengatur perbandingan jumlah lilitan antara sisi primer dan sekunder, maka akan dapat ditentukan rasio tegangan ataupun sering disebut rasio trafo.

A. Trafo Tidak Berbeban

Gambar 1 menunjukkan suatu bentuk trafo dengan rangkaian pada sisi sekunder dalam keadaan terbuka ataupun tidak berbeban, dan pada bagian primernya diberikan tegangan berubah-ubah v_1 . Kemudian arus i_ϕ , yang biasa disebut sebagai arus eksitasi, akan mengalir pada sisi primer dan menghasilkan flux yang berubah-ubah secara magnetik. Flux tersebut menghasilkan gaya gerak listrik (emf) dengan persamaan sebagai berikut ini :

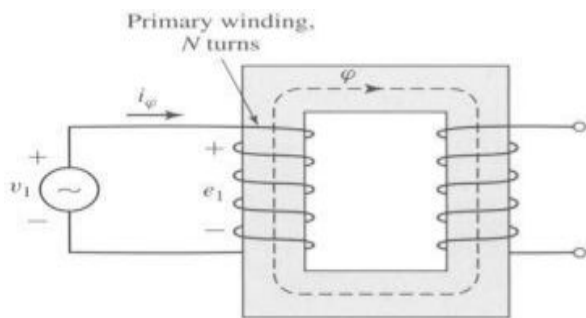
$$e_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = N_1 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

λ_1 = flux di sisi primer

ϕ = flux di inti trafo yang menghubungkan kedua belitan

N_1 = jumlah lilitan kawat di belitan primer



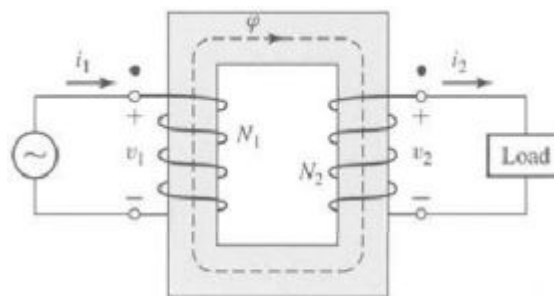
Gambar 1. Trafo dengan sisi sekunder hubungan terbuka

B. Trafo Terhubung Beban

Bila belitan lilitan kawat tembaga di sisi sekunder pada gambar 1 diatas dihubungkan dengan beban, maka akan terlihat seperti pada gambar 2.

N_1 adalah jumlah lilitan di sisi primer dan N_2 adalah jumlah lilitan di sisi sekunder. Belitan sisi sekunder terhubung ke beban dan diasumsikan bahwa arus yang keluar dari belitan sekunder adalah bernilai positif, maka

arus tersebut akan menghasilkan gaya gerak magnet yang berlawanan arah dengan yang dihasilkan oleh arus dari lilitan primer. Dengan menganggap resistansi belitan dapat diabaikan, maka akan dihasilkan flux yang terbatas pada inti trafo yang menghubungkan kedua inti belitan (flux bocor diasuksikan dapat diabaikan).



Gambar 2. Trafo ideal terhubung dengan beban

Dengan asumsi tersebut di atas, maka pada gambar 1 dapat dikatakan apabila tegangan yang berubah waktu v_1 diberikan pada belitan primer akan dihasilkan flux inti ϕ yang menghasilkan gaya gerak listrik e_1 yang sebanding dengan tegangan v_1 .

$$v_1 = e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2)$$

Flux pada inti juga terhubung ke bagian sekunder trafo sehingga menghasilkan induksi gaya gerak listrik emf e_2 sehingga belitan sekunder akan menghasilkan tegangan pada terminalnya dengan persamaan.

$$v_2 = e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan membandingkan persamaan (2) dan (3) maka dapat diperoleh,

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots(4)$$

Maka dapat dikatakan bahwa prinsip pengubahan tegangan pada trafo dilakukan dengan perbandingan antara jumlah belitan antara sisi primer dengan sisi sekundernya. Apabila suatu beban dihubungkan pada sisi sekunder trafo maka akan dihasilkan arus i_2 dengan mmf $N_2 i_2$. Dari persamaan (1) dan dengan mengasumsikan permeabilitas inti trafo yang sangat besar, maka penambahan beban pada sisi sekunder trafo tidak mempengaruhi flux inti trafo. Total eksitasi mmf pada inti trafo tidak akan berubah dan bahkan dapat diabaikan. Maka akan diperoleh

$$N_1 i_1 - N_2 i_2 = 0 \dots\dots\dots (5)$$

$$N_1 i_1 = N_2 i_2 \dots\dots\dots (6)$$

Dari kedua persamaan diatas dapat dituliskan persamaan (7) di bawah ini,

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots (7)$$

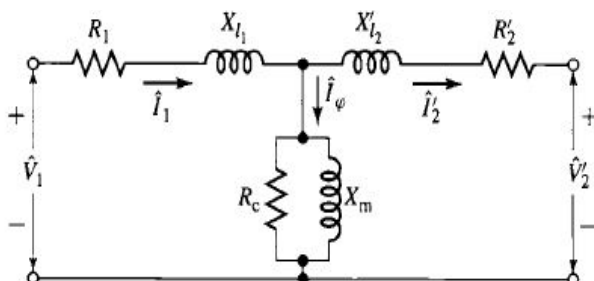
Perbandingan arus yang mengalir pada sisi primer dengan sisi sekunder adalah berbanding terbalik dengan perbandingan antara jumlah lilitan pada kedua belitan trafo. Dari persamaan (4) dan (7) dapat dituliskan persamaan berikut

$$v_1 i_1 = v_2 i_2 \dots\dots\dots (8)$$

Dari persamaan (8) dapat dikatakan bahwa suplai daya yang terjadi pada sisi primer trafo akan bernilai sama dengan yang disalurkan pada sisi sekundernya akibat dari tidak adanya disipasi daya dan rugi-rugi daya.

C. Rangkaian Pengganti Trafo

Pada umumnya, trafo yang digunakan di dunia ketenagalistrikan bukanlah trafo-trafo ideal, karena sangatlah sulit untuk memperoleh bahan pada inti dan belitan trafo yang dapat menghasilkan persamaan-persamaan sesuai dengan keadaan saat trafo pada keadaan ideal. Hal ini disebabkan oleh resistansi pada belitan, fluksi nyasar (rugi-rugi fluksi), dan permeabilitas inti trafo. Agar dapat memperoleh gambaran terhadap trafo yang digunakan, maka digunakanlah pemodelan trafo dengan cara membuat rangkaian pengganti pada trafo. Rangkaian pengganti trafo dapat dilihat seperti gambar di bawah ini.



Gambar 3. Rangkaian pengganti trafo

Pada umumnya, satuan – satuan yang ada pada rangkaian pengganti trafo sudah diinformasikan pada *nameplate* trafo saat trafo sudah melewati serangkaian pengujian pada laboratorium sehingga dapat digunakan di

lapangan. Namun, untuk dapat mengetahui parameter reaktansi dan induktansi tiap belitan pada trafo, dapat dilakukan dengan dua jenis pengujian, yakni uji hubung singkat dan uji *open-circuit*. Uji hubung singkat digunakan untuk mengetahui impedansi ekivalen dari kedua belitan (R_1+jX_1 dan R_2+jX_2), sedangkan uji *open-circuit* yang dilakukan dengan keadaan sisi sekunder terbuka, dilakukan untuk mengetahui rugi – rugi magnetik trafo (R_c dan X_m) yang dimodelkan secara paralel dengan kedua belitan pada trafo. Rugi – rugi magnetik ini disebabkan oleh inti trafo dan belitan trafo yang menghasilkan fluksi pada trafo.

Untuk keadaan *short circuit*, maka berlaku formula sebagai berikut ini untuk mengetahui parameter impedansi tiap belitan trafo.

$$Z_{SC} \approx R_1+jX_{l1}+R_2+jX_{l2}=R_{eq}+jX_{eq} \dots\dots\dots (9)$$

$$|Z_{eq}|=|Z_{SC}|=\frac{V_{SC}}{I_{SC}} \dots\dots\dots (10)$$

$$R_{eq}=R_{SC}=\frac{P_{SC}}{I_{SC}} \dots\dots\dots (11)$$

$$X_{eq}=X_{SC}=\sqrt{|Z_{SC}|^2 - R_{SC}^2} \dots\dots\dots (12)$$

Untuk saat keadaan *open-circuit*, maka digunakan formula berikut ini untuk mengetahui parameter R_c dan X_m .

$$Z_{OC} \approx R_{\phi}=\frac{R_c(jX)_m}{R_c+jX_m} \dots\dots\dots (13)$$

$$R_c = \frac{V_{oc}^2}{P_{oc}} \dots\dots\dots (14)$$

$$|Z_{\phi}|=\frac{V_{oc}}{Z_{oc}} \dots\dots\dots (15)$$

$$X_m = \frac{1}{\sqrt{(1/|Z_{\phi}|)^2 - (1/R_c)^2}} \dots\dots\dots (16)$$

D. Pengujian Trafo

Sebelum trafo dikeluarkan dari pabriknya untuk digunakan sesuai fungsinya, maka perlu dilakukan uji kelayakan (*Quality Assurance : QA*) dari trafo tersebut. Berikut ini merupakan klasifikasi standar pengujian yang diperlukan sebagai dasar acuan.

1. No Load Losses Test

Rugi-rugi tanpa beban (*no load losses*) merupakan rugi-rugi yang terkait dengan eksitasi trafo. *No load losses* yang diukur meliputi rugi-rugi : inti, dielektrik, konduktor pada lilitan yang terkait dengan arus eksitasi, dan rugi-rugi konduktor oleh arus sirkulasi pada belitan paralel.

Semua rugi-rugi tersebut diatas berubah terhadap tegangan eksitasi. Tujuan pengukuran rugi – rugi tanpa beban adalah untuk mengukur rugi-rugi saat belitan sekunder tidak terhubung sama sekali pada beban. Pengukuran ini dilakukan pada tegangan eksitasi tertentu dengan frekuensi tertentu. Penentuan *no – load losses* haruslah pada tegangan berbentuk sinusoidal, kecuali bentuk gelombang lainnya merupakan karakteristik kerja trafo. Metode pengukuran tegangan rata-rata dengan menggunakan voltmeter merupakan cara yang paling akurat untuk menentukan koreksi pengukuran *no load losses* yang terukur menjadi ke bentuk dasar yang sinusoidal. Metode ini merupakan metode yang direkomendasikan.

Metode pengukuran ini menggunakan dua voltmeter yang terhubung secara paralel, dimana salah satu voltmeter mengukur tegangan rata – rata (dengan nilai rms yang dikalibrasi) dan voltmeter lainnya mengukur tegangan rms. Hasil pengkuran dibuat sedemikian rupa sesuai dengan yang terbaca pada voltmeter yang mengukur tegangan rata-rata. Pembacaan dari kedua voltmeter digunakan untuk memperbaiki pengukuran *no load losses* ke bentuk gelombang sinusoidal. Formula yang digunakan untuk menentukan koreksi gelombang tegangan yang terbaca adalah sebagai berikut ini.

$$P_c(T_m) = \frac{P_m}{P_1 + kP_2} \dots\dots\dots (17)$$

Dimana:

T_m : temperatur inti trafo saat pengujian (°C)

$P_c(T_m)$: rugi – rugi tanpa beban, bentuk tegangan terkoreksi pada temperatur T_m

P_m : rugi – rugi tanpa beban yang terukur pada temperatur T_m

P_1 : rugi – rugi histeresis dalam per unit

P_2 : rugi – rugi eddy current dalam per unit

$$k = \left(\frac{E_r}{E_a} \right)^2 \dots\dots\dots (18)$$

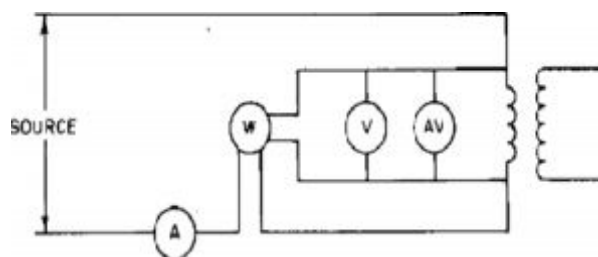
dimana

E_r : tegangan rms yang terukur oleh voltmeter

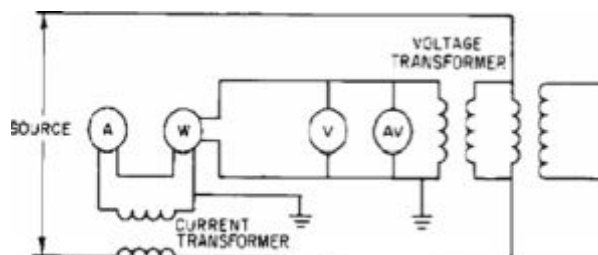
E_a : tegangan rata – rata yang terukur oleh voltmeter

2. Load Losses Test

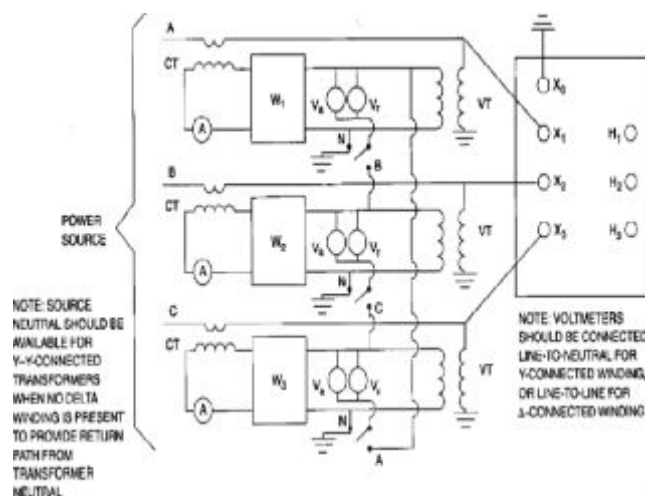
Rugi-rugi beban (*load losses*) merupakan rugi-rugi yang diakibatkan oleh beban pada trafo. Rugi-rugi ini mencakup I^2R pada belitan dan bus bar yang disebabkan oleh arus yang



Gambar 4. Diagram pengukuran untuk pengujian *no load losses* pada trafo satu fase tanpa terhubung pada instrumen trafo



Gambar 5. Diagram pengukuran untuk pengujian *no load losses* pada trafo satu fase dengan terhubung pada instrumen trafo



Gambar 6. Hubungan trafo tiga fase pada pengujian *no load losses* dan arus eksitasi dengan menggunakan metode tiga wattmeter

mengalir pada beban yang terhubung pada trafo, rugi-rugi lain yang diakibatkan oleh eddy current yang terinduksi oleh flux bocor pada belitan-belitan di trafo, apitan inti besi, *magnetic shield*, dinding penutup trafo, dan bagian-bagian *conducting* lainnya pada trafo.

Load losses diukur dengan mengaplikasikan hubung singkat pada terminal *high voltage* atau terminal *low-voltage* pada trafo

dan memberikan tegangan tertentu melalui terminal yang berlainan untuk menghasilkan arus yang mengalir pada belitan– belitan pada trafo. Rugi–rugi daya trafo pada kondisi ini dapat bernilai sama dengan rugi–rugi yang diakibatkan oleh kenaikan temperatur saat sejumlah arus beban mengalir melalui trafo. Untuk mendapatkan hasil pengujian yang akurat, maka ada beberapa hal yang harus diperhatikan sebagai berikut:

- a. Untuk dapat mengetahui suhu dari belitan– belitan pada trafo dengan tingkat akurasi tertentu, minimal ketiga kondisi dibawah ini harus dipenuhi:
 - (1) Suhu dari tiap belitan trafo harus dalam keadaan stabil,
 - (2) Suhu pada tiap belitan tarrafo harus diukur dengan cepat sesaat sebelum dan sesudah pengujian *load losses* dan tegangan impedansi beban. Rata–rata pengukuran diambil sebagai data untuk menentukan suhu yang sebenarnya,
 - (3) Perbedaan suhu antara sebelum dan sesudah pengujian tidak lebih dari 5° C pada tiap belitan.
- b. Konduktor yang digunakan untuk menghubungkan belitan *low-voltage* yang berarus tinggi harus memiliki luas yang sama atau lebih besar dari timah trafo.
- c. Frekuensi yang digunakan dari sumber pengujian untuk mengukur *load losses* dan tegangan impedansi beban harus ±0,5 % dari nilai nominal trafo.

Penghitungan nilai koreksi rugi – rugi akibat kenaikan temperatur saat uji *load losses* dan tegangan impedansi dari data yang diperoleh dilakukan dengan menggunakan formula di bawah ini.

$$P_s(T_m) = P(T_m) - P_r(T_m) \dots\dots\dots (19)$$

dimana:

- $P_s(T_m)$: *stray losses* (watt) pada suhu T_m
- $P(T_m)$: rugi – rugi beban trafo (*transformer load losses*) (watt) pada suhu T_m
- $P_r(T_m)$: rugi – rugi I^2R yang dihitung (watt) pada suhu T_m

Nilai komponen I^2R dari *load losses* akan mengalami kenaikan seiring dengan naiknya suhu. Nilai komponen *stray losses* akan berkurang terhadap kenaikan suhu. Oleh sebab itu, bila diinginkan untuk mengkonversi *load losses* dari satu titik suhu yang terukur saat pengujian, yakni T_m , ke titik temperatur T lain, kedua komponen

dari *load losses* harusnya mengalami koreksi secara terpisah.

Maka dapat ditulis

$$P_r(T) = P_r(T_m) \left(\frac{T_k+T}{T_k+T_m} \right) \dots\dots\dots (20)$$

$$P_s(T) = P_s(T_m) \left(\frac{T_k+T_m}{T_k+T} \right) \dots\dots\dots (21)$$

maka,

$$P(T) = P_r(T) + P_s(T) \dots\dots\dots (22)$$

dimana

- $P_r(T)$: rugi – rugi I^2R (watt) pada suhu T , °C
- $P_s(T)$: *stray losses* (watt) pada suhu T , °C
- $P(T)$: *load losses* pada trafo (watt) yang dikoreksi untuk temperatur T , °C
- T_k : bernilai 234,5 °C (tembaga)
- T_k : bernilai 225 °C (aluminium)

Catatan: untuk konduktor aluminium murni digunakan nilai T_k 225 °C, dan 240 °C untuk aluminium campuran. Bila tembaga dan aluminium digunakan pada belitan – belitan trafo yang sama, maka dipilih nilai T_k sebesar 229 °C.

3. Dielectric Test

Tujuan pengujian dielektrik pada trafo adalah untuk mengetahui bahwa trafo telah didesain sehingga dapat bertahan terhadap tegangan lebih yang tidak tepat pada trafo berkaitan pada level kemampuan isolasi trafo. Suhu trafo selama uji dielektrik haruslah berada diantara 10 °C – 40 °C. Pengujian dielektrik dapat dilakukan pada kondisi *low-frequency dielectric test*. Pengujian ini dilakukan dengan beberapa acuan seperti yang tertera pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Pada saat dilakukan pengujian, maka dilakukan *ground connection* dan diberikan tegangan pada frekuensi normal , misalnya 50 Hz, selama satu menit atau kurang pada trafo yang diuji. Tegangan awal yang diberikan adalah ¼ gelombang penuh atau kurang dan dinaikkan secara berangsur–angsur hingga mencapai satu gelombang penuh dengan jangka waktu tidak lebih dari 15 detik. Setelah hal ini dilakukan, maka tegangan dikurangi secara berangsur–angsur tidak lebih dari lima detik hingga mencapai ¼ dari nilai maksimum atau dibawah ¼ dari nilai maksimum, lalu setelah itu sirkit dalam keadaan terbuka.

Tabel 1. Hubungan antara tegangan nominal sistem dengan BIL untuk sistem pada 34,5 kV hingga lebih kecil dari 34,5 kV

BIL (kV)	Low-frequency voltage insulation level (kV rms)	Impulse Level		
		Full wave 1,25x50µs (kV) crest	Chopped wave	
			kV crest	Minimum time to flashover (µs)
10	4	10	10	1.0
20	10	20	20	1.0
30	12	30	30	1.0
45	19	45	45	1.25
60	31	60	60	1.5
95	34	95	95	1.6
110	37	110	110	1.8
125	40	125	125	2.0
150	50	150	150	2.25
200	34	200	200	2.70

Tabel 2. Hubungan antara tingkatan isolasi dielektrik pada trafo kering Dengan tingkat BIL 200 kV dan dibawahnya

Nominal System Voltage (kV)	BILsin common use (kV crest)									
	10	20	30	45	60	95	110	125	150	200
1.2	S	1	1							
2.5		S	1	1						
5.0			S	1	1					
8.7				S	1	1				
15.0					S	1	1			
25.0							2	S	1	1
34.5								2	S	1

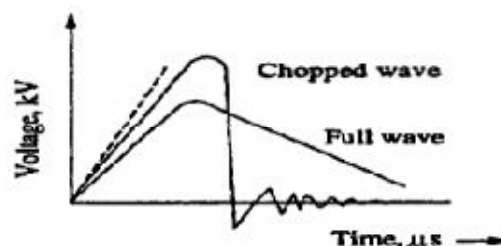
NOTES:
S = Standar value
1 = Optional higher level where exposure to overvoltage occurs and improve protective margin are required
2 = Lower levels where protective of applied surge arresters have been evaluated and found to provide appropriate sure protection

4. Impulse Test

Impulse test merupakan bagian dari pengujian dielectric test. Sebelum pengujian dielectric test dilakukan, maka uji impulse test dapat terlebih dahulu dilakukan. Bila kedua urutan pengujian ini dilakukan di lapangan, maka tegangan uji yang dilakukan tidak boleh melebihi 75% dari nilai nominal tegangan trafo. Apabila pengujian yang dilakukan dengan rutin pada rentang waktu – waktu tertentu, maka

direkomendasikan agar tegangan uji yang diberikan tidak lebih dari 65% dari nilai pengujian yang dilakukan pada saat fabrikasi. Batasan BIL yang digunakan adalah seperti yang tertera pada Tabel 2. Uji impuls dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari isolasi trafo saat diberikan tegangan transien akibat sambaran petir dan tegangan tinggi lainnya. Impuls yang terjadi pada trafo berlangsung dalam waktu yang sangat singkat sehingga distribusi tegangan pada tiap belitan trafo menjadi tidak merata. Uji impuls dilakukan dengan urutan sebagai berikut ini :

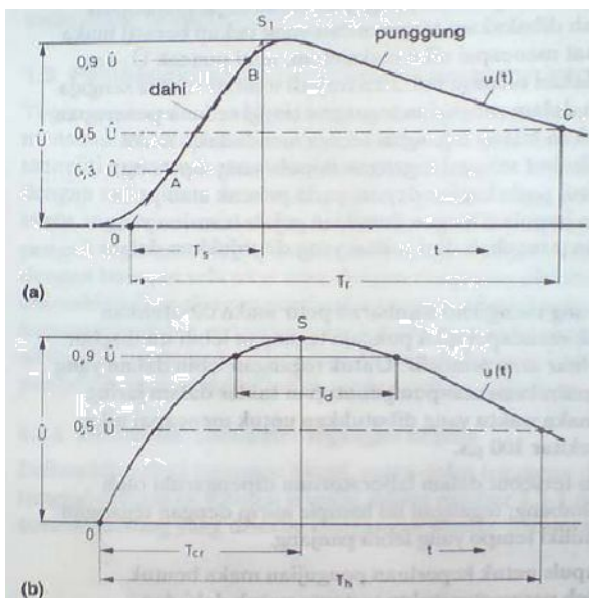
- Reduced full – wave test* ; pada pengujian ini, gelombang tegangan yang diberikan akan bernilai 50% - 70% dari nilai gelombang penuh yang dibutuhkan.
- Chopped-wave test* ; nilai puncak dari gelombang tegangan yang diberikan pada pengujian ini harus sesuai dengan kondisi yang disebutkan pada Tabel 3. Tegangan yang diberikan sebaiknya dipotong (*chopped*) pada kondisi celah udara yang sesuai. Celah udara sebaiknya diletakkan sedekat mungkin dengan terminal-terminal trafo, dan nilai impedansi sebaiknya dibatasi pada nilai yang sesuai dengan celah udara.
- Full – wave test* ; nilai puncak dari gelombang tegangan yang diberikan pada pengujian ini harus sesuai dengan kondisi yang disebutkan pada Tabel 3, dan tidak terjadi *flashover* pada bagian yang terisolasi atau uji celah udara akan terjadi. Selama uji ini berlangsung, tingkat tegangan diberikan batas toleransi ±3% dari nilai BIL yang dipilih. Toleransi terhadap waktu puncak gelombang sebaiknya ±30% dan waktu dahi gelombang sebaiknya diberi toleransi sebesar ±20%.



Gambar 7. Chopped wave dan full wave

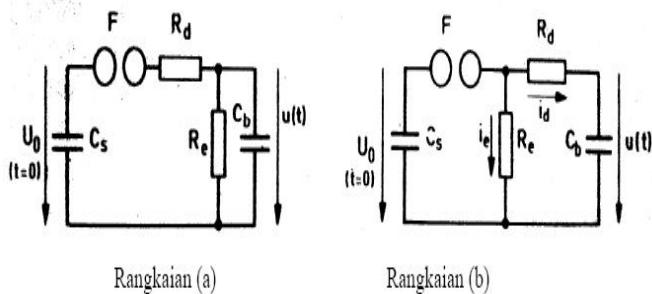
Tegangan tinggi impuls umumnya terbagi menjadi dua, yaitu tegangan tinggi impuls petir dan tegangan tinggi surja hubung^[7]. Tegangan impuls simulasi petir memiliki bentuk 1,2/50 yang berarti waktu dahi $T_1 = 1,2 \mu s$ dan waktu setengah punggung $T_2 = 50 \mu s$. Tegangan impuls surja

hubung memiliki bentuk 250/2500 yang berarti waktu mencapai puncak $T_{cr} = 250 \mu s$ dan waktu setengah punggung $T_2 = 2500 \mu s$. Waktu puncak T_d yaitu lama waktu dimana tegangan memiliki tinggi sebesar 0,9 kali tegangan puncak.



Gambar 8. (a) Bentuk tegangan impuls surja petir 1,2/50 dan (b) surja hubung 500/2500

Tegangan impuls dapat dibangkitkan dengan membuat sirkuit yang dapat menghasilkan tegangan impuls tersebut, seperti yang terlihat pada gambar 8.



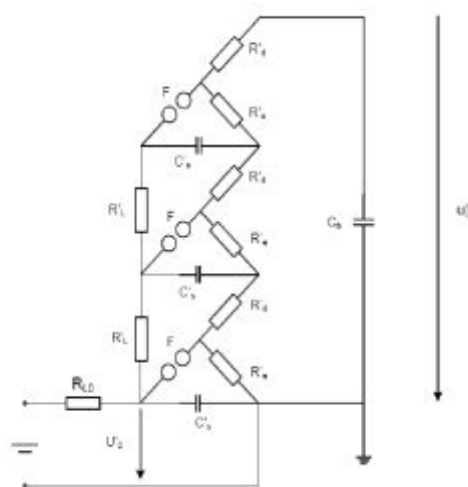
Gambar 9. Contoh rangkaian penghasil tegangan impuls satu tingkat

Sebagai cara kerjanya, dapat diambil contoh gambar 8 (b). Cara kerja sirkuit tersebut adalah sebagai berikut ini^[7]:

1. Kondensator impuls C_b diisi muatan dengan tegangan tinggi searah sampai dicapai tegangan U_0 .
2. Dengan penyalan sela percik F, terjadi peluahan muatan yang mengisi kapasitor beban C_b .

3. C_b kemudian melepas muatan ke tahanan pelepas R_d dan R_e . Tegangan impuls diperoleh dari terminal kondensator beban C_b .

Untuk waktu dahi T_1 yang singkat, maka pengisian muatan C_b harus secepat mungkin besarnya secara pendekatan adalah $R_d C_b$. Waktu punggung T_2 yang lama ditentukan oleh tahanan pelepas R_e yang jauh lebih besar dibanding tahanan peredam R_d . Jenis rangkaian yang dapat membangkitkan tegangan impuls multitingkat adalah rangkaian Kaskade Marx.



Gambar 10. Rangkaian generator impuls Kaskade Marx

Prinsip kerja generator impuls Marx hampir sama dengan generator impuls satu tingkat sebagai berikut^[7]:

1. Pengisian muatan pada kondensator impuls C'_s melalui tahanan ohmik tinggi R'_L , sampai dicapai tegangan pemuat setiap tingkat sebesar U'_0 .
2. Pada saat penyalan semua sela percik, maka kondensator-kondensator C'_s terhubung secara seri dan terjadi peluahan muatan ke kondensator beban C'_b melalui tahanan peredam R'_d .
3. Selanjutnya peluahan muatan dari semua kondensator akan melalui tahanan pelepas R'_e dan juga R'_d .

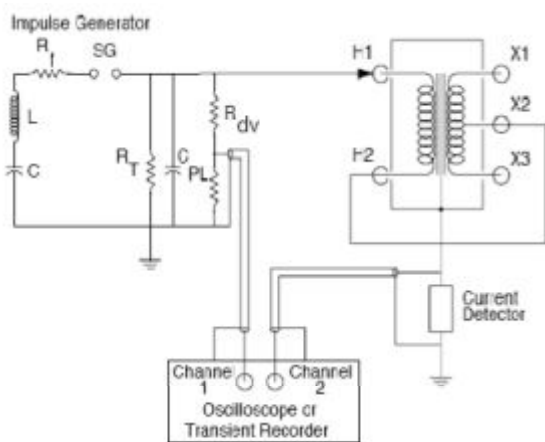
Rangkaian kaskade Marx n-tingkat dapat dibuat rangkaian pengganti satu tingkatnya seperti pada Gambar 2.8(b) dengan besaran-besarnya menjadi :

$$U_0 = nU'_0$$

$$R_d = nR'_d$$

$$C_s = 1/n C'_s$$

$$R_e = n R'_e$$



Gambar 11. Tipe hubungan trafo pada routine impulse test

5. Induced-Overvoltage Test

Pada bagian pengujian ini, trafo diuji pada keadaan tegangan berlebih dari sumber AC berfrekuensi tinggi, berkisar antara 100 – 400 Hz, di bagian sekunder trafo dengan tingkat tegangan dua kali dari nilai nominal trafo. Pengujian ini dapat mengurangi saturasi inti trafo dan juga dapat membatasi arus beban seperlunya pada trafo daya berkapasitas besar. Kekuatan isolasi juga turut menjadi bagian yang diuji.

6. Short Circuit Test

Pengujian hubung singkat (*short circuit*) dilakukan pada trafo untuk dapat mengetahui kemampuan trafo terhadap tekanan elektrik dan mekanik yang disebabkan oleh hubung singkat pada bagian beban. Hubung singkat yang dimaksud dapat meliputi hubung singkat satu fase ke tanah, fase - fase, tiga fase, dan *double* fase ke tanah. Kejadian hubung singkat dapat membentuk arus simetri dan arus asimetri pada trafo.

a. Arus simetri (*symmetrical current*)

Formula yang digunakan untuk menghitung arus hubung singkat (I_{SC} , dalam ampere rms) adalah :

$$I_{SC} = \frac{I_R}{Z_T + Z_S} \dots\dots\dots (23)$$

Dimana:

- I_R : arus nominal pada trafo (per unit)
- Z_T : impedansi trafo pada keadaan I_R (per unit)
- Z_S : impedansi sistem sebagai beban yang terhubung ke trafo (per unit)

sehingga arus simetri hubung singkat yang terjadi dengan besar beberapa kali dari arus normalnya adalah

$$I = \frac{I_{SC}}{I_R} \dots\dots\dots (24)$$

b. Arus asimetri (*asymmetrical current*)

Trafo didesain untuk dapat bertahan terhadap arus asimetri yang mencapai puncaknya di awal *cycle* saat arus tersebut mengalir di trafo. Arus asimetri, I_{SC} (pk asymm) dapat diketahui dengan formula berikut :

$$I_{SC(pk\ asymm)} = KI_{SC} \dots\dots\dots (25)$$

Dimana,

$$K = \left\{ 1 + \left[e^{-\left(\phi + \frac{\pi}{2}\right)\frac{r}{x}} \right] \sin \phi \right\} \sqrt{2}$$

- ϕ : arc tan (x/r) (dalam radian)
- e : bilangan logaritma alami

Nilai x/r merupakan rasio antara reaktansi efektif rangkaian bolak-balik AC terhadap resistansi rangkaian bolak-balik AC. Nilai ini merupakan total impedansi yang membatasi arus *fault* pada koneksi trafo saat terjadi arus hubung singkat. Bila impedansi sistem yang terhubung pada trafo dimasukkan pada perhitungan, maka nilainya diasumsikan sama dengan nilai x/r pada trafo bila tidak diberikan nilai yang spesifik. Nilai pendekatan untuk besaran K dapat dilihat pada tabel 3.

DIAGRAM SATU GARIS DAN SPESIFIKASI PERALATAN LABORATORIUM PENGUJIAN

1. Objek Uji

Laboratorium pengujian trafo daya yang didesain akan diterapkan pada pengujian trafo daya tegangan menengah. Batasan spesifikasi trafo daya yang akan diuji adalah seperti yang tertera pada tabel 4.

2. Standar yang Digunakan

Standard acuan yang digunakan dalam mendesain laboratorium pengujian trafo daya ini adalah Standard IEC 70076. Standard tersebut dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 3 Nilai k untuk perhitungan arus asimetri

r/x	x/r	K
0,001	1000	2,824
0,002	500	2,82
0,003	333	2,815
0,004	250	2,811
0,005	200	2,806
0,006	167	2,802
0,007	143	2,798
0,008	125	2,793
0,009	111	2,789
0,01	100	2,785
0,02	50	2,743
0,03	33,3	2,702
0,04	25	2,662
0,05	20	2,624
0,06	16,7	2,588
0,07	14,3	2,522
0,08	12,5	2,518
0,09	11,1	2,484
0,1	10	2,452
0,2	5	2,184
0,3	3,33	1,99
0,4	2,5	1,849
0,5	2	1,746
0,6	1,67	1,669
0,7	1,43	1,611
0,8	1,25	1,568
0,9	1,11	1,534
1	1	1,509

Tabel 4 Spesifikasi trafo daya yang akan diuji

No	Data	Satuan	Nilai Maks	Nilai Min
1	Rated Power	MVA	3,5	24
2	High Voltage (U_m)	kV	11	72,5
3	Low Voltage (U_m)	kV	0,4	22
4	Short Circuit Impedance	%	4,5	13,2
5	BIL Level	kV	30	325

Berdasarkan standard IEC 60076, maka laboratorium pengujian trafo daya tegangan menengah yang akan didesain terbatas pada empat jenis pengujian trafo daya. Keempat jenis pengujian trafo daya tersebut adalah sebagai berikut ini :

1. *No-load losses test*
2. *Load losses test*

3. *Induced over-voltage test*

4. *Dielectric test*

Keempat fasilitas pengujian di atas akan diwujudkan menjadi tiga titik pengujian pada laboratorium pengujian yang akan didesain. Hal ini disebabkan jenis pengujian *no-load losses test* dan *load losses test* didesain pada satu saluran pengujian dan menggunakan satu titik pengujian yang sama. Saluran pengujian ini disebut dengan *No-load and load losses test*. Pengujian *induced over-voltage test* didesain dengan menggunakan dua titik uji, yakni satu titik uji yang sama dengan pengujian *no-load and load losses test* dan saluran pengujian yang satu lagi pada saluran pengujian yang menggunakan peralatan *AC Test System*. Sementara saluran pengujian *dielectric test* menggunakan peralatan *Impulse Generator*.

3. Diagram Satu Garis

Berdasarkan tabel 6 dapat ditentukan *main equipment* yang diperlukan dalam merancang laboratorium pengujian trafo daya. Peralatan-peralatan utama (*main equipments*) yang dibutuhkan pada desain keseluruhan laboratorium pengujian trafo daya tegangan menengah ini adalah sebagai berikut:

Tabel 6 Spesifikasi peralatan *power transformer*

Equipment	Quantity	Code
Variable trafo, 3 Φ , 1500 kVA, 20kV / 20-1273 V	1	VR-1
1000 kVA, 3 Φ , 20 kV / 400V	1	TR-1
Three Winding Transformer: <i>Primer</i> 1500 kV, 1273 V; <i>Sekunder</i> : 6300 kVA, 1273 V, 2 kV, 3 kV, 4 kV, 6 kV, 8 kV, 10 kV, 12.2 kV, 14 kV, 24.3 kV; <i>Tertier</i> : 4800 kVA, 5.8 kV, 8 kV, 10 kV	1	TR-2
500 kVA, 3 Φ , 380V/1kV, Δ 20.8 kV, Y 36 kV	1	TR-3

Tabel 7 Spesifikasi peralatan *capacitor bank*

Equipment	Quantity	Code
4.8 MVAR, (1.2 MVAR / Bank), 3 Φ , 10 kV (Y) or 5.8 kV (Δ)	1	C

Tabel 8 Spesifikasi peralatan M-G Set

Equipment	Quantity	Code
250 kVA, 3Φ, 380 V, 0-200 Hz	1	MG

Tabel 9 Spesifikasi peralatan pemutus

Equipment	Quantity	Code
LBS 24 KV, 200 A, 12.5 KA, Motorized with FUSE 63A, 22.4 KA, 24 KV	2	D1, D2
CB 36 KV, 1250 A, 12.5 KA, Motorized	1	D3
CB 36 KV, 400 A, 12.5 KA, Motorized	1	D4
MCB 400 V, 630 A, 18 KA, 3Φ	1	D5
MCB 400 V, 630 A, 18 KA, 1Φ	1	D6
MCB 400 V, 80 A, 18 KA, 1Φ	1	D7
Isolating switch 12 kV, 200 A, 12.5 kA	4	S1, S2, S3, S4

Tabel 10 Spesifikasi peralatan CT/PT

Equipment	Quantity	Code
CT 800 / 5 A, CLASS 0.5, 30 VA, 1500 V	1	CT-1
CT 5 A, 10 A, 20 A, 50 A, 100 A, 500 A, 1000 A, 1500 A / 5A, CLASS 0.1, 30 VA, 50 KV	1	CT-2
PT 1200 V / 100 V, CLASS, 0.5, 20 VA	1	PT-1
PT 0.5KV, 1 KV, 2.5KV, 10KV, 20KV, 50KV / 100 V, CLASS 0.1, 20 VA	1	PT-2

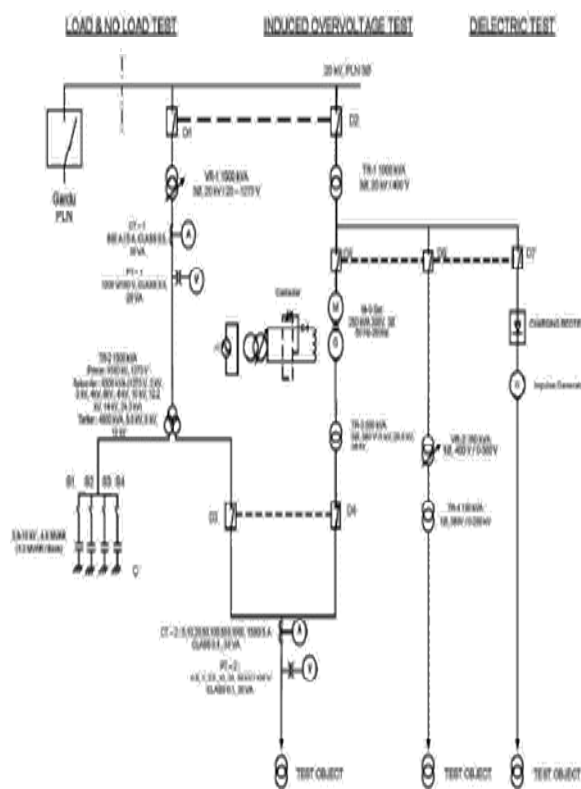
Tabel 11 Spesifikasi peralatan AC Test System (Equipments Quantity Code)

Equipment	Quantity	Code
HV Test Transformer, 200 kV, 150 kVA, 1φ 400 V / 0 – 380 V	1 set	TR-4
Regulating Transformer 150 kVA, 1φ Voltage Divider 380 / 0 - 200 kV Control unit		VR-2

Tabel 12 Impulse Test System (Equipments Quantity)

Equipment	Quantity
Impulse Generator, 1400 kV, 100 kV per-stage, 42 kJ	1 set
Capacitive Impulse Voltage Divider, 1200 kV	
Charging Rectifier, 100 kV DC	

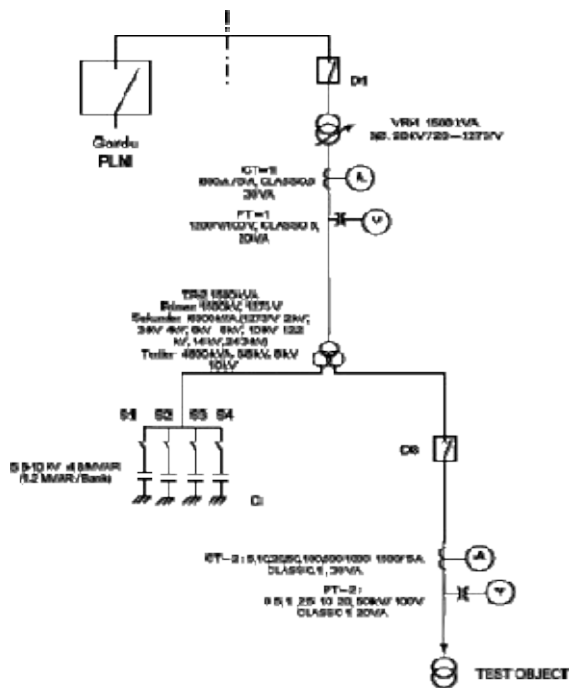
Dari keseluruhan peralatan yang telah dipilih di atas dapat dibuat desain diagram satu garis (*one-line diagram*) laboratorium pengujian trafo daya secara keseluruhan. Sistem kelistrikan pada laboratorium pengujian trafo daya ini disuplai dari saluran 3Φ PLN 20 kV. Desain gambar *one-line diagram* laboratorium pengujian trafo daya dapat dilihat seperti pada gambar 12 dibawah ini. Pengoperasian ketiga titik saluran pengujian pada laboratorium pengujian trafo daya ini tidak dapat dilakukan secara bersamaan. Misalnya, apabila saluran pengujian trafo *no-load and load losses test* sedang beroperasi, maka saluran uji trafo yang lainnya dalam keadaan off.



Gambar 12 SLD desain *one line diagram* laboratorium pengujian trafo daya

4. LOAD AND NO LOAD LOSSES TEST

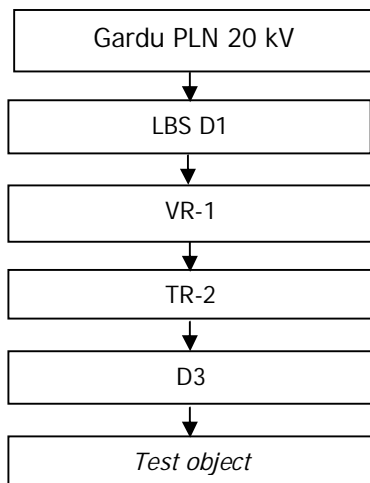
Jika dilihat dari desain diagram satu garis laboratorium pengujian trafo daya pada gambar 12, maka dapat ditampilkan gambar *one-line diagram* untuk objek pengujian *load and no load test* seperti berikut ini.



Gambar 13. Diagram satu garis pengujian *load and no load losses test*

1. Urutan Saluran Uji

Saluran pengujian *load and no load test* disuplai dari jaringan PLN tiga fase 20 kV. Urutan saluran pengujian ini adalah sebagai berikut ini :

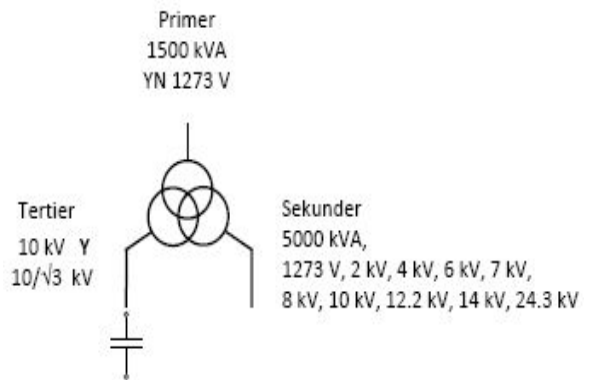


Gambar 14. Urutan saluran pengujian

2. Spesifikasi Peralatan

Berdasarkan gambar 13 di atas, dapat dijabarkan spesifikasi peralatan yang digunakan sebagai berikut :

- D1: LBS 24 kV, 200 A, 12.5 kA, Motorized FUSE 63 A, 22.4 kA, 24 kV
- D3: CB 36 kV, 1250 A, 12.5 kA, Motorized
- CT-1: 800 / 5 A, CLASS 0.5, 30 VA, 1500 V
- PT-1 : 1200 V / 100 V, CLASS 0.5, 20 VA
- CT-2: 5A, 10A, 20A, 50A, 100A, 500A, 1000 A, 1500 A / 5 A, CLASS 0.1, 30 VA, 50 kV
- PT-2 : 0.5KV, 1KV, 2.5KV, 10KV, 20kV, 50kV / 100 V, CLASS 0.1, 20 VA
- VR-1: Variable trafo, 3φ, 1500 kVA, 20kV / 20-1273V
- TR-2 : *Three Winding Transformer*
- Primer : 1500 kVA, YN connection, 1273 V
- Sekunder : 6300 kVA, 1273 V, 2 kV, 3 kV, 4 kV, 6 kV, 8 kV, 10 kV, 12 kV, 14 kV, 24.3 kV
- Tertier : 4800 kVA, 5.8 kV, 8 kV, 10 kV



Gambar 15. Trafo tiga fase TR-2

Capacitor bank

- C total : 4.8 MVAR (1.2 MVAR / Bank), 3φ, 10 kV (Y) or 5.8 kV(Δ)
- S1 : Isolating switch 12 kV, 200 A, 12.5 kA
- S2 : Isolating switch 12 kV, 200 A, 12.5 kA
- S3: Isolating switch 12 kV, 200 A, 12.5 kA
- S4 : Isolating switch 12 kV, 200 A, 12.5 kA

3. Perhitungan Penggunaan Kapasitor

Ada tiga cara perhitungan yang dapat diterapkan untuk menentukan kapasitas kapasitor yang digunakan dan daya kVAR yang dibutuhkan dari *capacitor bank*. Perhitungan tersebut dijelaskan sebagai berikut ini,

a. Perhitungan dengan asumsi nilai kVAR sama dengan nilai kVA yang dibutuhkan objek uji

1) Data trafo objek uji

- Kapasitas : 25 MVA
- Tegangan primer : 20 kV
- Impedansi : 13.75%

Tipe : ONAF
 Losses : 223 kW (No Load loss : 13 kW,
 Load loss : 210 kW).

2) Perhitungan

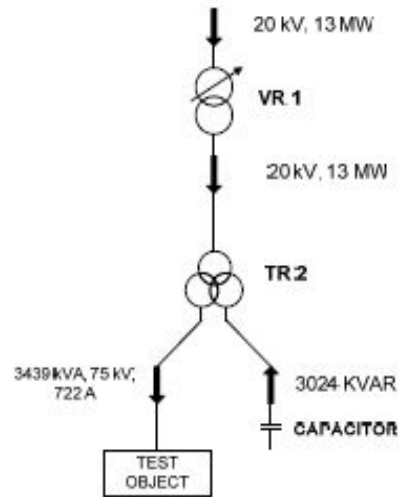
Ucc di sisi sekunder TR2
 $= 20 \text{ kV} \times 13.75\% = 2.75 \text{ kV}$
 Arus di sisi sekunder TR2
 $= 25 \text{ MVA} / (1.732 \times 20 \text{ kV}) = 722 \text{ A}$
 KVA yang dibutuhkan
 $= 1.732 \times 2.75 \text{ kV} \times 722 = 3439 \text{ kVA}$
 Power Factor
 $= 223 \text{ kW} / 3439 \text{ kVA}$
 $= 0.0648 (< 0.1)$

Karena *power factor* sangat kecil (mendekati nilai nol), maka dapat diasumsikan bahwa kVAR sama dengan kVA. Beban di VR1 (tanpa menggunakan kapasitor) = $3439/1500 \times 100\% = 229\%$. Karena beban di VR 1 lebih besar dari 100%, maka kapasitor harus digunakan.

3) Perhitungan apabila digunakan kapasitor

Asumsi *tapping* di sisi sekunder TR-2
 $= 3 \text{ KV}$ (karena Ucc 2.75 KV)
 Tapping tegangan di sisi tersier TR-2-
 $= 5.8 \text{ KV}$
 Rasio untuk sisi sekunder (S/P)
 $= 3 / 1.273 = 2.357$
 Rasio untuk sisi tersier (T/P)
 $= 5.8/1.273 = 4.556$
 Tegangan aktual di sisi primer
 $= 2.75 \text{ kV} / 2.357 = 1167 \text{ volt}$
 Tegangan aktual di sisi tersier (capacitor)
 $= 1167 \text{ volt} \times 4.556 = 5.316 \text{ kV}$
 Kompensasi penggunaan daya kapasitor
 $= 3600 \text{ KVAR}$ (dapat diatur dengan tingkatan 1200 kVAR, total 4800 kVAR).
 Rating tegangan kapasitor
 $= 5.8 \text{ kV}$
 Daya yang digunakan saat pengujian
 $= 3600 \times \left(\frac{5.316}{5.8}\right)^2 = 3024 \text{ kVAR}$
 (Nilai ini merupakan daya aktual yang disuplai oleh kapasitor pada objek uji).
 Arus kapasitif yang disuplai oleh kapasitor :
 $\left(\frac{3024 \text{ kVAR}}{1.732 \times 5.316}\right) = 328 \text{ A}$
 Daya yang disuplai oleh VR-1
 $= 3439 - 3024 = 415 \text{ kVA}$
 Arus yang disuplai oleh VR-1
 $= \left(\frac{415 \text{ kVA}}{1.732 \times 11.67}\right) = 205$

Arus yang digunakan oleh sisi primer trafo VR-1
 $= 205 \times 1.273 \text{ kV} / 20 \text{ kV} = 13 \text{ A}$



Gambar 16. Skema aliran daya pada trafo TR-2 dengan asumsi nilai kVAR yang dibutuhkan objek uji sama dengan nilai kVA yang dibutuhkan objek uji

b. Perhitungan dengan asumsi trafo VR-1 dan TR-1 adalah ideal (tanpa rugi-rugi)

1) Data trafo objek uji

Kapasitas : 25 MVA
 Tegangan primer : 20 kV
 Impedansi : 13.75%,
 Tipe : ONAF
 Losses : 223 kW
 (No Load loss : 13 kW
 Load loss : 210 kW)

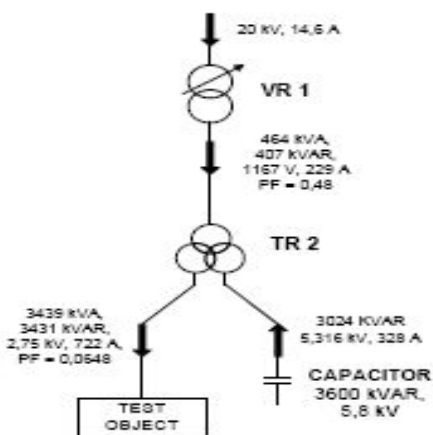
2) Perhitungan

Ucc di sisi sekunder TR2:
 $= 20 \text{ kV} \times 13.75\% = 2.75 \text{ kV}$
 Arus di sisi sekunder TR2:
 $= 25 \text{ MVA} / (1.732 \times 20 \text{ kV}) = 722 \text{ A}$
 KVA yang dibutuhkan = $1.732 \times 2.75 \text{ kV} \times 722 = 3439 \text{ KVA}$
 Power Factor:
 $= 223 \text{ kW} / 3439 \text{ kVA} = 0.0648 (< 0.1)$
 kVAR yang dibutuhkan :
 $= \sqrt{(3439)^2 - (223)^2} = 3431 \text{ kVAR}$

Karena *power factor* sangat kecil (mendekati nilai nol), maka nilai kVAR yang dibutuhkan sangat mendekati nilai kVA yang dibutuhkan. Beban di VR1 (tanpa menggunakan capacitor) = $3439/1500 \times 100\% = 229\%$. Karena beban di VR 1 lebih besar dari 100%, maka kapasitor harus digunakan.

3) Perhitungan bila digunakan kapasitor

Asumsi *tapping* di sisi sekunder TR-2
 = 3 kV (karena Ucc 2.75 KV)
 Tapping tegangan di sisi tersier TR-2
 = 5,8 kV
 Rasio untuk sisi sekunder (S/P)
 = 3 / 1.273 = 2,357
 Rasio untuk sisi tersier (T/P)
 = 5,8/1,273 = 4,556
 Tegangan aktual di sisi primer
 = 2,75 kV / 2.357 = 1167 volt
 Tegangan aktual di sisi tersier (kapasitor)
 = 1167 volt x 4.556 = 5,316 kV
 Kompensasi penggunaan daya kapasitor
 = 3600 KVAR (dapat diatur dengan tingkat 1200 kVAR, total 4800 kVAR).
 Rating tegangan kapasitor
 = 5,8 kV
 Daya yang digunakan saat pengujian
 $= 3600 \times \left(\frac{5,316}{5,8}\right)^2 = 3024 \text{ kVAR}$
 (Nilai ini merupakan daya aktual yang disuplai oleh kapasitor pada objek uji).
 Arus kapasitif yang disuplai oleh kapasitor
 $= \left(\frac{3024 \text{ kVAR}}{1,732 \times 5,316}\right) = 328$
 kVAR yang disuplai oleh VR-1
 = 3431 - 3024 = 407 kVAR
 kVA yang disuplai oleh VR-1
 $= \sqrt{(223)^2 + (407)^2} = 464 \text{ kVA}$
 Arus yang disuplai oleh VR-1
 $= \left(\frac{464 \text{ kVAR}}{1,732 \times 1167 \text{ V}}\right) = 229 \text{ A}$
 Arus yang digunakan oleh sisi primer trafo VR-1
 $= \left(\frac{229 \text{ A} \times 1,273 \text{ kV}}{20 \text{ kV}}\right) = 14,6 \text{ A}$



Gambar 17. Skema aliran daya pada trafo TR-2 dengan asumsi VR-1 dan TR-1 adalah trafo – trafo ideal

4) Perhitungan dengan *loss factor* akibat kenaikan suhu

a) Data trafo yang diuji

Kapasitas : 18 MVA
 Tegangan primer : 52,5 kV
 Impedansi : 13.2 %
Loss factor : 1,2

b) Perhitungan

Ucc di sisi sekunder TR-2
 = 52,5 kV x 13,2% x 1,2 = 8,316 kV
 Arus di sisi sekunder trafo TR-2
 $= \frac{18 \text{ MVA}}{1,732 \times 52,5 \text{ kV}} \times 1,2 = 273,5 \text{ A}$

KVA yang dibutuhkan objek uji

$$= 1.732 \times 52,5 \text{ kV} \times 1,2 = 3421 \text{ KVA}$$

Beban di VR1 (tanpa menggunakan kapasitor) = 3421/1500 x 100 % = 228%. Karena beban di VR 1 lebih besar dari 100%, maka kapasitor harus digunakan.

c) Perhitungan bila kapasitor digunakan

Asumsi *tapping* di sisi sekunder TR-2
 = 10 kV (karena Ucc 8,316 kV)
 Tapping tegangan di sisi tersier TR-2
 = 5,8 kV

Rasio untuk sisi sekunder (S/P)
 = 10 / 1.273 = 7,855

Rasio untuk sisi tersier (T/P)
 = 5,8/1,273 = 4,556

Tegangan aktual di sisi primer
 = 8,316 kV / 7,855 = 1059 volt

Tegangan aktual di sisi tersier (kapasitor)
 = 1059 volt x 4.556 = 4,823 kV

Kompensasi penggunaan daya kapasitor = 3600 kVAR (dapat diatur dengan tingkatan 1200 kVAR, total 4800 kVAR).

Rating tegangan kapasitor
 = 5,8 kV

Daya yang digunakan saat pengujian
 $= 3600 \text{ kVAR} \times \left(\frac{4,823}{5,8}\right)^2 = 2489$

kVAR (Nilai ini merupakan daya aktual yang disuplai oleh kapasitor pada objek uji).

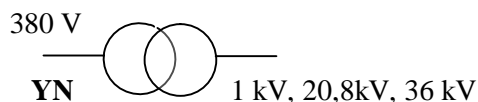
Arus kapasitif yang disuplai oleh kapasitor :
 $\left(\frac{2489 \text{ kVAR}}{1,732 \times 1059}\right) = 298 \text{ A}$

kVA yang disuplai oleh VR-1:
 = 3421-2489 = 932 KVA

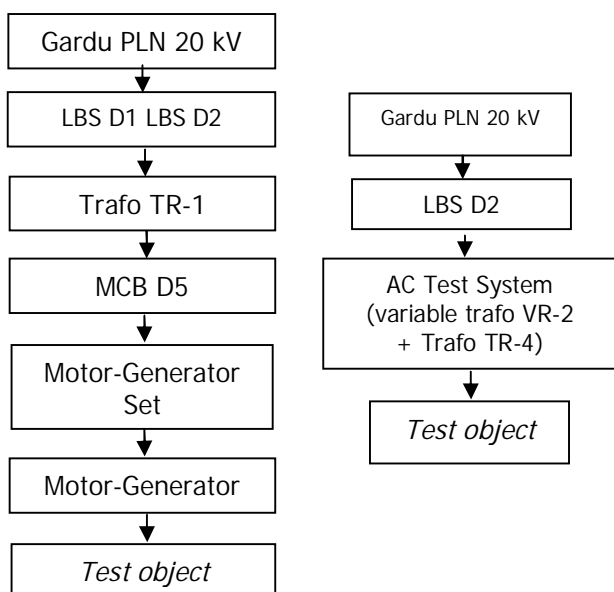
Arus yang disuplai oleh VR-1:
 $= \left(\frac{932 \text{ kVA}}{1,732 \times 1059}\right) = 508 \text{ A}$

Arus yang digunakan oleh sisi primer trafo VR-1
 $= \left(\frac{508 \text{ A} \times 1,273 \text{ kV}}{20 \text{ kV}}\right) = 32,3 \text{ A}$

- D6: MCB 400 V, 630 A, 18 kA, 1φ
- TR-1 : 1000 kVA, 3φ, 20kV / 400V
- TR-3: 500 kVA, 3φ, 380V / 1kV, Δ 20.8 kV , Y 36 kV



- AC Test System
VR-2 : Regulator Transformer, 1φ, 380V, 150 kVA
TR-4 : HV Test Transformer, 1φ, Voltage output : 0-200 kV, 150 kVA
Regulating transformer VR-2 dan HV Test Transformer TR-4 merupakan satu kesatuan dari peralatan AC Test System.
- CT – 2 : 5A, 10A, 20A, 50A, 100A, 500A, 1000 A, 1500 A / 5 A, CLASS 0.1, 30 VA, 50 kV
- PT – 2 : 0.5KV, 1KV, 2.5kV, 10KV, 20kV, 50kV / 100 V, CLASS 0.1, 20 VA

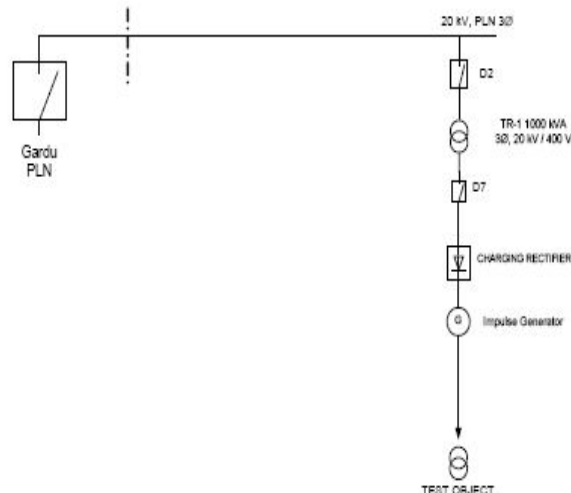


Gambar 20. Urutan aliran daya

d. DIELECTRIC TEST

Dielectric test merupakan salah satu bagian pengujian trafo daya pada laboratorium pengujian trafo daya yang akan didesain. Pengujian ini ditujukan untuk memfasilitasi uji impuls (*impulse test*). Uji impuls dilakukan untuk menguji nilai Tingkat Isolasi Dasar (BIL : *Basic Insulation Level*) dari trafo daya yang hendak diuji. Diagram

satu garis pengujian *dielectric test* adalah sebagai berikut :

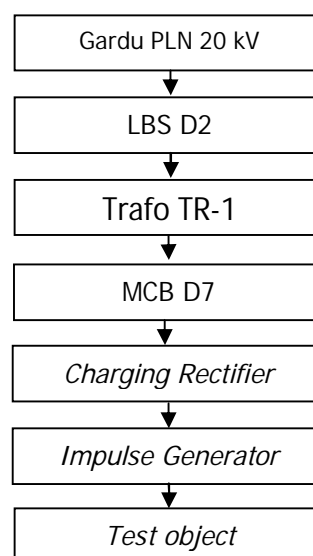


Gambar 21. Diagram satu garis pengujian *dielectric test*

Bila gambar 21 dibandingkan dengan gambar 12 yang menampilkan *one-line diagram* secara keseluruhan, maka LBS D2 seharusnya terinterkoneksi dengan LBS D1 dan MCB D7 terinterkoneksi dengan MCB D5 dan D6. Namun, karena yang ditinjau hanyalah *one-line diagram* untuk pengujian *dielectric test*, gambar yang ditampilkan adalah seperti pada gambar 19 diatas.

e. Urutan Aliran Daya

Aliran daya pengujian trafo *induced overvoltage* disuplai dari jaringan PLN tiga fase 20 kV. Urutan aliran daya pada pengujian ini dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 22. Bagan urutan aliran daya pengujian *induced over voltage*

f. Spesifikasi Peralatan

Berdasarkan gambar 17 di atas dapat diuraikan spesifikasi peralatan yang digunakan sebagai berikut :

- D2 : LBS 24 kV, 200 A, 12.5 kA, Motorized FUSE 63 A, 22.4 KA, 24 kV
- D7 : MCB 400 V, 80 A, 10 kA, 1 ϕ
- TR-1 : 1000 kVA, 3 ϕ , 20kV / 400V

Charging Rectifier

Insulation: Oil insulated

Input: 220V AC, 34A, 50 Hz

Rated voltage, both polarities: 100 kV DC

Chopping Gap

Lightning impulse voltage: 1200 kV

Number of stages: 6 stages

Impulse Generator

Max. charging voltage: 1400 kV

Max energy: 42 kJ

Number of stage: 14

100 kV per-stage. 3 kJ per-stage

Capacitive Impulse Voltage Divider

Rated lightning impulse voltage: 1200 kV

Continuous AC voltage: 300 kV 50/60 Hz

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1995. *Techniques for High-Voltage Testing*. IEEE: Std 4
-, 1998. *Practice for Routine Impulse Test for Distribution Transformers*. IEEE: Std C57
-, 1998. *General Requirements for Dry-Type Distribution and Power Transformers Including Those with SolidCast andor Resin-Encapsulated Windings*. IEEE: Std C57
-, 2001. *Test Code For Dry-Type Distribution and Power Transformers*. IEEE: Std C57
- Chapman, Stephen J., 1991. *Electric Machinery Fundamentals 2nd Edition*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Fitzgerald, A.E., C. Kingsley Jr., 2003. *Electric Machinery 6th Edition*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Kind, Dieter., 1993. *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*. Bandung: ITB

Laplante, Ed. Philip A., 2000. *Electrical Engineering Dictionary*. Boca Raton: CRC Press LLC.

Linsley, Trevor, 1998. *Advanced Electrical Installation Work*. England: Arrangement with Elsevier Ltd.

Meriam, L, J., & Kraige, G, L., 1993. *Mekanika Teknik Dinamika*. Jakarta: Erlangga.

Rao, Naranana, Nannpaneni, & Silaban, Pantur, 2001. *Elemen-elemen Elektromagnetika Teknik*. Jakarta: Erlangga.

Tobing, L., Bonggas, 2003. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Jakarta: Erlangga.