

Analisis Peluahan Sebagian di Udara Menggunakan Metode Elektromagnetik

Jumanto Sardion Panjaitan¹, Herman H. Sinaga², Nining Purwasih³,

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

¹jsardion@yahoo.co.id

²herman_sinaga@yahoo.com

³nining.purwasih@eng.unila.ac.id

Intisari - Sistem isolasi peralatan listrik merupakan salah satu bagian yang paling vital dari sebuah peralatan listrik. Kerusakan peralatan listrik pada umumnya terjadi pada bagian sistem isolasinya. Sehingga kondisi kesehatan peralatan listrik dapat dimonitoring dari keadaan sistem isolasinya. Salah satu upaya monitoring kondisi isolasi dapat dilakukan dengan mendeteksi kehadiran peluahan sebagian (*partial discharge*) pada sistem isolasi tersebut. Peluahan sebagian pada sistem isolasi dapat terjadi jika sistem isolasi mengalami tekanan medan listrik yang tinggi.

Pada penelitian ini dibahas bagaimana peluahan sebagian dapat dideteksi dengan menggunakan metode elektromagnetik. Metode ini menggunakan sensor yang berguna menangkap sinyal elektromagnetik yang dipancarkan oleh sumber peluahan. Sensor yang digunakan di sini adalah berupa antenna UHF dengan tipe *monopole*. Jarak sensor terhadap sumber peluahan divariasikan pada jarak 20 cm, 30 cm dan 50 cm, untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap kualitas pendeteksian. Kualitas pendeteksian sendiri akan diketahui melalui besar energi dan *magnitude* yang dihasilkan oleh sumber peluahan sebagian. Peluahan sebagian yang akan dideteksi dihasilkan oleh model sumber peluahan sebagian korona dengan menggunakan elektroda jarum dan piring.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *magnitude* tertinggi peluahan sebagian terjadi saat sensor berada dekat dengan sumber peluahan yaitu sejauh 20 cm. *Magnitude* peluahan sebagian akan mengalami penurunan saat sensor ditempatkan jauh dari sumber peluahan. Sehingga *magnitude* peluahan sebagian terkecil terjadi saat sensor ditempatkan sejauh 50 cm terhadap sumber peluahan sebagian. Seperti halnya *magnitude* peluahan sebagian, *cumulative energy* juga akan mengalami penurunan seiring bertambahnya jarak antara sensor dengan sumber peluahan.

Kata kunci - peluahan sebagian, metode elektromagnetik, variasi jarak, *magnitude* peluahan sebagian, *cumulative energy*.

Abstract - Electrical equipment insulation system is one of the most vital parts of electrical equipment's. Usually, the electrical equipment damage occurs at its insulation system. So, the condition of the electrical equipment health can be monitored from the condition of its insulation system. One of the insulation monitoring method is by detect the presence of the partial discharge (PD) in the insulation system. Partial discharge in the insulation system may ignite if the insulation system placed under high electric field pressure.

In this study discussed the partial discharge detection using an electromagnetic method. This method used a sensor that captures the electromagnetic signals emitted by the PD source. The sensor is an UHF antenna with a monopole type. The distance of the sensor to discharge source was set-up to 20 cm, 30 cm and 50 cm, to determine the effect of distance to the quality of the detection. The quality of the PD detection is determined from the energy and magnitude of the electromagnetic signals captured by the sensor. The source of the electromagnetic signals in this project is a corona discharge source models which is consist of needle and plate electrodes.

The experiment results show that the highest magnitude of the partial discharge occurs when the sensor placed closer to the PD source, which is 20 cm. The PD magnitude decrease when the sensor installed farther from the PD source. Thus the lowest PD magnitude occurs when the sensor installed

50 cm from the PD source. Similar to the PD magnitude, the PD cumulative energy also will decrease as the distance of the sensor to the PD sources increased.

Keywords - partial discharge, electromagnetic methods, variations in the distance, the magnitude of partial discharge, cumulative energy.

I. PENDAHULUAN

Isolasi merupakan bagian yang sangat penting dalam sistem tegangan tinggi yang berguna untuk memisahkan dua buah penghantar listrik yang bertegangan sehingga percikan listrik (*spark over*) dapat dihindari. Oleh karena itu sangat perlu untuk menjaga dan memelihara sistem isolasi dari timbulnya kerusakan. Kerusakan pada sistem isolasi dapat terjadi jika sistem isolasi mengalami tekanan medan listrik yang tinggi. Medan listrik yang tinggi pada bahan isolasi dapat memicu terjadinya peluahan lokal atau yang dikenal dengan peluahan sebagian (*partial discharge*).

Peluhan sebagian adalah peristiwa loncatan muatan listrik pada sebagian kecil sistem isolasi listrik yang tidak menjembatani ruang antara dua konduktor secara sempurna. Peluahan sebagian dapat terjadi dalam media isolasi gas, cair atau padat. Hal ini sering dipicu akibat ketidaksempurnaan bahan isolasi, seperti timbulnya rongga gas (void dalam isolasi padat atau gelembung dalam minyak transformator), adanya partikel yang terperangkap dalam bahan isolasi atau akibat permukaan kontak antara konduktor dan bahan isolasi yang tidak sempurna.

Metode pendeteksian peluahan sebagian konvensional adalah metode standar berdasarkan standar internasional IEC 60270. Deteksi peluahan sebagian konvensional berdasarkan IEC 60270 ini digunakan sebagai metode standar untuk pengukuran peluahan sebagian (Setyawan, 2009). Metode ini memiliki keterbatasan bila digunakan dalam pengukuran secara langsung di lapangan (*on line monitoring*) karena tingkat *noise* yang relatif tinggi yang dihasilkan oleh lingkungan sekitar peralatan listrik seperti transformator.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian terhadap peluahan sebagian yang terjadi di udara dengan menggunakan metode elektromagnetik. Dimana, peristiwa terjadinya peluahan sebagian akan dideteksi dengan cara menangkap sinyal gelombang elektromagnetik yang dihasilkan akibat terjadinya peluahan sebagian. Gelombang elektromagnetik ini nantinya akan ditangkap oleh sensor berupa antenna *monopole* yang dipasang pada jarak 20 cm, 30 cm dan 50 cm terhadap elektroda pengujian. Antena *monopole* ini didesain agar dapat menangkap gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh sumber peluahan sebagian. Jarak sensor terhadap sumber peluahan divariasikan untuk melihat sampai sejauh mana gelombang elektromagnetik dapat terdeteksi oleh sensor. Dengan melihat besar energi dan *magnitude* yang dihasilkan oleh sumber peluahan sebagian akan diketahui kualitas sensor dalam mendeteksi adanya peluahan sebagian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Secara umum jenis-jenis peluahan sebagian terbagi atas:

1) Peluahan korona

Peluhan 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 lengkung 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 [13].

2) Peluahan permukaan

Peluhan 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 [12].

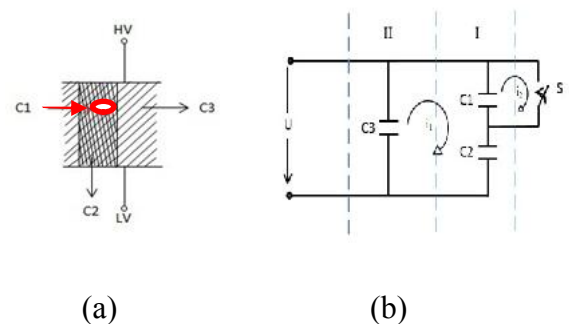
3) Peluahan rongga

Peluhan rongga (*discharge void*) 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 tegan tersebut dapat saja sudah 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 [9].

A. Pengukuran Peluahan Sebagian

Peluhan 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.

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.



Gbr 1. (a) Rangkaian ekivalen peralatan isolasi yang memiliki void (C_1) (b) rangkaian ekivalen kapasitansi. [11]

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 C3 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 C3 ke sumber peluahan sebagian. Dengan demikian muatan yang terukur bukanlah merupakan muatan peluahan sebagian yang terjadi pada C1, melainkan setara dengan muatan C1. Karenanya pengukuran ini disebut sebagai pengukuran muatan yang ‘kelihatan/setara’ (*apparent charge*).

B. 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 [16]. Metode ini didasarkan pada pengukuran besar ekuivalen 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 [1]. Metode ini lebih dikenal sebagai metode elektromagnetik (UHF). Pada penggunaannya, metode elektromagnetik ini dapat mendeteksi secara

langsung (*online monitoring*) terjadinya proses peluahan sebagian.

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.

C. 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.

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 [14]. 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 :

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

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:

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

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

III. METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1) Kerangka pengujian

Kerangka pengujian yang digunakan ini berfungsi sebagai tempat penyangga elektroda pengujian dan antena *monopole* dimana kerangka ini terbuat dari bahan

akrilik. Akrilik yang diperlukan untuk penyangga elektroda sebanyak dua buah yang berbentuk bidang segiempat dengan ukuran 15,5 x 15,5 cm yang dilengkapi tiang penyangga yang terbuat dari besi dengan tinggi tiang sebesar 40 cm. Sementara untuk penyangga antena *monopole* digunakan sebuah akrilik yang memiliki ukuran 17 x 17 dengan tiang penyangga terbuat dari besi setinggi 25 cm.

2) Elektroda pengujian

Elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah elektroda jenis jarum dan piring (plat) yang terbuat dari bahan *stainless steel*. Elektroda piring yang digunakan memiliki diameter sebesar 12 cm. Jarak sela antara elektroda jarum dengan elektroda yang digunakan adalah sebesar 2 mm.

3) Antena *monopole*

Antena ini digunakan sebagai sensor untuk menerima atau menangkap gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh sumber peluahan korona. Desain antena terbuat dari kawat tembaga berdiameter 0.25 dengan panjang 10 cm. Bagian dasar antena diberi lempengan PCB dengan diameter 10 cm sebagai *ground*. Antena disambung dengan BNC *connector* sebagai penghubung antara osiloskop dengan antena.

4) Regulator tegangan

Regulator tegangan ini digunakan untuk mengatur tegangan *input* ke trafo *step-up*. Tegangan inputnya adalah AC 200-230 Volt dengan rating *output* tegangan AC sebesar 0-230 volt dan arus 3 A.

5) Transformator *Step-Up* 5 kV

Trafo ini digunakan untuk menaikkan tegangan dari 220 Volt menjadi 5 kVolt. Spesifikasi trafo ini adalah:

Input : 220 volt, 5 A, 50 Hz

Output : 5 kV, 20 mA

6) Osiloskop Digital Hantek DSO 5062B

Osiloskop ini digunakan untuk menampilkan hasil atau bentuk

gelombang elektromagnetik yang ditimbulkan saat proses peluahan sebagian terjadi, yang ditangkap oleh sensor. Alat ini memiliki spesifikasi yaitu 60 MHz, sample rate 1 Gs/s.

7) Multimeter digital

Multimeter dengan merek sanwa ini digunakan untuk mengukur besarnya tegangan *output* transformator dan mengukur besar tegangan dari *voltage divider*.

8) *Voltage Divider* (Pembagi Tegangan)

Digunakan untuk membagi tegangan agar keluaran tegangan *step-up* dapat diukur menggunakan multimeter dengan perbandingan tertentu. Perbandingan yang digunakan yaitu 1:1000.

9) Satu Set *Laptop*

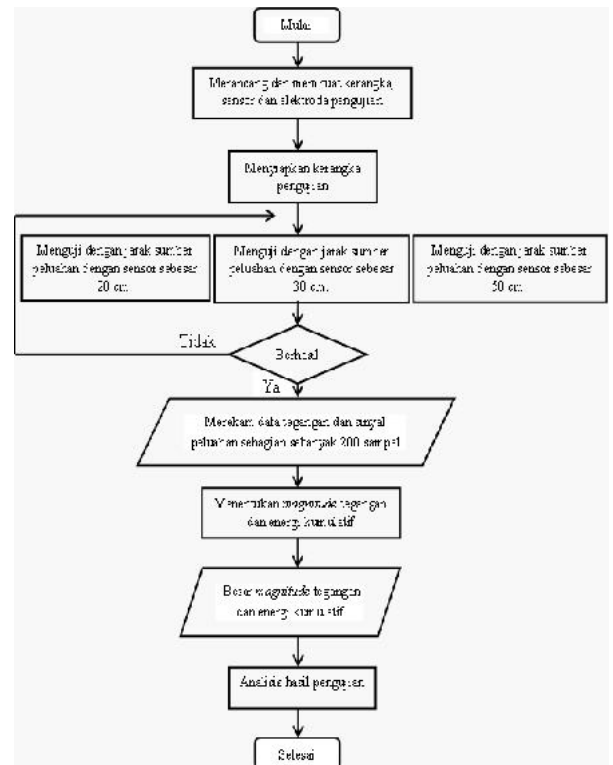
Laptop ini digunakan untuk menyimpan data tegangan gelombang peluahan sebagian yang terekam pada osiloskop dan untuk mengolah data hasil pengujian menggunakan program matlab. Spesifikasi *laptop* menggunakan *Processor Intel core i3*, memory 2 GB dengan sistem operasi windows 7.

A. Tahap Pembuatan Tugas Akhir

Adapun tahap yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1) Perancangan model pengujian

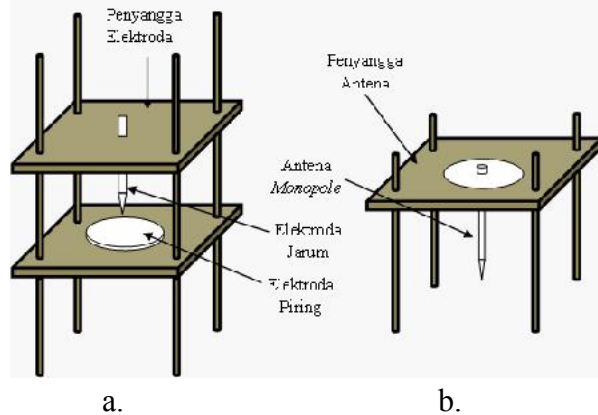
Terdapat tiga langkah yang dilakukan dalam merancang model pengujian. Yang pertama adalah akrilik dipotong berbentuk bidang segi empat dengan ukuran 15,5 x 15,5 cm sebanyak dua buah. Masing-masing bagian sudutnya dilubangi sebagai tempat besi penyangga dan bagian tengahnya sebagai tempat elektroda jarum



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

dan plat. Besi penyangga terbuat dari besi setinggi 40 cm. Tahap yang kedua adalah akrilik dipotong dengan ukuran 17 cm x 17 cm sebanyak satu buah dengan bagian sisi sudut dan tengahnya dilubangi sebagai tempat besi penyangga dan antenna. Tahap yang ketiga adalah antenna dibuat dari bahan tembaga dengan panjang 10 cm dan membuat *ground* antenna yang terbuat dari PCB berdiameter 10 cm. Dasar antenna dihubungkan dengan BNC konektor agar bisa menghubungkan antenna dengan osiloskop.

Elektroda pengujian yang digunakan terbuat dari bahan *stainless steel*. Elektroda terdiri dari dua macam yaitu plat dengan diameter 12 cm dan jarum.

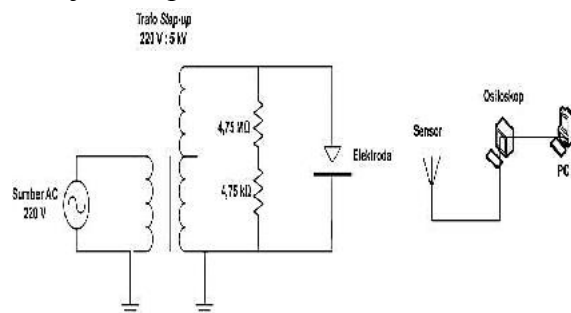


Gbr 3. Penempatan (a) sampel sumber korona dan (b) sensor monopole.

Kerangka alat pengujian yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 3 merupakan bentuk model penyangga elektroda pengujian peluahan sebagian yang terdiri dari elektroda jarum dan elektroda plat, sementara penyangga antena *monopole* ditempatkan sejajar secara horizontal terhadap penyangga elektroda. Jarak antara elektroda pengujian dengan antena diatur jaraknya sejauh 20 cm, 30 cm, 50 cm. Gambar 3 di atas hanya menunjukkan kerangka elektroda pengujian dan antena *monopole* dalam bentuk gambar tiga dimensi dan bukan merupakan gambar rangkaian secara keseluruhan.

2) Rangkaian Pengujian

Rangkaian pengujian yang digunakan pada pengujian peluahan sebagian ini ditunjukkan pada Gambar 4.



Gbr 4. Rangkaian pengujian.

Dari gambar rangkaian di atas dapat diketahui komponen-komponen yang digunakan meliputi regulator tegangan, *trafo step-up*, pembagi tegangan,

elektroda pengujian kemudian sensor yang dihubungkan dengan osiloskop untuk menampilkan bentuk gelombang peluahan sebagian yang terjadi, serta komputer untuk menyimpan data gelombang peluahan dan memproses data peluahan sebagian yang diperoleh. Data peluahan sebagian yang diperoleh diolah dengan menggunakan *software* matlab untuk menghitung besar *magnitude* tegangan maksimum peluahan dan besar *cumulative energy* pada masing-masing jarak sumber peluahan terhadap sensor yang diuji.

3) Proses Pengujian Peluahan Sebagian

Ada tiga tahap yang dilakukan dalam pengujian, tahap pertama adalah tahap pengujian peluahan sebagian pada jarak 20 cm. Yang kedua adalah tahap pengujian peluahan sebagian pada jarak 30 cm dan yang tahap ketiga adalah tahap pengujian pada jarak 50 cm. Sebelum dilakukan pengujian peluahan sebagian, terlebih dulu dipastikan sumber tegangan sudah benar-benar terhubung dengan rangkaian pengujian dan dalam keadaan mati. Begitu juga dengan sensor, osiloskop dan komputer dipastikan kalau sudah terhubung dengan benar. Setelah itu jarak antara elektroda jarum dan plat diatur sebesar 2 mm. Kemudian sensor ditempatkan sejajar terhadap sumber peluahan dengan jarak antar keduanya 20 cm. Setelah semuanya diperiksa ulang, kemudian tegangan trafo dinaikkan secara perlahan sampai 5 kV. Pada osiloskop akan terekam gelombang peluahan sebagian, kemudian gelombang tersebut disimpan ke dalam komputer untuk dianalisis. Banyaknya sampel data gelombang peluahan sebagian yang diambil adalah sebanyak dua ratus sampel. Data gelombang peluahan sebagian yang diperoleh kemudian disimpan dalam bentuk format *.csv* ke dalam satu folder. Setelah semua data

diperoleh, menurunkan tegangan sampai nol. Tahap yang berikutnya adalah jarak sensor terhadap sumber peluahan korona diatur sejauh 30 cm dan 50 cm. Sama halnya dengan tahap yang pertama, data gelombang peluahan sebagian direkam dan disimpan sebanyak dua ratus buah dalam bentuk format .csv. Setiap data gelombang pengujian yang sudah direkam pada masing-masing jarak yang diterapkan, disimpan ke dalam folder yang berbeda

4) Pengolahan Data

Setelah dilakukan pengujian dan didapat gelombang output, maka dilakukan pengolahan sinyal gelombang. Data berupa tegangan peluahan yang diperoleh pada masing-masing jarak sumber peluahan dengan sensor, disimpan ke komputer dalam bentuk file .csv atau .txt, kemudian dengan menggunakan bantuan *software* matlab seluruh data hasil peluahan tersebut di-load untuk menghitung besar *magnitude* tegangan peluahan dan *cumulative energy* yang dihasilkan. Yang pertama sekali dilakukan dalam pengolahan data adalah menentukan besar *magnitude* tertinggi, *magnitude* terkecil dan rata-rata *magnitude* peluahan sebagian yang terjadi. Sebanyak dua ratus buah sampel gelombang peluahan sebagian pada masing-masing jarak sensor yang ditentukan ditempatkan ke dalam folder yang terpisah. Kemudian pembuatan program untuk memuat seluruh sampel gelombang peluahan ke dalam matlab dan program penghitung nilai *magnitude* tegangan peluahan sebagian. Berdasarkan perhitungan besar *magnitude* tegangan peluahan yang dibuat, didapatkan besar nilai rata-rata, maksimum dan minimum *magnitude* peluahan sebagian. Tahap kedua yang dilakukan pada pengolahan data adalah penentuan besar *cumulative energy* dari peluahan sebagian. Seperti

pada langkah pertama, sebanyak dua ratus buah sampel peluahan sebagian yang direkam pada tiap jarak sensor yang telah ditentukan, ditempatkan ke dalam folder secara terpisah. Kemudian dibuat program untuk memuat seluruh sampel gelombang peluahan ke dalam *software* matlab dan program penghitung besar *cumulative energy* peluahan sebagian. Berdasarkan data seluruh sampel gelombang peluahan yang telah dihitung maka didapat nilai rata-rata, maksimum dan minimum *cumulative energy* peluahan sebagian. Nilai yang diperoleh kemudian ditampilkan ke dalam sebuah tabel.

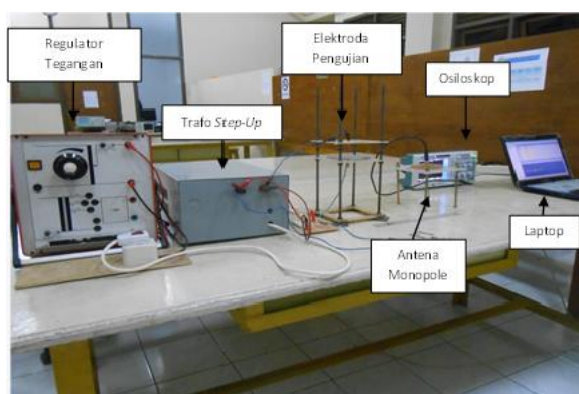
Bentuk tipikal gelombang peluahan sebagian juga dianalisis untuk melihat bagaimana pengaruh perubahan jarak antara sensor terhadap sumber peluahan dengan fungsi sinyal gelombang yang diperoleh. Besar *cumulative energy* dan *magnitude* tegangan gelombang peluahan sebagian yang diperoleh digunakan untuk menunjukkan kemampuan sensor dalam mendeteksi timbulnya peluahan sebagian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengambilan Data

Sebelum dilakukan pengambilan data, terlebih dahulu disiapkan semua peralatan yang dibutuhkan untuk pengujian peluahan sebagian meliputi regulator tegangan yang dihubungkan ke sisi primer trafo *step-up*. Kemudian rangkaian pembagi tegangan dihubungkan ke terminal trafo *step-up*. Dari terminal bertegangan pada trafo *step-up* dihubungkan ke elektroda jarum sementara terminal netralnya dihubungkan ke elektroda piring dengan menggunakan kabel penghubung. Jarak antara kedua elektroda diatur sebesar 2 mm. Pada rangkaian yang terpisah, sensor dihubungkan dengan osiloskop menggunakan kabel *probe*. Sensor berfungsi sebagai pendeteksi atau penangkap gelombang peluahan sebagian, sementara osiloskop untuk menampilkan data bentuk

gelombang pengujian peluahan sebagian. Posisi sensor pada pengujian ini ditempatkan sejajar dengan elektroda atau sumber peluahan secara horizontal. Radiasi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh sumber peluahan akan memancar ke segala arah secara radial sehingga besar radiasi yang terjadi di sekeliling sumber peluahan akan relatif sama. Oleh karena itu penempatan sensor hanya ditempatkan pada satu posisi saja yaitu sejajar dengan posisi sumber peluahan dengan jarak yang berbeda. Pengujian ini dilakukan pada setiap jarak 20 cm, 30 cm dan 50 cm antara sensor dan sumber peluahan yang diuji, dengan besar tegangan yang tetap sebesar 5 kV. Data yang dihasilkan pada saat proses pengujian berupa waktu dan tegangan peluahan sebagian, yang kemudian disimpan ke komputer dalam bentuk file .csv atau .txt. Banyaknya sampel data yang disimpan adalah 200 sampel pada tiap pengujian. Data peluahan yang telah didapat tersebut disimpan dalam folder yang berbeda. Kemudian dari data yang sudah didapat dilakukan perhitungan besar *magnitude* tegangan dan *cumulative energy* peluahan sebagian dengan menggunakan bantuan *software* matlab. Rangkaian pengujian yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gbr 5 . Rangkaian dan peralatan pengujian

A. Pengolahan Data

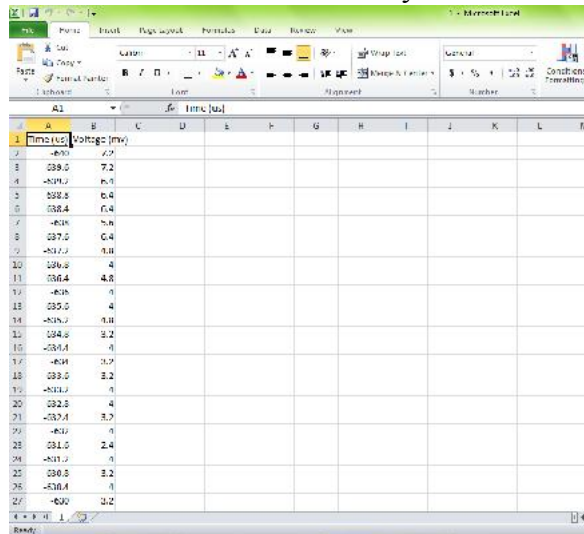
Data sinyal peluahan sebagian yang terekam pada osiloskop disimpan dalam bentuk *tabular* yang akan disimpan dalam file .csv atau .txt. Hal ini dilakukan agar dapat

dengan mudah mengolah sinyal dengan matlab.

Adapun langkah yang dilakukan dalam mengolah sinyal sebagai berikut:

- 1) Data yang terekam pada osiloskop yaitu berupa sinyal peluahan sebagian, seluruhnya disimpan ke komputer dalam bentuk *tabular* dengan format .csv atau .txt.
- 2) Data tegangan peluahan sebagian yang diperoleh pada masing-masing jarak antara sensor dengan sumber peluahan yang diuji, direkam sebanyak dua ratus buah dan disimpan ke dalam folder yang berbeda.
- 3) Data hasil pengujian peluahan sebagian pada masing-masing variabel jarak sensor yang diuji dimuat ke dalam matlab.
- 4) Besar *magnitude* tegangan maksimum peluahan sebagian pada masing-masing variabel jarak yang diuji dihitung menggunakan bantuan program matlab.
- 5) Besar *cumulative energy* peluahan sebagian pada masing-masing variabel jarak yang diterapkan juga dihitung menggunakan bantuan program matlab.
- 6) Berdasarkan nilai *magnitude* tegangan maksimum dan *cumulative energy* peluahan sebagian yang telah diperoleh kemudian gelombang peluahan sebagian dianalisis.

Langkah pertama yang dilakukan dalam pengolahan data adalah pengaturan osiloskop sehingga data sinyal peluahan sebagian ditampilkan dalam bentuk data tabular. Data tabular yang ditampilkan kemudian disimpan ke dalam komputer dalam bentuk file .csv seperti yang terlihat pada Gambar 6. Setelah itu data pada kolom B yang merupakan data tegangan yang terjadi selama pengujian disalin dan disimpan ke dalam bentuk file .txt. Data sinyal peluahan sebagian ini diambil dan disimpan sebanyak dua ratus sampel untuk masing-masing jarak sensor yang diterapkan pada pengujian.

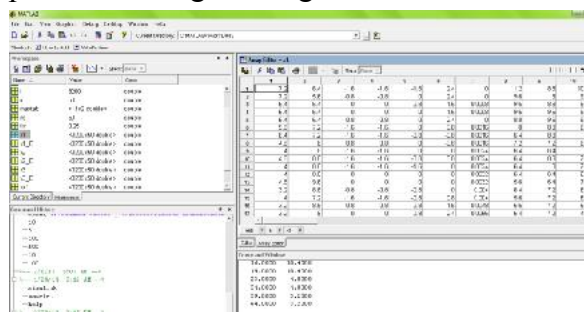


Time (s)	Voltage (mV)
1	-400
2	238.0
3	-400.0
4	332.0
5	338.4
6	-400
7	400.0
8	337.0
9	-400.0
10	338.0
11	336.4
12	-400
13	335.0
14	-400.0
15	334.0
16	-400.0
17	-400
18	333.0
19	-400.0
20	332.0
21	-400.0
22	-400
23	331.0
24	-400.0
25	330.0
26	-400.0
27	-400

Gbr 6. Data tabular hasil pengujian peluahan sebagian.

Langkah yang kedua adalah masing-masing data tegangan peluahan sebagian yang diperoleh disimpan ke dalam folder yang berbeda untuk bisa dengan mudah dimuat pada *software* matlab dengan menggunakan program.

Langkah yang ketiga adalah data tegangan peluahan yang telah disimpan dimuat ke dalam matlab (Gambar 6). Untuk menghitung nilai *magnitude* tegangan maksimum dan besar *cumulative energy* peluahan sebagian membutuhkan *listing program* yang berfungsi untuk mendapatkan nilai parameter hasil peluahan sebagian dengan akurat.



```

% Listing program for processing voltage data
% This script reads data from a file and calculates the maximum magnitude and cumulative energy.

% Read data from file
data = load('data.xlsx');

% Calculate maximum magnitude
max_mag = max(abs(data(:,2)));

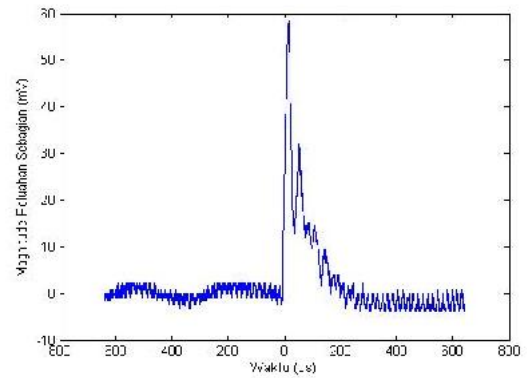
% Calculate cumulative energy
cumulative_energy = sum(data(:,2).^2);

% Display results
disp('Maximum Magnitude: ');
disp(max_mag);
disp('Cumulative Energy: ');
disp(cumulative_energy);

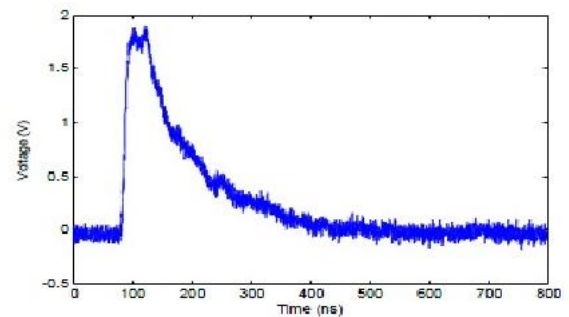
```

Gbr 7. Data tegangan peluahan sebagian yang telah diimpor ke matlab.

Setelah data sinyal peluahan sebagian dimuat, langkah yang keempat adalah besar nilai *magnitude* tegangan dan besar *cumulative energy* dari peluahan sebagian dihitung dengan bantuan program pada matlab.



Gbr 8. Tipikal sinyal gelombang peluahan setelah diimpor ke matlab.

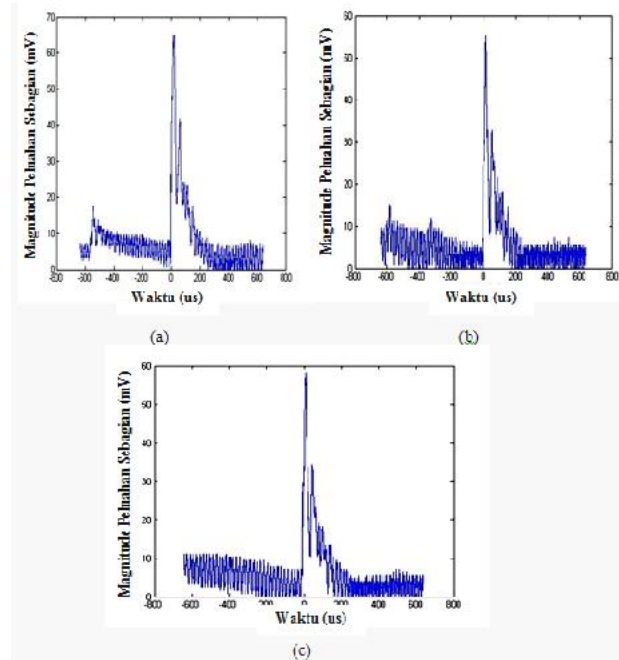


Gbr 9. Tipikal sinyal gelombang peluahan sebagian di udara (Niasar Mohamad Ghaffarian, 2012).

Gambar 8 menunjukkan gambar sinyal gelombang peluahan sebagian yang telah dimuat dan diplot menggunakan matlab berdasarkan data peluahan yang telah diimpor. Sinyal peluahan yang diperoleh memiliki bentuk sinyal tunggal dengan satu puncak. Titik dimana sinyal awal terjadinya peluahan sebagian langsung mengalami kenaikan, setelah itu langsung menurun secara perlahan dan beresilasi sampai kemudian stabil kembali. Tipe sinyal yang hampir sama juga ditunjukkan pada Gambar 9, dimana titik sinyal awal terjadinya peluahan sebagian langsung mengalami kenaikan hanya saja gelombang yang terdiri dari sinyal tunggal tersebut memiliki dua buah puncak yang hampir sama ketinggiannya.

B. Data Hasil Pengujian Peluahan Sebagian di Udara

1) Peluahan Sebagian Pada Jarak Sensor 20 cm

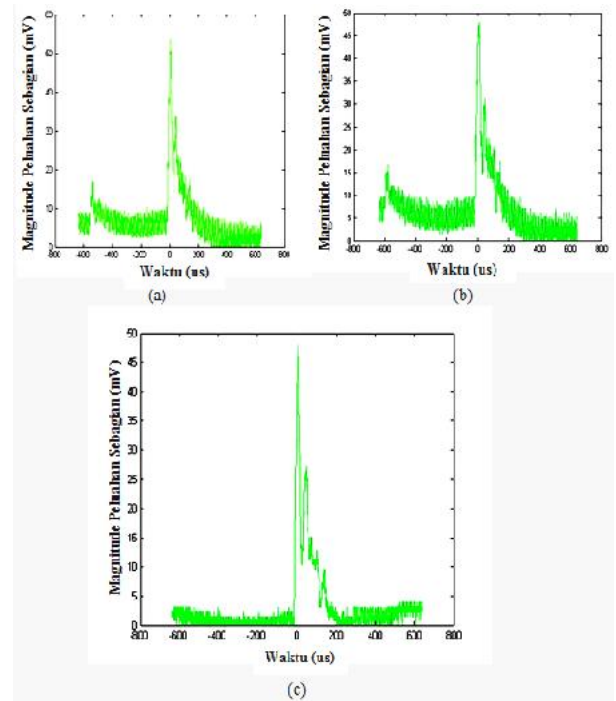


Gbr 10. Sinyal gelombang peluahan sebagian saat sensor berjarak 20 cm terhadap sumber peluahan.

(a) Sampel 1, (b) Sampel 2, (c) Sampel 3.

Gambar 10 menunjukkan tiga buah sampel dari dua ratus buah sampel peluahan sebagian di udara yang diambil saat pengujian dengan jarak sensor terhadap sumber peluahan sebesar 20 cm. Besar nilai *magnitudenya* secara berurutan sebesar 64,8 mV, 55,2 mV dan 58,4 mV. Pada Gambar 9 dapat dilihat dari bentuk sampel gelombang yang tertera, diperoleh bentuk gelombang tunggal dengan satu puncak. Sebelum timbulnya gelombang peluahan terdapat sinyal *noise* yang berasal dari lingkungan sekitar peluahan sebagian terjadi.

2) Peluahan Sebagian Pada Jarak Sensor 30 cm

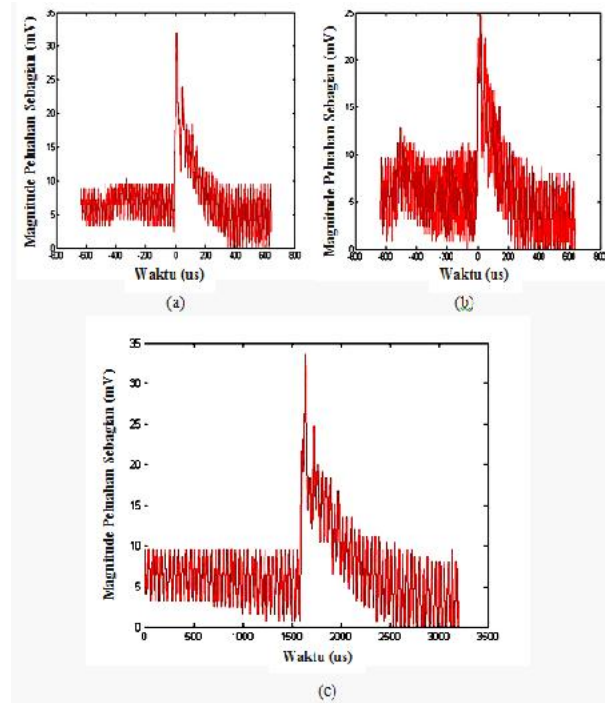


Gbr 11. Sinyal gelombang peluahan sebagian saat sensor berjarak 30 cm terhadap sumber peluahan.

(a) Sampel 1, (b) Sampel 2, (c) Sampel 3.

Gambar 11 menunjukkan bentuk gelombang peluahan sebagian yang diperoleh pada saat pengujian pada jarak sensor 30 cm dimana terlihat gelombang peluahan memiliki *magnitude* sebesar 53,6 mV, 48 mV dan 48,8 mV. Pada gambar di atas dapat dilihat bentuk gelombang peluahan sebagian yang dihasilkan berbentuk gelombang tunggal dengan satu puncak. Setelah mencapai titik puncaknya, waktu turunnya gelombang beresilasi kemudian secara perlahan stabil kembali. Terdapat juga sinyal *noise* sesaat sebelum terjadinya peluahan. Sebelum timbulnya gelombang peluahan terdapat gelombang kecil yang mirip dengan gelombang peluahan asli. Gelombang ini mungkin disebabkan karena pada saat radiasi gelombang elektromagnetik terjadi sebelumnya, maka gelombang tersebut akan merambat ke segala arah dan mengalami beberapa kali pemantulan oleh lingkungan sekitar sebelum akhirnya ditangkap oleh antena.

3) Peluahan Sebagian Pada Jarak Sensor 50 cm



Gbr 12. Sinyal gelombang peluahan sebagian saat sensor berjarak 50 cm terhadap sumber peluahan.

(a) Sampel 1, (b) Sampel 2, (c) Sampel 3.

Gambar 12 menunjukkan bentuk gelombang peluahan sebagian yang diperoleh pada saat pengujian pada jarak sensor 50 cm dimana terlihat gelombang peluahan memiliki *magnitude* sebesar 32 mV, 32,8 mV dan 33,6 mV. Setelah mencapai titik puncaknya, waktu turunnya gelombang beresilasi kemudian secara perlahan stabil kembali. Dari gambar juga dapat dilihat besarnya tingkat *noise* terlihat semakin tinggi. Hal ini sebenarnya terjadi akibat gelombang peluahan sebagian yang terjadi mengalami peredaman akibat jarak yang semakin jauh dari sumber peluahan. Bentuk gelombang yang dihasilkan juga cenderung beragam. Hal ini terjadi dikarenakan gelombang yang terjadi selama proses peluahan akan mengalami pemantulan akibat kondisi tempat pengujian. Komponen atau peralatan listrik yang dapat menghasilkan gelombang elektromagnetik di sekitar tempat pengujian peluahan sebagian dilakukan, dapat memberikan pengaruh pada bentuk gelombang peluahan sebagian yang diperoleh. Hal inilah yang membuat

gelombang peluahan yang terjadi menjadi tidak seragam.

Perbandingan *noise* dengan *magnitude* peluahan sebagian yang terjadi semakin besar seiring bertambahnya jarak antara sensor dengan sumber peluahan. Hal ini terjadi dikarenakan proses redaman gelombang elektromagnetik selama proses perambatan gelombang dari sumber peluahan sebagian ke sensor. Dengan jarak yang semakin besar, maka sinyal peluahan sebagian akan semakin lemah ditangkap oleh sensor. Untuk mengatasi lemahnya sinyal yang ditangkap dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan menggunakan sensor yang memiliki penguatan yang lebih baik dibandingkan dengan antena *monopole*. Penggunaan antenna seperti *spiral*, *log-spiral* atau *spectral* dapat meningkatkan perbandingan *noise* ke sinyal peluahan sebagian sehingga jarak pendeteksian dapat ditingkatkan. Dengan demikian penggunaan jenis sensor yang memiliki karakteristik penguatan yang lebih baik dapat menghasilkan perbandingan *magnitude* dengan *noise* (*signal to noise ratio*) yang lebih tinggi.

Tabel 1. Data perhitungan besar *magnitude* tegangan peluahan sebagian.

No.	Jarak (cm)	Maksimum <i>Magnitude</i> Peluahan (mV)	<i>Mean Magnitude</i> Peluahan (mV)	Minimum <i>Magnitude</i> Peluahan (mV)
1.	20	93.6	63.536	52.8
2.	30	56.8	49.088	43.2
3.	50	34.4	26.704	20.8

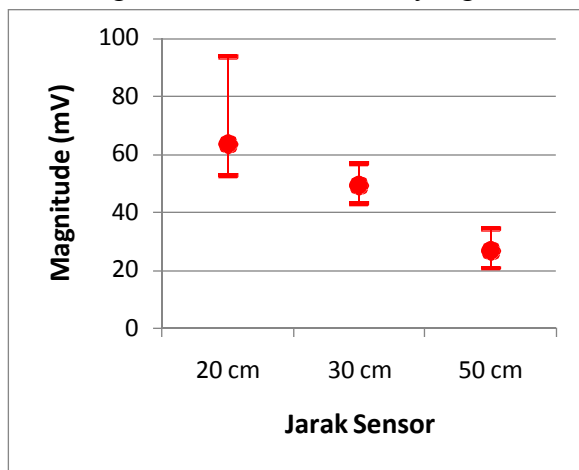
Tabel 2. Data perhitungan besar *cumulative energy* peluahan sebagian.

No.	Jarak (cm)	Maksimum <i>Cumulative Energy</i>	<i>Mean Cumulative Energy</i>	Minimum <i>Cumulative Energy</i>
1.	20	5.75E+05	3.37E+05	2.26E+05
2.	30	4.12E+05	2.56E+05	1.45E+05
3.	50	3.72E+05	1.74E+05	4.79E+04

Pada Tabel 1, besar nilai maksimum *magnitude* peluahan, nilai rata-rata *magnitude* peluahan, nilai minimum *magnitude* peluahan masing-masing mengalami penurunan seiring bertambah besarnya jarak antara sensor terhadap sumber peluahan. Sama halnya dengan nilai *magnitude* peluahan, nilai maksimum *cumulative energy*, minimum *cumulative energy* dan rata-rata *cumulative energy* peluahan juga memiliki nilai yang menurun seiring pertambahan jarak sensor.

C. Karakteristik Peluahan Sebagian di Udara Melalui Variasi Jarak Sensor

1) Karakteristik Nilai *Magnitude* Peluahan Sebagian Pada Jarak Sensor yang Berbeda



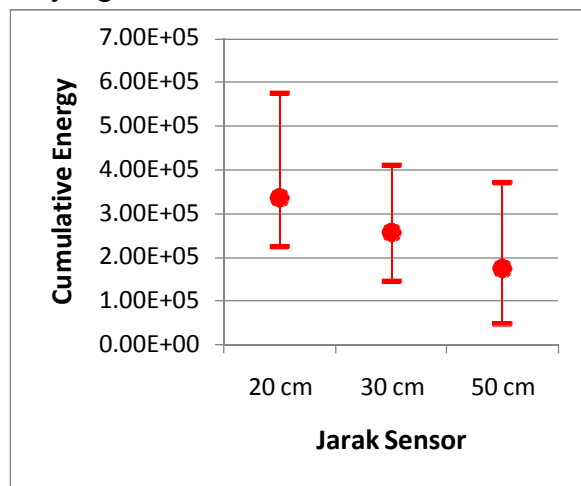
Gbr 13. Karakteristik nilai *magnitude* peluahan sebagian pada jarak sensor yang berbeda.

Dari dua ratus sampel peluahan korona yang diambil pada jarak sensor sebesar 20 cm, diperoleh besar *magnitude* tertinggi peluahan sebagian yang terjadi sebesar 93,6 mV. Sementara untuk nilai rata-rata *magnitudenya* sebesar 63,536 mV. Pada jarak sensor sebesar 30 cm, diperoleh besar *magnitude* tertinggi peluahan sebagian yang terjadi sebesar 56,8 mV. Sementara untuk nilai rata-rata *magnitudenya* sebesar 49,088 mV. Pada jarak sensor sebesar 50 cm, diperoleh besar *magnitude* tertinggi peluahan sebagian yang terjadi sebesar 34,4 mV. Sementara untuk nilai rata-rata *magnitudenya* sebesar 26,704 mV.

Pada Gambar 13 terlihat bahwa semakin jauh jarak sensor terhadap sumber peluahan maka besar *magnitude* peluahannya akan semakin kecil. Hal ini bisa terjadi dikarenakan radiasi gelombang elektromagnetik yang ditimbulkan oleh sumber peluahan sebagian mengalami peredaman dalam merambat. Artinya gelombang elektromagnetik akibat peluahan akan mengalami redaman selama perambatannya di udara yang mengakibatkan sensor sebagai penerima sinyal hanya dapat menangkap radiasi gelombang elektromagnetik yang sudah mengalami redaman. Oleh karena itu semakin dekat jarak antara sensor dengan sumber peluahan maka besar *magnitude* peluahan sebagian yang terjadi akan semakin tinggi. Sementara karakteristik sensor *monopole* yang digunakan juga memiliki sensitivitas yang tidak terlalu baik jika penempatannya berada terlalu jauh dari sumber sinyal.

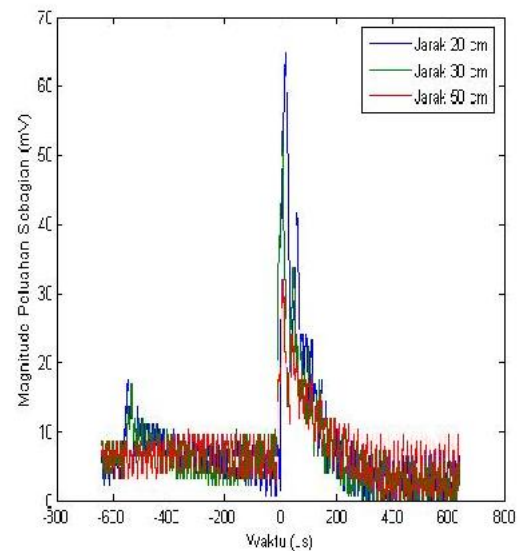
Dapat dilihat, dengan melakukan pengujian secara berulang pada jarak sensor yang sama, dihasilkan nilai *magnitude* peluahan tertinggi yang cukup beragam. Artinya, hasil pengujian peluahan yang didapatkan tidak memberikan nilai *magnitude* peluahan yang stabil. Hal tersebut menjadi salah satu kelemahan dari metode elektromagnetik ini, dimana akan sangat sulit untuk melakukan kalibrasi terhadap nilai parameter peluahan yang diperoleh.

2) Karakteristik Nilai *Cumulative Energy* Peluahan Sebagian Pada Jarak Sensor yang Berbeda



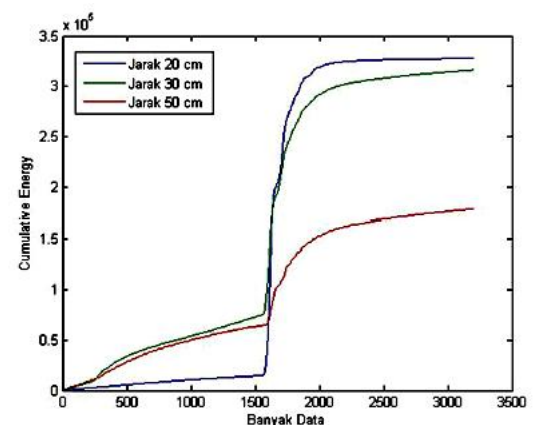
Gbr 14. Karakteristik nilai *cumulative energy* peluahan sebagian pada jarak sensor yang berbeda.

Pada Gambar 13 dan 14, ditunjukkan bahwa grafik menurun seiring dengan pertambahan jarak antara sensor dengan sumber peluahan. Pada gambar tersebut juga ditunjukkan bahwa baik besar *magnitude* peluahan sebagian maupun besar *cumulative energy* pada jarak 20 cm memiliki nilai yang relatif sangat bervariasi dibandingkan pada jarak 30 cm dan 50 cm. Besar *magnitude* peluahan sebagian yang terjadi pada jarak 20 cm memiliki perbedaan nilai maksimum dan minimum yang relatif besar. Hal ini disebabkan karena saat jarak sensor lebih dekat dengan sumber peluahan sebagian, maka setiap perubahan reaksi radiasi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh sumber peluahan sebagian akan cenderung lebih baik ditangkap oleh sensor. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan sensor dalam mendeteksi timbulnya peluahan sebagian sangat sensitif jika ditempatkan pada jarak yang dekat dengan sumber peluahan.



Gbr 15. Tipikal *magnitude* gelombang peluahan sebagian di udara pada jarak sensor yang bervariasi.

Gambar 15 menunjukkan tipikal *magnitude* gelombang peluahan sebagian yang terjadi di udara. Gelombang tersebut merupakan salah satu dari dua ratus sampel gelombang peluahan sebagian yang diuji pada masing-masing jarak sensor yang sudah ditentukan. Dapat dilihat seiring bertambahnya jarak sensor terhadap sumber peluahan sebagian, *magnitude* gelombang peluahan sebagian yang diperoleh akan semakin menurun.



Gbr 16. Tipikal *cumulative energy* gelombang peluahan sebagian di udara pada jarak sensor yang bervariasi.

Bentuk kurva *cumulative energy* gelombang peluahan sebagian secara umum memiliki bentuk yang semakin tinggi seiring bertambah besarnya jarak sensor terhadap

sumber peluahan. Tipikal *cumulative energy* gelombang peluahan sebagian di udara pada jarak sensor yang bervariasi ditunjukkan pada Gambar 16. Dari Gambar 16 dapat dilihat terdapat sebuah titik pada masing-masing kurva dimana pada titik tersebut nilai *cumulative energy* meningkat secara tajam. Hal ini menunjukkan bahwa pada titik inilah proses peluahan sebagian mulai terjadi. Waktu munculnya sebuah gelombang juga dapat dilihat pada gambar tersebut dengan mengacu pada titik lutut yang terdapat pada kurva.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, pengolahan data dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Peluahan sebagian korona dapat dideteksi dengan menggunakan metode elektromagnetik. Pendeteksian dilakukan dengan menggunakan sebuah antena yang berfungsi sebagai sensor. Dalam penelitian ini, sebuah antena *monopole* dipergunakan sebagai sensor untuk menangkap sinyal elektromagnetik yang dihasilkan sumber peluahan korona buatan.
2. *Magnitude* tertinggi peluahan sebagian di udara terjadi pada sensor yang berjarak 20 cm terhadap sumber peluahan sebagian. Sedangkan *magnitude* terkecil peluahan sebagian terjadi pada sensor yang berjarak 50 cm terhadap sumber peluahan.
3. Semakin jauh jarak antara sensor dengan sumber peluahan maka semakin kecil nilai *magnitude* peluahannya. Karena semakin jauh radiasi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh sumber peluahan untuk merambat, maka gelombang elektromagnetik akan semakin teredam.
4. Perbandingan *noise* dengan *magnitude* peluahan sebagian yang terjadi semakin besar seiring bertambahnya jarak antara sensor dengan sumber peluahan. Hal ini

terjadi dikarenakan proses redaman gelombang elektromagnetik selama proses perambatan gelombang dari sumber peluahan sebagian ke sensor.

5. Nilai *cumulative energy* peluahan sebagian tertinggi terjadi saat sensor berada pada jarak 20 cm terhadap sumber peluahan. Sedangkan sensor yang berada pada jarak 50 cm terhadap sumber peluahan memiliki nilai *cumulative energy* yang terkecil.

REFERENSI

- [1] Adel El Faraskoury, *Conventional and Un-Conventional Partial Discharge Detection Methods in High Voltage XLPE Cable Accessorie*,. Al-Azhar University, Egypt, 2012.
- [2] Arismunandar, Artono, *Teknik Tegangan Tinggi*, PT. Pradnya Paramita. Jakarta. 1990,
- [3] Chang-Whang Jin, *et al*, *Detection Of Partial Discharges By a Monopole Antenna In Insulation Oil*, Korea Maritime University. Republik of Korea, 2006.
- [4] Illias, Hazlee, *Partial Discharge Patterns in High Voltage Insulation*, University of Malaya. Malaysia, 2012.
- [5] J. Lopez-Raldan, *Design And Testing Of UHF Sensors For Partial Discharge Detection In Transformers*, Queensland University of Technology, Australia, 2008.
- [6] Kacaribu, Rusdin, *Pengaruh Pelapisan Dielektrik Minyak Pada Dielektrik Plastik Terhadap Tegangan Tembus AC*, Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara, 2011.
- [7] K. Masaki, *et al*, *On-site measurement for the development of on-line partial discharge monitoring system in GIS*, IEEE Trans. Power Delivery, 1994, vol. 9, no. 2, pp. 805–810.
- [8] Lonngren, E.K, *et. Al*, *Fundamentals and Electromagnetics with Matlab*, University of Iowa, Bulgaria, 2004.
- [9] Martoni Devy, *Analisis Karakteristik Peluahan Sebagian Pada Model Void Berdasarkan Fungsi Waktu Dan Tegangan Dalam Polyvinyl Chloride (PVC)*, Universitas Diponegoro, Semarang, 2008.

- [10] M. D. Judd, *Power Transformer Monitoring Using UHF Sensors*, University of Strathclyde, Glasgow, 2002.
- [11] Naidu M. S., *High Voltage Engineering*, Mc Graw-Hill, United States, 1996.
- [12] Niasar Mohamad Ghaffarian, *Partial Discharge Signatures of Defects in Insulation Systems Consisting of Oil and Oil-impregnated Paper*, KTH School of Electrical Engineering, Stockholm, 2012.
- [13] Panicker Philip. K., *et al*, *Development of Corona Discharge Apparatus for Supersonic Flow*, The University of Texas At Arlington, Texas, 2003.
- [14] Peter Kakeeto, *Experimental investigation of positional accuracy for UHF partial discharge location*, University of Strathclyde, Scotland, 2008.
- [15] Pinpart. T., *Experimental Comparison of UHF Sensor Types for PD Location Applications*, University of Strathclyde, United Kingdom, 2009.
- [16] Setyawan, Jarot, *Investigation Of Partial Discharge Occurrence And Detectability In High Voltage Power Cable Accessories*, Delft University of Technology, 2009.
- [17] Sinaga, H. H., *Partial Discharge Localization in Transformers Using UHF Sensors*, The University of New South Wales, Australia, 2011.
- [18] Toshihiro Hoshino, *Comparison of Sensitivity Between UHF Method and IEC 60270 for Onsite Calibration in Various GIS*, IEEE Transactions On Power Delivery, 2006, Vol. 21.
- [19] Zhou Lixing, *Partial Discharge Sources Detection and Location with an Electromagnetic Vector Sensor*, Changsha University of Science & Technology, China, 2009.