

II. TINJAUAN PUSTAKA

Peluahan sebagian terjadi karena adanya medan listrik yang tinggi pada area yang sangat kecil pada bahan isolasi. Medan listrik tersebut melebihi ambang batas kritis terjadinya peluahan sebagian. Sebagai contoh, pada permukaan ujung logam runcing pada transformator dapat terjadi medan listrik yang sangat tinggi. Saat medan listrik melebihi ambang batas terjadinya peluahan sebagian, maka pada bagian ujung runcing dapat terjadi korona. Peluahan sebagian yang terjadi biasanya memiliki karakteristik tergantung pada bahan isolasi dimana peluahan terjadi, dimana tiap bahan isolasi memiliki penyusun yang berbeda-beda.

A. Jenis-Jenis Peluahan Sebagian

Secara umum jenis-jenis peluahan sebagian terbagi atas:

1. Peluahan korona

Peluahan korona (*corona discharge*) merupakan peluahan yang terjadi akibat adanya peristiwa percepatan ionisasi di bawah tekanan medan listrik. Peristiwa ionisasi ini terjadi akibat perubahan struktur molekul netral atau atom netral yang disebabkan oleh adanya benturan antara atom netral dengan elektron bebas yang ada di udara. Ionisasi biasanya hanya menjembatani sebagian daerah (*partial discharge*) pada sela antara elektroda. Medan listrik yang lebih kuat terdapat di sekitar konduktor-konduktor yang tajam (runcing) atau yang mempunyai jari-jari

lengkungan yang kecil. Jika satu elektroda mempunyai jari-jari lebih kecil dibanding elektroda yang lain, maka korona akan hadir di sekitar elektroda yang kecil atau elektroda yang lebih tajam (Panicker P.K, 2003).

2. Peluahan permukaan

Peluahan permukaan (*surface discharge*) merupakan peluahan yang terjadi pada suatu daerah yang berhubungan langsung (paralel) dengan permukaan dielektrik, dimana daerah tersebut mengalami tekanan medan listrik yang sangat tinggi (berlebihan), sehingga memicu terjadinya peluahan. Peluahan ini akan sangat mungkin terjadi jika kekuatan permukaan bahan dielektrik lebih kecil daripada kekuatan isolasi yang kontak langsung dengan bahan dielektrik tersebut (Niasar M. F., 2012).

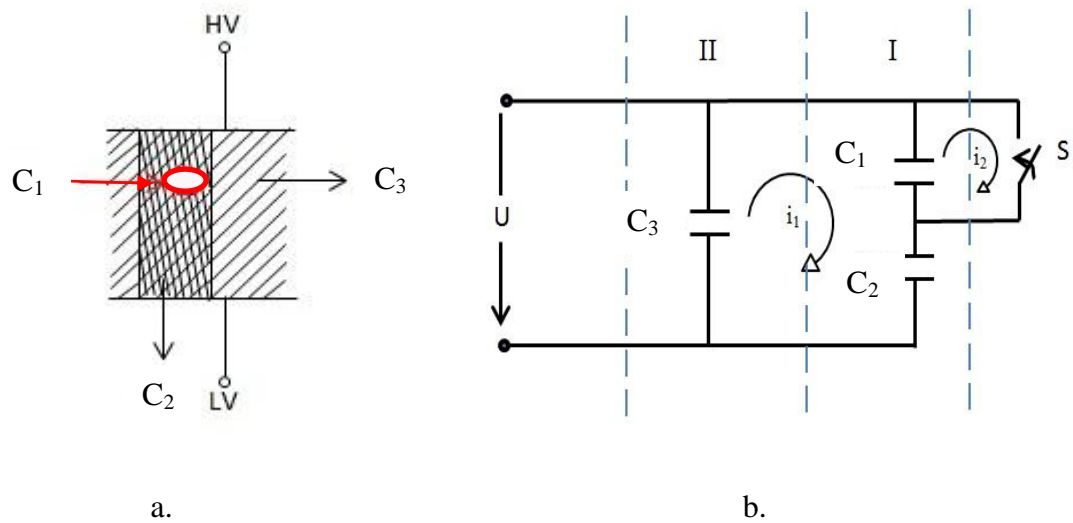
3. Peluahan rongga

Peluahan rongga (*void discharge*) adalah peluahan yang terjadi karena adanya gelembung udara yang terdapat pada sebuah bahan dielektrik. Pada umumnya kekuatan isolasi gas (gelembung udara) yang ada jauh lebih kecil dari isolasi padat. Saat suatu bahan dielektrik padat mengalami tekanan listrik, gas tersebut akan memikul tekanan medan listrik yang lebih besar dibanding isolasi padat. Walaupun besar tegangan yang dipikul isolasi padat merupakan tegangan nominalnya, namun tegangan tersebut dapat saja menghasilkan tekanan medan listrik yang sudah melebihi kemampuan isolasi gas dalam gelembung udara. Jika tekanan listrik pada gelembung udara tersebut melebihi kemampuan isolasinya, maka peluahan dapat terpicu (Martoni. D., 2008).

B. Pengukuran Peluahan Sebagian

Peluahan sebagian merupakan suatu bentuk ukuran kesensitifan dari sebuah bahan isolasi terhadap tekanan listrik yang terjadi, oleh karena itu pengukuran peluahan sebagian sangat perlu dilakukan untuk mengetahui kualitas dari sebuah bahan isolasi. Pendeteksian dan pengukuran peluahan sebagian didasarkan pada sebuah asumsi bahwa pada suatu bahan isolasi terdapat sebuah rongga kecil (cacat) dimana sebuah peluahan terjadi. Peluahan ini terjadi akibat adanya pergerakan muatan yang berbentuk pulsa arus pada rongga (cacat). Pergerakan muatan ini dapat dideteksi dan diukur serta merupakan representasi kehadiran peluahan sebagian pada bahan isolasi yang mengalami ketidaksempurnaan (rongga).

Pulsa arus peluahan sebagian yang asli tidak dapat diukur secara langsung karena tidak memungkinkan untuk menempatkan alat ukur tepat pada letak sumber peluahannya. Sehingga besaran peluahan sebagian yang diukur merupakan besaran yang dilihat oleh alat ukur yang diposisikan sedemikian rupa, sehingga dapat mengukur besar peluahan sebagian secara tidak langsung. Dengan cara ini maka peluahan sebagian yang diukur merupakan muatan yang dianggap setara (*apparent charge*) dengan perubahan muatan pada sistem pengukuran. Besaran muatan peluahan sebagian dinyatakan dalam satuan pico coulomb (pC) (IEC 60270).



Gambar 1. (a) Rangkaian ekivalen peralatan isolasi yang memiliki void (C_1) dan (b) rangkaian ekivalen kapasitansi. (Naidu M.S., 1996)

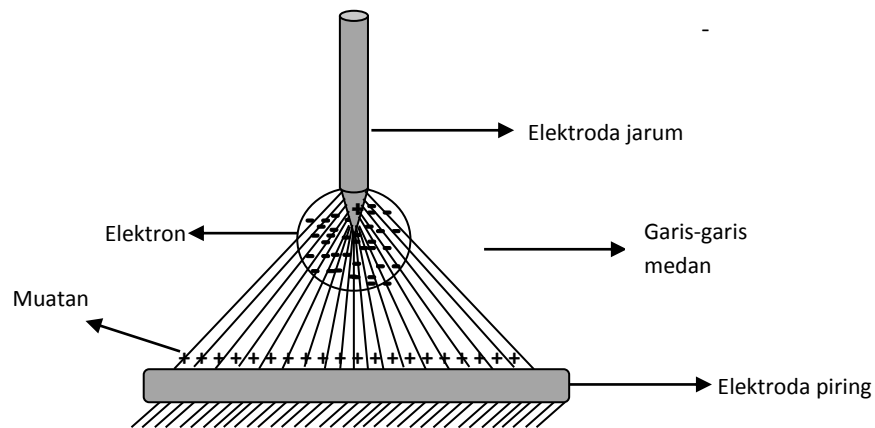
Berikut akan dijelaskan metode pendeteksian dan pengukuran peluahan sebagian pada isolasi padat yang memiliki rongga udara. Gambar 1a menunjukkan rangkaian ekivalen dari suatu sistem isolasi yang memiliki cacat ketaksempurnaan yang berupa rongga udara. Rongga udara dimisalkan sebagai sebuah kapasitansi C_1 dan jumlah kapasitansi di atas dan di bawah rongga udara dimisalkan sebagai C_2 . Sedangkan kapasitansi bagian isolasi lainnya dimisalkan sebagai C_3 . Rangkaian ekivalen kapasitansinya dapat digambarkan sebagai rangkaian kapasitor pada Gambar 1b.

Jika tegangan diantara bahan isolasi dinaikkan sampai rongga udara mengalami tekanan medan listrik diatas tegangan kritis peluahan sebagian (U), maka rongga udara akan mulai mengalami peluahan. Peristiwa peluahan ini dapat dianalogikan sebagai terpicunya sela (s) pada gambar 1b yang terletak paralel dengan kapasitor C_1 (bagian I). Akibat peluahan yang terjadi pada C_1 , sela (s) akan menutup dan mengakibatkan muatan pada C_1 dikosongkan dan arus i_2 akan mengalir melalui

sela (s), dengan kata lain tegangan pada C_1 turun menjadi nol dimana hal ini terlihat pada gambar 1b, rangkaian kapasitansi bagian I. Akibatnya tegangan pada bagian kapasitor $C_1 + C_2$ menjadi hanya tegangan pada C_2 . Tegangan C_2 ini akan lebih kecil dari tegangan pada C_3 . Untuk menyamakan tegangan pada rangkaian, maka kapasitor C_3 akan melepas muatan ke rangkaian C_1+C_2 (gambar 1b, bagian II). Besar muatan yang dilepaskan oleh kapasitor C_3 dapat diukur dengan menempatkan alat ukur di dekat sumber tegangan U. Perubahan tegangan yang dideteksi oleh alat ukur merupakan besaran muatan yang dilepaskan oleh kapasitor C_3 ke sumber peluahan sebagian. Dengan demikian muatan yang terukur bukanlah merupakan muatan peluahan sebagian yang terjadi pada C_1 , melainkan setara dengan muatan C_1 . Karenanya pengukuran ini disebut sebagai pengukuran muatan yang 'kelihatan/setara' (*apparent charge*).

C. Proses Peluahan Sebagian di Udara

Medan listrik akan timbul saat di antara dua buah elektroda diterapkan sebuah tegangan. Medan listrik yang timbul mempunyai besar dan arah tertentu. Elektron akan dihasilkan oleh katoda dan akan bergerak menuju anoda sambil mengalami percepatan yang memicu timbulnya benturan antara elektron dengan atom yang mengakibatkan lepasnya elektron dari ikatannya yang terdapat pada atom. Percepatan yang dialami oleh elektron tersebut dipengaruhi medan listrik yang terdapat di antara dua elektroda.



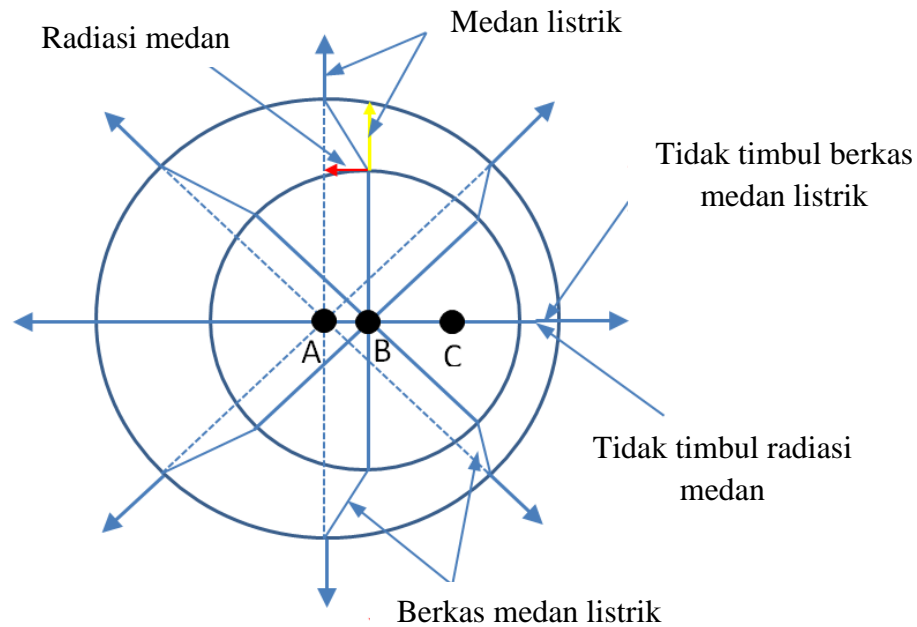
Gambar 2. Proses peluahan sebagian di udara. (Beta R.S, 2010)

Peristiwa benturan yang terjadi secara terus-menerus akan mengakibatkan banjir elektron pada ujung elektroda jarum. Pada proses benturan oleh elektron akan dihasilkan ion positif, yang berasal dari molekul-molekul gas yang ditinggalkan oleh elektron. Ion positif ini akan bergerak dipercepat ke katoda, tetapi karena mempunyai massa yang lebih besar dari massa elektron, maka pergerakannya lebih lambat daripada elektron. Oleh karena itu ion positif pada umumnya tidak dapat mengionisasikan molekul-molekul gas (Arismunandar, 1982). Terdapatnya elektron ini mengakibatkan antara dua elektroda dijembatani secara tidak sempurna yang membuat arus dapat mengalir.

D. Radiasi Elektromagnetik Akibat Peristiwa Peluahan Sebagian

Teorema *Poynting* mengatakan bahwa radiasi gelombang elektromagnetik dari suatu sumber yang terletak di dalam ruang yang benar-benar tertutup berasal dari medan listrik dan medan magnet, dimana dua medan ini dikombinasikan bersamaan melalui persamaan Maxwell. Muatan yang tidak bergerak (diam) tidak akan menimbulkan radiasi gelombang elektromagnetik. Hal ini dikarenakan saat

muatan tidak bergerak, maka muatan hanya akan memancarkan medan listrik saja ke segala arah, sementara itu medan magnet tidak akan dihasilkan.



Gambar 3. Pergerakan muatan yang memancarkan radiasi medan elektromagnetik. (Lonngren, E.K, *et. Al.* 2004)

Dimisalkan sebuah muatan yang berada pada posisi A yang memiliki medan listrik yang memancar ke segala arah, dipercepat sampai mendekati kecepatan cahaya ke posisi B. Saat muatan berpindah dan mengalami percepatan maka timbul medan magnet yang tegak lurus dengan arah medan listriknya. Percepatan muatan tersebut mengakibatkan garis medan listrik yang dimilikinya akan memperbaharui posisinya sesuai dengan arah pergerakan muatan. Penyesuaian posisi yang dialami oleh garis medan listrik karena pergerakan muatan tentunya membutuhkan waktu. Oleh karena itu pada saat garis medan listrik memperbaharui posisinya, akan timbul 'misalignment' berkas medan listrik di sepanjang pergeseran garis medan listrik tersebut. Artinya medan listrik akan mengalami ketertinggalan (kelambatan) pada posisi awal muatan, sehingga garis

medan listrik mengalami pembelokan. Berkas medan listrik yang mengalami pembelokan ini akan menimbulkan radiasi elektromagnetik yang tegak lurus terhadap medan listrik (Gambar 3). Radiasi yang dihasilkan inilah yang disebut dengan radiasi medan elektromagnetik (Longren, E.K, *et. Al*, 2004).

E. Pendeteksian Sinyal Elektromagnetik Peluahan Sebagian

Metode pendeteksian peluahan sebagian konvensional dikenal juga sebagai metode standar internasional IEC 60270. Pendeteksian peluahan sebagian konvensional berdasarkan IEC 60270 ini telah digunakan dalam jangka waktu yang lama sebagai metode standar untuk pengukuran peluahan sebagian (Setyawan, 2009). Metode ini didasarkan pada pengukuran besar ekivalen muatan (q), dinyatakan dalam (pC), dari pulsa yang dihasilkan oleh peluahan sebagian. Tetapi, metode ini memiliki keterbatasan bila digunakan dalam pengukuran secara langsung (*on line monitoring*) karena tingkat *noise* yang terjadi selama pengujian peluahan sebagian relatif tinggi. Oleh karena itu dikembangkanlah suatu metode pendeteksian peluahan sebagian *non konvensional* untuk mendapatkan hasil berupa sinyal peluahan dengan *noise* yang kecil (*high signal to noise ratio*). Pengukuran peluahan sebagian secara *non konvensional* ini dilakukan dengan cara mendeteksi pulsa peluahan sebagian yang memiliki rentang frekuensi yang tinggi (UHF) atau lewat radiasi medan elektromagnetik yang dihasilkan selama terjadinya aktifitas peluahan sebagian (Adel, 2012). Metode ini lebih dikenal sebagai metode elektromagnetik (UHF). Pada penggunaannya, metode elektromagnetik ini dapat mendeteksi secara langsung (*online monitoring*) terjadinya proses peluahan sebagian.

Metode pendeteksian peluahan sebagian dengan metode UHF mempunyai keunggulan dibandingkan dengan metode konvensional, terutama dalam masalah *noise* yang jauh lebih rendah. Disamping itu metode elektromagnetik ini juga mampu mendeteksi timbulnya peluahan sebagian dengan sensitif. Oleh karena itu, metode elektromagnetik ini menjadi salah satu metode yang banyak dikembangkan untuk mendeteksi peluahan sebagian dimana metode ini pertama sekali diaplikasikan pada GIS (*Gas Insulated Switchgear*) (J. Lopez-Raldan, 2008).

Penggunaan metode elektromagnetik untuk mendeteksi peluahan sebagian sangat cocok digunakan untuk membedakan sinyal peluahan sebagian yang asli dari sinyal *noise* yang terjadi saat pengujian pada gas SF₆ (K. Masaki, *et al*, 1994) dan memiliki sensitivitas yang lebih baik untuk mendeteksi sinyal peluahan sebagian dalam GIS. Namun metode elektromagnetik ini memiliki kekurangan jika diterapkan pada suatu gardu terbuka, karena sangat sulit untuk mengidentifikasi lokasi dari radiasi gelombang elektromagnetik karena peluahan sebagian, dikarenakan banyak lubang elektromagnetik seperti ring, bus bar, saluran transmisi yang dapat menjadi sumber radiasi gelombang elektromagnetik.

Saat ini metode elektromagnetik mulai diterapkan pada transformator daya untuk menguji kekuatan isolasi minyak (M. D. Judd, 2002). Pengujian dilakukan untuk mengetahui secara langsung peristiwa peluahan sebagian yang terjadi pada saat trafo sedang digunakan. Pada penelitiannya, M. D. Judd menggunakan dua buah sensor elektromagnetik yang ditempatkan di dalam sebuah trafo melalui lubang dielektrik yang terdapat pada trafo. Penempatan sensor pada trafo juga menjadi satu hal yang dipertimbangkan bagaimana sensor bisa ditempatkan sesuai dengan

kondisi trafo yang digunakan. Penempatan sensor ke dalam trafo dilakukan untuk memantau peristiwa peluahan sebagian yang terjadi pada isolasi minyak selama proses pengoperasian trafo. Data kondisi bahan isolasi selama pengoperasian yang terekam melalui sebuah spektrum analyzer menunjukkan bahwa metode elektromagnetik dapat diterapkan pada sebuah trafo untuk mendeteksi timbulnya peluahan sebagian serta dapat memonitoring keadaan trafo itu sendiri.

Pada tahun 2008, J. Lopez-Raldan, melakukan penelitian desain sensor yang dapat diaplikasikan untuk mendeteksi peluahan sebagian pada transformator. Pada percobaannya, digunakan beberapa tipe antena *monopole* yaitu *short conical*, *long conical*, *trapezoidal wire* dan *straight wire* kemudian membandingkannya. Berdasarkan struktur antena yang digunakan, hasil penelitiannya menunjukkan bahwa antena *monopole* tipe *long conical* dengan panjang 100 mm merupakan sensor yang cocok untuk digunakan pada transformator dimana sensor dimasukkan ke dalam transformator melalui lubang pembuangan minyak isolasi transformator. Hasil percobaan juga menunjukkan bahwa antena *monopole* tipe *short conical* mempunyai respon yang lebih cepat dalam mendeteksi peristiwa peluahan sebagian, terlebih jika sensor dimasukkan agak ke dalam trafo. Sensitifitas suatu antena untuk mendeteksi peluahan sebagian di dalam transformator salah satunya dipengaruhi oleh kedalaman penyisipannya. Artinya semakin dekat sensor disisipkan mendekati sumber peluahan di dalam transformator maka akan semakin jelas sinyal gelombang peluahan sebagian yang diperoleh. Untuk antena dengan tipe *trapezoidal wire* memiliki karakteristik dengan frekuensi resonansi yang cukup baik. Artinya bahwa frekuensi yang terjadi akibat peristiwa peluahan sebagian sama dengan frekuensi dari antena itu

sendiri. Dari segi struktur, antena *straight wire* memiliki struktur yang lebih sederhana dengan respon terhadap sumber sinyal peluahan yang relatif baik. Dengan struktur yang sederhana ini antena dengan tipe ini juga cocok jika diaplikasikan pada trafo.

Metode pendeteksian peluahan sebagian dengan menerapkan metode elektromagnetik juga dibahas oleh Chang-Whang Jin. Pendeteksian peluahan sebagian yang dilakukan adalah pada medium isolasi cair. Pada percobaannya digunakan dua buah antena *monopole* yang masing-masing memiliki frekuensi kerja 500 MHz dan 1 GHz. Panjang antena *monopole* yang digunakan pada frekuensi resonansi 500 MHz dan 1 GHz adalah 150 mm dan 75 mm. Panjang antena ini bersesuaian dengan seperempat dari panjang gelombang frekuensi antena yang dipergunakan. Dengan membandingkan kedua jenis antena yang berbeda ini pada penerapan tegangan yang sama, diperoleh hasil bahwa kedua antena dengan masing-masing frekuensi resonansi 500 MHz dan 1 GHz sangat efektif diaplikasikan pada pendeteksian peluahan sebagian pada isolasi minyak trafo. Hal ini dilihat berdasarkan besar *magnitude* tegangan yang didapatkan selama proses pengujian (Chang-Whang Jin, 2006).

Identifikasi dan penentuan sumber peluahan sebagian menjadi salah satu kendala dalam pemantauan secara langsung suatu peristiwa peluahan sebagian. Lixing Zhou melakukan riset untuk mengidentifikasi dan menentukan sumber peluahan sebagian menggunakan *Elektromagnetic Vector Sensor System* (EMVS), dengan cara mengukur radiasi gelombang UHF yang terjadi. Kemudian data yang berupa fungsi sinyal peluahan yang diperoleh dipisahkan dari sinyal *noise*. Setelah sinyal *didenoise*, jumlah sumber peluahan dapat diketahui dengan tepat dengan

mengaplikasikan aturan *Minimum Describing Length* (MDL). Penelitian yang dilakukan ini memberikan hasil bahwa melalui karakteristik radiasi gelombang UHF, jenis sumber peluahan yang terjadi dapat diidentifikasi menggunakan metode elektromagnetik (Zhou Lixing, 2009).

Pemilihan sensor yang digunakan akan sangat berpengaruh pada hasil gelombang elektromagnetik yang akan diperoleh. T. Pinpart dalam penelitiannya membandingkan tiga jenis sensor yang digunakan dalam mendeteksi peluahan sebagian. Ketiga jenis sensor yang digunakan adalah antena dengan tipe *disc*, *monopole* dan spiral. Sumber peluahan sebagian menggunakan sumber peluahan buatan yang jaraknya terhadap sensor divariasikan. Sensor dengan tipe *monopole* mampu menangkap bentuk gelombang dengan waktu tunda yang relatif kecil. Hal ini dikarenakan ukuran yang kecil dan struktur dari antenanya yang sederhana. Untuk sensor dengan tipe *disc*, memiliki kemampuan yang lebih sensitif dalam mendeteksi energi yang dipancarkan oleh radiasi gelombang elektromagnetik. Sementara untuk sensor dengan tipe spiral memberikan hasil yang kurang akurat dimana timbulnya waktu muka sinyal gelombang elektromagnetik sangat sulit ditentukan. Hal ini bisa jadi diakibatkan oleh bentuk dari sensor spiral yang relatif rumit (Pinpart. T, 2009).

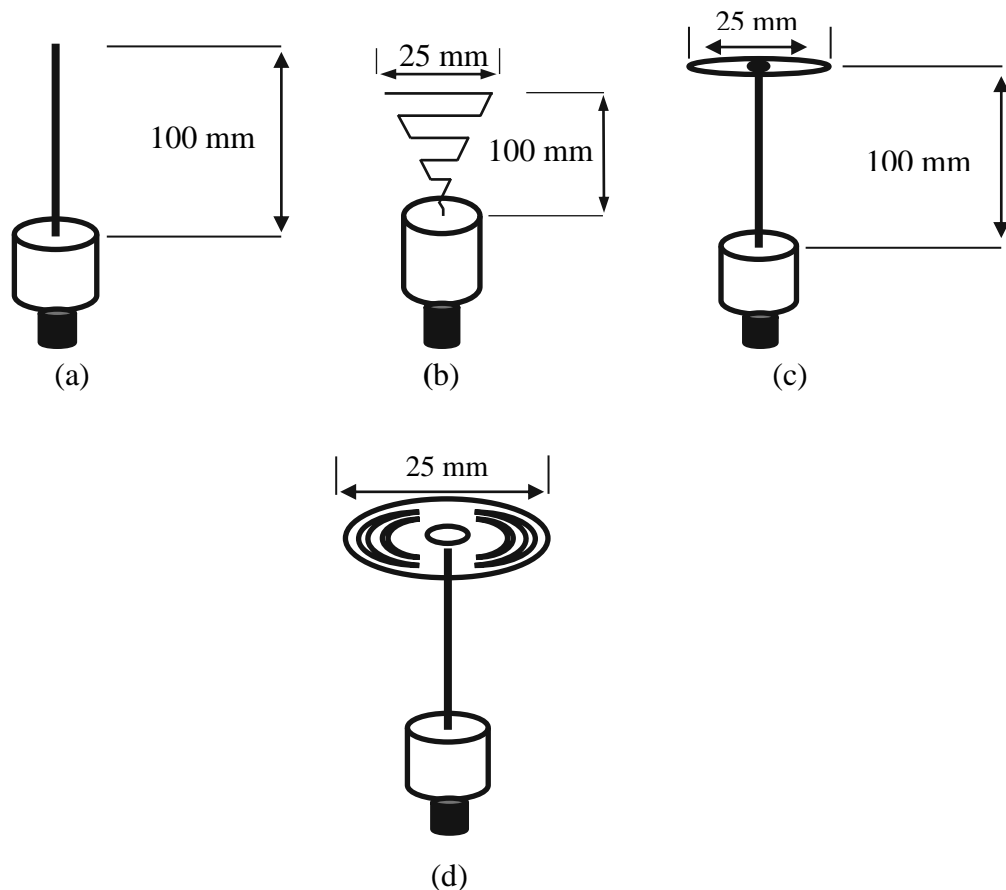
Jenis sensor yang digunakan untuk mendeteksi terjadinya peluahan sebagian menjadi salah satu hal yang sangat penting dalam metode elektromagnetik. Hal ini dikarenakan tipe dan struktur sensor dapat mempengaruhi bagaimana bentuk gelombang yang dapat ditangkap. Metode elektromagnetik juga dapat digunakan untuk mengetahui dimana posisi suatu peluahan sebagian terjadi. Hal ini dilakukan dengan cara menempatkan tiga buah sensor ke dalam sebuah trafo.

Kemudian lewat data gelombang peluahan sebagian yang terekam pada alat ukur dapat diketahui di posisi mana sebuah peluahan sebagian terjadi. Hanya saja jika data gelombang peluahan sebagian yang diperoleh secara langsung digunakan untuk menentukan posisi terjadinya peluahan, bisa jadi diperoleh ketidakakuratan akibat terdapatnya sinyal *noise*. Oleh karena itu Sinaga, H. H mencoba untuk mengaplikasikan suatu metode *denoising* terhadap sinyal peluahan sebagian. Dengan menggunakan metode *denoising* dapat ditentukan dengan lebih baik posisi timbulnya suatu peluahan sebagian (Sinaga, H. H, 2011).

Pada penelitian ini dilakukan pendeteksian timbulnya fenomena peluahan sebagian yang terjadi di udara dengan mengadopsi metode elektromagnetik. Peristiwa terjadinya peluahan sebagian dideteksi dengan cara menangkap sinyal radiasi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh sumber peluahan sebagian. Gelombang elektromagnetik ini sendiri akan ditangkap oleh sebuah sensor berupa antena *monopole* sepanjang 10 cm, yang ditempatkan sejajar dengan letak sumber peluahan sebagian pada jarak yang berbeda-beda. Elektroda pengujian yang digunakan sebagai sumber peluahan sebagian buatan terdiri dari elektroda jarum dan elektroda plat. Gelombang peluahan sebagian yang ditangkap oleh sensor direkam menggunakan sebuah osiloskop yang dihubungkan dengan sebuah komputer. Gelombang yang direkam dianalisis untuk mengetahui kemampuan sensor dalam menangkap sinyal peluahan sebagian dengan jarak yang berbeda-beda. Dua parameter dipergunakan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam menangkap sinyal peluahan sebagian yakni energi dan *magnitude* dari fungsi gelombang sinyal peluahan sebagian.

F. Sensor Untuk Mendeteksi Sinyal Elektromagnetik

Salah satu komponen yang sangat penting dalam penerapan metode elektromagnetik adalah sensor yang digunakan untuk menangkap sinyal gelombang peluahan sebagian.



Gambar 4. Jenis dan struktur antenna (a) *straight monopole*, (b) *trapezoidal monopole*, (c) *disc monopole* dan (d) *log spiral*. (J. Lopez-Roldan, 2008)

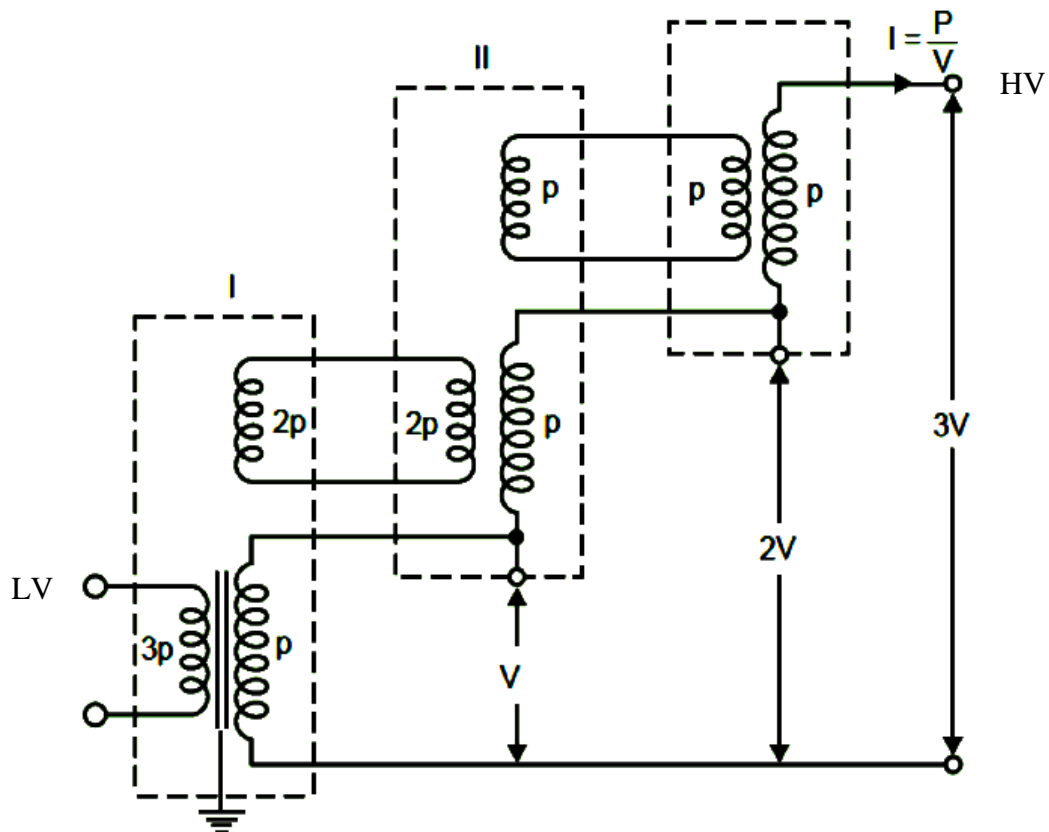
Terdapat beberapa jenis tipe antenna (Gambar 4) yang dapat digunakan sebagai sensor pada metode ini yaitu antenna *straight monopole*, *log spiral*, *disc monopole* dan *trapezoidal monopole* (J. Lopez-Roldan, 2008). Setiap tipe antenna memiliki karakteristik yang berbeda-beda sesuai dengan ukuran dan struktur antenna. *Trapezoidal monopole* (Gambar 4b) memiliki bentuk yang hampir sama dengan

straight monopole (Gambar 4a), hanya saja memiliki sedikit resonansi yang lebih baik. *Disc monopole* (Gambar 4c) memiliki respon yang cukup cepat seperti halnya dengan *straight monopole* meskipun secara struktur berbeda. Untuk sensor dengan jenis *log spiral* (Gambar 4d) memiliki tingkat respon terhadap gelombang yang sangat lambat karena diameter spiral yang kecil tidak terlalu memberikan efek yang signifikan terhadap penangkapan sinyal.

Dalam penelitian ini antena dengan tipe *straight monopole* digunakan sebagai sensor. Antena monopole yang digunakan terbuat dari bahan tembaga dengan panjang 10 cm. Pada salah satu ujungnya dihubungkan dengan sebuah PCB yang berdiameter sebesar 10 cm. Antena *monopole* dengan panjang 10 cm memiliki frekuensi resonansi antara 750 MHz-1000 MHz. Secara umum antena ini memiliki respon yang baik serta memiliki kinerja yang baik saat ditempatkan secara horizontal dan vertikal terhadap sumber peluahan (J. Lopez-Roldan, 2008).

G. Pembangkitan dan Pengukuran Tegangan Tinggi

Untuk membangkitkan sebuah tegangan tinggi diperlukan trafo yang memiliki daya yang tidak terlalu besar dengan jumlah perbandingan belitan yang besar yang disesuaikan dengan output yang diinginkan (Arismunandar A., 1990).



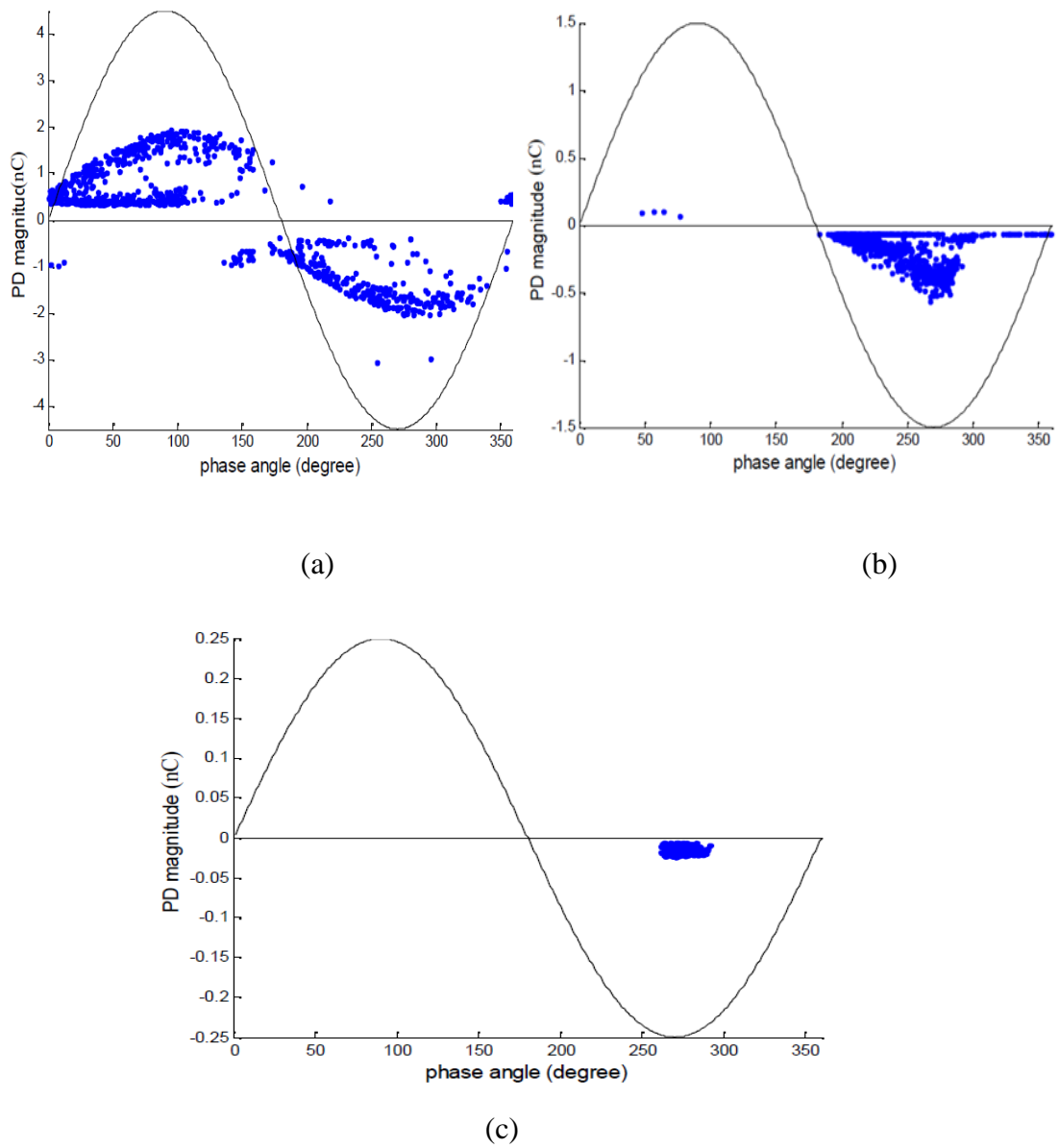
Gambar 5. Rangkaian trafo *cascade*. (Arismunandar A., 1990)

Gambar 5 merupakan bentuk rangkaian tiga buah trafo bertegangan, yang disusun secara seri untuk mendapatkan nilai tegangan keluaran sebesar 3V. Sisi tegangan rendah (sisi primer) trafo I dihubungkan dengan sebuah regulator trafo standard dan ditanahkan. Belitan primer trafo I dihubungkan dengan belitan primer dari trafo II untuk menyuplai tegangan ke trafo II. Sementara belitan sekunder trafo I dihubungkan secara seri dengan belitan sekunder dari trafo II sehingga besar

tegangan di sisi belitan sekunder trafo II menjadi 2V. Untuk menyuplai tegangan kepada trafo III, maka belitan primer dari trafo II dihubungkan dengan belitan primer trafo III. Sementara belitan sekunder dari trafo II dihubungkan secara seri dengan belitan sekunder trafo III. Sehingga besar tegangan yang terdapat antara sisi sekunder trafo III dengan ground menjadi 3V. Metode ini menjadi salah satu metode pembangkitan tegangan tinggi yang banyak digunakan untuk skala laboratorium karena tidak memerlukan trafo yang ukurannya besar untuk mendapatkan tegangan keluaran yang besar. Pada penelitian ini menggunakan 10 buah trafo 500 volt yang disusun secara seri sehingga memiliki besar tegangan output sebesar 5 kV. Pada sisi primer trafo dihubungkan dengan sebuah regulator tegangan untuk mengatur besar tegangan di sisi sekunder trafo. Untuk mengukur besar tegangan yang dihasilkan maka digunakan pembagi tegangan yang berfungsi menurunkan tegangan dari tegangan tinggi ke level tegangan yang lebih rendah sehingga dapat diukur dengan menggunakan osiloskop. Secara umum terdapat dua jenis metode yang digunakan untuk pengukuran tegangan tinggi yaitu pembagi kapasitor dan pembagi resistor. Pada penelitian ini digunakan pembagi resistor untuk mengetahui besar tegangan output dari trafo.

H. Kuantisasi Gelombang Peluahan Sebagian

Kuantisasi gelombang peluahan sebagian perlu dilakukan untuk melihat karakteristik dan persebaran dimana terjadinya peluahan paling banyak terjadi. Bahkan dengan melakukan kuantisasi ini dapat membantu dalam membedakan jenis peluahan sebagian yang terjadi. Pada penggunaan metode elektromagnetik, kuantisasi gelombang peluahan sebagian sangat bermanfaat untuk mengetahui kualitas pendeteksian sinyal peluahan sebagian.



Gambar 6. Pola peluahan sebagian jenis (a) *void*, (b) *surface* dan (c) korona. (Illias, 2012).

Kuantisasi pulsa peluahan sebagian yang terjadi dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu (IEC 60270) :

1. Rating pengulangan pulsa peluahan sebagian (n)

Metode kuantisasi ini dilakukan dengan membandingkan antara total jumlah peluahan sebagian yang terekam dalam satu interval waktu dengan durasi waktunya. Salah satu teknik analisis peluahan sebagian yaitu PRPD (*Phase Resolved Partial Discharge*) digunakan dalam menghitung banyaknya jumlah peluahan sebagian yang terjadi selama waktu tertentu yang dapat dilihat pada Gambar 6 (Illias, 2012). Total jumlah peluahan yang terjadi (Gambar 6a) jelas terlihat hampir merata pada siklus positif dan negatif. Jumlah peluahan yang terjadi dapat diketahui dengan cara menghitung titik-titik peluahan yang terjadi.

2. Frekuensi pulsa peluahan sebagian (N)

Merupakan jumlah pulsa peluahan sebagian yang terjadi dalam satu detik. Dalam hal ini setiap pulsa memiliki jarak yang sama. Pada Gambar 6b ditunjukkan peluahan sebagian yang terjadi selama satu periode waktu. Jenis peluahan permukaan (*surface*) memiliki jumlah peluahan yang dominan terjadi pada siklus negatif. Jumlah peluahan sebagian dapat diketahui dengan menghitung titik peluahan sebagian yang terjadi dalam satu detik.

3. Sudut fasa (φ) terjadinya peluahan

Merupakan sudut dimana pulsa peluahan terjadi dalam satu periode waktu tertentu.

$$\varphi_i = 360 (t_i / T)$$

...1

dimana t_i merupakan waktu yang diukur antara nilai positif sebelum menuju tegangan nol dan pulsa peluahan. Sementara T adalah periode tegangan pengujian.

Penentuan daerah atau siklus dimana peluahan sebagian terjadi merupakan suatu hal yang penting karena akan sangat berguna dalam hal pendeteksian dan penentuan karakteristik peluahan sebagian yang terjadi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6c, diperlihatkan peluahan korona terjadi hampir seluruhnya terjadi pada siklus negatif. Phasa peluahan dapat ditentukan dengan melihat persebaran titik peluahan sebagian yang terjadi selama periode tegangan pengujian.

4. Penentuan *magnitude* peluahan sebagian

Jenis kuantisasi ini digunakan untuk menentukan *magnitude* terbesar dari setiap kuantitas pulsa peluahan yang ditentukan dalam benda uji pada tegangan tertentu. Untuk pengujian menggunakan tegangan ac, penentuan *magnitude* dari *apparent charge* dilakukan dengan memilih *magnitude* terbesar dari pengujian peluahan sebagian yang dilakukan secara berulang kali. Untuk menentukan *magnitude* peluahan yang terjadi dilakukan dengan mengukur letak titik tertinggi peluahan sebagian yang terjadi. Dalam Gambar 6 ditunjukkan titik-titik persebaran peluahan sebagian yang terjadi. Dari posisi titik peluahan tersebut dapat ditentukan besar *magnitude* peluahan yang terjadi.

Karakteristik gelombang peluahan sebagian yang direkam oleh sebuah osiloskop dapat dianalisis dengan menghitung parameter-parameter gelombang tersebut. Dalam penelitian ini dua parameter digunakan untuk menganalisis gelombang peluahan sebagian, yakni energi kumulatif dan *magnitude* gelombang peluahan sebagian.

Suatu radiasi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh sumber peluahan sebagian merupakan suatu bentuk energi yang dapat digunakan sebagai parameter dalam menentukan adanya peristiwa peluahan sebagian. Energi yang dihasilkan ini dapat digunakan untuk menentukan waktu tiba gelombang elektromagnetik (Peter Kakeeto, 2008). Hal ini dapat membantu dalam menentukan tingkat sensitivitas dari suatu sensor elektromagnetik dalam mendeteksi terjadinya peluahan sebagian. Untuk mengetahui besarnya energi yang dihasilkan dapat diperoleh dengan mengkonversikan gelombang tegangan menjadi energi kumulatif, dengan menggunakan persamaan :

$$U(t_k) = \sum_{i=1}^k (V(t_i))^2 \quad \dots 2$$

Dimana, $V(t_1)$ = input sinyal tegangan pada waktu t_1

k = jumlah poin pengukuran

$U(t_k)$ = Energi kumulatif sampai waktu t_k

Magnitude peluahan sebagian merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan untuk menentukan adanya peristiwa peluahan sebagian yang terjadi pada bahan isolasi. *Magnitude* menunjukkan besarnya peluahan sebagian yang terjadi. Besarnya *magnitude* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \exp \left[\frac{-2j\pi ux}{N} \right] \quad \dots 3$$

$$f(x) = \frac{1}{N} \sum_{u=0}^{N-1} F(u) \exp \left[\frac{-2j\pi ux}{N} \right] \quad \dots 4$$