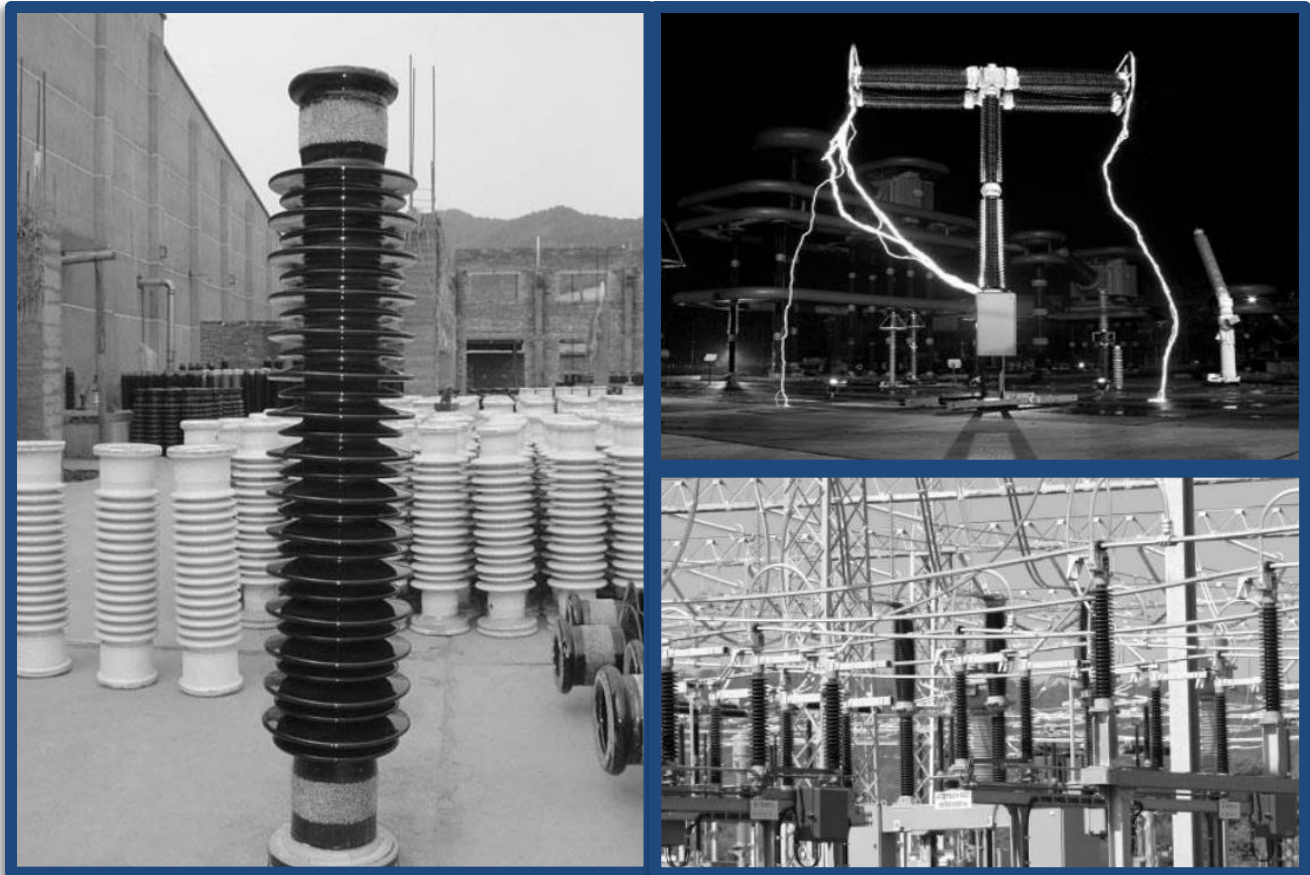


MODUL PRAKTIKUM TEKNIK TEGANGAN DAN ARUS TINGGI



**LABORATORIUM
TEGANGAN TINGGI DAN PENGUKURAN LISTRIK
UNIVERSITAS INDONESIA
2022**



DAFTAR ISI

MODUL 1.....	3
PENGANTAR TEKNIK TEGANGAN DAN ARUS TINGGI.....	3
MODUL 2.....	11
PEMBANGKITAN DAN PENGUKURAN TEGANGAN ARUS TINGGI BOLAK – BALIK..	11
A. Tujuan Praktikum.....	11
B. Dasar Teori.....	11
C. Peralatan Percobaan	18
D. Rangkaian Percobaan	18
E. Prosedur Percobaan	19
MODUL 3.....	20
PEMBANGKITAN DAN PENGUKURAN TEGANGAN ARUS TINGGI SEARAH	20
A. Tujuan Praktikum.....	20
B. Dasar Teori.....	20
C. Peralatan Percobaan	28
D. Rangkaian Percobaan	28
E. Prosedur Percobaan	30
MODUL 4.....	31
PEMBANGKITAN DAN PENGUKURAN TEGANGAN TINGGI IMPULS	31
A. Tujuan Praktikum.....	31
B. Dasar Teori.....	31
C. Rangkaian Pengujian Tegangan Impuls	33
D. Peralatan Percobaan	34
E. Prosedur Percobaan	34
MODUL 5.....	35
PENGUJIAN ISOLASI UDARA TEGANGAN BOLAK – BALIK	35
A. Tujuan Praktikum.....	35
B. Dasar Teori.....	35
C. Peralatan Percobaan	37
D. Rangkaian Percobaan	37
E. Prosedur Percobaan	37
MODUL 6.....	39
PENGUJIAN ISOLAZI ZAT CAIR	39



Laboratorium Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik
Departemen Teknik Elektro FTUI

A.	Tujuan Praktikum.....	39
B.	Dasar Teori.....	39
C.	Peralatan Percobaan	43
D.	Rangkaian Percobaan	44
E.	Prosedur Percobaan	44
MODUL 7.....		45
PENGUJIAN ISOLASI ZAT PADAT		45
A.	Tujuan Praktikum.....	45
B.	Dasar Teori.....	45
C.	Peralatan Percobaan	50
D.	Rangkaian Percobaan	50
E.	Prosedur Percobaan	51
MODUL 8.....		52
POST – TEST		52



MODUL 1

PENGANTAR TEKNIK TEGANGAN DAN ARUS TINGGI

A. Penggunaan Tegangan Tinggi

Tegangan Tinggi dalam dunia teknik tenaga listrik adalah semua tegangan yang dianggap cukup tinggi oleh para teknisi listrik sehingga diperlukan pengujian dan pengukuran dengan tegangan tinggi yang semuanya bersifat khusus dan memerlukan teknik-teknik tertentu atau dimana gejala-gejala tegangan tinggi mulai terjadi. Batas yang menyatakan kapan suatu tegangan dapat dikategorikan dalam Tegangan Rendah (*Low Voltage*), Tegangan Menengah (*Medium Voltage*), Tegangan Tinggi (*High Voltage*), dan Tegangan Ekstra Tinggi (*Extra High Voltage*) berbeda-beda untuk setiap negara atau perusahaan tenaga listrik di negara-negara tersebut dan biasanya tergantung pada kemajuan tekniknya masing-masing. Berikut merupakan klasifikasi tegangan yang berlaku di Indonesia berdasarkan SPLN 1:1995:

Tabel 1 Klasifikasi Tegangan di Indonesia

Klasifikasi Tegangan	Range Tegangan
Tegangan Rendah	100 V – 1 kV
Tegangan Menengah	1 kV – 35 kV
Tegangan Tinggi	35 kV – 245 kV
Tegangan Ekstra Tinggi	> 245 kV

Tegangan tinggi merupakan tingkat tegangan yang sangat berbahaya sehingga diperlukan pemahaman dan pengetahuan yang cukup baik ketika ingin terjun ke dunia tegangan tinggi. Penyalahgunaan tegangan tinggi dapat menyebabkan kerusakan bagi instalasi listrik tegangan tinggi tersebut, atau bahkan kematian bagi manusia dan makhluk hidup lainnya. Bahaya yang dapat timbul akibat listrik tegangan tinggi antara lain adalah tegangan sentuh. Tegangan sentuh adalah fenomena mengalirnya arus gangguan listrik akibat adanya perbedaan potensial antara satu titik dengan titik lainnya yang saling bersentuhan. Untuk menanggulangi adanya arus gangguan pada suatu objek maka harus ditanahkan hingga perbedaan potensial menghilang.

Aplikasi tegangan tinggi yang paling umum digunakan adalah untuk penyaluran daya pada saluran transmisi. Pada sistem transmisi dari sebuah sistem tenaga listrik, digunakan tegangan tinggi bolak – balik untuk alasan sebagai berikut:



1. Agar rugi-rugi daya lebih sedikit.

Hal ini dikarenakan pada transformator daya, nilai daya pada kumparan primer dan sekunder tetap, sehingga dengan menaikkan nilai tegangannya maka nilai arus akan turun. Sesuai dengan persamaan :

$$S = 3 \times V \times I$$

Keterangan :

S = Daya transformator (kVA)

V = Tegangan sisi primer transformator (V)

I = Arus jala-jala (A)

Nilai arus yang kecil ini mengakibatkan rugi-rugi daya yang seiring berjalannya waktu berubah menjadi energi panas yang lebih sedikit, dibuktikan dengan rumus:

$$W = I^2 \times R \times t$$

Keterangan :

W = Energi panas (Joule)

R = Resistansi saluran penghantar (Ω)

I = Arus jala-jala (A)

t = Waktu (s)

2. Dimensi kabel yang dibutuhkan lebih kecil.

Hal ini dikarenakan arus yang dikirimkan kecil, sehingga tidak dibutuhkan dimensi kabel yang besar. Dengan dimensi kabel yang lebih kecil, biaya instalasi dan pembelian kabel menjadi lebih murah.

3. Tegangan Jatuh atau *Voltage Drop* (ΔV) menjadi lebih kecil.

Dimana besarnya ΔV juga dipengaruhi oleh besar arus yang mengalir pada saluran distribusi- transmisi, semakin besar arus maka *voltage drop* juga semakin besar begitu juga sebaliknya, semakin kecil arus yang mengalir maka nilai *voltage drop* juga akan semakin kecil. Sesuai dengan persamaan :

$$\Delta V = I \times Z$$

Keterangan :

ΔV = Voltage Drop (V)

I = Arus pada penghantar (A)

Z = Impedansi saluran transmisi/distribusi (Ω / km)



B. Pengujian Tegangan Tinggi

Secara umum, ada tiga jenis tegangan tinggi yang akan diukur dalam pengujian tegangan tinggi, yaitu tegangan tinggi bolak-balik, tegangan tinggi searah, dan tegangan tinggi impuls. Pengujian tegangan tinggi pada umumnya diperlukan untuk mengetahui apakah peralatan tegangan tinggi yang diuji masih memenuhi standar kualitas dan kebutuhan yang dispesifikasikan pada peralatan tersebut.

Lingkup studi teknik tegangan tinggi mencakup semua masalah seperti studi tentang fenomena tegangan tinggi, teknik isolasi, tegangan lebih pada sistem tenaga listrik, surja hubung, proteksi tegangan lebih, dan lain-lain. Dengan begitu banyaknya masalah yang mencakup tegangan tinggi, maka dibutuhkan pengujian tegangan tinggi, dengan tujuan antara lain sebagai berikut:

1. Untuk menemukan bahan (di dalam atau yang menjadi komponen suatu alat tegangan tinggi) yang kualitasnya tidak baik, atau yang cara pembuatannya salah.
2. Untuk memberikan jaminan bahwa alat-alat listrik dapat dipakai pada tegangan normalnya untuk waktu yang tak terbatas.
3. Untuk memberikan jaminan bahwa isolasi alat-alat dapat tahan terhadap tegangan lebih untuk waktu terbatas.

Berdasarkan sifatnya, pengujian tegangan tinggi dibedakan menjadi pengujian merusak dan tidak merusak.

- *Withstand test* → Pengujian ketahanan

Sebuah tegangan tertentu diterapkan untuk waktu tertentu, bila tidak terjadi lompatan api (*flashover*, *disruptive discharge*), maka pengujiannya dianggap memuaskan.

- *Discharge test* → Pengujian pelepasan

Tegangan yang dinaikkan sehingga terjadi pelepasan pada benda yang diuji, tegangan pelepasan lebih tinggi dari tegangan ketahanan. Pengujian dapat dilakukan dengan suasana kering (udara biasa) dan udara basah (menirukan keadaan hujan)

- *Breakdown* → Pengujian kegagalan

Tegangan dinaikkan sampai terjadi kegagalan (*breakdown*) di dalam benda (*specimen*) yang diuji.



C. Isolasi Tegangan Tinggi

Isolasi merupakan bahan yang resistivitasnya tinggi sehingga sulit menghantarkan listrik. Secara elektrik, isolasi berfungsi untuk memisahkan bagian-bagian yang mempunyai beda tegangan agar di antara bagian-bagian tersebut tidak terjadi lompatan listrik (*flashover*) atau percikan (*sparkover*). Sedangkan secara mekanis, isolasi biasanya berfungsi juga sebagai:

1. Penyangga atau penggantung, misalnya porselen dan kayu;
2. Pengisi, misalnya udara, gas SF₆, dan minyak transformator;
3. Penutup atau pelindung, misalnya mika dan pernis.

Jenis isolasi yang dipakai juga berbeda – beda, sesuai dengan spesifikasi dan biaya yang dikeluarkan. Secara garis besar, terdapat 3 jenis isolasi yang digunakan, yaitu:

1. Isolasi udara, seperti raung terbuka dan gas SF₆
2. Isolasi zat cair, seperti minyak trafo
3. Isolasi zat padat, seperti keramik dan PVC

D. Peralatan Tegangan Tinggi

Peralatan yang digunakan dalam pengujian tegangan tinggi dibagi menjadi:

1. Pembangkit tegangan tinggi yang terdiri atas: pembangkit tegangan tinggi AC, pembangkit tegangan tinggi DC, dan pembangkit tegangan tinggi impuls.
2. Alat ukur tegangan tinggi yang terdiri atas alat ukur tegangan tinggi AC, alat ukur tegangan tinggi DC, dan alat ukur tegangan tinggi impuls.
3. Alat pengukur sifat listrik dielektrik, antara lain alat ukur rugi-rugi dielektrik, alat ukur tahanan isolasi, alat ukur konduktivitas, dan alat ukur peluahan parsial.



Beberapa peralatan yang digunakan dalam pengujian dan pengukuran tegangan tinggi, khususnya yang ada pada Lab Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro UI, antara lain:

Tabel 2 Peralatan Praktikum Teknik T3 Lab TTPL DTE FTUI

	
HV Transformer 100 kV/ 5 kVA	HV Transformer 100 kV/ 10 kVA
	
OT 276 Control Unit	Regulating Transformer



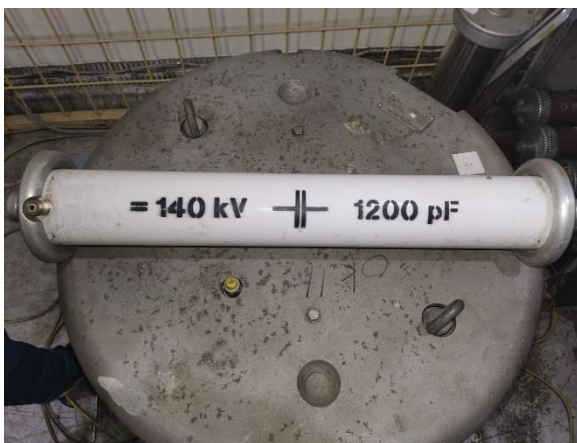
AC/DC Hipot Test Set



Resistor Tegangan Tinggi (R)



Connector Cup (K)



Kapasitor Tegangan Tinggi (C)



Floor Pedestal (F)



Dioda Tegangan Tinggi (D)



Cup



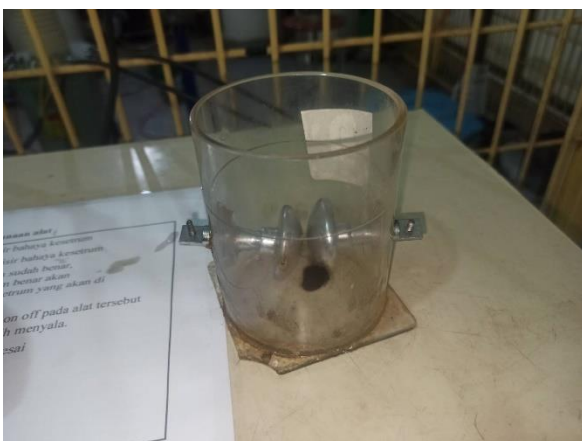
Konektor (V)



Resistor Pembagi (R_s)



Isolator Tegangan Tinggi



Oil Testing Cup (OC)



Kapasitor Pembagi (C_s)



Measuring Spark Gap (MF)



Earthing Switch (ES)



Minyak Transformer



Tongkat Grounding



MODUL 2

PEMBANGKITAN DAN PENGUKURAN TEGANGAN ARUS TINGGI BOLAK – BALIK

A. Tujuan Praktikum

1. Mengetahui cara pembangkitan tegangan dan arus tinggi bolak – balik
2. Mengetahui rangkaian pembangkitan tegangan dan arus tinggi bolak – balik
3. Mengukur tegangan dan arus tinggi bolak – balik dengan menggunakan prinsip pembagi kapasitor
4. Mengetahui karakteristik gelombang tegangan tinggi bolak – balik

B. Dasar Teori

a. Tegangan dan Arus Tinggi Bolak – Balik

Seerti yang telah dibahas pada Modul 1, tegangan tinggi yang pada saat ini paling banyak digunakan sebagai transmisi sistem tenaga listrik adalah tegangan tinggi bolak – balik atau tegangan AC. Sehingga pengujian yang umum dilakukan pada alat atau komponen sistem tenaga listrik adalah menggunakan tegangan dan arus tinggi bolak – balik. Se jauh menyangkut level tegangan, tegangan yang umumnya digunakan dapat berkisar dari sekitar 10 kV rms hanya sampai lebih dari 1,5 MV rms. Hingga hari ini, perkembangan tegangan transmisi hingga sekitar 1200 kV telah berlangsung selama bertahun-tahun. Untuk pengujian rutin, level tegangan yang digunakan untuk pengujian selalu terkait dengan tegangan rms fase-ke-fase (V_m) dari sistem transmisi yang digunakan.

Tegangan tinggi arus bolak balik dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu tegangan tinggi arus bolak balik dengan frekuensi rendah dan tegangan tinggi arus bolak balik dengan frekuensi tinggi. Pengujian menggunakan tegangan tinggi arus bolak balik frekuensi rendah diperlukan untuk menyelidiki apakah peralatan listrik yang terpasang pada jaringan tegangan tinggi dapat menahan tegangan yang melebihi tegangan operasinya untuk waktu terbatas. Sedangkan tegangan tinggi arus bolak balik dengan frekuensi tinggi diperlukan untuk berbagai macam pengujian, diantaranya adalah untuk menguji adanya kerusakan-kerusakan mekanis (keretakan, kantong udara, dsb) pada isolator terutama isolator porselen.

Secara umum, semua pengujian tegangan dan arus tinggi bolak – balik dilakukan pada frekuensi nominal yang digunakan oleh benda uji. Namun, terdapat pengecualian khusus terkait dengan pengujian belitan berinti besi (iron-cored windings), seperti



transformer instrument dan potential transformer, atau studi fundamental pada bahan atau sistem insulasi. Untuk belitan inti besi, frekuensi harus dinaikkan untuk menghindari kejenuhan pada inti. Faktor desain yang utama untuk pengujian dengan tegangan dan arus tinggi bolak – balik adalah perlengkapan sistem kontrol yang memadai untuk mengatur tegangan keluaran yang tinggi. Secara umum, pengaturan tersebut akan dilakukan oleh sebuah control unit yang akan mengatur tegangan dari sisi tegangan rendah (LV Side).

b. Pembangkitan Tegangan dan Arus Tinggi Bolak – Balik

Pembangkitan tegangan dan arus tinggi bolak – balik diatur pada IEC 60060 – 1 *High-voltage test techniques - Part 1: General definitions and test requirements*. Parameter yang diatur adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Parameter Pembangkitan Tegangan dan Arus Tinggi Bolak – Balik

Parameter	Nilai
Frekuensi	45 – 65 Hz
Perbedaan antara nilai amplitud positif dan negatif	< 2%
Perbandingan nilai puncak dan rms	$\sqrt{2} \pm 5\%$
Penjagaan Tegangan	Durasi $\leq 60s = \pm 1\%$ Durasi $> 60s = \pm 3\%$

Peralatan yang digunakan untuk membangkitkan tegangan tinggi bolak balik adalah dengan menggunakan transformator. Transformator yang biasanya digunakan adalah transformator uji atau *testing transformer*. Transformator uji yang digunakan untuk pembangkitan tegangan tinggi memiliki rating daya (kVA) yang rendah namun memiliki rating tegangan yang tinggi. Transformer uji yang biasanya dipakai adalah transformator satu fasa, karena pengujian tegangan tinggi dilakukan fasa demi fasa. Isolasi untuk transformator uji hanya diperhitungkan isolasi terhadap tegangan pengujian maksimum. Konstruksi lilitan dan isolasinya harus tercapai gradien tegangan (dv/dt) yang seragam

Desain dari transformator uji umumnya mirip dengan potensial transformer yang digunakan untuk pengukuran tegangan dan daya di sistem tenaga listrik. Impedansi dari trafo uji secara keseluruhan harus kurang dari 5% dan harus mampu untuk mengalirkan arus hubung singkat selama satu menit atau lebih, tergantung dari desainnya. Selain itu, kerapatan fluks yang dipilih rendah sehingga tidak menarik arus magnetisasi yang besar yang tidak akan menjenuhkan inti dan menghasilkan harmonik yang lebih tinggi. Contoh gambar dari transformer pengujian dapat dilihat pada Gambar 1.



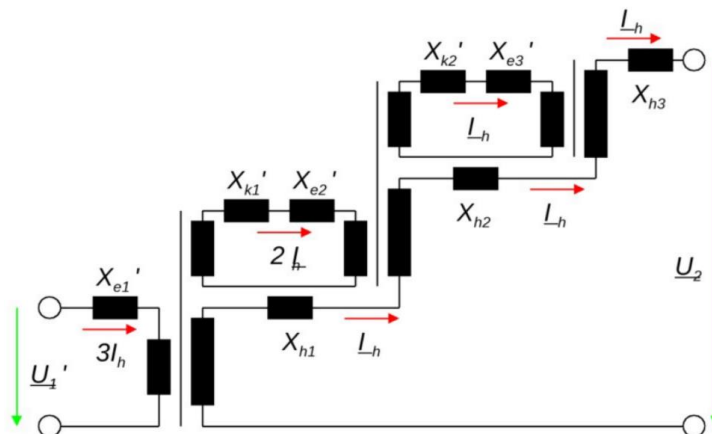
Gambar 1 Transformor Pengujian dan Control Unit

Untuk pembangkitan tegangan yang lebih tinggi dari 400 KV, disarankan untuk menggunakan dua atau lebih transformator secara *cascade*, tergantung pada besar tegangan yang ingin dibangkitkan. Dengan ini, berat seluruh unit transformator yang digunakan akan dibagi menjadi beberapa unit sehingga proses transportasi dan perakitan menjadi lebih mudah. Selain itu, biaya yang dikeluarkan untuk transformator dengan tegangan tertentu dapat dikurangi, karena tidak setiap unit trafo yang di-*cascade* secara individual memiliki insulasi yang mahal dan berat, seperti yang diperlukan pada transformator daya untuk tegangan tinggi melebihi 345 kV. Dimana biaya pembangkitan menggunakan transformator yang di-*cascade* akan memiliki biaya yang jauh lebih rendah dibandingkan menggunakan transformator daya untuk pembangkitan tegangan yang sama.

Contoh rangkaian meng-*cascade* 3 buah transformator dapat dilihat pada Gambar 2. Belitan Primer dari transformator tingkat-I terhubung ke supply dari tegangan rendah. Tegangan pada belitan sekunder transformator tingkat-I akan sama dengan tegangan pada belitan primer. Belitan tersier (belitan eksitasi) pada transformator tingkat-I memiliki jumlah belitan yang sama dengan belitan primer, dan mengumpulkan primer transformator tingkat kedua. Besar potensial tersier dihubungkan pada potensial V dari belitan sekunder seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Belitan sekunder pada transformator tingkat-II dihubungkan secara seri dengan belitan sekunder dari transformator tingkat-I, sehingga terdapat tegangan sebesar 2 kali lipat dari tegangan keluaran awal (2V) antara ground dan terminal sekunder transformator tingkat-II. Demikian pula pada belitan sekunder transformator tingkat-III dihubungkan secara seri dengan transformator tingkat-II. Dengan ini tegangan keluaran antara ground dan transformator tingkat ketiga adalah 3 kali lipat dari tegangan keluaran awal (3V). Hal yang perlu diperhatikan adalah transformator selain transformator tingkat-III harus berupa transformator yang berjenis tiga belitan (*Three-winding*



transformer). Namun, transformer dengan tingkat paling tinggi dapat menggunakan transformator berjenis dua belitan (*Two-winding transformer*).



Gambar 2 Rangkaian Cascade 3 Transformator

Gambar 2 menunjukkan pula bahwa konstruksi tangki logam transformator dan gulungan sekunder tidak terhubung. Di sini terminal tegangan rendah dari belitan sekunder terhubung ke tangki. Tangki dari transformator tingkat-I dibumikan. Tangki transformator tingkat-II dan tingkat-III memiliki potensial V dan 2V, masing-masing di atas bumi, sehingga harus diisolasi dari bumi dengan isolasi yang sangat baik. Melalui busing h.t, kabel dari belitan tersier dan belitan tegangan tinggi akan dihubungkan ke transformator tingkat berikutnya. Penggunaan transformator secara *cascade* sangat membantu untuk pembangkitan tegangan tinggi, tetapi hal yang harus dipertimbangkan adalah seluruh daya pengujian harus disupply oleh trafo tingkat awal. Sehingga hal ini menyebabkan total kapasitas daya dari kaskade yang dibuat tidak boleh lebih tinggi dari kapasitas daya trafo pada tingkat yang paling rendah.

Impedansi total dari transformator dengan hubungan cascade dapat dicari menggunakan berikut:

$$X_{total} = \sum_{i=1}^n (X_{Hi} + (n-1)^2 X_{Ki} + (n+1-i)^2 X_{Ei})$$

Dengan:

X_{Ei} = Reaktansi hubung singkat belitan primer dari transformator ke-i

X_{Hi} = Reaktansi hubung singkat belitan sekunder dari transformator ke-i

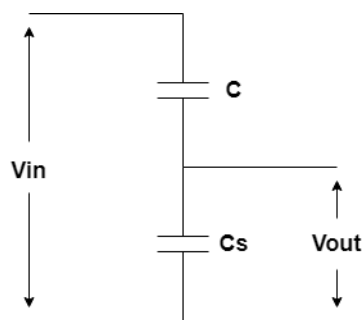
X_{Ki} = Reaktansi hubung singkat belitan tersier dari transformator ke-i

n = Banyaknya transformator yang dihubungkan secara cascade



c. Pengukuran Tegangan dan Arus Tinggi Bolak – Balik

Metode pengukuran yang umumnya digunakan pada pengujian Tegangan Tinggi dan Arus bolak balik ialah dengan menggunakan pembagi kapasitor (*capacitor divider*), lalu menghubungkan kapasitor pembagi tersebut dengan sebuah voltmeter, sehingga tegangan tinggi yang hendak diukur tegangannya tidak diukur langsung oleh alat ukur tersebut. Penggunaan kapasitor divider dibandingkan dengan resistor divider untuk pengukuran tegangan tinggi arus bolak - balik adalah kemampuan charge dan discharge dari kapasitor pada tegangan bolak – balik, sehingga seakan – akan tidak terjadi drop tegangan pada tegangan luaran yang diukur.



Gambar 3 Rangkaian Capacitor Divider

Pada gambar disamping, tegangan luaran dapat dihitung menggunakan rumus:

$$V_{out} = \frac{C}{C + C_s} \times V_{in}$$

Keterangan:

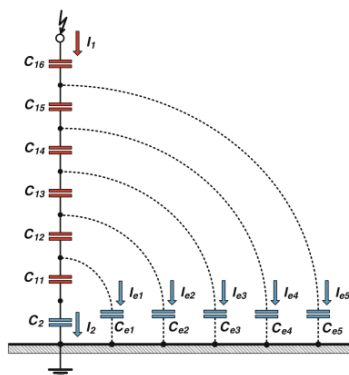
V_{in} = Tegangan tinggi yang ingin diukur

V_{out} = Tegangan tinggi yang masuk ke alat ukur

C = Kapasitor

C_s = Kapasitor Pembagi

Besarnya kapasitor (C) harus jauh lebih besar dari kapasitor pembagi (C_s), hal ini dimaksudkan agar kita dapat mengukur tegangan pada resistor C_s (dimana tegangannya kecil), kemudian dari tegangan C_s ini kita bisa dapatkan besarnya tegangan V_{in} dengan persamaan yang telah disebutkan diatas. Namun, ada kalanya bahwa diperlukan beberapa kapasitor yang disusun secara *cascade* untuk mendapatkan besar kapasitor yang diinginkan. Ketika hal tersebut terjadi, maka timbul kapasitansi baru terhadap ground yang harus diperhatikan



Gambar 4 Kapasitansi Akibat Kapasitor Seri

Pada gambar disamping, kapasitansi yang harus diperhatikan dapat dicari menggunakan rumus

$$C_1 \approx \frac{C_{1n}}{n} - \frac{n \cdot C_e}{6}; C_e = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot l}{\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right)}$$

C_1 = Total Kapasitansi Seri

C_e = Total Kapasitansi dengan Bumi

n = Banyaknya kapasitor yang digunakan

l = Tinggi total dari kapasitor yang digunakan

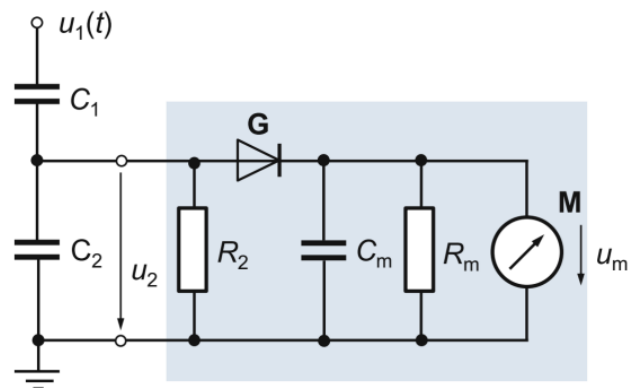
d = Diameter kapasitor



Setelah menggunakan capacitor divider sebagai pengukuran awal, maka luaran tegangan dari kapasitor divider harus dihubungkan ke sebuah alat ukur dengan sebuah kabel. Kabel yang digunakan untuk menghubungkan capacitor divider ke alat ukur adalah kabel coaxial. Terdapat 3 buah jenis alat ukur yang dapat digunakan untuk menerima output dari capacitor divider, yaitu:

1) Alat Ukur Analog

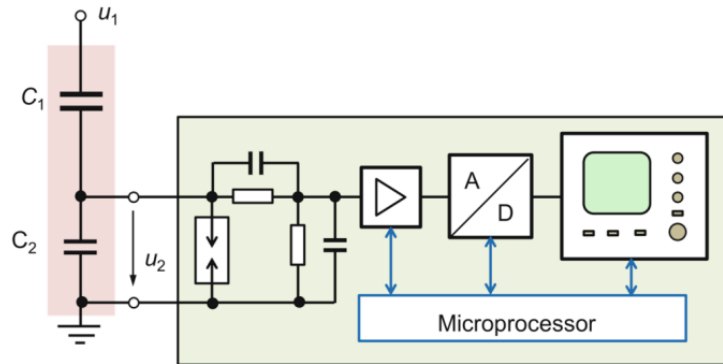
Luaran dari kapasitor divider akan dihubungkan dengan alat ukur analog. Konstruksi dari alat ukur analog tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. Secara garis besar, terdapat dioda yang berfungsi sebagai penyearah dari gelombang bolak balik, resistor yang berfungsi untuk memperkecil arus yang mengalir, dan terdapat sebuah coil yang akan bergerak akibat medan magnet yang timbul. Coil tersebut yang akan menunjukkan besar tegangan yang terbaca pada alat ukur.



Gambar 5 Pengukuran Dengan Alat Ukur Analog

2) Alat Ukur Digital

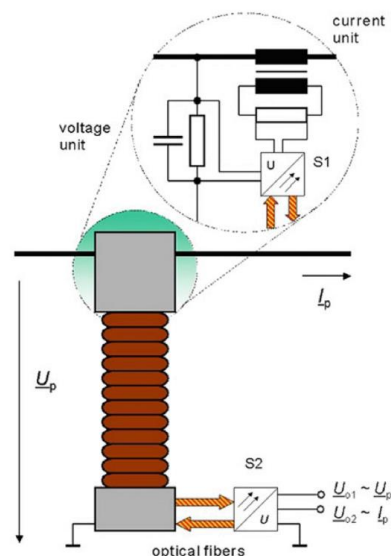
Luaran dari kapasitor divider akan dihubungkan dengan alat ukur digital. Konstruksi dari alat ukur digital tersebut dapat dilihat pada Gambar 6. Secara garis besar, terdapat sebuah fuse yang berfungsi sebagai proteksi alat sehingga tidak terjadi kerusakan pada alat apabila terjadi kesalahan pada pengukuran, resistor dan kapasitor yang berfungsi sebagai filter, sebuah op-amp untuk penguat sinyal, sebuah analog to digital converter (ADC), dan mikroprosessor yang akan memproses hasil dari pengukuran tersebut dan lalu menampilkannya pada layar pengukuran.



Gambar 6 Pengukuran Dengan Alat Ukur Digital

3) Pengukuran Secara Langsung

Selain kedua metode yang telah disebutkan diatas, terdapat satu buah metode lain yang dapat digunakan. Metode tersebut adalah melakukan pengukuran langsung ke output tegangan tinggi tanpa menggunakan kapasitor divider. Metode ini biasanya menggunakan salah satu transformator pengukuran, yaitu transformator arus (*Current Transformer/CT*). Besaran arus dari pengukuran tersebut akan diubah menjadi besaran tegangan sesuai dengan rating CT yang digunakan. Dari hasil tegangan dan arus tersebut akan diubah ke gelombang cahaya yang kemudian akan dikirimkan melalui kabel fiber optic. Gelombang cahaya tersebut kemudian akan diubah kembali menjadi besaran tegangan dan arus pada alat ukur yang memiliki kemampuan tersebut, seperti oscilloscope. Gambaran penggunaan metode ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Pengukuran Secara Langsung dan Menggunakan Fiber Optic

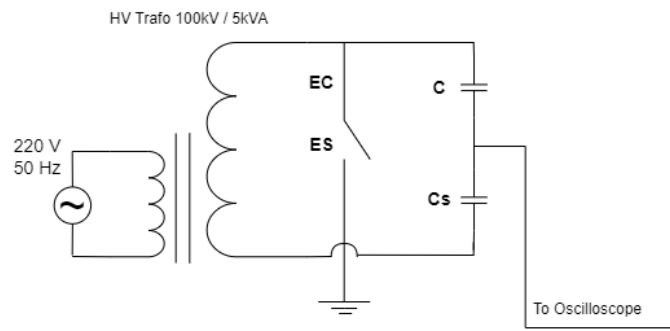


C. Peralatan Percobaan

1. 1 buah Transformator Penguji 100kV / 5kVA
2. 1 buah AC/DC Hipot Test Set
3. 2 buah Connecting Cup (K)
4. 2 buah Floor Pedestal (F)
5. 1 buah Support Insulator (IS)
6. 1 buah Earthing / Grounding Switch (ES)
7. 1 buah Kapasitor Tegangan Tinggi (C)
8. 1 buah Kapasitor Pembagi (Cs)
9. 1 Buah Oscilloscope
10. 2 Buah Kabel + Pencapit

D. Rangkaian Percobaan

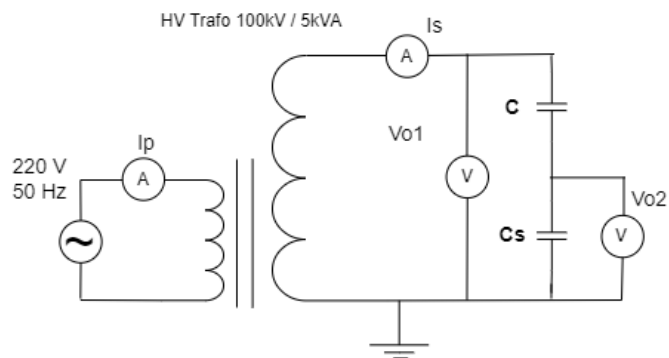
a. Percobaan Hands-On



Gambar 8 Rangkaian Percobaan Hands-On Modul 2

b. Percobaan Simulasi

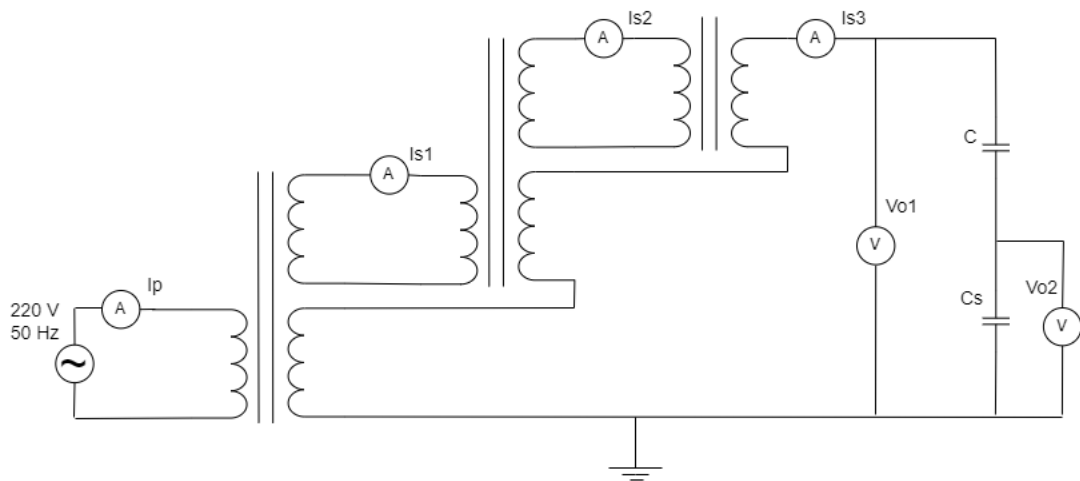
i. Percobaan Pembangkitan AC



Gambar 9 Rangkaian Percobaan Simulasi Modul 2



ii. Percobaan Rangkaian Cascade



Gambar 10 Rangkaian Percobaan Cascade AC

E. Prosedur Percobaan

a. Percobaan Hands-On

1. Matikan seluruh peralatan tegangan tinggi pada Lab. Tegangan Tinggi
2. Lakukan discharging muatan sebelum memasuki area uji Lab. Tegangan Tinggi.
3. Buatlah rangkaian percobaan sesuai dengan Gambar 8.
4. Hubungkan output capacitor divider ke oscilloscope
5. Tutup pintu area uji Lab. Tegangan Tinggi dan pastikan tidak ada orang pada area uji Lab. Tegangan Tinggi.
6. Nyalakan seluruh peralatan tegangan tinggi pada Lab. Tegangan Tinggi.
7. Naikkan tegangan trafo uji menggunakan AC/DC Hipot Test Set.
8. Amati dan pelajari gelombang tegangan pada oscilloscope
9. Matikan seluruh peralatan tegangan tinggi pada Lab. Tegangan Tinggi
10. Lakukan discharging muatan pada area uji Lab. Tegangan Tinggi.
11. Rapiakan alat – alat tegangan tinggi yang telah digunakan

b. Percobaan Simulasi

1. Lakukan simulasi rangkaian Gambar 9 dan Gambar 10 pada software PSIM.



MODUL 3

PEMBANGKITAN DAN PENGUKURAN TEGANGAN ARUS TINGGI SEARAH

A. Tujuan Praktikum

1. Mengetahui cara pembangkitan tegangan dan arus tinggi searah
2. Mengetahui rangkaian pembangkitan tegangan dan arus tinggi searah
3. Mengukur tegangan dan arus tinggi searah dengan menggunakan prinsip pembagi resistor
4. Mengetahui karakteristik gelombang tegangan tinggi searah

B. Dasar Teori

a. Tegangan dan Arus Tinggi Searah

Dalam dunia kelistrikan, tegangan dan arus tinggi searah utamanya digunakan hanya untuk riset dan pengujian peralatan listrik yang berhubungan dengan sistem transmisi tegangan tinggi arus searah (HVDC). Pemanfaatan tegangan tinggi searah dalam kehidupan sehari-hari memang belum banyak dikenal secara umum bila dibandingkan dengan tegangan tinggi bolak-balik, sebagai contohnya adalah penggunaan tegangan bolak balik pada sistem transmisi. Hal ini dikarenakan kesulitan untuk membangkitkan ataupun mentransformasikan tegangan tinggi searah karena diperlukan perangkat inverter yang dilihat dari segi ekonomis memiliki harga yang mahal, akan tetapi dengan menggunakan sistem transmisi diperoleh keuntungan - keuntungan antara lain:

- Dengan tegangan puncak dan rugi daya yang sama, kapasitas penyaluran dengan tegangan searah lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan bolak balik
- Pengisolasian tegangan searah lebih sederhana
- Daya guna (efisiensi) lebih tinggi karena faktor dayanya = 1
- Pada penyaluran jarak jauh dengan tegangan searah tidak ada persoalan perubahan frekuensi dan stabilitas

b. Pembangkitan Tegangan dan Arus Tinggi Searah

Pembangkitan tegangan dan arus tinggi searah diatur pada IEC 60060 – 1 *High-voltage test techniques - Part 1: General definitions and test requirements*. Parameter yang diatur adalah sebagai berikut:



Tabel 4 Parameter Pembangkitan Tegangan dan Arus Tinggi Searah

Parameter	Nilai
Nilai Tegangan	Nilai rata – rata aritmatik
Faktor Ripple (δ/V)	< 3%
Penjagaan Tegangan	Durasi $\leq 60s = \pm 1\%$ Durasi $> 60s = \pm 3\%$

Pada saat ini, pembangkitan tegangan dan arus tinggi searah dilakukan dengan menyearahkan gelombang tegangan dan arus tinggi bolak – balik. Proses penyearahan tersebut atau *rectification* dilakukan dengan menggunakan komponen dioda dalam rangkaian pembangkitan yang digunakan, tentunya dioda yang digunakan adalah dioda yang dibuat khusus untuk dapat menahan tegangan dan arus tinggi. Dalam rangkaian pembangkitan tegangan dan arus tinggi searah, ada beberapa kasus dimana tidak cukup menggunakan 1 buah dioda saja. Pada kasus tersebut, umumnya akan digunakan beberapa dioda yang disusun secara seri untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.

Peralatan yang digunakan untuk membangkitkan tegangan tinggi searah adalah dengan menggunakan transformator. Transformator yang biasanya digunakan adalah transformator uji atau *testing transformer*. Gelombang bolak – balik luaran dari transformator tersebut kemudian akan disearahkan oleh dioda seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Transformator uji yang digunakan untuk pembangkitan tegangan tinggi memiliki rating daya (kVA) yang rendah namun memiliki rating tegangan yang tinggi. Transformer uji yang biasanya dipakai adalah transformator satu fasa, karena pengujian tegangan tinggi dilakukan fasa demi fasa. Isolasi untuk transformator uji hanya diperhitungkan isolasi terhadap tegangan pengujian maksimum. Konstruksi lilitan dan isolasinya harus tercapai gradien tegangan (dv/dt) yang seragam

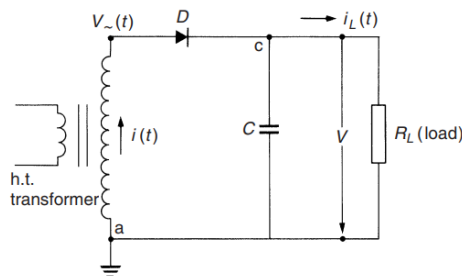
Desain dari transformator uji umumnya mirip dengan potensial transformer yang digunakan untuk pengukuran tegangan dan daya di sistem tenaga listrik. Impedansi dari trafo uji secara keseluruhan harus kurang dari 5% dan harus mampu untuk mengalirkan arus hubung singkat selama satu menit atau lebih, tergantung dari desainnya. Selain itu, kerapatan fluks yang dipilih rendah sehingga tidak menarik arus magnetisasi yang besar yang tidak akan menjenuhkan inti dan menghasilkan harmonik yang lebih tinggi. Contoh gambar dari transformer pengujian dapat dilihat pada Gambar 1.



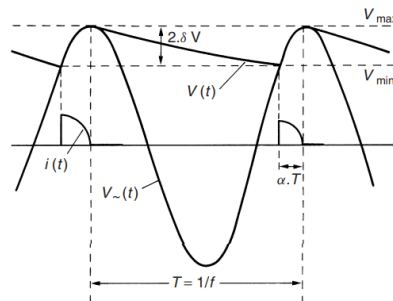
Terdapat 4 macam rangkaian yang dapat digunakan untuk membangkitkan tegangan dan arus tinggi. Dimana 4 macam rangkaian tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing – masing. 4 macam rangkaian tersebut yaitu:

1) Rangkaian Penyearah Sederhana (Simple Rectifier Circuits)

Rangkaian penyearah sederhana adalah rangkaian yang paling mudah untuk digunakan, dimana output dari trafo uji akan dihubungkan ke dioda dan lalu diserikan dengan sebuah kapasitor. Fungsi dioda pada rangkaian ini adalah untuk menyearahkan gelombang bolak – bolik dan fungsi kapasitor pada rangkaian adalah untuk mengurangi besar ripple yang terjadi. Beban uji yang digunakan akan dihubungkan secara parallel dengan kapasitor. Besar output tegangan searah yang dihasilkan oleh rangkaian ini akan sama dengan besar output tegangan bolak – balik dari kumparan sekunder trafo uji. Gambar rangkaian penyearah sederhana dan gelombang searah yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11 Rangkaian Penyearah Sederhana



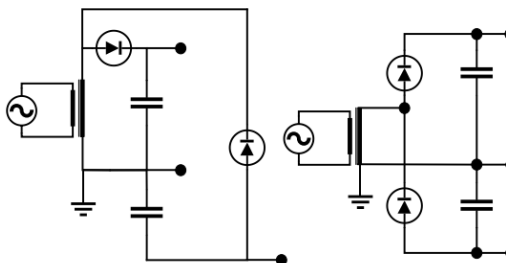
Gambar 12 Bentuk Gelombang Luaran dari Rangkaian Penyearah Sederhana

2) Rangkaian Delon (Delon Circuit)

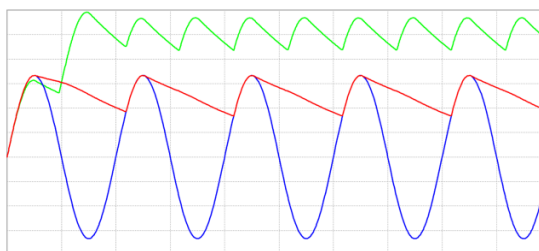
Pada umumnya, Rangkaian delon adalah rangkaian penyearah sederhana yang dihubungkan secara *cascade* sebesar 2 tingkat. Besar output tegangan searah yang dihasilkan oleh rangkaian ini akan sama dengan 2 kali besar tegangan output



bolak – balik dari kumparan sekunder trafo uji. Gambar rangkaian delon dan gelombang searah yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14.



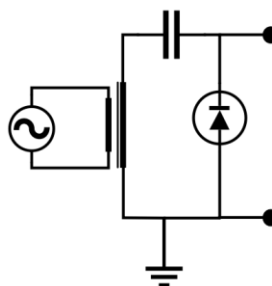
Gambar 13 Rangkaian Delon



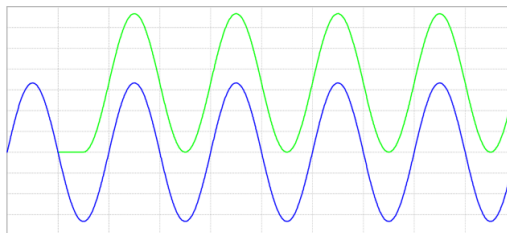
Gambar 14 Gelombang Luaran dari Rangkaian Delon

3) Rangkaian Vilard (Vilard Circuit)

Pada rangkaian vilard, gelombang bolak – balik dari kumparan sekunder trafo uji akan dihubungkan dengan kapasitor dan lalu akan diserikan dengan sebuah dioda. Beban uji yang digunakan akan dihubung secara parallel dengan dioda. Rangkaian ini akan men-*double* tegangan output bolak – balik dari kumparan sekunder trafo uji dengan cara menaikkan gelombang sinusoidal dari tegangan bolak – balik tersebut. Perlu diperhatikan bahwa rangkaian vilard hanya menaikkan gelombang sinudoidal saja, tidak menyearahkan gelombang tersebut. Gambar rangkaian vilard dan gelombang searah yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 15 dan Gambar 16.



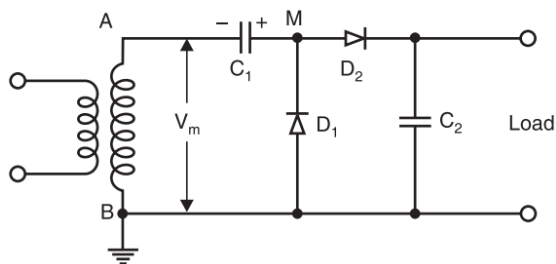
Gambar 15 Rangkaian Vilard



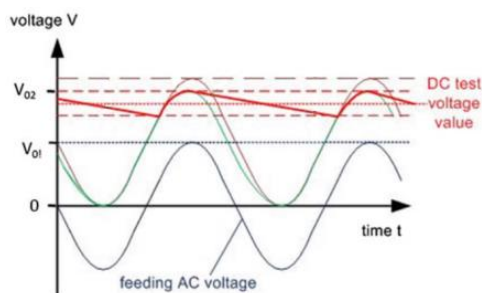
Gambar 16 Gelombang Luaran dari Rangkaian Vilard

4) Rangkaian Greinacher/Cockroft Walton

Rangkaian ini akan menaikkan gelombang sinusoidal tegangan output bolak – balik dari kumparan sekunder trafo uji. Berbeda dengan rangkaian vilard, rangkaian greinacher juga akan menyearahkan gelombang bolak – balik tersebut. Kualitas gelombang searah yang dihasilkan bergantung pada besar kapasitor yang digunakan. Dimana kualitas gelombang searah akan semakin bagus apabila semakin besar kapasitor yang digunakan karena ripple yang terjadi akan semakin kecil. Gambar rangkaian greinacher dan gelombang searah yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 17 dan Gambar 18.



Gambar 17 Rangkaian Greinacher

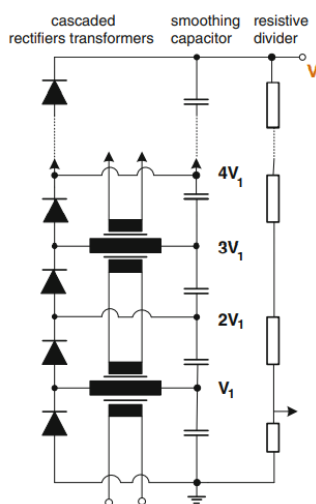


Gambar 18 Gelombang Luaran dari Rangkaian Greinacher

Untuk pembangkitan tegangan yang lebih tinggi dari 400 KV, disarankan untuk menggunakan dua atau lebih transformator secara *cascade*, tergantung pada besar tegangan yang ingin dibangkitkan. Dengan ini, berat seluruh unit transformer yang digunakan akan dibagi menjadi beberapa unit sehingga proses transportasi dan perakitan menjadi lebih



mudah. Selain itu, biaya yang dikeluarkan untuk transformator dengan tegangan tertentu dapat dikurangi, karena tidak setiap unit trafo yang di-cascade secara individual memiliki insulasi yang mahal dan berat, seperti yang diperlukan pada transformator daya untuk tegangan tinggi melebihi 345 kV. Dimana biaya pembangkitan menggunakan transformator yang di-cascade akan memiliki biaya yang jauh lebih rendah dibandingkan menggunakan transformator daya untuk pembangkitan tegangan yang sama. Contoh rangkaian pembangkitan tegangan dan arus searah secara cascade dengan 2 transformer dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19 Rangkaian Cascade Tegangan Searah dengan 2 Transformator

Beberapa keunggulan dari menggunakan rangkaian dengan hubungan cascade adalah kemampuan untuk membangkitkan tegangan dan arus tinggi searah yang lebih besar dengan sumber yang memiliki tegangan dan arus yang lebih rendah. Selain itu, ripple yang ditimbulkan juga akan relatif lebih rendah. Aplikasi kedua dari pembangkitan tegangan searah dengan hubungan cascade adalah untuk pengujian sistem DC modular. Beberapa persamaan yang digunakan dalam rangkaian hubung cascade adalah sebagai berikut:

$$\delta V = \frac{1}{f \cdot C} \cdot \frac{n + n^2}{4}$$

$$\Delta V = \frac{1}{f \cdot C} \cdot \frac{2n^3 + n}{3}$$

$$\eta_{DC} = \frac{V_{max} - \Delta V}{V_{max}}$$

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{V_{max} \times f \times C}{I}}$$

Dengan:

δV = Nilai Ripple

ΔV = Voltage Drop

η_{DC} = Efisiensi DC

n_{opt} = Banyaknya tingkat Cascade yang optimal

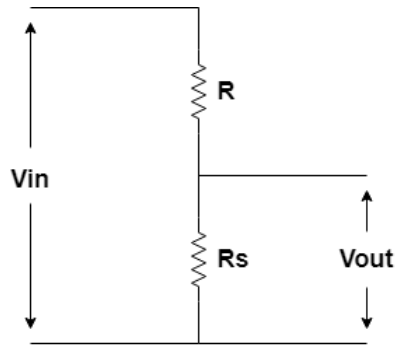
f = Frekuensi Uji

C = Besar Kapasitor yang digunakan

n = Tingkat cascade

c. *Pengukuran Tegangan dan Arus Tinggi Searah*

Metode pengukuran yang umumnya digunakan pada pengujian Tegangan Tinggi dan Arus Searahialah dengan menggunakan pembagi resistor (*resistor divider*), lalu menghubungkan resistor pembagi tersebut dengan sebuah alat ukur sehingga tegangan tinggi yang hendak diukur tegangannya tidak diukur langsung oleh alat ukur tersebut.



Gambar 20 Rangkaian Resistor Divider

Pada gambar disamping, tegangan luaran dapat dihitung menggunakan rumus:

$$V_{out} = \frac{R_s}{R + R_s} \times V_{in}$$

Keterangan:

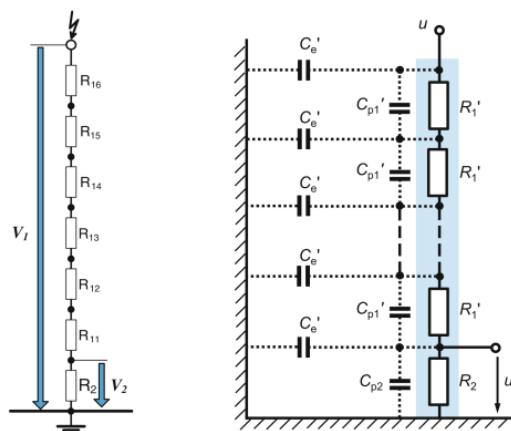
V_{in} = Tegangan tinggi yang ingin diukur

V_{out} = Tegangan tinggi yang masuk ke alat ukur

R = Resistor

R_s = Resistor Pembagi

Besarnya tahanan resistor (R) harus jauh lebih besar dari tahanan resistor pembagi (R_s), hal ini dimaksudkan agar kita dapat mengukur tegangan pada resistor R_s (dimana tegangannya kecil), kemudian dari tegangan R_s ini kita dapatkan besarnya tegangan V_{in} dengan persamaan yang telah disebutkan diatas. Namun, ada kalanya bahwa diperlukan beberapa resistor yang disusun secara *cascade* untuk mendapatkan besar resistor yang diinginkan. Ketika hal tersebut terjadi, maka timbul kapasitansi baru terhadap ground (C_e) dan kapasitansi yang parallel (C_p) terhadap resistor yang harus diperhatikan. Ilustrasi kapasitansi yang timbul dapat dilihat pada Gambar 21.



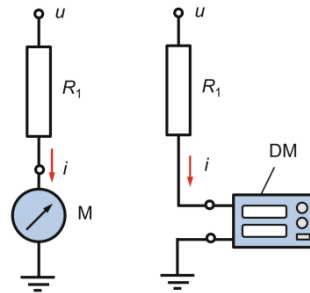
Gambar 21 Kapasitansi yang Timbul Pada Resistor Divider

Selain menggunakan resistor divider, terdapat beberapa teknik pengukuran lain yang dapat digunakan untuk mengukur tegangan dan arus tinggi searah, yaitu:



1) Resistor Seri

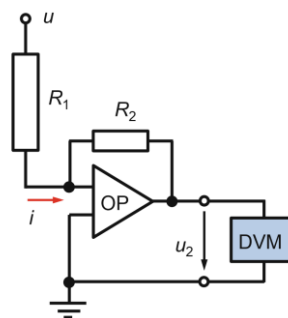
Metode ini hanya menggunakan satu buah resistor yang dihubungkan secara seri dengan alat ukur yang digunakan. Resistor tersebut berfungsi untuk memperkecil arus yang akan masuk ke alat ukur sehingga tidak menyebabkan kerusakan pada alat. Ilustrasi Teknik pengukuran dengan resistor seri dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 22 Teknik Pengukuran menggunakan Resistor Seri

2) Penggunaan Op-Amp

Pada teknik kedua, akan diperlukan 2 buah resistor yang akan dihubungkan dengan sebuah Op-Amp. Op-Amp pada rangkaian ini digunakan untuk memperbesar sinyal output yang akan masuk ke alat ukur yang digunakan. Besar tegangan output dari Op-Amp akan dipengaruhi oleh besar kedua resistor yang digunakan. Pada Teknik pengukuran ini, parameter yang diukur adalah tegangan. Ilustrasi Teknik pengukuran dengan Op-Amp dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 23 Teknik Pengukuran menggunakan Op-Amp

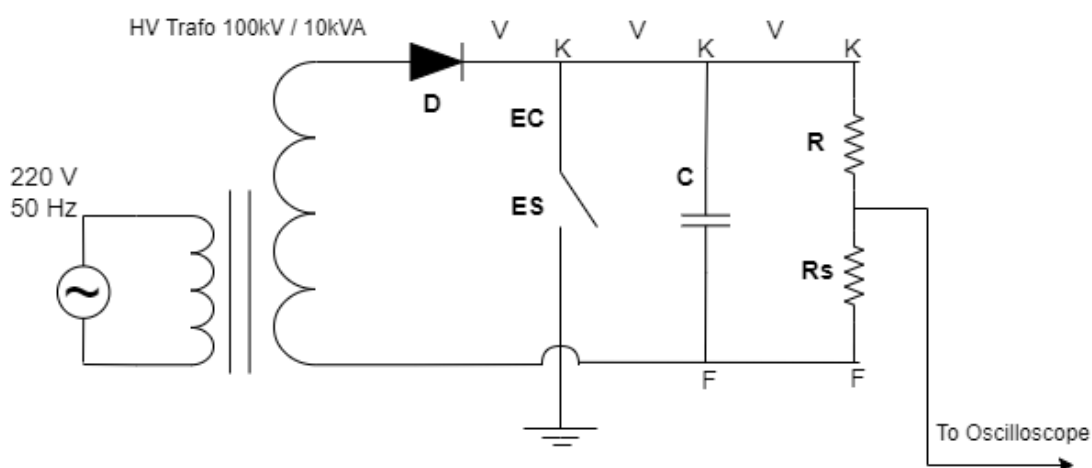


C. Peralatan Percobaan

1. 1 buah Transformator Penguji 100kV / 5kVA
2. 1 buah AC/DC Hipot Test Set
3. 3 buah Connecting Cup (K)
4. 2 buah Floor Pedestal (F)
5. 1 buah Support Insulator (IS)
6. 1 buah Earthing / Grounding Switch (ES)
7. 1 buah Resistor Tegangan Tinggi (R)
8. 1 buah Resistor Pembagi (Rs)
9. 1 buah Dioda Tegangan Tinggi (D)
10. 1 Buah Capacitor Tegangan Tinggi (C)
11. 1 Buah Oscilloscope
12. 2 Buah Kabel + Pencapit

D. Rangkaian Percobaan

a. Percobaan Hands-On

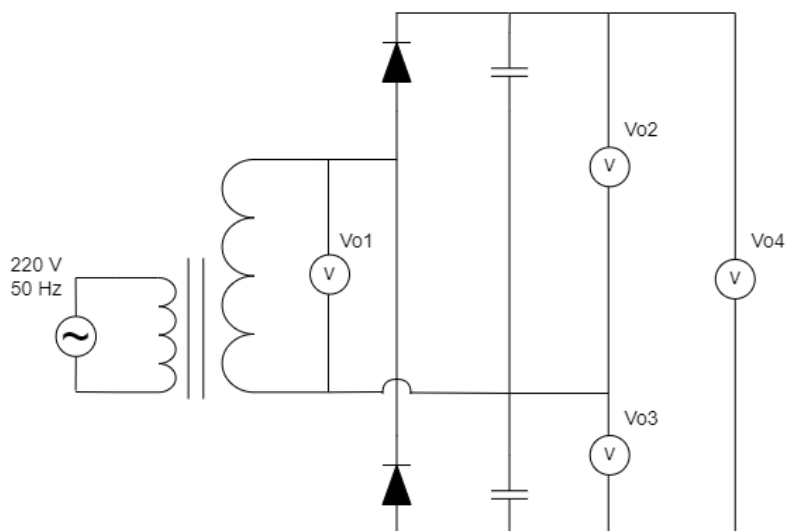


Gambar 24 Rangkaian Percobaan Hands-On Modul 3



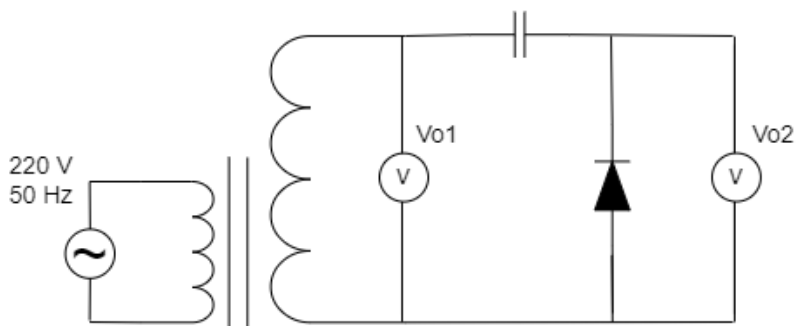
b. Percobaan Simulasi

i. Percobaan Rangkaian Delon



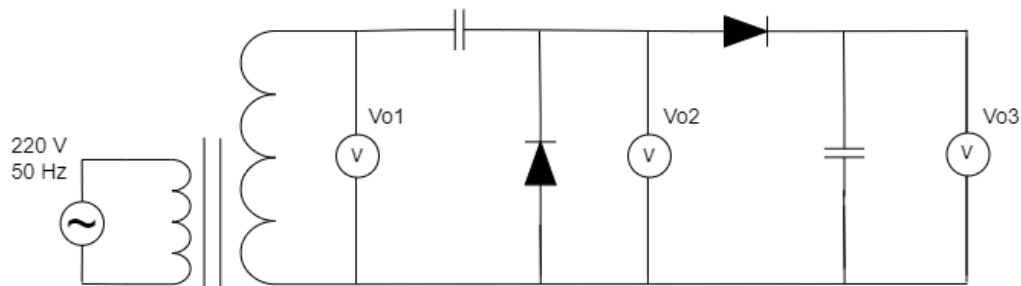
Gambar 25 Rangkaian Percobaan Delon

ii. Percobaan Rangkaian Vilard



Gambar 26 Rangkaian Percobaan Vilard

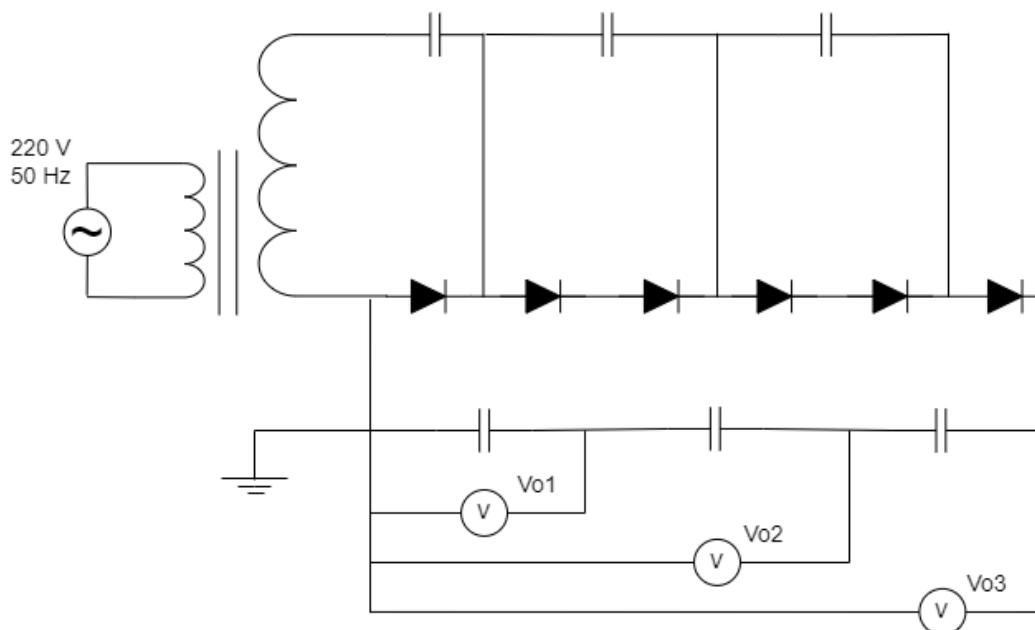
iii. Percobaan Rangkaian Greinacher



Gambar 27 Rangkaian Percobaan Greinacher



iv. Percobaan Rangkaian Cascade DC



Gambar 28 Rangkaian Percobaan Cascade DC

E. Prosedur Percobaan

a. Percobaan Hands-On

1. Matikan seluruh peralatan tegangan tinggi pada Lab. Tegangan Tinggi
2. Lakukan discharging muatan sebelum memasuki area uji Lab. Tegangan Tinggi.
3. Buatlah rangkaian percobaan sesuai dengan Gambar 24.
4. Hubungkan output resistor divider ke oscilloscope
5. Tutup pintu area uji Lab. Tegangan Tinggi dan pastikan tidak ada orang pada area uji Lab. Tegangan Tinggi.
6. Nyalakan seluruh peralatan tegangan tinggi pada Lab. Tegangan Tinggi.
7. Naikkan tegangan trafo uji menggunakan AC/DC Hipot Test Set.
8. Amati dan pelajari gelombang tegangan pada oscilloscope
9. Matikan seluruh peralatan tegangan tinggi pada Lab. Tegangan Tinggi
10. Lakukan discharging muatan pada area uji Lab. Tegangan Tinggi.
11. Rapiakan alat – alat tegangan tinggi yang telah digunakan

a. Percobaan Simulasi

1. Lakukan simulasi rangkaian Gambar 25, Gambar 26, Gambar 27, dan Gambar 28 pada software PSIM.



MODUL 4

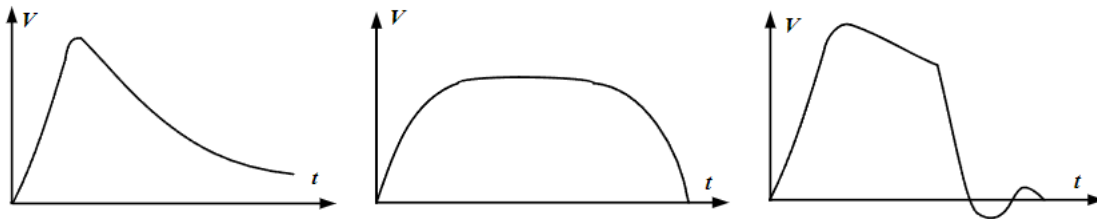
PEMBANGKITAN DAN PENGUKURAN TEGANGAN TINGGI IMPULS

A. Tujuan Praktikum

1. Mempelajari dua jenis rangkaian pengujian tegangan tinggi impuls
2. Menganalisis pembangkitan tegangan impuls dan hasil pengukuran tegangan impuls
3. Menganalisis karakteristik bentuk gelombang tegangan impuls

B. Dasar Teori

Tegangan Impuls (impulse voltage) adalah tegangan yang naik dalam waktu singkat sekali kemudian disusul dengan penurunan yang relatif lambat menuju nol. Ada tiga bentuk tegangan impuls yang mungkin menerpa sistem tenaga listrik yaitu tegangan impuls petir yang disebabkan oleh sambaran petir (lightning), tegangan impuls hubung buka yang disebabkan oleh adanya operasi hubung-buka (switching operation) dan tegangan impuls petir terpotong.



(a) Impuls petir

(b) Impuls hubung-buka

(c) Impuls petir terpotong

Beberapa karakteristik bentuk gelombang tegangan impuls yang perlu diperhatikan sebagai berikut;

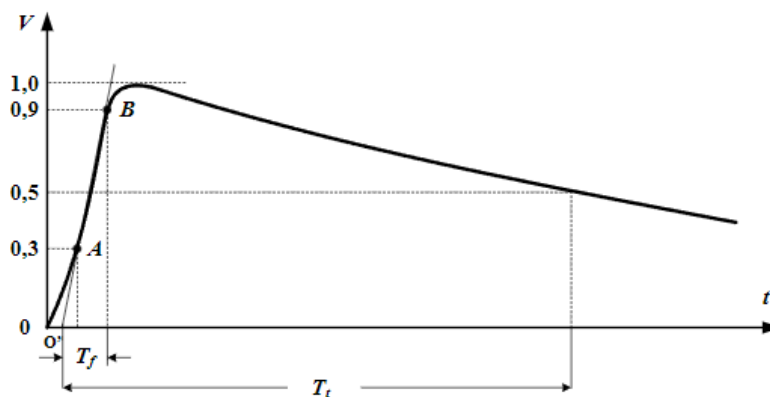
- a. Bentuk dan waktu gelombang impuls dapat diatur dengan mengubah nilai komponen rangkaian generator impuls.
- b. Nilai puncak (peak value) merupakan nilai maksimum gelombang impuls.
- c. Muka gelombang (wave front) didefinisikan sebagai bagian gelombang yang dimulai dari titik nol sampai titik puncak. Waktu muka (T_f) adalah waktu yang dimulai dari titik nol sampai titik puncak gelombang.



- d. Ekor gelombang (wave tail) didefinisikan sebagai bagian gelombang yang dimulai dari titik puncak sampai akhir gelombang. Waktu ekor (T_t) adalah waktu yang dimulai dari titik nol sampai setengah puncak pada ekor gelombang.

Suatu tegangan impuls dinyatakan dengan tiga besaran yaitu tegangan puncaknya (V_{maks}), waktu muka (T_f), dan waktu ekor (T_t). Menurut IEC waktu muka dan waktu ekor untuk tegangan impuls petir adalah:

$$T_f \times T_t = 1,2 \times 50 \mu s$$



Waktu muka dan waktu ekor yang dihasilkan generator impuls tidak selalu tepat seperti yang diinginkan. Misalnya, untuk tegangan impuls petir berdasarkan standar IEC, penyimpangan waktu muka (T_f) yang ditolerir adalah $\pm 30\%$, sedang penyimpangan waktu ekor (T_t) yang ditolerir adalah $\pm 20\%$. Untuk tegangan impuls hubung buka, penyimpangan waktu muka (T_f) yang ditolerir adalah $\pm 20\%$, sedang penyimpangan waktu ekor (T_t) yang ditolerir adalah $\pm 60\%$. Dengan demikian, waktu muka (T_f) dan waktu ekor (T_t) berdasarkan standar IEC dapat dirumuskan sebagai berikut:

Tegangan impuls petir: $T_f \times T_t = (1,2 \pm 30\%) \times (50 \pm 20\%) \mu s$

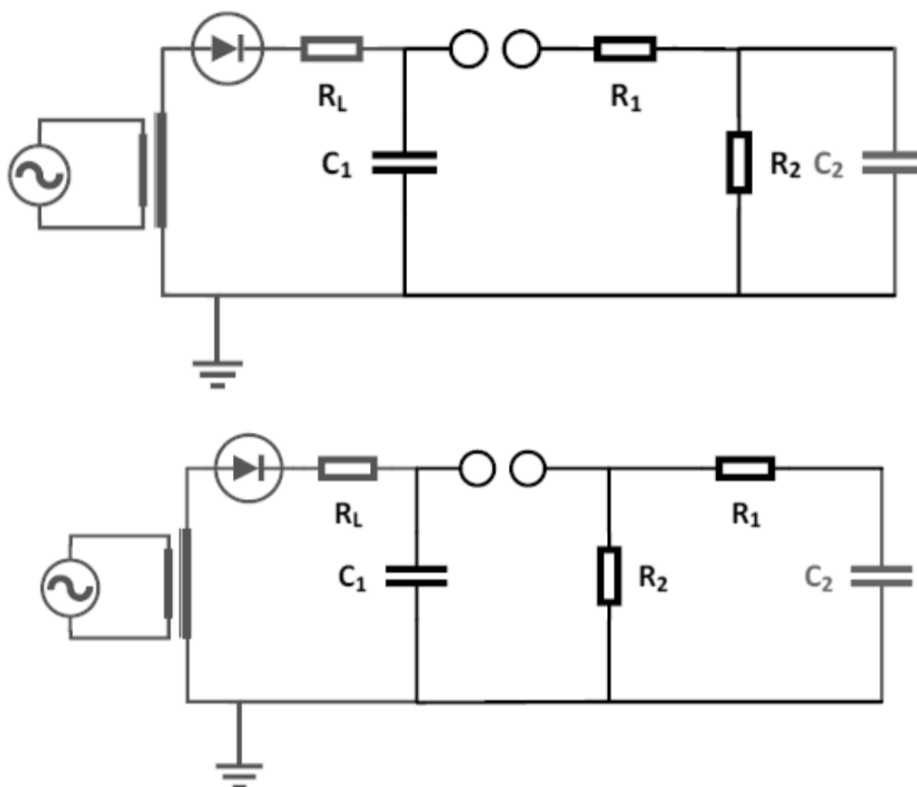
Tegangan impuls hubung buka: $T_f \times T_t = (250 \pm 20\%) \times (2500 \pm 60\%) \mu s$



C. Rangkaian Pengujian Tegangan Impuls

Kapasitor tegangan tinggi pemuat C dimuati melalui tahanan peredam RL sampai bertegangan sedikit diatas tegangan keluaran yang diinginkan. Ketika sela dipicu, maka muatan pada kapasitor dilepaskan secara transient ke rangkaian. Arus ini terjadi secara singkat, dapat diketahui selama adanya percikan pada sela picu. Tahanan resistor RL dibuat besar dengan tujuan menahan arus susulan yang datang dari sumber tegangan tinggi dc selama proses pelepasan muatan karena selama pelepasan ini, tegangan terminal kapasitor yang membuat kapasitor berpotensi lebih negatif dari sumber tegangan tinggi DC.

Pada terminal keluaran generator dipasang elektroda bola standar dengan jarak tertentu. Misalkan tegangan tembus elektroda bola pada keadaan standar untuk jarak seala yang ditentukan adalah V_S sedangkan tegangan tembus sela bola pada saat pengujian berlangsung adalah $V_P = \delta V_P$. Dimana δ adalah faktor koreksi udara saat pengujian dilaksanakan.





D. Peralatan Percobaan

1. Transformer Pengujian 1 buah
2. Resistor Tegangan Tinggi 2 buah
3. Elektroda 1 buah
4. Connecting Rod 6 buah
5. Floor Pedestal 8 buah
6. Support Insulator 4 buah
7. Connecting Cup 6 buah
8. Earthing / Ground Switch 1 buah
9. Dioda Tegangan Tinggi 1 buah
10. Kapasitor Tegangan Tinggi 2 buah

E. Prosedur Percobaan

1. Menyusun rangkaian pengujian tegangan impuls sesuai diagram rangkaian diatas.
2. Menyesuaikan nilai tegangan V yang akan dihantarkan pada rangkaian tersebut.
3. Menentukan charging kondensor surja yang diperlukan.
4. Menyesuaikan lebar sela seri pada generator impuls berdasarkan kurva series gap charging voltage.
5. Menyambungkan satu elektroda bola pada rangkaian sesuai diagram.
6. Melakukan manipulasi tegangan charging kondensor surja dan lakukan triggering sampai diperoleh tegangan spark overvoltage.
7. Mencatat besar tegangan charging kondensator surja tersebut.
8. Mengamati bentuk gelombang surja dan magnitude gelombang impulsnya pada osciloscop. Magnitude gelombang impuls dapat diperoleh dengan mengalikan tegangan puncak pada osciloscop dengan faktor pengali rangkaian (resistor divider).



MODUL 5

PENGUJIAN ISOLASI UDARA TEGANGAN BOLAK – BALIK

A. Tujuan Praktikum

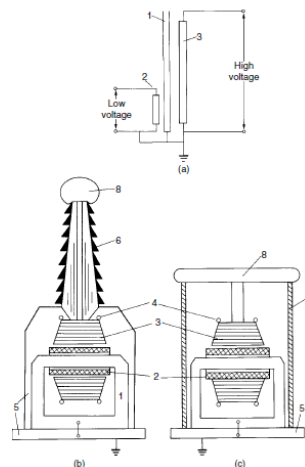
1. Mempelajari pengaruh bentuk elektroda pada kegagalan isolasi udara dengan tegangan tinggi bolak balik
2. Mempelajari pengaruh jarak elektroda pada kegagalan isolasi udara dengan tegangan tinggi bolak balik
3. Mengukur tegangan tinggi arus bolak balik (AC) dengan menggunakan prinsip pembagi kapasitor

B. Dasar Teori

a. Tegangan Tinggi AC

Tegangan tinggi arus bolak balik dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu tegangan tinggi arus bolak balik dengan frekuensi rendah dan tegangan tinggi arus bolak balik dengan frekuensi tinggi. Pengujian menggunakan tegangan tinggi arus bolak balik frekuensi rendah diperlukan untuk menyelidiki apakah peralatan listrik yang terpasang pada jaringan tegangan tinggi dapat menahan tegangan yang melebihi tegangan operasinya untuk waktu terbatas.

Sedangkan tegangan tinggi arus bolak balik dengan frekuensi tinggi diperlukan untuk berbagai macam pengujian, diantaranya adalah untuk menguji adanya kerusakan-kerusakan mekanis (keretakan, kantong udara, dan sebagainya) pada isolator, terutama isolator porselen.





Peralatan yang digunakan untuk membangkitkan tegangan tinggi bolak balik adalah dengan menggunakan transformator, yang biasanya digunakan adalah transformator penguji. Trafo pengujian yang digunakan memiliki perbandingan jumlah lilitan lebih besar dibandingkan dengan Trafo Daya dan kapasitas kVA-nya kecil dibandingkan dengan kapasitas Trafo Daya. Biasanya dipakai transformator satu fasa, karena pengujian dilakukan fasa demi fasa.

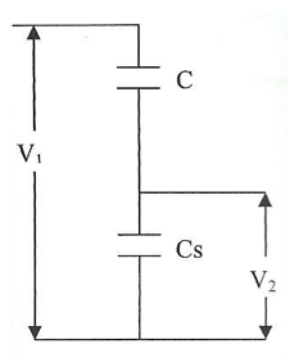
b. Kegagalan Isolasi Udara

Pada umumnya, kegagalan peralatan listrik pada waktu sedang dipakai disebabkan oleh kegagalan isolasi dalam menjalankan fungsinya sebagai isolator tegangan tinggi. Kegagalan isolasi disebabkan oleh beberapa faktor antara lain isolasi tersebut sudah dipakai untuk waktu yang lama, kerusakan mekanis, berkurangnya kekuatan dielektrik, dan karena tegangan lebih.

Udara merupakan media isolasi yang paling banyak digunakan dalam teknik tegangan tinggi. Beberapa fenomena atau gejala tegangan tinggi yang biasa terjadi antara lain skin effect, korona, spark over dan flash over. Fenomena fisik gejala maupun kegagalan tegangan tinggi ini salah satunya dipengaruhi oleh bentuk elektroda yang dipakai.

c. Pengukuran Tegangan Tinggi AC

Metode pengukuran pada Tegangan Tinggi Arus bolak balik ialah dengan menggunakan pembagi kapasitor (capacitor divider), yakni dengan menghubungkan kapasitor dengan sebuah voltmeter, sehingga tegangan tinggi yang hendak diukur tegangannya tidak diukur langsung oleh voltmeter tersebut.



Dalam hal ini:

$$V1 = \frac{C+Cs}{C} V2$$

V1 = tegangan tinggi yang hendak diukur besarnya

V2 = tegangan di voltmeter

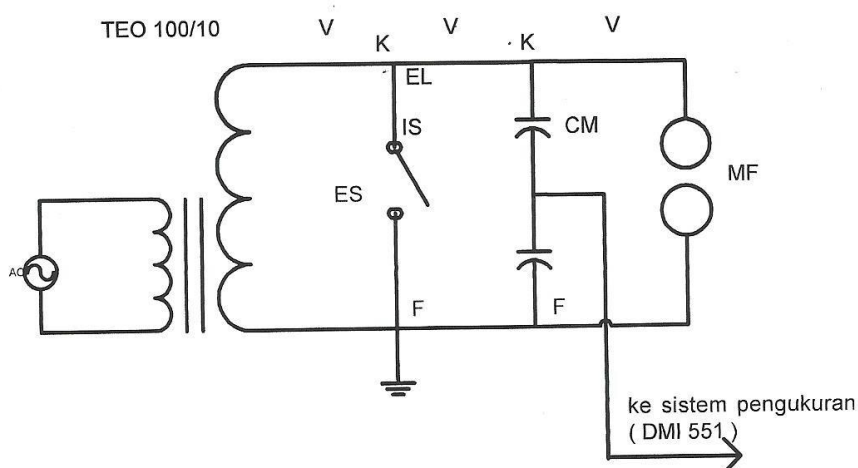
Cs = kapasitansi voltmeter



C. Peralatan Percobaan

1. 1 buah Transformator Penguji 100kV / 10 kVA (TEO 100 / 10)
2. 3 buah Connecting Rod (V)
3. 2 buah Connecting Cup (K)
4. 2 buah Floor Pedestal (F)
5. 1 buah Support Insulator (IS)
6. 1 buah measuring Spark Gap (MF)
7. 1 buah Earthing / Grounding Switch (ES)
8. 1 buah Measuring capacitor 100 kV, 100 pF (CM)
9. 1 buah Electrode (EL)
10. 2 buah Elektroda tipe jarum
11. 2 buah Elektroda tipe lempengan (flat)
12. Kabel pengontrol jarak antar elektroda OT 271 – AKF
13. Instrumen Pengukuran Digital (DMI 551)

D. Rangkaian Percobaan



E. Prosedur Percobaan

1. Menyusun rangkaian seperti gambar diatas
2. Gunakanlah elektroda tipe flat – tipe flat (dibumikan), pada MF
3. Ukurlah tegangan kegagalan yang terjadi pada elektroda tersebut dengan tegangan bolak – balik. Pengukuran dilakukan pada jarak antar elektroda sebesar 5, 10, 20, dan 30 mm
4. Catat besarnya tegangan kegagalan yang terjadi
5. Ulangi percobaan seperti diatas untuk bermacam bentuk elektroda, yakni :



- Tipe jarum – tipe flat (dibumikan)
 - Tipe bola – tipe flat (dibumikan)
 - Tipe jarum – tipe jarum (dibumikan)
6. Catat kembali besarnya tegangan kegagalan untuk bermacam bentuk elektroda tersebut pada asing-masing jarak



MODUL 6

PENGUJIAN ISOLAZI ZAT CAIR

A. Tujuan Praktikum

1. Mengetahui karakteristik kegagalan isolasi zat cair
2. Mengamati peristiwa kegagalan isolasi zat cair pada tegangan tinggi bolak balik (AC)
3. Mempelajari pengaruh jarak elektroda pada kegagalan isolasi zat cair dengan tegangan tinggi bolak balik (AC)

B. Dasar Teori

a. Isolasi Zat Cair

Isolasi zat cair berfungsi untuk memisahkan bagian-bagian yang memiliki beda tegangan agar tidak terjadi percikan ataupun lompatan bunga api di antara bagian - bagian tersebut. Selain itu, isolasi cair juga dapat berfungsi sebagai pendingin (cooling). Isolasi cair banyak digunakan pada peralatan listrik seperti pemutus tenaga, transformator dan lainnya.

- **Keunggulan Isolasi Zat Cair**

Ada beberapa alasan mengapa isolasi cair digunakan antara lain:

1. Isolasi cair memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih dibandingkan dengan isolasi gas, sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi menurut hukum paschen.
2. Isolasi cair akan mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi dan secara serentak melalui proses konversi menghilangkan panas yang timbul akibat rugi energi.
3. Isolasi cair dapat dimanfaatkan sebagai pembawa informasi mengenai keadaan baik atau buruknya suatu transformator.

- **Syarat Minyak Isolasi**

Karena kekuatan elektrik dan umur suatu trafo tergantung sepenuhnya pada kualitas minyak isolasi dan untuk memenuhi ketiga fungsi yang dijelaskan sebelumnya, menurut SPLN 49 – 91 : 1982 minyak isolasi harus memiliki beberapa syarat, yaitu :



1. Kejernihan (Appearance)

Minyak tidak boleh mengandung suspensi atau endapan (sedimen).

2. Konduktivitas Panas (Thermal Conductivity)

Konduktivitas panas adalah kemampuan isolator minyak menghantarkan panas. Minyak transformator harus memiliki daya hantar panas yang baik agar udara panas dengan cepat dapat disirkulasikan dan temperatur transformator akan tetap terjaga.

3. Massa Jenis (Density)

Massa jenis isolator minyak mineral ini lebih kecil dibanding air, yaitu tidak boleh melebihi 0,859 g/cm pada suhu 20° C. Selain itu, jika minyak bermassa jenis rendah, maka partikel-partikel yang ada di dalam minyak akan segera mengendap pada dasar tangki. Hal ini sangat membantu dalam mempertahankan homogenitas minyak.

4. Kekentalan (Viscosity)

Kekentalan merupakan suatu tahanan dari cairan untuk mengalir kontinyu dan merata. Viskositas sangat penting pada isolasi cair. Hal ini dikarenakan viskositas berpengaruh pada kemurnian isolasi cair (banyaknya kontaminan partikel padat) dan pendinginan suatu peralatan listrik. Isolasi cair yang baik haruslah mempunyai viskositas yang rendah sehingga kemungkinan isolasi cair terkontaminasi akan kecil. Selain itu jika viskositas isolasi cair rendah, proses sirkulasi isolasi cair pada peralatan listrik akan berlangsung dengan baik sehingga akhirnya pendinginan inti dan belitan transformator dapat berlangsung dengan sempurna.

5. Titik Nyala (Flash Point)

Titik nyala suatu minyak merupakan pernyataan dimana minyak dapat dipanaskan pada kondisi tertentu sebelum uap yang dihasilkan menjadi api yang berbahaya. Karakteristik titik nyala menentukan terjadinya penguapan dalam minyak. Jika titik nyala minyak rendah, maka minyak mudah menguap. Ketika minyak menguap, volumenya berkurang, minyak semakin kental dan campuran dengan udara di atas permukaan minyak membentuk bahan yang dapat meledak



6. Titik Tuang (Pour Point)

Titik tuang adalah temperatur minimum yang dibutuhkan minyak agar dapat mengalir. Jika temperature minyak berada di bawah temperature titik tuang nya, maka minyak akan berhenti mengalir dan menyebabkan aliran konveksi akan terhenti sehingga menghambat pendinginan transformator. Minyak transformator sebaiknya memiliki titik tuang yang rendah sehingga minyak dapat tetap mengalir pada suhu yang cukup rendah. Namun, karakteristik titik tuang tidak terlalu berpengaruh dalam pemakaian minyak transformator di Indonesia mengingat iklim di Indonesia yang tropis dan temperaturnya yang cukup tinggi cenderung tetap. Titik tuang digunakan untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi. Umumnya, minyak trafo dengan bahan paraffin memiliki titik tuang yang lebih tinggi dari minyak dengan bahan Naptha.

Selain syarat-syarat yang telah dijelaskan di atas, minyak transformator juga harus mempunyai kekuatan dielektrik dan tegangan tembus yang tinggi, tidak merusak material isolasi dan material lain trafo, dan memiliki struktur kimia yang stabil agar usia pelayanannya lebih panjang.

- Jenis – Jenis Isolasi Zat Cair

1. Minyak Isolasi Mineral

Minyak isolasi mineral adalah minyak isolasi yang bahan dasarnya berasal dari minyak bumi yang diproses dengan cara destilasi. Minyak isolasi hasil destilasi ini harus mengalami beberapa proses lagi agar diperoleh tahanan isolasi yang tinggi, stabilitas panas yang baik, mempunyai karakteristik panas yang stabil, dan memenuhi syarat – syarat teknis yang lain. Minyak isolasi mineral banyak digunakan pada transformator daya, kabel, pemutus daya (CB), dan kapasitor. Dalam hal ini minyak isolasi dapat berfungsi sebagai bahan dielektrik, bahan pendingin, dan pemadam busur api.

2. Minyak Isolasi Sintetis

Penggunaan minyak isolasi mineral masih memiliki keterbatasan karena memiliki sifat yang mudah beroksidasi dengan udara, mudah mengalami pemburukan serta sifat kimianya yang dapat berubah akibat kenaikan



temperatur yang terjadi ketika memadamkan busur api saat peralatan beroperasi. Penggunaan minyak isolasi sintetis untuk masa akan yang datang diharapkan mampu menutupi keterbatasan – keterbatasan minyak isolasi mineral. Oleh sebab itu saat ini banyak dikembangkan penelitian – penelitian tentang kemungkinan pemakaian dari beberapa jenis minyak isolasi sintetis pada peralatan tegangan tinggi.

Minyak isolasi sintetis adalah minyak isolasi yang diolah dengan proses kimia untuk mendapatkan karakteristik yang lebih baik. Sifat – sifat penting dari minyak isolasi sintetis bila dibandingkan dengan minyak isolasi mineral adalah :

- Kekuatan dielektriknya diatas 40 kV.
- Harganya murah, sukar terbakar, dan tidak mengendap.
- Berat jenisnya adalah 1,56 dan jika dicampur dengan air, minyak isolasi berada di bawah permukaan air sehingga mempermudah dalam proses pemurnian dan pemisahan kadar air dalam minyak.
- Mempunyai daya hantar panas yang sama dengan minyak isolasi mineral.
- Pada kondisi pemakaian yang sama dengan minyak mineral, uap lembab akan menyebabkan oksidasi yang berlebih serta penurunan kekuatan dielektrik lebih cepat pada minyak sintetis bila dibandingkan dengan minyak mineral akan tetapi karena umurnya lebih panjang dan sifat pendinginnya lebih baik, maka pada beberapa pemakaian minyak isolasi sintetis banyak digunakan.

b. Kegagalan Isolasi Zat Cair

Kegagalan isolasi pada peralatan tegangan tinggi yang terjadi pada saat peralatan sedang beroperasi bisa menyebabkan kerusakan alat sehingga kontinuitas sistem menjadi terganggu. Dari beberapa kasus yang terjadi menunjukkan bahwa kegagalan isolasi ini berkaitan dengan adanya partial discharge. Partial discharge ini dapat terjadi pada material isolasi padat, material isolasi cair, dan juga material isolasi gas. Kegagalan pada material isolasi cair ini disebabkan oleh :



1. Teori kegagalan murni atau elektronik

Teori ini merupakan perluasan dari teori kegagalan dalam gas, yaitu proses kegagalan yang terjadi dalam zat cair dianggap serupa dengan yang terjadi dalam gas.

2. Teori kegagalan gelembung udara atau kavitasi.

Adanya gelembung udara dalam cairan merupakan awal dan penyebab kegagalan total dari zat cair dengan adanya gelembung pada zat cair dan tercampurnya material isolasi cair.

3. Teori kegagalan bola cair

Ketidakmurnian yang tidak stabil dalam medan listrik (misalnya bola-bola air) dapat merupakan jembatan bertahanan rendah diantara elektroda dan dapat mengakibatkan kegagalan.

4. Teori kegagalan ketidakmurnian padat

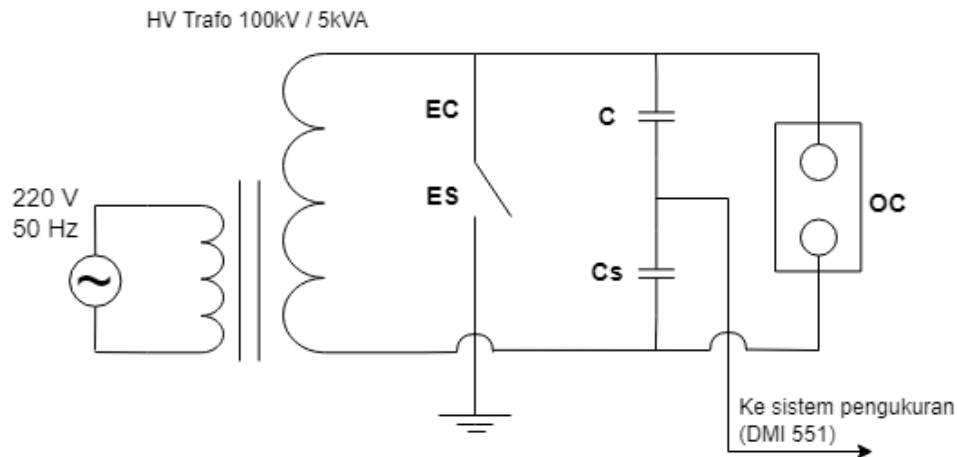
Ketidakmurnian (misalnya butiran penghantar padat) dapat menyebabkan pembesaran medan listrik setempat. Apabila medan dalam zat cair melebihi nilai kritis titik tertentu maka di tempat itu zat cair akan gagal dan dapat menyebabkan kegagalan total.

C. Peralatan Percobaan

1. 1 buah Transformer Penguji 100kV / 5kVA
2. 1 buah Oil Testing Cup (OC)
3. 1 buah Kapasitor (C)
4. 1 buah Kapasitor Pembagi (Cs)
5. 1 buah Tongkat Grounding
6. Kabel Grounding (EC)
7. Earthing Switch (ES)
8. Minyak Transformer
9. Penggaris
10. AC/DC Hipot Test Set
11. Instrumen Pengukuran Digital (DMI 551)



D. Rangkaian Percobaan



Gambar 29 Rangkaian Percobaan Isolasi Zat Cair

E. Prosedur Percobaan

1. Pastikan semua peralatan listrik tegangan tinggi sudah dimatikan
2. Lakukan discharging muatan pada connecting cup menggunakan tongkat grounding
3. Susunlah rangkaian seperti pada Gambar 29
4. Aturlah jarak antar electrode pada oil testing cup (OC) sebesar 2 mm, gunakan penggaris sebagai alat bantu ukur
5. Tuang minyak trafo pada oil testing cup (OC) hingga elektroda terendam
6. Keluar dari ruangan pengujian dan pastikan tidak ada orang di dalam daerah pengujian tegangan tinggi
7. Nyalakan AC/DC Hipot Test Set
8. Naikkan tegangan output transformer secara perlahan dengan mengatur knob pada AC/DC Hipot Test Set sampai terjadi peristiwa kegagalan isolasi
9. Turunkan tegangan output transformer dengan mengembalikan knob ke posisi semula pada AC/DC Hipot Test Set
10. Ukur dan catat tegangan kegagalan yang terjadi pada elektroda tersebut
11. Lakukan discharging muatan pada connecting cup menggunakan tongkat grounding selama kurang lebih 1 menit
12. Ulangi percobaan tersebut dengan jarak antar elektroda sebesar 4 mm, 6 mm, dan 8 mm.



MODUL 7

PENGUJIAN ISOLASI ZAT PADAT

A. Tujuan Praktikum

1. Mengetahui karakteristik kegagalan isolasi zat padat
2. Mengamati peristiwa kegagalan isolasi zat padat pada tegangan tinggi bolak balik (AC)
3. Mempelajari pengaruh jarak elektroda pada kegagalan isolasi zat padat dengan tegangan tinggi bolak balik (AC)

B. Dasar Teori

a. Isolasi Zat Padat

Isolasi padat secara umum mempunyai sifat dielektrik yang baik, mempunyai kemampuan mekanik dan dapat menjadi protektor terhadap lingkungan. Beberapa keuntungan dari isolasi padat diantaranya bersifat self supporting (tidak perlu pendukung) dan tidak perlu wadah. Isolasi padat juga memiliki kelemahan yaitu sifat recovery isolasinya rendah sehingga sekali mengalami tembus maka sudah tidak dapat lagi digunakan dan fungsi sebagai pendingin kurang baik. Adapun bahan-bahan isolasi padat bersumber dari alam melalui tumbuh-tumbuhan dan pertambangan.

b. Jenis – Jenis Isolasi Zat Padat

Beberapa jenis – jenis isolasi zat pada dunia kelistrikan yang sering digunakan adalah sebagai berikut:

1. Isolasi Kertas dan Press Boards

Kertas dan papan (board) terbuat dari bahan baku selulosa yang berasal dari berbagai bahan seperti kayu, kapas, papyurs, serat alam (yute, rami) dan bambu. Kertas untuk dielektrik biasanya diproses dari pulp kayu kraft yang berasal dari konifer, kayu lunak atau pinus. Selulosa mempunyai rumus kimia ($C_6H_{10}O_5$) yang merupakan polimer dengan berat molekul tinggi yang terdiri dari kristalin yang bergabung dengan bagian amorphous. Secara umum selulosa mempunyai ikatan linier. Namun tidak jarang dilakukan cross linking ringan.



Perbedaan antara kertas dan paper board kurang jelas namun biasanya dilihat dari ketebalannya. Kertas biasanya untuk ketebalan kurang dari 0,8 mm sedangkan paper board untuk ketebalan yang lebih dari itu. Pada proses pembentukan awal maka kandungan air dapat mencapai 98% namun proses selanjutnya, kertas dikeringkan dan kandungan kelembaban didalamnya turun hingga sekitar 5%. Kertas mempunyai sifat higroskopik (mudah menyerap air). Oleh karena itu dalam proses manufaktur nya, kertas akan dikeringkan dahulu kemudian diimpregnasi dengan minyak mineral.



Gambar 30. Press Board berbahan dasar selulosa untuk insulasi transformator

2. Keramik

Keramik termasuk bahan isolasi/dielektrik yang secara luas telah dipergunakan sejak lama baik untuk isolasi maupun pada jaringan transmisi dan distribusi. Keramik terbuat dari aluminium silikat hidrat dengan rumus kimia $\text{Al}_2\text{O}_3\text{SiO}_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$. Secara umum keramik mempunyai susunan kristalin dengan pengikat amorphous yang terbentuk selama proses terutama pada saat pembakaran (firing). Rasio antara kristalin dan amorphous menentukan kualitas keramik.

Formasi kristal ditentukan oleh profil temperatur dan waktu pembakaran disamping oleh bahan baku yang dipergunakan. Keramik dibagi kedalam dua kelompok dari harga konstanta dielektrik. Keramik dengan konstanta dielektrik rendah (lebih kecil dari dua belas) banyak dipergunakan untuk isolator sedangkan keramik dengan konstanta dielektrik tinggi dipergunakan untuk kapasitor dan sensor/transduser.

3. Gelas

Berbeda dengan keramik yang merupakan kristalin maka gelas adalah amorphous cair dengan viskositas tinggi dan dicampur dengan oksida logam seperti kalsium atau timbal. Gelas didinginkan ke fase padat tanpa mengalami kristalisasi. Gelas merupakan material inorganik thermoplastic. Pada temperatur dibawah transisi gelas bersifat keras dan pada temperatur diatas transisi gelas menyerupai plastik dan melembek. Salah satu campuran gelas sebagai bahan isolasi yaitu kalsium silikat yang umum digunakan sebagai isolasi untuk pipa.

4. Karet

Karet berasal dari getah pohon karet dan dengan pemrosesan tertentu maka dapat diperoleh isolasi karet organik dengan bentuk yang diinginkan. Karet merupakan isolator yang baik dengan sifat elastis dan temperatur operasi relatif rendah. Isolasi berbahan karet biasanya digunakan untuk dijadikan alas pijakan anti-slip yang dapat melindungi teknisi dari electrical discharge.



Gambar 31 Isolasi elektrik berbahan dasar karet untuk alas pijakan

5. Mika

Istilah mika berasal dari bahasa latin Micare yang artinya bersinar. Mika ditemukan di india sejak tahun 2000 sebelum masehi. Mika adalah senyawa kompleks silikat. Untuk keperluan sebagai isolasi memiliki dua jenis yaitu mika moscovite dan mika philloghopite.

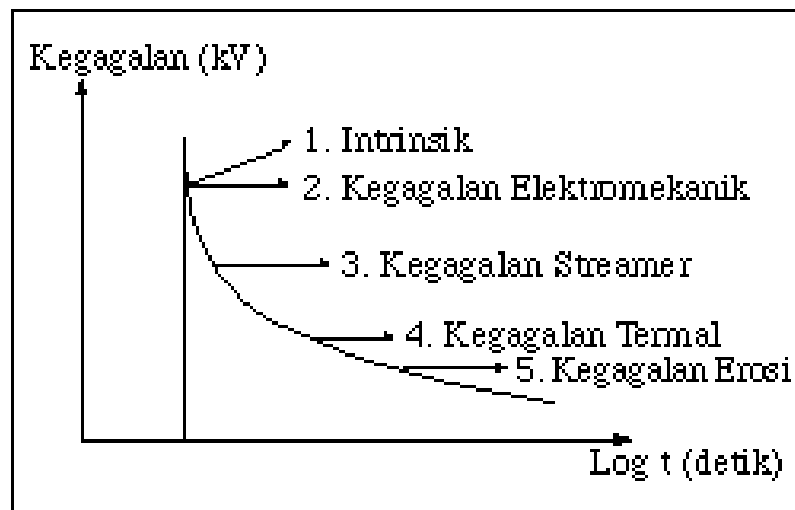
Isolasi mika digunakan dalam bentuk pelat atau papan yang bervariasi. Pengaplikasian untuk isolasi banyak ditemukan pada kapasitor, jendela microwave spacer pada tabung hampa, partisi pada kubikel dan sebagainya. Isolasi ini juga dibuat secara sintetik dengan sifat yang bahkan lebih baik. Temperatur operasinya bisa mencapai 900°C.

6. Polimer

Polimer merupakan zat yang terdiri dari rangkaian panjang molekul kecil (monomer) yang berantai yang membentuk molekul besar (makromolekul). Dalam kehidupan sehari-hari, polimer kita kenal sebagai plastik. Polimer mengandung makromolekul-makromolekul yang panjang dengan monomer - monomer yang berulang. Polimer biasanya dinamakan dengan menempatkan pol- di depan nama monomer yang diambil. Sebagai contoh, monomer etilen merupakan monomer yang berulang dalam politilen. Unit molekul yang berbeda diambil diambil sampai ke ujung rantai (contohnya, CH_3 pada polihyethylene). Bagaimana karena n (tingkat polimerisasi) sangat besar dalam kasus ini (biasanya dalam interval $10^3 - 10^5$), akhir dari satu unit tidak berpengaruh pada karakteristik fisik polimer.

c. Kegagalan Pada Isolasi Zat Padat

Mekanisme kegagalan bahan isolasi padat terdiri dari beberapa jenis sesuai fungsi waktu penerapan tegangannya. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 32 Kegagalan Isolasi Zat Padat

1. Kegagalan Intrinsik

Kegagalan intrinsik adalah kegagalan yang disebabkan oleh jenis dan suhu bahan dengan menghilangkan pengaruh luar seperti tekanan, bahan elektroda, ketidak murnian, kantong-kantong udara. Kegagalan ini terjadi jika tegangan yang dikenakan pada bahan dinaikkan sehingga tegangan listriknya mencapai nilai tertentu pada waktu detik



2. Kegagalan Elektromekanik

Kegagalan elektromekanik adalah kegagalan yang disebabkan oleh adanya perbedaan polaritas antara elektroda yang menjepit material isolasi padat sehingga timbul tekanan listrik pada bahan tersebut. Tekanan listrik yang terjadi menimbulkan tekanan mekanik yang menyebabkan tarik menarik antara kedua elektroda tersebut. Tekanan atau tarikan mekanis ini berupa gaya yang bekerja pada zat padat berhubungan dengan Modulus Young

3. Kegagalan Thermal

Kegagalan thermal adalah kegagalan yang terjadi jika kecepatan pembangkitan disuatu titik dalam bahan melebihi laju kecepatan pembuangan panas keluar. Akibatnya terjadi keadaan tidak stabil sehingga pada suatu saat bahan mengalami kegagalan.

4. Kegagalan Streamer /Avalanche

Kegagalan Streamer adalah kegagalan yang terjadi akibat limpahan electron melewati celah elektroda yang disebut dengan fenomena avalanche. Sebuah elektron yang memasuki band conduction di katoda akan bergerak menuju anoda, dan selama gerakan ini terjadi, elektron memperoleh energi dari medan dan akan kehilangan energi tersebut ketika bertumbukan. Ketika energi yang diperoleh electron melebihi nilai potensial ionaisasi, sebuah electron akan bertambah setiap terjadi benturan. Jika suatu tegangan V dikenakan terhadap elektroda bola, maka pada media yang berdekatan (gas/udara) timbul tegangan. Karena gas mempunyai permivitas lebih rendah dari zat padat sehingga gas akan mengalami tekanan listrik yang besar. Akibatnya gas tersebut sudah mengalami kegagalan sementara zat padat belum mencapai kekuatan intristic nya. Karena kegagalan tersebut maka akan jatuh sebuah muatan pada permukaan zat padat sehingga medan yang tadinya seragam akan terganggu. Bentuk muatan pada ujung pelepasan ini dalam keadaan tertentu dapat menimbulkan medan lokal yang cukup tinggi sekitar 10 MV/cm. Karena medan ini melebihi kekuatan intrinsik maka akan terjadi kegagalan pada isolasi padat. Proses kegagalan terjadi sedikit demi sedikit yang dapat menyebabkan kegagalan total.



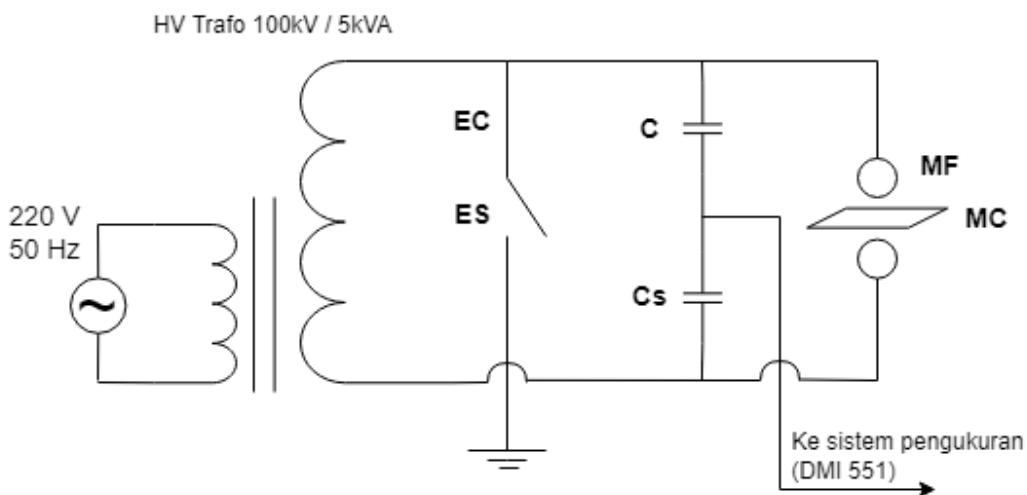
5. Kegagalan Erosi / Partial Discharge

Kegagalan partial discharge/erosi adalah kegagalan yang disebabkan zat isolasi padat tidak sempurna, karena adanya lubang atau rongga dalam bahan isolasi tersebut. Rongga (void) akan terisi oleh gas atau cairan yang kekuatannya lebih kecil dari kekuatan zat padat.

C. Peralatan Percobaan

1. 1 buah Transformer Penguji 100kV / 5kVA
2. 1 buah Measuring Spark Gap (MF)
3. 1 buah Keramik Marmer
4. 1 buah Kapasitor (C)
5. 1 buah Kapasitor Pembagi (Cs)
6. 1 buah Tongkat Grounding
7. Kabel Grounding (EC)
8. Earthing Switch (ES)
9. Penggaris
10. AC/DC Hipot Test Set
11. Instrumen Pengukuran Digital (DMI 551)
- 12.

D. Rangkaian Percobaan



Gambar 33 Rangkaian Pengujian Isolasi Zat Padat



E. Prosedur Percobaan

1. Pastikan semua peralatan listrik tegangan tinggi sudah dimatikan
2. Lakukan discharging muatan pada connecting cup menggunakan tongkat grounding
3. Susunlah rangkaian seperti pada Gambar 33
4. Sisipkan 1 buah keramik granit diantara measuring spark gap (MF)
5. Keluar dari ruangan pengujian dan pastikan tidak ada orang di dalam daerah pengujian tegangan tinggi
6. Nyalakan AC/DC Hipot Test Set
7. Naikkan tegangan output transformer secara perlahan dengan mengatur knob pada AC/DC Hipot Test Set sampai terjadi peristiwa kegagalan isolasi
8. Turunkan tegangan output transformer dengan mengembalikan knob ke posisi semula pada AC/DC Hipot Test Set
9. Ukur dan catat tegangan kegagalan yang terjadi pada elektroda tersebut
10. Lakukan discharging muatan pada connecting cup menggunakan tongkat grounding selama kurang lebih 1 menit
11. Ulangi percobaan tersebut dengan jumlah keramik sebanyak 2 buah dan 3 buah.



MODUL 8
POST – TEST