

Teknik Tegangan Tinggi  
TEL12068

Dr Ir Dina Maizana MT

Mari kita berdoa menurut agama dan kepercayaan masing-masing sebelum kelas dimulai.

Doa dimulai...



## **CAPAIAN PEMBELAJARAN MATAKULIAH (CPMK)**

- . Mahasiswa mampu menjelaskan Tekanan medan listrik, Isolasi gas/ ruang hampa, Dielektrik cair, Dielektrik padat, Estimasi dan pengaturan tekanan listrik



## Pendahuluan

- Di zaman modern, tegangan tinggi digunakan untuk berbagai aplikasi yang mencakup sistem tenaga, industri, dan laboratorium penelitian.
- Aparat tegangan tinggi digunakan untuk mendesain insulasi dengan hati-hati dan profil medan elektrostatik.
- Media utama insulasi yang digunakan adalah gas, vakum, padat, cair atau kombinasi dari semuanya.
- Untuk mencapai keandalan dan keekonomisan, pengetahuan tentang penyebab kemunduran sangat penting dan kecenderungan untuk meningkatkan tegangan tegangan untuk desain yang optimal memerlukan pemilihan isolasi yang bijaksana sehubungan dengan kekuatan dielektrik, pelepasan korona dan faktor-faktor terkait lainnya.

## Tekanan medan listrik

- Dalam aplikasi tegangan tinggi, kekuatan dielektrik bahan isolasi dan tekanan medan listrik dikembangkan di dalamnya ketika mengalami tegangan tinggi adalah faktor penting dalam sistem tegangan tinggi.
- Dalam peralatan bertegangan tinggi bahan penting yang digunakan adalah konduktor dan isolator.
- Sementara konduktor membawa arus, isolator mencegah aliran arus di jalur yang tidak diinginkan.

- Tegangan listrik yang menjadi bahan isolasi dikenakan secara numerik sama dengan gradien tegangan, dan sama dengan intensitas medan listrik
- $E$  : electric field intensity
- $\phi$  : applied voltage
- $\nabla$  : operator (defined as  $\nabla = a_x \frac{\partial}{\partial x} + a_y \frac{\partial}{\partial y} + a_z \frac{\partial}{\partial z}$  )
- Where  $a_x$ ,  $a_y$  and  $a_z$  are components of position vector  $r = ax_x + ay_y + az_z$

- Bahan yang paling penting yang digunakan dalam peralatan tegangan tinggi adalah isolasi.
- Kekuatan dielektrik bahan isolasi dapat didefinisikan sebagai tegangan dielektrik maksimum yang dapat ditahan bahan tersebut.
- Kekuatan gangguan listrik dari bahan isolasi tergantung pada tekanan, suhu, kelembaban, konfigurasi medan, sifat tegangan yang diterapkan, ketidaksempurnaan pada bahan dielektrik, bahan elektroda, kondisi permukaan elektroda, dll.

- Penyebab paling umum dari kegagalan isolasi adalah adanya pelepasan baik di dalam rongga di isolasi atau di atas permukaan isolasi.
- Kemungkinan kegagalan akan sangat berkurang jika pelepasan seperti itu dapat dihilangkan pada tegangan kerja normal.
- Kemudian, kegagalan dapat terjadi sebagai akibat dari kemunduran isolasi termal atau elektrokimia

## Isolasi Gas/hampa

- Udara pada tekanan atmosfer adalah insulasi gas yang paling umum.
- Kerusakan terjadi dalam gas karena proses ionisasi tumbukan.
- Gas isolasi praktis yang digunakan adalah karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), diklorodifluorometana ( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ) (freon), sulfur hexafluoride ( $\text{SF}_6$ ) dan nitrogen ( $\text{N}_2$ ).  $\text{SF}_6$  telah ditemukan untuk mempertahankan keunggulan isolasi dibandingkan dengan gas lainnya.
- Idealnya, vakum adalah isolator terbaik dengan kekuatan medan hingga  $107 \text{ V / cm}$ .

- Di bawah kondisi vakum tinggi, di mana tekanan di bawah  $10^{-4}$  torr, kerusakan tidak dapat terjadi karena proses tumbukan seperti di gas, dan karenanya kekuatan kerusakan cukup tinggi.
- Insulasi vakum digunakan dalam akselerator partikel, x-ray dan tabung emisi lapangan, mikroskop elektro, kapasitor dan pemutus sirkuit.
- $1 \text{ torr} = 1 \text{ mmHg} = 1.3158 \times 10^{-3} \text{ atm}$

## Dielektrik cair

- Cairan digunakan dalam peralatan bertegangan tinggi untuk melayani tujuan ganda isolasi dan konduksi panas.
- Cairan yang sangat murni memiliki kekuatan dielektrik setinggi  $1 \text{ MV / cm}$ .
- Kekuatan pemecahan dapat mengurangi karena adanya kotoran.
- Minyak petroleum adalah cairan isolasi yang paling umum.
- Namun, askarel, fluorocarbon, silikon dan ester organik termasuk minyak jarak digunakan dalam jumlah yang signifikan.
- Sifat listrik penting dari cairan adalah kekuatan dielektrik, konduktivitas, titik nyala, kandungan gas, viskositas, konstanta dielektrik, faktor disipasi, stabilitas, dll.

- Askarel dan silikon sangat berguna dalam transformator dan kapasitor dan dapat digunakan pada suhu 200 ° C dan lebih tinggi.
- Minyak jarak adalah dielektrik yang baik untuk kapasitor penyimpanan energi tegangan tinggi karena ketahanan korona tinggi, konstanta dielektrik tinggi, tidak beracun dan titik nyala tinggi
- Dalam aplikasi praktis, cairan biasanya digunakan pada tegangan tegangan sekitar 50 - 60 kV / cm ketika peralatan terus dioperasikan.

## Dielektrik padat

- Banyak bahan organik dan anorganik digunakan untuk tujuan isolasi tegangan tinggi.
- Bahan anorganik yang banyak digunakan adalah keramik dan kaca.
- Bahan organik yang paling banyak digunakan adalah PVC, PE atau XLPE.
- Kertas kraft, karet alam, karet silikon dan karet polipilena adalah beberapa bahan lain yang digunakan sebagai insulasi dalam peralatan listrik.

## Dielektrik padat



XLPE cable



Ceramic insulator

- Tegangan tembus dalam padatan akan setinggi 10 MV / cm jika bahan isolasi padat benar-benar homogen dan bebas dari ketidaksempurnaan.
- Kerusakan terjadi karena banyak mekanisme seperti kerusakan intrinsik atau ionik, kerusakan elektromekanis, pohon dan pelacakan, kerusakan termal, kerusakan dan kerusakan elektrokimia akibat pelepasan internal.
- Mekanisme kerusakan ini bervariasi tergantung pada waktu penerapan voltase.
- Secara umum, kerusakan terjadi di atas permukaan daripada di padatan itu sendiri, dan kegagalan isolasi permukaan adalah penyebab paling sering masalah dalam praktek.



- Kegagalan isolasi padat oleh pelepasan, yang dapat terjadi di rongga internal dan rongga dielektrik, disebut pelepasan parsial.
- Efek pelepasan parsial dapat diminimalkan dengan impregnasi vakum isolasi.
- Switchgear tegangan tinggi, busing, kabel, dan transformator biasanya merupakan perangkat yang harus dipertimbangkan efek pelepasan sebagian.

## Estimasi dan pengaturan tekanan listrik

- Medan listrik
- Distribusi medan listrik biasanya diatur oleh persamaan Poisson:

$$\nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$$

- $\phi$  : potential
- $\rho$  : discharge density
- $\epsilon_0$  : vacuum permittivity

- Gambar 1.1 menunjukkan metode pengendalian stres di tepi elektroda. Dalam desain peralatan rumah sakit, intensitas medan listrik harus dikontrol, jika tidak tekanan yang lebih tinggi akan memicu atau mempercepat penuaan isolasi.

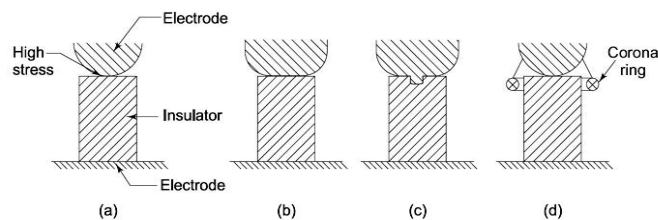


Fig. 1.1 Control of stress at an electrode edge

- Sebagian besar muatan ruang biasanya tidak ada, dan distribusi potensial diatur oleh persamaan Laplace:

$$\nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$$

- Metode yang paling umum digunakan untuk menentukan distribusi potensial adalah:
  1. Metode tangki elektrolit
  2. Metode numerik

- Bidang Listrik Seragam dan Tidak Seragam Dalam kesenjangan bidang yang seragam, bidang rata-rata  $E$  adalah sama di seluruh wilayah bidang, sedangkan dalam kesenjangan bidang yang tidak seragam,  $E$  berbeda pada titik yang berbeda dari wilayah bidang tersebut.
- Distribusi bidang yang seragam ada antara dua pelat paralel tak terbatas atau dua bola dengan diameter yang sama ketika jarak celah kurang dari diameter bola
- Bidang rata-rata  $E$  dalam celah bidang yang tidak seragam maksimum pada permukaan konduktor yang memiliki jari-jari kelengkungan yang besar

- Estimasi Medan Listrik di Beberapa Batas Geometris
- Medan listrik rata-rata pada jarak  $d$  antara dua konduktor paralel dengan beda potensial  $V_{12}$  adalah
 
$$E_{av} = \frac{V_{12}}{d}$$
- Medan listrik maksimum  $E_m$  selalu lebih tinggi dari nilai rata-rata di bidang yang tidak seragam

- Silinder Konsentris

$$E_m = \frac{V}{rLn \frac{R}{r}}$$

- $V =$  tegangan terpakai
- $R =$  jari-jari sisi luar
- $r =$  jari-jari sisi dalam

- Metode numerik digunakan untuk perhitungan medan listrik, yaitu,
  1. Metode Perbedaan Hingga (FDM)
  2. Metode Elemen Hingga (FEM) Metode Simulasi Biaya (CSM)
  3. Metode Simulasi Muatan Permukaan (SSM) atau
  4. Metode Elemen Batas (BEM)

## Tugas 1.a

1. Berikan 1 contoh penggunaan dari isolasi gas/ruang hampa, dielektrik padat dan dielektrik cair pada tegangan tinggi.
2. Jelaskan cara kerja dari masing-masing contoh tersebut untuk
  - i. Kondisi normal
  - ii. Kondisi terjadi gangguan
  - iii. Kondisi pemulihan

## Diskusi

- PMT

Thank you for coming

