

**RESPON SENSOR *MONOPOLE* UNTUK MENDETEKSI SINYAL
ELEKTROMAGNETIK YANG DIPANCARKAN OLEH SUMBER
PELUAHAN SEBAGIAN (*PARTIAL DISCHARGE*)**

(Skripsi)

Oleh

DAPOT TUA MALAU



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2015**

ABSTRAK

RESPON SENSOR *MONOPOLE* UNTUK MENDETEKSI SINYAL ELEKTROMAGNETIK YANG DIPANCARAKAN OLEH SUMBER PELUAHAN SEBAGIAN (*PARTIAL DISCHARGE*)

Oleh

DAPOT TUA MALAU

Salah salah satu peralatan yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik adalah transformator. Isolasi merupakan bagian yang sangat penting dan sangat menentukan umur dari peralatan termasuk transformator. Penurunan bagian-bagian sistem isolasi dapat memicu kerusakan pada transformator tersebut. Salah satu cara untuk mengetahui kerusakan isolasi awal yaitu dengan mendeteksi peluahan sebagian yang terjadi pada isolasi transformator. Peluahan sebagian yang terjadi dalam waktu yang lama dapat mengakibatkan penurunan kekuatan isolasi pada daerah peluahan tersebut sehingga dapat memicu terjadinya tegangan tembus (*breakdown*). Pendeteksian peluahan sebagian dilakukan dengan menangkap sinyal elektromagnetik yang dipancarkan oleh sumber peluahan sebagian tersebut.

Pada penelitian ini sensitifitas sensor dalam mendeteksi peluahan sebagian diuji dengan menggunakan *Transverse Electromagnetic Cell* (TEM Cell). Sensor yang digunakan berupa antena *monopole* yang terbuat dari bahan tembaga dan PCB yang dirancang dengan ukuran yang berbeda-beda. Pengujian menggunakan variasi ukuran diameter dan panjang sensor antena untuk mendapatkan perbandingan tingkat sensitifitas sensor dalam mendeteksi peluahan sebagian. Data yang dihasilkan berupa gelombang yang didapat dari osiloskop kemudian diolah dengan menggunakan *matlab* untuk menentukan nilai *magnitude* tertinggi yang dideteksi oleh masing-masing sensor.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *magnitude* tertinggi dideteksi oleh sensor *monopole* dengan diameter 0,5 mm dan panjang 10 cm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar diameter dan panjang sensor yang digunakan maka akan semakin sensitif dalam mendeteksi gelombang elektromagnetik yang berasal dari peluahan sebagian.

Kata kunci: peluahan sebagian, metode elektromagnetik, sensor *monopole*, *TEM Cell*.

ABSTRACT

RESPONSE MONOPOLE SENSOR TO DETECT ELECTROMAGNETIC SIGNALS EMITTED BY PARTIAL DISCHARGE

By

DAPOT TUA MALAU

One of the essential equipment in the power system is a transformer. Isolation is a very important and will determine the age of the equipment, including transformers. The decline in parts of the insulation system can trigger damage to the transformer. One way to determine the initial isolation damage is to detect partial discharge that occurs in isolation transformer. Partial discharge that occurred in a long time can result in decreased strength of the insulation on the discharge area so that it can trigger the breakdown voltage. Partial discharge detection is done by capturing the electromagnetic signals emitted by the source of the partial discharge.

In this study, the sensitivity of the sensors in detecting partial discharge tested using Cell Transverse Electromagnetic (TEM Cell). The sensors used in the form of monopole antennas are made from copper and PCB are designed with different sizes. Tests using a variation of the diameter and length of the sensor antenna to get a comparison of the sensitivity of the sensors in detecting partial discharge. Data generated in the form of waves obtained from the oscilloscope then processed using matlab to determine the value of the highest magnitude detected by each sensor.

The experiment results show that the highest magnitude is detected by a sensor monopole with a diameter of 0.5 mm and a length of 10 cm. This shows that the larger the diameter and length of the sensor is used it will be more sensitive in detecting electromagnetic waves emanating from the discharge portion.

Keywords: partial discharge, electromagnetic methods, monopole sensor, TEM Cell.

**RESPON SENSOR *MONOPOLE* UNTUK MENDETEKSI SINYAL
ELEKTROMAGNETIK YANG DIPANCARKAN OLEH SUMBER
PELUAHAN SEBAGIAN (*PARTIAL DISCHARGE*)**

Oleh

DAPOT TUA MALAU

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2015**

Judul Skripsi : RESPON SENSOR *MONOPOLE* UNTUK MENDETEKSI SINYAL ELEKTROMAGNETIK YANG DIPANCARKAN OLEH SUMBER PELUAHAN SEBAGIAN (*PARTIAL DISCHARGE*)

Nama Mahasiswa : Dapot Tjua Malau

Nomor Pokok Mahasiswa : 0815031047

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



Herman

Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T.
NIP 19711130 199903 1 003

Melvi

Dr. Ing. Melvi, S.T., M.T.
NIP 19730118 200003 2 001

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ardian

Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji


Ketua : Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T. 

Sekretaris : Dr. Ing. Melvi, S.T., M.T. 

Penguji Bukan Pembimbing : Dr. Eng. Yul Martin, S.T., M.T. 

2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 0024 

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 Desember 2015

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

1. Skripsi dengan judul “**Respon Sensor *Monopole* untuk Mendeteksi Sinyal Elektromagnetik yang Dipancarkan oleh Sumber Peluahan Sebagian (*Partial Discharge*)**” adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai tata etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Februari 2016

Pembuat Pernyataan



Dapot Tua Malau

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Situnjang, Samosir, Sumatera Utara pada tanggal 03 Agustus 1989, sebagai anak ke empat dari lima bersaudara dari pasangan Bapak Albert Malau dan Ibu Kasianna br. Sidauruk.

Jenjang pendidikan yang ditempuh oleh penulis dimulai dari Sekolah Dasar Negeri 173800 Simanindo diselesaikan pada tahun 2001, dilanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama Budi Mulia Pangururan diselesaikan pada tahun 2004, kemudian dilanjutkan di Sekolah Menengah Atas Deli Murni Deli Tua diselesaikan pada tahun 2007.

Pada tahun 2008 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Unila melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi anggota Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro (HIMATRO). Selain itu penulis juga aktif dalam organisasi tingkat universitas yaitu Unit Kegiatan Mahasiswa Kristen Unila sebagai Kepala Divisi Komunikasi dan Kaderisasi pada tahun 2011-2012. Penulis juga pernah menjadi Ketua Ikatan Mahasiswa Batak Toba Bandar Lampung (IMABATOBA) pada tahun 2010-2011. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Sidorejo, Lampung Timur pada tahun 2012. Pada tahun 2013, penulis melaksanakan kerja praktik di PT PJB Muara Tawar Bekasi.



Atas Anugerah dari Tuhan Yesus Kristus

*Dengan rasa hormat, cinta, kasih dan sayangku
ku dedikasikan karya sederhana ini teruntuk Bapak dan Mama
(ALBERT MALAU & KASIANNA SIDAURUK),
Yang senantiasa mencintai, memotivasi, dan mendoakanku,
Selalu ada untukku.
Terimakasih atas kepercayaan yang diberikan kepadaku,*

*Karya kecilku ini ku persembahkan kepada:
Kakakku Mutiara R. Malau, Lamris H. Malau, Marodor Malau,
Adikku Efri Malau
Serta keponakanku Yehezkiel Simbolon dan Ramos*

*Karya kecilku ini ku persembahkan kepada:
Guru-guru, Dosen-dosen, Sahabat-sahabat ku
dan
Almamater tercinta*



“Mintalah, maka akan diberikan kepadamu; carilah, maka kamu akan mendapat; ketoklah, maka pintu akan dibukakan”. (Matius 7:7)

“Jadilah seperti ilmu padi, semakin berisi semakin merunduk”

“Bersyukurlah selalu kepada Tuhan”

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan rahmat dan berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Respon Sensor *Monopole* untuk Mendeteksi Sinyal Elektromagnetik yang Dipancarkan oleh Sumber Peluahan Sebagian (*Partial Discharge*)” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung;
3. Bapak Dr. Herman Halomoan Sinaga, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung;
4. Bapak Dr. Herman Halomoan Sinaga, S.T., M.T., selaku Pembimbing Utama atas kesediaannya dalam memberikan bimbingan, saran, motivasi, dan kritik yang sangat membangun dalam proses penyelesaian skripsi ini;
5. Ibu Dr. Melvi, S.T., M.T., selaku Pembimbing Pendamping atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran, motivasi, dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
6. Bapak Dr. Eng. Yul Martin, S.T., M.T., selaku Penguji Utama pada ujian skripsi. Terima kasih pak untuk masukan dan saran-saran pada seminar proposal, seminar hasil dan ujian komprehensif;

7. Bapak Herri Gusmedi, S.T., M.T., selaku Pembimbing Akademik;
8. Seluruh dosen Teknik Elektro Unila yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan kepada penulis;
9. Seluruh staf administrasi Jurusan Teknik Elektro dan staf administrasi Fakultas Teknik Universitas Lampung;
10. Keluarga besar Bapa Uda Parihutan Malau dan Amang Boru Turnip di Metro, terima kasih untuk semua motivasi, semangat serta doa yang telah diberikan;
11. Keluarga besar Baret Camp : Emak, Bang Ervan, Lae Anton, Lidia, Novrit, Irma, Bul spasi Bul, Saulus Situmorang, Novelin, Sasti, Jestina, Princes Anyta, Saongnasio, terima kasih atas hari-hari dan kebersamaan yang diwarnai dengan tawa.
12. Keluarga besar IMABATOBA : Bang Josua, Bang Rido, Bang Veking, Bang Boyko, Kak Mirona, Bang Hormat, dan semua anggota IMABATOBA, terima kasih banyak untuk semua kasih, motivasi dan doa yang telah diberikan;
13. Teman seperjuangan Markus Manik, Antonius Situmorang, Hendro Girsang, Ira Yanti Malau, Widodo Simamora, Hermanto Sitompul, Dafry Malau, Gideon Damanik, Una Bangun, Yustinus, Ayub, Felix, Reno, sebagai teman senasib dan sepenanggungan dalam penyelesaian studi dan tugas akhir ini;
14. Teman-teman "SIGAOR DODAK" : Roy "Brot" Sihombing, Benny Siahaan, Johannes Pasaribu, Bona "Kocu" Gultom, Decky Adendi Berutu;
15. Teman-teman "ELEKTRO JOSS" : Linggom, Iyat, Unggul, Binsar, Jimmy, Brando, Jumanto, terima kasih atas kasih, kebersamaan dan hari yang diwarnai dengan tawa;
16. Keluarga besar Unit Kegiatan Mahasiswa Kristen Universitas Lampung (UKM-K);
17. Keluarga besar Forum Komunikasi Mahasiswa Kristen Fakultas Teknik (FKMK-FT);
18. Teman-teman mahasiswa Teknik Elektro 2008 dan rekan-rekan konsentrasi Sistem Energi Elektrik, terima kasih atas kebersamaan, semangat, cerita-cerita manis dan masa-masa sulit yang pernah kita lewati bersama;

19. Dan semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandarlampung, Februari 2016

Penulis

Dapot Tua Malau

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang dan Masalah	1
B. Tujuan	3
C. Manfaat Penelitian	3
D. Rumusan Masalah	3
E. Batasan Masalah.....	4
F. Hipotesis.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Peluahan Sebagian.....	6
B. Pengukuran Peluahan Sebagian	8
C. Metode Pendeteksian Peluahan Sebagian	11
D. Karakteristik Peluahan	16
E. Radiasi Gelombang Elektromagnetik	20
F. Sensor untuk Mendeteksi Peluahan Sebagian.....	22
G. Parameter Sensor	27
H. <i>Transverse Electromagnetic Cell</i> (TEM Cell)	30
III. METODE PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat Penelitian.	32
B. Alat dan Bahan	33
C. Tahap Pembuatan Tugas Akhir.....	34
1. Perancangan Model Pengujian	34
2. Diagram Uji Sensitifitas Sensor	36
3. Diagram Alir Pengujian.....	37
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Pengambilan Data	38
B. Pengolahan Data.....	40
Menentukan Karakteristik Magnitudo	40
C. Data Hasil Pengujian	44
D. Karakteristik Peluahan Sebagian.....	53

V. KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	56
B. Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	60

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Jadwal dan kegiatan penelitian.....	32
4.2 Data hasil pengolahan nilai magnitudo peluahan sebagian.....	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Jenis-jenis sumber peluahan sebagian	7
2.2 Rangkaian ekivalen peralatan isolasi	9
2.3 FFT Peluahan Sebagian	17
2.4 Magnitudo gelombang peluahan	18
2.5 Durasi waktu peluahan sebagian.....	19
2.6 Arah pergerakan medan listrik dan medan magnet.....	20
2.7 Jenis sensor peluahan sebagian	23
2.8 Bandwidth antena.....	27
2.9 Struktur <i>Transverse Electromagnetic Cell</i>	31
3.1 Desain sensor <i>monopole</i> dengan software <i>CST microwave studio</i>	35
3.2 Diagram uji sensitifitas sensor menggunakan TEM Cell	36
3.3 Diagram alir penelitian.....	37
4.1 Rangkaian pengujian.....	39
4.2 Data tabular gelombang peluahan sebagian.....	41
4.3 Data gelombang yang telah disalin ke <i>excel</i>	42
4.4 Data magnitudo dalam ekstensi “.txt”	43
4.5 Data gelombang yang telah di <i>import</i> ke <i>matlab</i>	43
4.6 Sinyal gelombang peluahan sebagian yang dideteksi sensor berdiameter 0,1 mm.....	47
4.7 Sinyal gelombang peluahan sebagian yang dideteksi sensor	

berdiameter 0,3 mm	50
4.8 Sinyal gelombang peluahan sebagian yang dideteksi sensor	
berdiameter 0,5 mm	52
4.9 Perbandingan nilai magnitudo.....	54

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang dan Masalah

Pada saat ini hampir semua kebutuhan manusia sangat bergantung kepada ketersediaan listrik. Listrik menjadi salah satu hal yang paling berguna baik dalam memenuhi kebutuhan rumah tangga maupun kebutuhan dunia industri. Kebutuhan listrik semakin lama semakin meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan laju pertumbuhan penduduk. Oleh karena itu peralatan yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik diharapkan mampu bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya.

Salah salah satu peralatan yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik adalah transformator. Transformator berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Oleh karena itu pemeliharaan dan perawatan transformator sangat dibutuhkan untuk menjamin kontinuitas penyaluran energi listrik. Karena pentingnya fungsi transformator dalam penyaluran energi listrik, maka transformator akan dioperasikan pada daya maksimal dan bekerja secara kontiniu. Hal inilah yang dapat menyebabkan kerusakan pada transformator. Faktor utama yang menyebabkan kerusakan transformator adalah pada sistem isolasinya.

Isolasi merupakan bagian yang sangat penting dan sangat menentukan umur dari peralatan termasuk transformator. Penurunan bagian-bagian sistem isolasi dapat memicu kerusakan pada transformator tersebut. Untuk itu isolasi harus dipelihara sebaik mungkin, baik terhadap isolasinya maupun penyebab kerusakan isolasi.

Salah satu cara untuk mengetahui kerusakan isolasi awal yaitu dengan mendeteksi peluahan sebagian yang terjadi pada isolasi transformator. Peluahan sebagian yang terjadi dalam waktu yang lama dapat mengakibatkan penurunan kekuatan isolasi pada daerah peluahan tersebut sehingga dapat memicu terjadinya tegangan tembus (*breakdown*). Pendeteksian peluahan sebagian dilakukan dengan menangkap sinyal elektromagnetik yang dipancarkan oleh sumber peluahan sebagian tersebut.

Penelitian ini dilakukan untuk membuat dan menguji sensor berupa antena *monopole* yang berfungsi untuk menangkap sinyal elektromagnetik yang dipancarkan oleh sumber peluahan sebagian. Sensor yang dirancang harus memenuhi kriteria alat ukur yang baik, seperti: ukuran yang sesuai, medan listrik yang seragam di sekitar sensor dan mampu mendeteksi peluahan sebagian pada rentang frekuensi tinggi, 50 MHz s.d 500 MHz. Sensor didesain dengan menggunakan CST Microwave Studio. Kemudian sensor diuji dengan menggunakan *Tranverse electromagnetic Cell* (TEM cell). Sinyal elektromagnetik yang ditangkap oleh sensor direkam dengan menggunakan osiloskop atau *digitizer*. Gelombang elektromagnetik yang ditangkap akan menampilkan magnitude sinyal elektromagnetik sebagai fungsi frekuensi.

B. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendesain sensor berupa antena *monopole* yang berfungsi untuk mendeteksi dan menangkap sinyal elektromagnetik yang dihasilkan oleh sumber peluahan sebagian. Desain sensor dilakukan dengan menggunakan *CST Microwave Studio*.
2. Menguji sensitifitas sensor dengan menggunakan *Tranverse electromagnetic Cell* (TEM Cell) yang dirakit sendiri di laboratorium.

C. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui penggunaan sensor untuk menangkap gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh sumber peluahan sebagian.
2. Mengetahui tingkat sensitifitas sensor dalam mendeteksi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh sumber peluahan sebagian.

D. Rumusan Masalah

Peluahan sebagian dapat dideteksi dengan menangkap sinyal elektromagnetik yang dihasilkan oleh sumber peluahan sebagian. Pada penelitian ini akan diketahui bagaimana tingkat sensitifitas sensor yang akan dirancang dalam mendeteksi sinyal elektromagnetik yang dipancarkan oleh peluahan sebagian. Sinyal elektromagnetik

yang ditangkap oleh sensor direkam dengan menggunakan osiloskop atau *digitizer*. Gelombang elektromagnetik yang ditangkap akan menampilkan magnitudo sinyal elektromagnetik sebagai fungsi frekuensi.

E. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang dan menguji sensor untuk mendeteksi fenomena peluahan sebagian pada isolasi transformator.
2. Sensor yang dirancang diharapkan mampu untuk mendeteksi peluahan sebagian pada rentang frekuensi 50 MHz s.d 500 MHz.
3. Sensor yang digunakan yaitu jenis antena *monopole*.
4. Sensifitas sensor diuji dengan menggunakan *Transverse Electromagnetic Cell* (TEM Cell).

F. Hipotesis

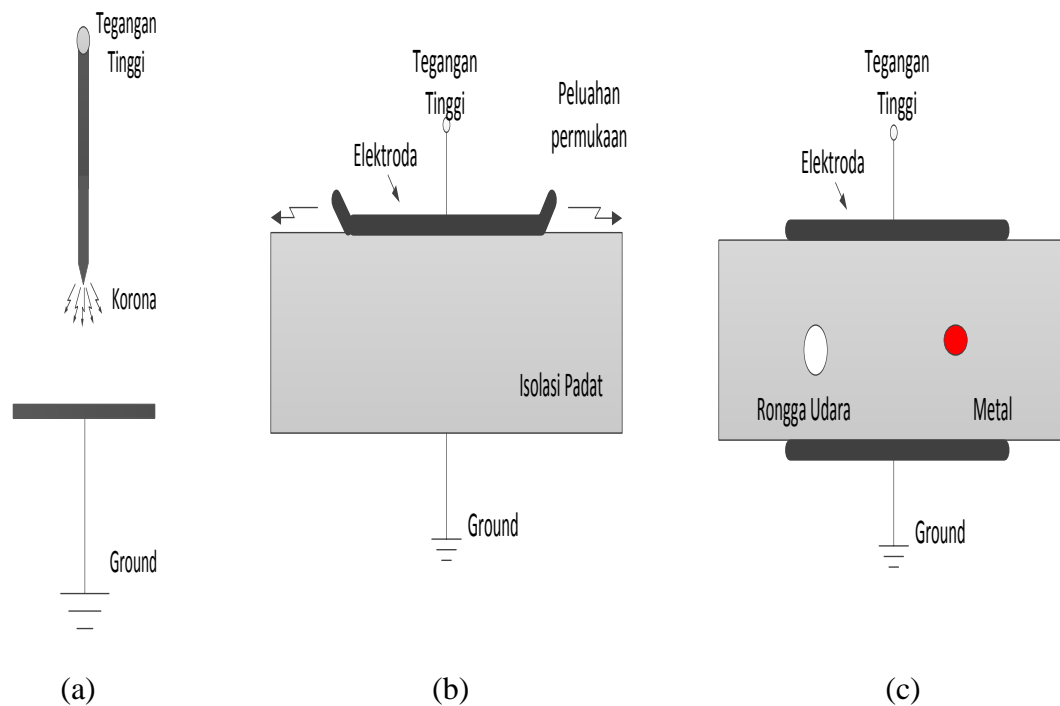
Salah satu metode pendeteksian peluahan sebagian adalah dengan mendeteksi sinyal gelombang elektromagnetik yang dihasilkan pada saat terjadinya peluahan sebagian. Metode pengukuran sinyal elektromagnetik membutuhkan sensor yang dapat mendeteksi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh peluahan sebagian.

Pendeteksian gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh peluahan sebagian tersebut bergantung kepada tingkat sensitifitas sensor yang digunakan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Peluahan Sebagian

Peluahan sebagian (*partial discharge*) adalah peristiwa peluahan listrik sebagian yang terjadi baik di permukaan maupun di tengah bahan isolasi antar konduktor. Peluahan sebagian terjadi karena adanya medan listrik yang tinggi pada area isolasi yang sangat kecil. Medan listrik yang sangat tinggi tersebut dapat terjadi pada permukaan ujung logam runcing transformator. Jika medan listrik melebihi ambang batas terjadinya peluahan sebagian, maka pada bagian ujung runcing dapat terjadi korona. Apabila peluahan sebagian terjadi dalam waktu yang lama maka dapat mengakibatkan terhubungnya antar konduktor. Hal inilah yang kemudian dapat menyebabkan terjadinya tegangan tembus (*breakdown*). Walaupun peluahan sebagian tidak berhubungan langsung dengan *breakdown*, akan tetapi jika peluahan terjadi dalam waktu yang lama maka dapat mengakibatkan pemburukan kekuatan isolasi sehingga dapat memicu terjadinya tegangan tembus (*breakdown*) (David F. Warne and A. Haddad, 2004).



Gambar 2.1. Jenis - jenis sumber peluhan sebagian
(a) peluhan korona, (b) peluhan permukaan, dan (c) peluhan dalam (Frederick, 1991)

Peluhan sebagian dapat dikategorikan berdasarkan lokasi terjadinya peluhan dalam 3 jenis (Gambar 2.1), yaitu: peluhan dalam (*internal discharge*), peluhan korona (*corona discharge*), dan peluhan permukaan (*surface discharge*) (Frederick, H. Kreuger, 1991). Peluhan korona merupakan peluhan yang terjadi akibat adanya peristiwa percepatan ionisasi di bawah tekanan medan listrik (Panicker, P.K, 2003). Peluhan korona terjadi di bagian yang runcing pada konduktor metal (Gambar 2.1.a). Peluhan permukaan merupakan peluhan yang terjadi pada suatu daerah yang berhubungan langsung dengan permukaan dielektrik, dimana daerah tersebut mengalami tekanan listrik yang sangat tinggi sehingga memicu terjadinya peluhan (Niasar, M.F, 2012). Peluhan permukaan terjadi pada permukaan bahan isolasi

seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.b. Peluahan di dalam bahan isolasi terjadi akibat adanya ketidak sempurnaan pada bagian dalam bahan isolasi (Gambar 2.1.c). Ketidaksempurnaan bahan dapat berupa adanya rongga udara atau adanya partikel kontaminan seperti serpihan logam atau bahan-bahan konduktif lainnya.

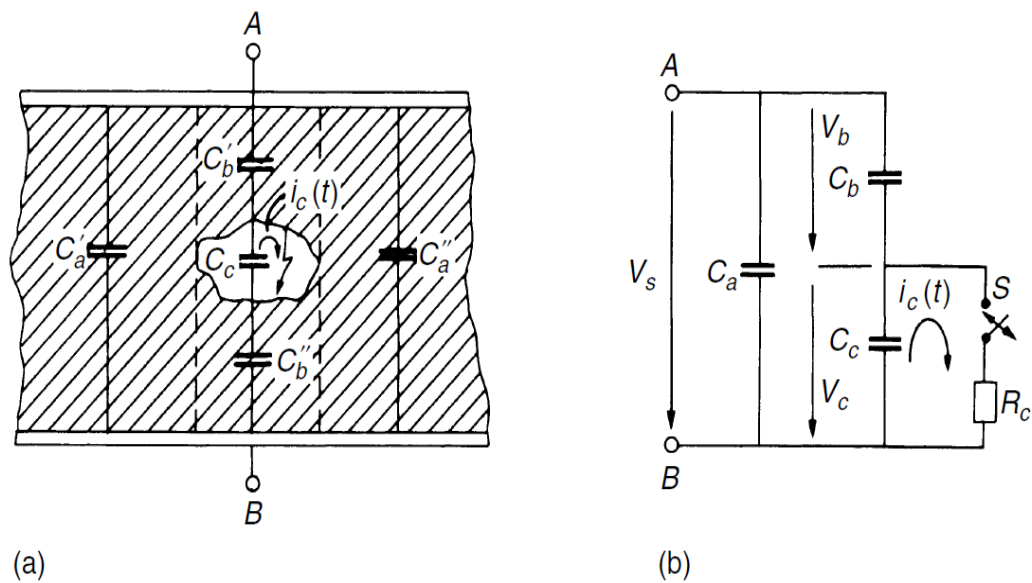
Belakangan ini metode pendeteksian peluahan sebagian dengan cara mendeteksi sinyal elektromagnetik sudah sangat sering digunakan. Sinyal elektromagnetik merupakan salah satu produk peluahan yang dapat dideteksi selain daripada arus peluahan, panas, cahaya, dan gas yang disebabkan oleh reaksi kimia. (Martin et.al, 2005a). Penggunaan sensor berupa antena menjadi elemen yang sangat penting pada metode ini. Sensor yang dirancang berfungsi untuk menangkap sinyal elektromagnetik yang dipancarkan oleh sumber peluahan. Kemudian sinyal yang ditangkap oleh sensor akan ditampilkan pada alat ukur *digitizer* berupa osiloskop.

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 ketaksempurnaan (rongga).

Pulsa arus peluahan sebagian yang asli tidak dapat diukur secara langsung karena tidak memungkinkan untuk menempatkan alat ukur tepat pada letak sumber peluahnya. 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 2.2. (a) Rangkaian ekivalen peralatan isolasi yang memiliki void (C_1) dan
(b) rangkaian ekivalen kapasitansi. (Kuffel, 1996)

Berikut akan dijelaskan metode pendeteksian dan pengukuran peluahan sebagian pada isolasi padat yang memiliki rongga udara. Gambar 2.2.a menunjukkan rangkaian ekuivalen 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 ekuivalen kapasitansinya dapat digambarkan sebagai rangkaian kapasitor pada Gambar 2.2.b.

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 2.2.b 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 2.2.b, 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 melepaskan muatan ke rangkaian $C_1 + C_2$ (gambar 2.2.b). 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. Metode Pendeteksian Peluahan Sebagian

Pendeteksian peluahan sebagian umumnya dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu konvensional dan non konvensional (M. Muhr, 2006).

1. Metode pendeteksian peluahan secara konvensional

Metode ini digunakan untuk mendeteksi dan mengukur muatan terlihat (*apparent charge*) dari sinyal yang dihasilkan oleh peluahan sebagian. Pengukuran besar muatan dinyatakan dalam (pC). Metode ini dikenal juga sebagai metode standar internasional IEC 60270 dan telah digunakan dalam waktu yang lama (Setyawan, 2009). Akan tetapi, pada pengukuran secara langsung (*on line monitoring*) akan terjadi *noise* yang relatif tinggi. Hal inilah yang menjadi kelemahan dari metode ini. Sehingga dikembangkanlah suatu metode pendeteksian peluahan sebagian *non konvensional* untuk memperkecil harga *noise* dari sinyal peluahan sebagian yang dideteksi (*high signal to noise ratio*).

2. Pendeteksian peluahan sebagian dengan metode non konvensional

Metode ini dilakukan dengan mendeteksi sinyal elektromagnetik yang dihasilkan oleh sumber peluahan sebagian dengan rentang frekuensi HF/VHF (3 MHz sd. 300 MHz),

UHF (300 MHz s.d 3000 MHz). Metode ini juga dapat dilakukan dengan pendeteksian emisi suara (10 kHz s.d 300 kHz), pendeteksian secara optik, dan pendeteksian komposisi kimia (Adel. 2012). Metode pendeteksian UHF atau dengan rentang frekuensi tinggi ini lebih dikenal sebagai metode elektromagnetik (UHF). Keunggulan dari metode elektromagnetik (UHF) selain memiliki harga *noise* yang rendah juga memiliki tingkat sensitifitas yang lebih besar dibandingkan metode konvensional dalam mendeteksi timbulnya peluahan sebagian. Metode ini pertama kali digunakan untuk mendeteksi peluahan sebagian pada GIS (*Gas Insulated Switchgear*) (J. Lopez-Raldan, 2008).

Metode pendeteksian peluahan sebagian dengan menerapkan metode elektromagnetik juga dibahas oleh Chang-Whang Jin. Pendeteksian peluahan sebagian dilakukan pada medium isolasi cair dengan menggunakan 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 disesuaikan dengan seperempat dari panjang gelombang frekuensi antena yang dipergunakan. Dengan tegangan yang sama diperoleh bahwa kedua antena dengan masing-masing frekuensi resonansi 500 MHz dan 1 GHz sangat efektif apabila 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).

Metode elektromagnetik saat ini mulai diterapkan pada transformator daya untuk menguji kekuatan isolasi minyak (M. D. Judd, 2002). Pengujian dilakukan pada saat

trafo sedang dioperasikan untuk mengetahui secara langsung peristiwa peluahan sebagian yang terjadi. Pada penelitiannya, M. D. Judd menggunakan dua buah sensor elektromagnetik yang ditempatkan di dalam sebuah trafo melalui lubang dielektrik yang terdapat pada trafo. Sensor yang ditempatkan pada trafo harus sesuai dengan kondisi trafo yang digunakan. Penempatan sensor ke dalam trafo bertujuan untuk memantau peristiwa peluahan sebagian yang terjadi pada isolasi minyak selama proses pengoperasian trafo. Dari pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa metode elektromagnetik dapat diterapkan pada sebuah trafo untuk mendeteksi timbulnya peluahan sebagian serta dapat memonitoring keadaan trafo itu sendiri. Hal ini berdasarkan data kondisi bahan isolasi selama pengoperasian yang direkam oleh spektrum analyzer.

Penelitian dengan variasi sensor yang diaplikasikan untuk mendeteksi peluahan sebagian pada transformator dilakukan J. Lopez–Raldan pada tahun 2008. Sensor yang digunakan berupa antena *monopole* dengan tipe *short conical*, *long conical*, *trapezoidal wire* dan *straight wire*. Setelah membandingkan jenis dan struktur antena yang digunakan pada penelitiannya, diperoleh bahwa antena *monopole* tipe *long conical* dengan panjang 100 mm merupakan sensor yang cocok untuk digunakan pada transformator. 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. Hal ini menunjukkan 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.

Hasil gelombang elektromagnetik peluahan sebagian yang akan diperoleh sangat dipengaruhi oleh pemilihan sensor yang digunakan. Pada penelitiannya T. Pinpart 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).

Sinyal elektromagnetik peluahan sebagian yang dihasilkan memiliki karakteristik frekuensi berbeda. Hal ini bergantung pada jenis sumber peluahan sebagian dan medium tempat berlangsungnya peluahan sebagian tersebut. Pada medium isolasi minyak, metal tajam yang menusuk sistem isolasi menghasilkan gelombang pulsa yang sangat cepat, dengan waktu muka gelombang kurang dari ~ 0.9 ns (Martin, et.al, 1998). Sementara untuk kontak isolasi yang tidak sempurna menghasilkan pulsa dengan waktu muka mencapai ~ 17 ns (Martin, et.al, 1998). Peluahan korona menghasilkan pulsa dengan waktu muka paling lambat (Sinaga, et.all, 2009) dengan

waktu muka mencapai ~ 50 ns. Jadi, proses peluahan sebagian menghasilkan rentang frekuensi sinyal elektromagnetik berkisar antara puluhan MHz sampai dengan 500 MHz.

Penelitian ini dilakukan untuk mendeteksi sinyal elektromagnetik yang dipancarkan oleh sumber peluahan sebagian. Gelombang elektromagnetik ini akan dideteksi oleh sensor berupa antenna *monopole* yang terbuat dari bahan tembaga dan PCB dan dirancang dengan panjang 6-10 cm dan diameter 0,1 mm, 0,3 mm, dan 0,5 mm. Pengujian menggunakan variasi ukuran sensor antenna untuk mendapatkan perbandingan tingkat sensitifitas sensor dalam mendeteksi gelombang peluahan sebagian. Untuk mengetahui tingkat sensitifitas dari masing-masing sensor *monopole* maka data hasil pengujian akan dianalisis dengan menggunakan bantuan *software matlab*. Parameter yang dianalisis adalah magnitudo dan frekuensi peluahan sebagian.

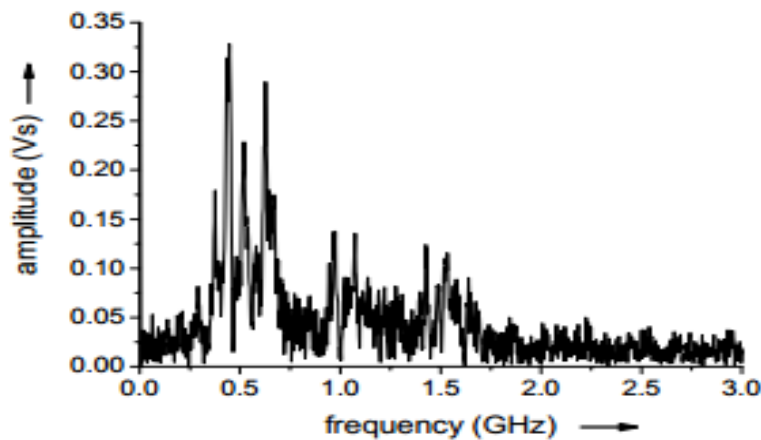
D. Karakteristik Peluahan

Karakteristik dari sinyal elektromagnetik yang dihasilkan oleh peluahan sebagian tergantung pada jenis sumber peluahan sebagian dan medium terjadinya peluahan sebagian tersebut. Sinyal elektromagnetik yang ditangkap oleh sensor akan ditampilkan pada osiloskop. Karakteristik sinyal peluahan sebagian yang ditampilkan pada osiloskop akan dianalisis dengan menghitung parameter-parameter gelombang

tersebut. Karakteristik sinyal peluahan dapat ditentukan dari beberapa parameter yaitu:

1. Frekuensi sinyal peluahan sebagian

Frekuensi merupakan salah satu parameter yang dapat menentukan karakteristik sinyal peluahan sebagian (S. Tenbohlen, D. 2008). Frekuensi menunjukkan jumlah sinyal peluahan sebagian yang terjadi dalam waktu satu detik. Frekuensi dari peluahan sebagian dapat ditentukan dengan fungsi *FFT (Fast Fourier Transform)* dengan mengubah gelombang domain waktu menjadi domain frekuensi (Sugeng Riyanto, 2009).

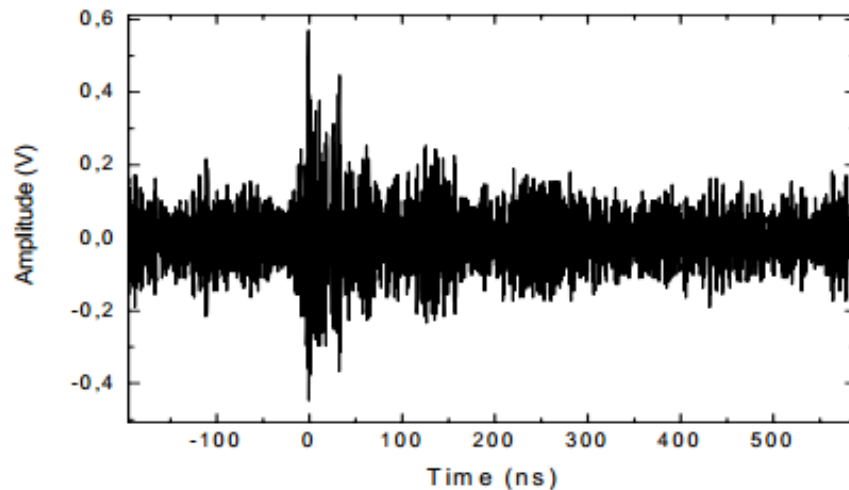


Gambar 2.3. FFT Peluahan Sebagian (S. Tenbohlen, D. 2008)

Gambar 2.3 menunjukkan besarnya nilai frekuensi dari sinyal peluahan sebagian dengan menggunakan fungsi FFT. Amplitudo tertinggi dinyatakan sebagai frekuensi dominan. Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa frekuensi dominan berada pada 600 MHz.

2. Magnitudo

Salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan karakteristik peluahan sebagian adalah magnitudo. Magnitudo pada sinyal peluahan dapat ditentukan dengan melihat besar magnitudo pada saat terjadinya peluahan sebagian. Setiap sumber peluahan akan memiliki magnitudo yang berbeda-beda (Jian Ye, Shuqing Li and Tao Li).



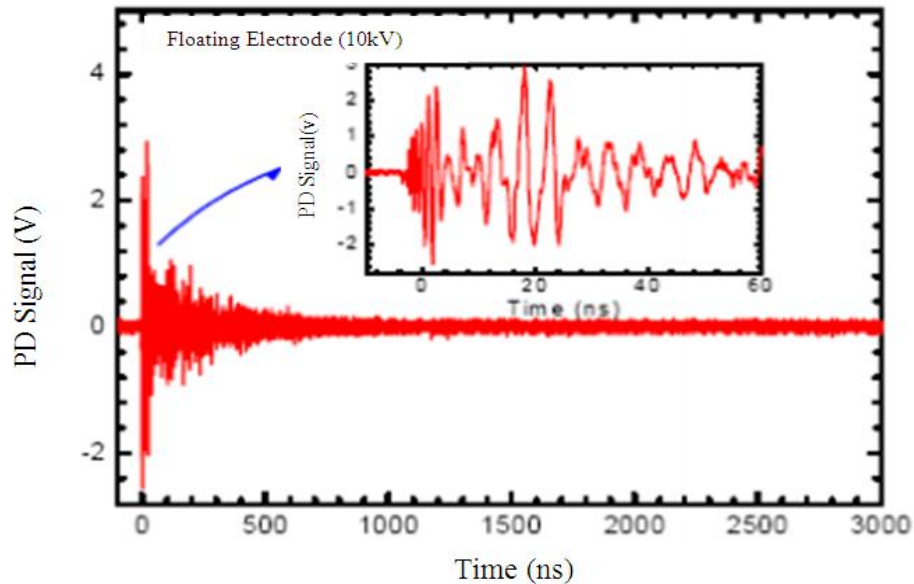
Gambar 2.4. Magnitudo gelombang peluahan (S. Tenbohlen, 2009).

Gambar di atas menunjukkan magnitudo gelombang peluahan. Besarnya nilai amplitudo ditentukan dari titik amplitudo pada sinyal peluahan. Titik amplitudo tertinggi dinyatakan sebagai amplitudo maksimum dan titik amplitudo terendah dinyatakan sebagai amplitudo minimum pada sinyal peluahan.

3. Lama durasi sinyal

Parameter lain yang digunakan untuk menentukan karakteristik dari peluahan sebagian adalah lama durasi sinyal. Cara ini dilakukan dengan mendeteksi durasi

waktu peluahan yang ditentukan dengan mengasumsikan adanya perubahan amplitudo pada gelombang muka dan diakhiri dengan adanya ekor gelombang (Sun-geun Goo, 2008).



Gambar 2.5. Durasi waktu peluahan sebagian (Sun-geun Goo, 2008)

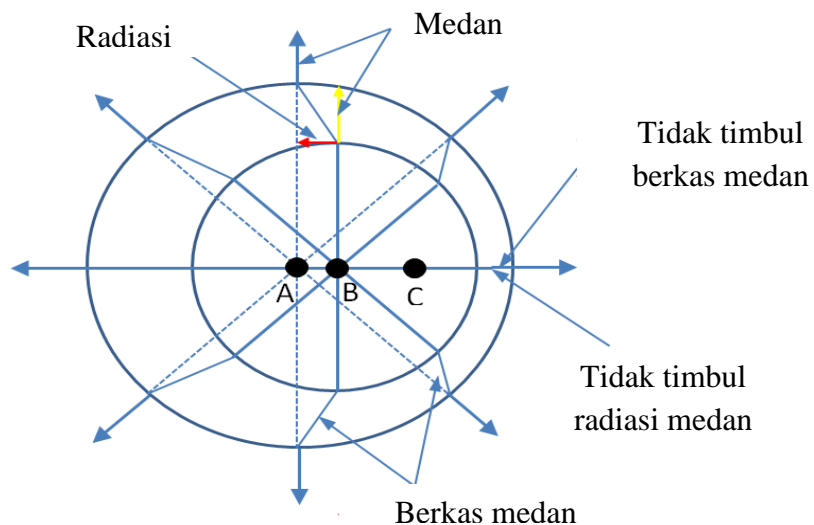
Gambar 2.5 menunjukkan gelombang peluahan yang dihasilkan dengan menggunakan *floating electrode*. Pada gambar di atas ditunjukkan bahwa amplitudo tertinggi dimulai pada titik 0 sampai titik 60, yang berarti bahwa durasi peluahan sebagian berlangsung selama 60 ns. Karakteristik peluahan sebagian dapat juga dilihat dari frekuensi saat terjadinya peluahan (S. Tenbohlen, D. 2008).

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.

E. Radiasi Gelombang Elektromagnetik

Peluahan sebagian merupakan proses pergerakan muatan yang dipengaruhi oleh medan listrik dan medan magnet. Muatan yang tidak bergerak (diam) tidak akan menimbulkan radiasi gelombang elektromagnetik tapi hanya memiliki medan listrik. Ketika muatan tidak bergerak, maka muatan hanya akan memancarkan medan listrik ke segala arah tapi tidak menghasilkan medan magnet. Jika muatan bergerak konstan maka arah medan magnet dan medan listrik akan selalu tegak lurus.



Gambar 2.6. Arah pergerakan medan listrik dan medan magnet (Lonngren & Savov, 2005)

Pada gambar di atas apabila muatan pada titik A yang memiliki medan listrik yang memancar ke segala arah dipercepat ke titik B sampai dengan mendekati kecepatan cahaya. Perpindahan dan percepatan yang dialami muatan A ke B akan menimbulkan 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 'missalignment' 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 2.5). Radiasi yang dihasilkan inilah yang disebut dengan radiasi medan elektromagnetik (Longren, E.K, *et. Al*, 2004).

Proses peluahan sebagian merupakan proses pergerakan muatan listrik yang dipercepat dan diperlambat oleh medan listrik disekitarnya. Sehingga besarnya medan elektromagnetik yang dihasilkan akan bergantung pada jumlah muatan listrik. Besarnya medan elektromagnetik tersebut dapat dihitung dengan menurunkan persamaan Biot-Savart :

$$E_t = \frac{NQ\mu_0}{4\pi} \frac{[a]\sin\theta}{\rho} \quad (2.1)$$

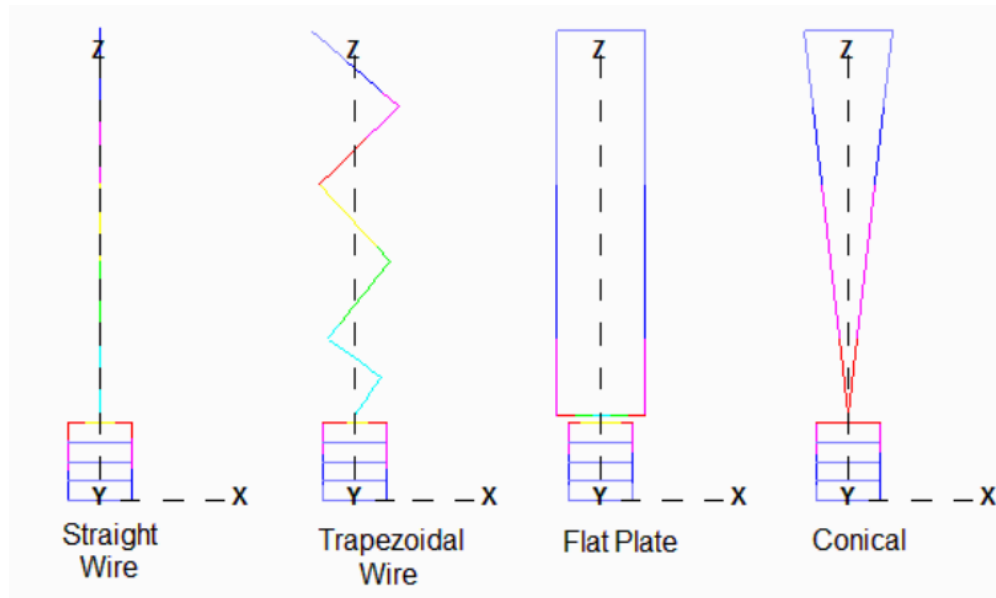
Dimana N adalah jumlah elektron, Q adalah besar muatan, μ_0 adalah permeabilitas

medium, $[a]$ merupakan faktor *retardation*, ρ adalah faktor percepatan elektron dan θ adalah sudut pengamatan.

Gelombang elektromagnetik yang dihasilkan saat terjadinya peluahan sebagian dapat dideteksi dengan menggunakan sensor yang dirancang berdasarkan jenis sumber peluahan sebagian itu sendiri.

F. Sensor Untuk Mendeteksi Peluahan Sebagian

Agar transformator dapat bekerja secara maksimal dan kontiniu maka perlu dilakukan pemantauan kondisi isolasi transformator. Pemantauan kondisi isolasi meliputi pendeteksian dan pengidentifikasian peluahan sebagian sampai dengan penentuan lokasi terjadinya peluahan sebagian tersebut. Untuk mendeteksi peluahan sebagian dibutuhkan sebuah sensor yang berfungsi untuk menangkap sinyal elektromagnetik yang dihasilkan oleh sumber peluahan. Pada metode pendeteksian sinyal elektromagnetik terdapat beberapa jenis antena yang digunakan sebagai sensor yaitu antena *straight wire*, *trapezoidal wire*, *flat plate*, dan *conical* (J. Lopez-Roldan, 2008). Bentuk dan struktur antena sangat berpengaruh terhadap hasil sinyal gelombang elektromagnetik yang ditangkap.



Gambar 2.7. Jenis sensor peluahan sebagian (J. Lopez-Roldan,2008)

Pada Gambar 2.7 dapat terlihat beberapa jenis antena yang digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi peluahan sebagian. Antena jenis *straight wire* merupakan antena yang paling sederhana karena hanya terbuat dari batang tembaga lurus. Namun antena ini memiliki respon yang baik dalam pendeteksian, baik dalam posisi horizontal dan vertikal. Untuk antena *trapezoidal wire* dibuat *zig zag* dengan bahan tembaga memiliki resonansi frekuensi yang lebih baik daripada *straight wire* walaupun memiliki karakteristik yang hampir sama. Kemudian untuk antena *flat plat* dibuat dari bahan tembaga dan memiliki bentuk bidang segi empat. Memiliki gain yang lebih kecil merupakan kekurangan antena ini dibanding antena lainnya. Kemudian yang terakhir adalah antena jenis *conical*. Antena ini memiliki *gain* yang lebih baik dibandingkan *straight wire* dan dibuat dengan memiliki bentuk bangun kerucut.

Untuk menempatkan sensor pada tangki transformator dapat dilakukan dengan dua cara yaitu: menempatkan sensor pada lubang saluran pembuangan minyak isolasi (Jose Lopez-Roldan, 2008) atau dengan menggunakan jendela dielektrik (Martin, et.l, 2005b). Kekurangan dalam menempatkan sensor pada lubang saluran pembuangan minyak isolasi yaitu sensor harus dirancang sesuai dengan ukuran lubang saluran pembuangan minyak isolasi. Sedangkan dengan menggunakan jendela dielektrik harus menyediakan jendela khusus yang dibuat dengan melubangi tangki transformator. Jendela dielektrik disesuaikan dengan ukuran sensor yang akan dibuat. Penempatan sensor ini tidak akan mengurangi performa dari transformator dan dapat dilakukan pada saat transformator sedang dalam proses pemeliharaan. Penempatan sensor ini juga dapat dilakukan pada saat pembuatan transformator.

Sensor dengan tipe *monopole* merupakan jenis sensor yang biasa digunakan pada saluran pembuangan minyak isolasi. Ukuran sensor disesuaikan dengan ukuran pada saluran pembuangan. Sensor yang ditempatkan pada saluran pembuangan minyak isolasi memiliki diameter kurang dari 5 cm dengan panjang di bawah 20 cm (Jose Lopez-Roldan, 2008). Sensor *monopole* yang dirancang berbentuk monopole pendek (Pinpart, T and Judd, M.D. 2009), *plat*, *zig-zag* atau *conikal* (Pantelis Agoris, 2007) atau bentuk lainnya dengan syarat sensor harus memiliki ukuran yang sama dengan dengan ukuran saluran pembuangan minyak isolasi. Sensor tidak boleh ditempatkan terlalu dalam karena akan menyebabkan semakin membesarnya magnitude sinyal peluahan. Hal ini dapat meningkatkan tekanan medan listrik yang tinggi pada ujung sensor yang akhirnya dapat memicu terjadinya breakdown (David F. Warne, 2004).

Untuk mengurangi tekanan listrik pada ujung sensor dapat dilakukan dengan membungkus bahan dielektrik tertentu pada sensor (Andrea, et.al, 2010).

Pada jendela dielektrik sensor yang digunakan memiliki bentuk berupa planar atau mendatar (Martin D. Judd, 2005b), *microstrip* (Aycan Erentok, 2008), *log-spiral*, *spiral* (Atanu Roy, 2007), dan *fractal* (Aycan Erentok, 2008). Pada jendela dielektrik sensor dibuat pada permukaan bahan dielektrik sama seperti membuat rangkaian sirkuit tercetak (*PCB-Printed Circuit Board*). Ukuran dan bentuk sensor yang dicetak pada PCB harus disesuaikan dengan frekuensi kerja sensor. Memperkecil ukuran sensor hingga 5 x 5 cm dapat digunakan pada frekuensi yang lebih tinggi (Gaetano Marrocco, 2008). Sensor ini memiliki kekurangan karena memiliki *bandwith spectrum* frekuensi kerja yang kecil. Namun hal ini dapat diatasi dengan mendesain *microstrip* sensor menggunakan PCB berlapis sehingga sensor dapat bekerja pada frekuensi tinggi antara 30 MHz sampai dengan 1000 MHz (Aycan Erentok, 2008). Tapi sensor dengan desain seperti ini sangat tidak praktis untuk dibuat.

Sensor yang dirancang untuk mendeteksi peluahan sebagian merupakan sistem setimbang. Kemudian sensor akan dihubungkan dengan alat ukur *digitizer* berupa osiloskop untuk menampilkan bentuk gelombang yang dihasilkan selama proses peluahan. Osiloskop yang digunakan memiliki input berupa kabel koaksial yang terdiri dari inti konduktor yang bertegangan dan selubung pelindung yang terhubung dengan *ground*. Osiloskop yang digunakan mempunyai sistem tidak setimbang pada inputnya. Karena perbedaan sistem yang digunakan maka perlu dirancang sebuah alat yang berfungsi untuk menghubungkan sensor dengan osiloskop. Alat ini berupa

konverter dari sistem setimbang ke sistem tak setimbang. Konverter ini dinamakan dengan balun (*balanced-unbalanced*) dan dipasang dengan cara disambungkan langsung dengan panel sensor sehingga menjadi satu kesatuan dengan sensor.

Selain berfungsi sebagai konverter sistem setimbang ke sistem tak setimbang, balun juga berfungsi untuk mengalihkan nilai impedansi yang berbeda (James, et, al, 1960).

Impedansi sensor yang digunakan untuk mendeteksi sinyal peluahan sebagian biasanya berada pada kisaran ratusan sampai dengan ribuan ohm, sementara besar impedansi peralatan pengukuran pada umumnya adalah 50 ohm. Tetapi ada juga peralatan pengukuran yang memiliki impedansi 75 dan 100 ohm (Jesper, et.al, 2000).

Pada tahun 1960 James, et.al menggunakan metode *tapered* untuk membuat balun yang dapat menghasilkan frekuensi 100:1. Walaupun balun ini dibuat dengan menggunakan kabel koaksial biasa dan didesain dengan sederhana namun dapat menghasilkan transisi atau peralihan impedansi yang baik. Tapi balun ini juga memiliki kekurangan karena panjangnya dapat mencapai 50 cm ketika digunakan untuk transisi impedansi dari 120 ohm ke 50 ohm pada frekuensi kerja spektrum dari 300 MHz sampai dengan 1000 MHz. Saat ini balun juga dapat dibuat dengan papan PCB, yakni bahan yang sama dengan sensor. Desain balun dilakukan dengan mencetak pola pada papan PCB sehingga dapat menjembatani dua impedansi yang berbeda pada frekuensi tertentu.

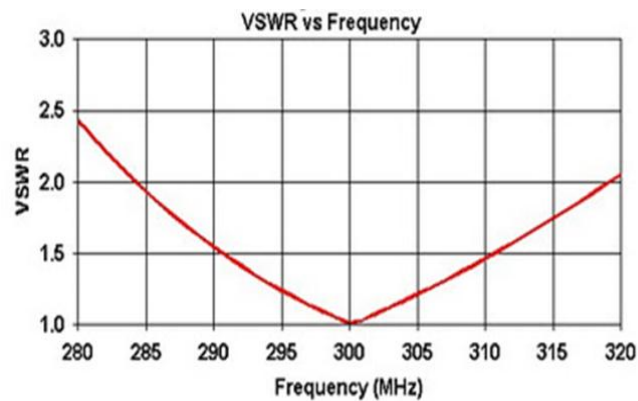
G. Parameter Sensor

Sensor berupa antenna *monopole* merupakan salah satu sensor yang dapat menangkap sinyal elektromagnetik yang dihasilkan oleh sumber peluahan. Untuk mengetahui unjuk kerja dari sensor *monopole* perlu memperhatikan parameter-parameter yang digunakan untuk mendesain sensor. Adapun parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja antenna adalah sebagai berikut :

1. Bandwidth

Bandwidth merupakan rentang frekuensi dimana kinerja antenna dianggap baik.

Bandwidth dapat dilihat dari hasil pengukuran dan pengujian yang dilakukan.



Gambar 2.8. *Bandwidth* antenna

2. Input impedance

Input impedansi merupakan impedansi masukan antenna pada terminalnya. Impedansi dapat dilihat dari perbandingan antara tegangan dan arus pada terminal masukan antenna. Jika impedansi antenna sama dengan impedansi saluran tranmisi maka

seluruhnya gelombang akan diradiasikan oleh antena. Apabila impedansi antena tidak sama dengan impedansi saluran transmisi maka akan terjadi pantulan yang mengakibatkan sebagian gelombang dikembalikan ke arah sumber atau lebih sering disebut dengan gelombang berdiri (*standing wave*).

3. Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Voltage Standing Wave Reflected (VSWR) merupakan parameter yang menunjukkan perbandingan sinyal yang diteruskan dan dipantulkan oleh sensor. Apabila antena dihubungkan dengan saluran transmisi input dan impedansi antena tidak sesuai dengan impedansi saluran transmisi maka beberapa sinyal akan hilang sebagaimana tercermin pada titik persimpangan. Kerugian akibat ketidaksesuaian impedansi dikenal sebagai rasio gelombang tegangan berdiri (VSWR).

Besar VSWR dapat ditentukan dengan:

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \geq 1 \quad (2.2)$$

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_{in} - Z_s}{Z_{in} + Z_s} \quad (2.3)$$

dimana:

Γ = koefisien pantulan

V_r = amplitudo gelombang yang dipantulkan

V_i = amplitudo gelombang datang

Z_{in} = impedansi antena

Z_s = impedansi saluran transmisi

4. *Radiation pattern*

Pola radiasi (*Pattern Radiation*) merupakan penggambaran sudut radiasi (polar plot). Bentuk yang lain seperti pola *omnidirectional pattern* yaitu pola radiasi yang serba sama dalam satu bidang radiasi saja. Pola *directive* yang membentuk pola berkas yang sempit dengan radiasi yang sangat tinggi.

5. *Return loss*

Return loss atau koefisien refleksi adalah parameter yang menggambarkan bagian dari sinyal yang akan melewati pelabuhan dan porsi sinyal yang ditolak (rugi) ketika port antena diakhiri oleh beban cocok. Parameter ini mirip dengan VSWR dalam hal itu menunjukkan tingkat pencocokan dicapai antara garis dan antena. Kerugian kembali dinyatakan sebagai:

$$RL = -20 \log_{10} |\Gamma| \text{ (dB)} \quad (2.4)$$

6. *Directivity*

Keterarahan (*directivity*) yaitu perbandingan antara densitas daya antena pada jarak sebuah titik tertentu relatif terhadap sebuah radiator isotropis [radiator isotropis merupakan sebuah antena dimana radiasi antena akan serba sama keseluruhan arah (titik sumber radiasi)].

7. *Gain* (Penguatan)

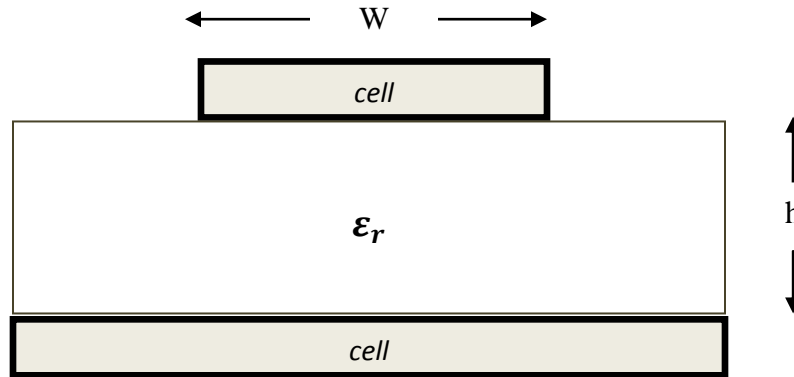
Gain atau sering juga disebut dengan *Directivity Gain* merupakan sebuah parameter antena yang mengukur kemampuan antena dalam mengarahkan radiasi sinyalnya atau menerima sinyal dari arah tertentu. Gain juga dapat digunakan untuk mengukur efisiensi sebuah antena. *Gain* antena dapat diperoleh dengan mengukur daya pada antena yang diukur dan membandingkan dengan daya pada antena acuan/referensi. Gain memiliki satuan *decibel*.

$$G = \frac{P_{max}(antena\ yang\ diukur)}{P_{max}(antena\ acuan)} \times G (antena\ acuan) \quad (2.5)$$

H. *Transverse Electromagnetic Cell* (TEM Cell)

Transverse Electromagnetic Cell (TEM Cell) dirancang sebagai sebuah pelat sejajar yang bersifat konduktor dan dapat mentransfer sinyal listrik dan sinyal magnetik dengan baik. Orang yang pertama kali memperkenalkan *Transverse Electromagnetic Cell* (TEM Cell) adalah Myron L. Crawford pada tahun 1973 di Badan Standar Nasional. Elektronik atau sistem elektromekanis dalam sistem terbuka akan mempengaruhi tingkat dan jumlah sinyal yang mengganggu kekuatan medan. TEM sel yang dirancang berfungsi untuk membangun keseragaman medan elektromagnetik diantara plat (Crawford, 1973). Pada Gambar 2.9. akan ditunjukkan struktur sel yang terdiri dari dua pelat aluminium dengan lebar yang berbeda. Kemudian pelat atas dan pelat bawah dipisahkan dengan jarak tertentu untuk mendapatkan impedansi yang

diinginkan. Sel ini dirancang untuk memenuhi impedansi dari antenna sebesar 50 ohm.



Gambar 2.9. Struktur *Transverse Electromagnetic Cell* (TEM Cell)

Rumus untuk menentukan dimensi TEM Cell dengan *Microstrip Line Calculator*

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_r} \left[\frac{w}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{w}{h} + 1.444 \right) \right]} \quad (2.6)$$

Dimana z_0 adalah impedansi yang diinginkan (ohm), w adalah diameter *cell* (mm), ϵ_r adalah permeativitas dielektrik (1,00054), h merupakan jarak yang memisahkan kedua *cell* (mm).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium terpadu jurusan teknik elektro, fakultas teknik, universitas lampung. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2015 sampai dengan bulan November 2015. Pada Tabel 3.1 menunjukkan jadwal dan aktifitas dari penelitian. Perancangan dan pembuatan kerangka pengujian dilakukan pada bulan Maret sampai dengan Mei. Pengambilan sampel data dilakukan pada bulan Agustus. Kemudian untuk analisa dan pembahasan dilakukan pada bulan Agustus sampai dengan November 2015.

Tabel 3.1. Jadwal dan Kegiatan Penelitian

Aktifitas	Maret	April s.d Mei	Juni	Juli	Agustus s.d Oktober	November
Perancangan Kerangka Pengujian						
Pembuatan Kerangka Pengujian						
Pengambilan Sampel Data						
Analisan dan Pembahasan						

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. *Antena Monopole*

Jenis antena yang digunakan dalam penelitian ini adalah antena *monopole*. Antena dibuat dengan menggunakan bahan tembaga dan PCB yang didesain dengan menggunakan perangkat lunak *CST Microwave studio*.

2. *Transverse Electromagnetic Cell (TEM Cell)*

TEM cell yang akan dipergunakan adalah tipe pelat sejajar. Ukuran cell dihitung dengan *microstrip line calculator* dan disimulasikan dengan *CST microwave studio* untuk mengetahui keseragaman medan di antara pelat.

3. Sinyal Generator

Sinyal generator merupakan sebuah alat yang dapat menghasilkan beberapa bentuk sinyal seperti sinyal sinusoida, sinyal persegi, dan sinyal segitiga.

4. Osiloskop *Digital GW Instek GDS 1102U*

Osiloskop digunakan untuk menampilkan sinyal atau bentuk gelombang elektromagnetik yang ditangkap oleh sensor yang berasal dari sumber peluahan sebagian. Osiloskop ini mempunyai spesifikasi 100 Mhz dan *sample rate* 1 Gs/s.

5. *Satu Set Personal Computer*

Komputer digunakan untuk menyimpan data gelombang *output* dari osiloskop. Gelombang yang dihasilkan pada osiloskop akan diolah dengan menggunakan

bantuan *software matlab*. Spesifikasi komputer yang digunakan adalah komputer dengan menggunakan *processor dual core*.

C. Tahap Pembuatan Tugas Akhir

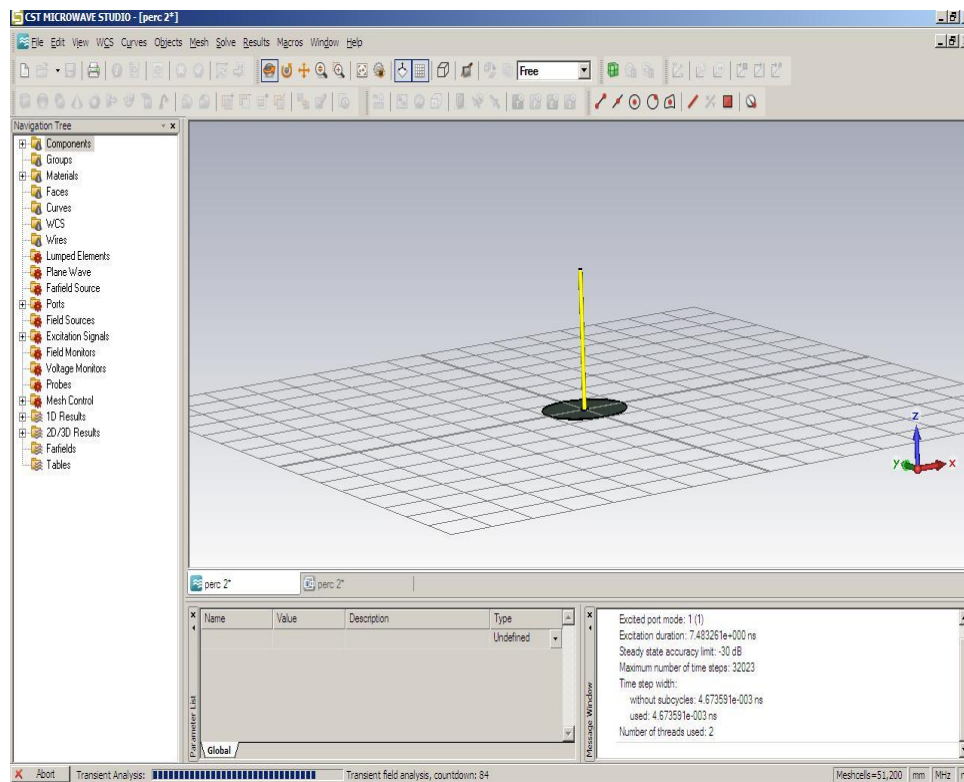
Adapun tahap yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. Perancangan model pengujian

Pada penelitian ini sensitivitas sensor diuji dengan menggunakan *Transverse Electromagnetic Cell* (TEM Cell) (Gambar 3.2). TEM Cell yang akan digunakan adalah tipe plat sejajar dan terbuat dari bahan aluminium dengan ketebalan 1 mm. Ukuran TEM cell dihitung dengan menggunakan *Microstrip Line Calculator*. Ukuran TEM Cell yang akan dibuat yaitu dengan permeabilitas dielektrik (ϵ_r) sebesar 1,00054 dan memiliki frekuensi sebesar 500 MHz. Kemudian dilakukan perhitungan dengan *Microstrip Line Calculator* sehingga diperoleh diameter *cell* (w) sebesar 48 cm dan jarak yang memisahkan kedua cell (h) sebesar 10 cm. Kemudian akan diperoleh impedansi z_0 sebesar 50,04 ohm. Untuk memisahkan antara kedua cell digunakan bahan *aerilic* sebagai tiang penopang *TEM Cell*. Selanjutnya memberikan lubang pada bagian tengah *TEM Cell* yang berguna untuk menempatkan sensor. Kemudian tahap selanjutnya mendesain sensor dengan menggunakan *CST Microwave Studio* (Gambar 3.1). Sensor yang akan dibuat yaitu berupa antenna *monopole*. Bahan yang digunakan untuk membuat antenna adalah jenis tembaga dengan panjang 6-10 cm.

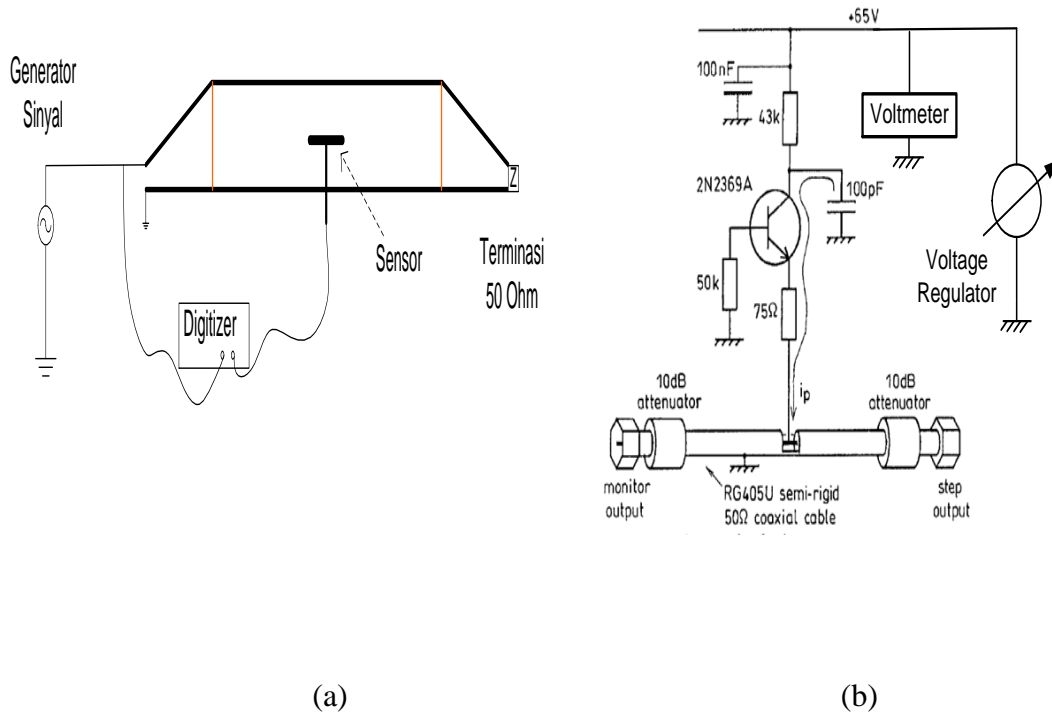
Terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk menilai unjuk kerja dari sensor yaitu Voltage Standing Wave Reflected (VSWR) dan frekuensi kerja yang diinginkan (*bandwith*). Voltage Standing Wave Reflected (VSWR) merupakan parameter yang menunjukkan perbandingan sinyal yang diteruskan dan dipantulkan oleh sensor. Ideal sensor (tanpa rugi) akan mempunyai $VSWR = 1$. Sementara frekuensi kerja (*bandwith*) sensor yang diinginkan berkisar 50 MHz s.d 500 MHz.

Sensor yang dirancang diharapkan mampu mendeteksi sinyal elektromagnetik peluahan sebagian yang dihasilkan oleh TEM *cell* dengan VSWR diatas 10 dB dan rentang frekuensi 50 MHz s.d. 500 MHz sebagai hasil akhir dari penelitian ini.



Gambar 3.1. Desain sensor monopole dengan software CST microwave studio

2. Diagram uji sensitifitas sensor

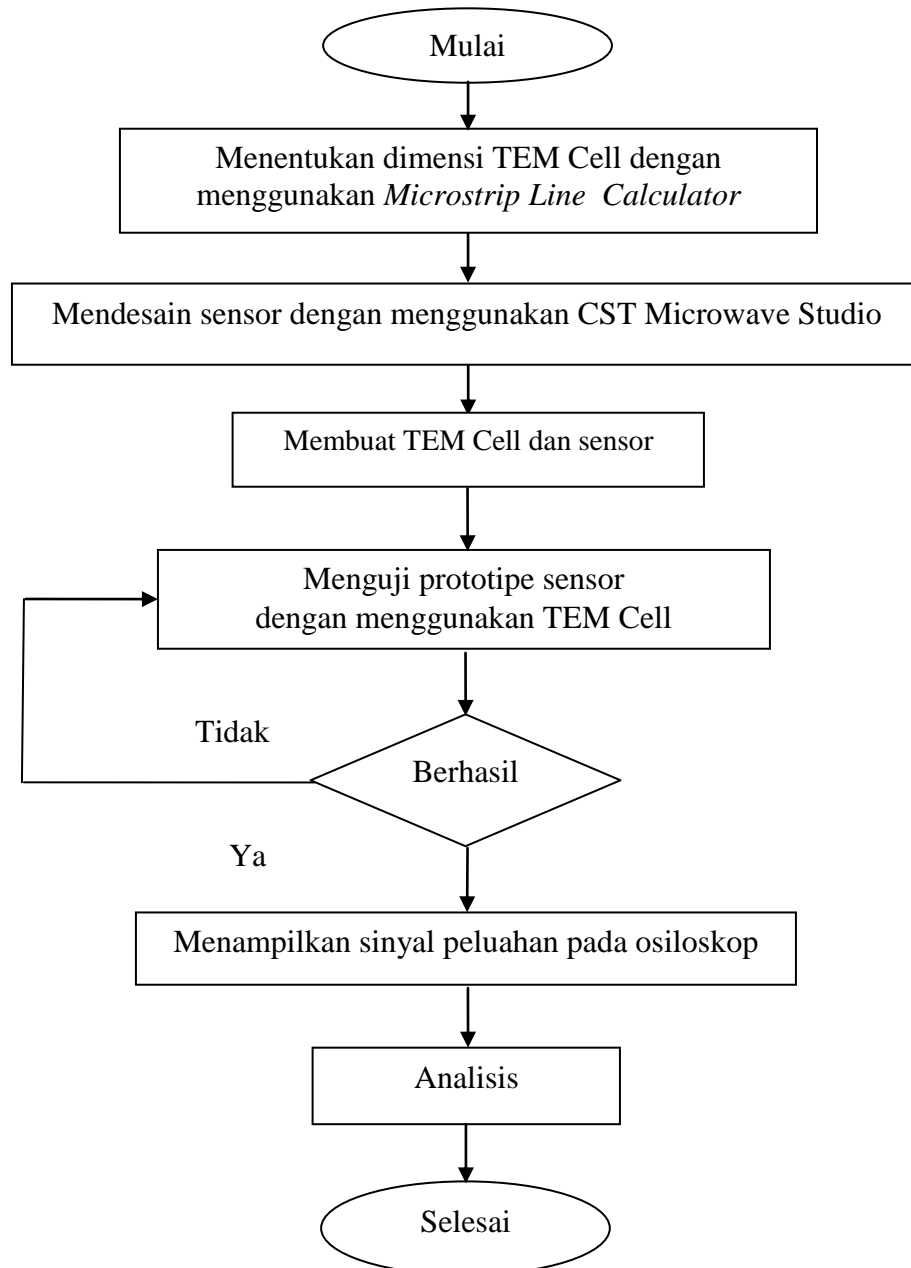


Gambar 3.2. (a) Diagram uji sensitifitas sensor menggunakan TEM Cell, (b) sinyal generator

Gambar menunjukkan diagram uji sensitifitas sensor menggunakan TEM Cell. Komponen utama yang digunakan untuk mendeteksi sinyal elektromagnetik adalah sebuah antena yang berfungsi sebagai sensor untuk menangkap sinyal elektromagnetik yang dipancarkan oleh sumber peluahan sebagian. Kemudian dihubungkan dengan *digitizer* atau osiloskop untuk merekam sinyal elektromagnetik yang telah ditangkap oleh sensor.

3. Diagram alir penelitian

Penelitian yang dilakukan menggunakan diagram alir seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh setelah melakukan pengujian, olah data, dan analisis data yaitu:

1. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi peluahan sebagian adalah dengan menggunakan metode elektromagnetik. Pada penelitian ini, sensor yang digunakan berupa antena *monopole* yang berfungsi untuk menangkap sinyal yang dihasilkan oleh sumber peluahan sebagian.
2. Nilai *magnitude* tertinggi gelombang dideteksi oleh sensor yang memiliki diameter 0,5 mm dan panjang 10 cm. .
3. Semakin besar diameter dan panjang antena *monopole* yang digunakan maka semakin besar nilai *magnitude* yang diperoleh. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk dan struktur antena sangat berpengaruh terhadap hasil sinyal gelombang elektromagnetik yang dideteksi.

B. Saran

1. Menggunakan jenis sensor yang berbeda dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya untuk mengetahui perbandingan tingkat sensitifitas antara antena sensor *monopole* dengan sensor lain dalam mendeteksi sinyal peluahan sebagian.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan sumber peluahan permukaan, korona dan peluahan dalam untuk melihat sensitifitas sensor yang digunakan dan untuk melihat pengaruhnya terhadap karakteristik gelombang elektromagnetik yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- David F. Warne And A. Haddad, 2004; *Advance In High Voltage Engineering*, Institution Of Electrical Engineers. London.
- Frederick. H. Kreuger, 1991; *Industrial High Voltage*: Delft University Press. Netherland.
- Chang-Whang Jin, *et al.* 2006. *Detection Of Partial Discharges By a Monopole Antenna In Insulation Oil*. Korea Maritime University. Republik of Korea.
- Martoni Devy. 2008. *Analisis Karakteristik Peluahan Sebagian Pada Model Void Berdasarkan Fungsi Waktu Dan Tegangan Dalam Polyvinyl Chloride (PVC)*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Naidu M. S. 1996. *High Voltage Engineering*. Mc Graw-Hill. United Stated
- M. Muhr, T. Strehl, E. Gulski, K. Feser, E. Gockenbach, And W. Hauschild,. 2006. *Sensors And Sensing Used For Non-Conventional Pd Detection*, Ref No: DI-102, Cigré,
- Jose Lopez-Roldan, T. Tang, And M. Gaskin, 2008; “*Optimisation Of A Sensor For Onsite Detection Of Partial Discharges In Power Transformers By The Uhf Method*”, *Ieee Transaction On Dielectrics And Electrical Insulation* Vol. 15, No. 6, Pp. 1634- 1639.
- M. D. Judd, G. P. Cleary, C. J. Bennoch And J. S. Pearson. 2002; *Power Transformer Monitoring Using Uhf Sensors : Site Trials*. Usa
- Pinpart, T. And Judd, M.D. 2009; *Experimental Comparison Of Uhf Sensor Types For Pd Location Applications; Electrical Insulation Conference (Eic 2009)*, Montréal, Québec, Canada, Pp. 26- 30
- Sinaga, H.H., B.T. Phung, A.P. Ao, and T.R. Blackburn, 2011; "UHF Sensors Sensitivity in Detecting PD Sources in a Transformer", *XVII International Symposium on High Voltage Engineering*, Hannover, Germany, August 22-26, 2011, Paper D-069.
- Sinaga, H.H., B.T. Phung, and T.R. Blackburn, 2009; “*Design of Ultra High Frequency Sensors for Detection of Partial Discharges*”, *16th International Symposium on High Voltage Engineering (ISH 2009)*, 24th-28th August 2009, Cape Town, South Africa, Paper D-10.

- S. Tenbohlen, D. Denissovands. M. Hoek. 2008; *Partial Discharge Measurement In The Ultra High Frequency (Uhf) Range.*..University Of Stuttgart. Germany.
- Sun-Geun Goo, HyeongjunJu, Kijun Park,Kiseon Han, Jinyul Yoon. 2007; *Ultra-High Frequency Spectral Characteristics Of Partial Discharge In Insulation Oil.* Korea Electric Power Research Institute. Korea.
- Jian Ye, Shuqing Li And Tao Li, Changzheng Xia.;*Study On The Uhf Technique Applied In Pd Detection.* China
- K. Lonngren and S. Savov, 2005; *Fundamentals of Electromagnetics with MATLAB*, 1st ed., SciTech Publishing,.
- Lonngren, E.K, *et. Al.* 2004. *Fundamentals and Electromagnetics with Matlab.* University of Iowa. Bulgaria.
- J. Lopez-Roldan, T. Tang And M. Gaskin. 2008; *Design And Testing Of Uhf Sensors For Partial Discharge Detection In Transformers .*Australia
- E. Kuffel, W.S. Zaengl and J. Kuffel. 2000; *High Voltage Engineering Fundamentals; Second edition,* Newnes, Great Britain.