

# PROSIDING

## SEMINAR HASIL-HASIL PENELITIAN



REKTORAT

LEMBAGA PENELITIAN - UNIVERSITAS LAMPUNG

2014

*Handwritten signature or logo*

# **PROSIDING**

**Seminar Hasil –Hasil Penelitian**



**LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**SEPTEMBER**

**2014**

**PROSIDING**  
**Seminar Hasil – Hasil Penelitian**

**Penyunting :**

Dr. Eng. Admi Syarif  
Damanhuri Warganegara , S.H., M.H.  
Dr. Melya Riniarti  
Dr. Sumaryo  
Dr. Hartoyo  
Dr. Iqbal Hilal, M.Pd.

**Penyunting Pelaksana :**

Hermansyah, S.H.  
Ina Iryana  
Irham Arfani

ISBN : 978-979-8510-79-3

Diterbitkan oleh :  
LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS LAMPUNG  
Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Gedung Meneng  
Bandar Lampung 35145  
Telp. (0721) 705173, Fax (0721) 773798

*lemlit.unila.ac.id*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT., yang telah melimpahkan rahmat dan nikmatnya kepada civitas akademika Universitas Lampung yang dapat mengenang hari jadinya yang ke 49 tahun di tahun 2014. Dalam rangka mewujudkan Tri Dharma Perguruan Tinggi, Universitas Lampung menyelenggarakan Seminar Hasil – Hasil Penelitian yang dilaksanakan oleh para dosen dan mahasiswa

Hasil – hasil penelitian yang diseminarkan pada tanggal 29 September 2014 berjumlah 37 makalah yang dikelompokkan menjadi dua yaitu kelompok ilmu-ilmu eksakta dan ilmu-ilmu sosial. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, teknologi, dan seni (IPTEKS) serta mendukung pembangunan nasional.

Terimakasih kami sampaikan kepada panitia seminar yang telah bekerja keras untuk mengumpulkan makalah dari para dosen di lingkungan Universitas Lampung dan peran serta aktif dosen dalam seminar. Demikian juga kami sampaikan ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada dewan penyunting dan penyunting pelaksana yang telah bekerja keras untuk mewujudkan terbitnya prosiding ini, serta pihak-pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Bandar Lampung, Desember 2014  
Ketua,

Dr. Eng. Admi Syarif  
NIP.196701031992031003

## DAFTAR ISI

<b>1. RANCANG BANGUN TURBIN AIR UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DAN DAYA KELUARAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) DI DESA KEBAGUSAN KECAMATAN GEDONG TATAAN KABUPATEN PESAWARAN</b> AgusSugiri .....	1
<b>2. PENGARUH JUMLAH DATA TERHADAP KOEFISIEN SKEWNESS dan KURTOSIS DARI DISTRIBUSI CURAH HUJAN HARIAN MAKSIMUM TAHUNAN</b> Ahmad Zakaria.....	12
<b>3. PENGARUH CAHAYA MERAH JAUH (700-735 nm) TERHADAP BERAT SEGAR DAN KANDUNGAN KARBOHIDRAT TERLARUT TOTALBUAH CABAI MERAH (<i>Capsicum Annum L.</i>)</b> Beti Sudarniyati, Zulkifli, Martha Lulus Lande.....	21
<b>4. RESPONS PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI CABAI MERAH (<i>Capsicum annumL.</i>) TERHADAP PENGGUNAAN MULSA PLASTIK DAN JERAMI DI GISTING KABUPATEN TANGGAMUS</b> RA. Diana Widiyastuti .....	29
<b>5. MANAJEMEN SISTEM TATA UDARA PADA GEDUNG REKTORAT UNIVERSITAS LAMPUNG</b> AndriDwi S, Endah Komala Sari, Disprikde Despa, Nining Purwaningsih.....	34
<b>6. HUBUNGAN SPASIAL KEPADATAN PENDUDUK DAN PROPORSI KELUARGA PRASEJAHTERA TERHADAP PREVALENSI TUBERKULOSIS PARU DI BANDAR LAMPUNG</b> DyahWulan Sumekar Rengganis Wardani.....	44
<b>7. INFEKSI SALURAN KEMIH NOSOKOMIAL PADA PENDERITA PENGGUNA KATETER DI RS ABDOEL MOELOEK BANDAR LAMPUNG</b> EfridaWarganegara ,Ety Apriliana .....	57
<b>8. PENENTUAN PERIODE PENCAHAYAAN DAN PENAMBAHAN MOLASSES OPTIMUM PADA KULTIVASI <i>MIXOTROPHICNANNOCHLOROPSIS OCULATA</i></b> Elida Purba dan Manuel Siregar .....	66
<b>9. PERSPEKTIF DEBIT LINGKUNGAN PADA SKALA MESO MENGGUNAKAN PENDEKATAN HIDROLOGI DI SUNGAI SEKAMPUNG</b> Endro P Wahono, Djoko Legono, Istiarto, B. Yulistiyanto, Tugiyono .....	77
<b>10. DESAIN SENSOR LOG-SPIRAL UNTUK MENDETEKSI PELUAHAN SEBAGIAN</b> Herman H Sinaga ,Nining Purwasih.....	88
<b>11. PENENTUAN PERIODE PENCAHAYAAN DAN PENAMBAHAN MOLASE OPTIMUM PADA KULTIVASI <i>MIXOTROPHIC Bottrio coccus braunii</i></b> Muhammad Ahdan, Elida Purba .....	103

<b>12. PRETREATMENT FLY ASH BATUBARA (PFAB) DENGAN LARUTAN HCl SEBAGAI BAHAN BAKU PADA SINTESIS ZEOLIT</b>	
Simparkin Br. Ginting, Indra Wibawa Dwi Sukma, Muhamad Fath Warganegara, Andika Wahyu Purnama, Diki Prayogo, Lisa Febriyanti.....	113
<b>13. DESAIN PENGEMBANGAN ZONA WISATA TELUK KILUAN DAN ZONA WISATA BATU PUTU PROVINSI LAMPUNG</b>	
AnggaliaWibasuri, Anuar Sanusi, Wahyu Kuntarti.....	121
<b>14. RISET EVALUASI IMPLEMENTASI MISI : PEMBERDAYAAN MASYARAKAT BALAI BESAR POM LAMPUNG TAHUN 2013</b>	
Bangun Suharti.....	140
<b>15. KEBIJAKAN PENANGGULANGAN TINDAK PIDANA PENCURIAN KENDARAAN BERMOTOR PADA WILAYAH HUKUM KEPOLISIAN KOTA BESAR BANDAR LAMPUNG</b>	
Damanhuri, WN .....	150
<b>16. PENINGKATAN KINERJA DOSEN MELALUI MOTIVASI, KEPEMIMPINAN, KEPUASAN KERJA DAN KOMITMEN ORGANISASIONAL</b>	
Delli Maria.....	156
<b>17. STRATEGI MENYIASATI BONUS GEOGRAFIS DALAM MEWUJUDKAN MASYARAKAT PRODUKTIF DAN ASSET PARIWISATA DAERAH LAMPUNG BARAT</b>	
Hesti Widi Astuti, Nani Soetarmiyati ,Herlina.....	169
<b>18. PEMETAAN KONFLIK SOSIAL DI KABUPATEN LAMPUNG SELATAN</b>	
Ikram .....	180
<b>19. EKSPLORASI PENGETAHUAN, NILAI SIMBOLIS, DAN IDENTITAS ETNIS PRODUSEN-KONSUMEN PRODUK KAIN TAPIS</b>	
Ismail Saleh Marsuki, Ahmad Rifai, Suprihatin Ali .....	195
<b>20. ANALISIS DAERAH RAWAN BENCANA SOSIAL DI KABUPATEN TANGGAMUS</b>	
Hartoyo .....	209
<b>21. PENGARUH LATIHAN DAN PEMULIHAN TERHADAP PENINGKATAN VO2 MAX</b>	
Marta Dinata .....	220
<b>22. ANALISIS DAMPAK PENERAPAN MANAJEMEN MUTU ISO 9001:2008 TERHADAP KUALITAS PELAYANAN AKADEMIK PERGURUAN TINGGI DI BANDAR LAMPUNG</b>	
Muhammad Rafiq .....	225
<b>23. PEMODELAN VARIABEL LOYALITAS DAN <i>WORD OF MOUTH</i> KONSUMEN YANG DIPENGARUHI SUASANA PELAYANAN, INTERAKSI, DAN KEPUASAN</b>	
Suprihatin Ali.....	235

<b>24. INTELLECTUAL CAPITAL DALAM MEMEDIASI HUBUNGAN ANTARA NILAI PASAR TERHADAP KINERJA KEUANGAN</b>	
Susanti.....	256
<b>25. Penegakan Hukum Integral Sebagai Upaya Pemberantasan Tindak Pidana Narkotika Di Wilayah Hukum Polda Lampung</b>	
Erna Dewi .....	273
<b>26. NUWA DAN PERUBAHANNYA( Studi Etno-Teknologi dan Arsitektur Tradisional Rumah Adat Lampung)</b>	
BartovenVivitNurdin, Yuni Ratnasari, Bintang Wirawan, Sulis Tyawan.....	293
<b>27. DIVERSIFIKASI TERHADAP RISIKO DAN KINERJA PERUSAHAAN PERBANKAN DI BURSA EFEK INDONESIA</b>	
Winda Rika Lestari, Novita Sari .....	304
<b>28. ANALISIS HABITAT KUKANG SUMATERA (<i>Nycticebus coucang</i> Boddaert, 1785) PELEPASLIARAN YIARI DI KAWASAN HUTAN LINDUNG BATUTEKI BLOK KALI JERNIH TANGGAMUS LAMPUNG</b>	
Dimas Djuli Handoko, Jani Master, Indah Winarti.....	322
<b>29. Morphology, Thermal Stability, Functional Group of Wood Flour and Rice Bran as Filler Applied with Poly Lactic Acid Film</b>	
Edwin Azwar.....	336
<b>30. PERILAKU KUKANG SUMATERA(<i>Nycticebus coucang</i> Boddaert, 1785) PELEPAS LIARAN YIARI DI KAWASAN HUTAN LINDUNG BATUTEKI BLOK KALI JERNIH TANGGAMUS LAMPUNG</b>	
Elga Octavianata, Jani Master, Richard Stephen Moore .....	346
<b>31. PENGARUH KONSENTRASI <i>PLASTICIZER</i> PEG-400 DAN ASAM PALMITAT DAN TEMPERATUR PENGERINGAN TERHADAP SIFAT FISIK DANMEKANIK DALAM PEMBUATAN BIOPLASTIK</b>	
Juni Kartika Permatasari dan Yuli Darni.....	355
<b>32. Kandungan Klorofil Daun Planlet Tomat (<i>Lycopersicume sculentum</i> Mill) Hasil Seleksi dengan Asam Salisilat Secara <i>In vitro</i></b>	
Lindawati ,Endang Nurcahyani, dan Zulkifli.....	370
<b>33. REGENERASI GENERATIF MANTANGAN (<i>Merremia peltata</i>) DI TAMAN NASIONAL BUKIT BARISAN SELATAN</b>	
Muklisrfani ,Jani Master , Yulianty, Elly L. Rustiati , Atok Subiakto .....	380
<b>34. Menentukan Kondisi Reservoar SerpilhMinyak Berdasarkan Analisis SEM dan XRD Pada Karbonat dan Sandstone</b>	
Ordas Dewanto, Bambang Soegijono, Edie Sasito Sarwodidoyo.....	389

<b>35. Kandungan Klorofil Planlet Cabai Merah (<i>Capsicum annum</i> L) Hasil Seleksi dengan Asam Salisilat Secara <i>in vitro</i></b> Rita Asmara .....	401
<b>36. PERANCANGAN POMPA TANPA MOTOR (<i>HYDRAM PUMP</i>) UNTUK SISTEM IRIGASI PERSAWAHAN MASYARAKAT DI DESA WONODADI UTARA</b> Jorfri B. Sinaga, Ahmad Suudi, Sugiman .....	415



# DESAIN SENSOR LOG-SPIRAL UNTUK MENDETEKSI PELUAHAN SEBAGIAN

Herman H Sinaga dan Nining Purwasih

e-mail: herman\_sinaga@yahoo.com

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, Indonesia

## ABSTRAK

Salah satu metode pendeteksian peluahan sebagian adalah dengan mendeteksi sinyal gelombang elektromagnetik yang dihasilkan pada saat terjadinya peluahan sebagian. Metode ini mempunyai keunggulan dibandingkan dengan metode-metode lainnya, antara lain: peluahan dapat dideteksi dengan cepat dan seketika, juga karena sinyal yang diamati dalam pengujian hampir tidak terpengaruh oleh sinyal gangguan dari sekeliling transformer. Metode pengukuran sinyal elektromagnetik membutuhkan sensor yang dapat mendeteksi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh peluahan sebagian. Dalam makalah ini dibahas desain sensor untuk mendeteksi peluahan sebagian pada transformator. Jenis sensor yang didesain adalah type planar. Dari desain yang dilakukan didapat hasil sensor dual-arm log-spiral. Dimensi sensor disesuaikan jendela inspeksi yang umum terdapat pada transformator daya, dengan diameter 15 cm. Dengan dimensi yang ditentukan didapat sensor dengan impedansi 160 Ohm. Karena alat ukur pada umumnya mempunyai impedansi 50 ohm, maka dibutuhkan balun yang sebagai transisi dari impedansi sensor 160 Ohm. Balun yang didesain merupakan balun *coplanar wave guide - coplanar strip line* (cpw-cps) dengan jumlah 6 seksi transisi.

Kata kunci : *Sensor log-spiral , Peluahan sebagian, Sinyal elektromagnetik*

## BAB 1. LATAR BELAKANG

Transformator merupakan salah satu komponen utama dalam penyaluran energi listrik. Sebagai komponen utama penyaluran energi, sebuah transformator berlaku sebagai pengubah level tegangan dari suatu besaran ke besaran tertentu sesuai dengan level tegangan yang dibutuhkan. Rating energi listrik yang dapat disalurkan oleh transformator sangat bervariasi mulai dari beberapa ratus kVA untuk transformator distribusi tegangan rendah 220volt sampai ratusan MVA untuk transformator daya tegangan tinggi. Kerusakan transformator yang sedang melayani beban tidak hanya akan mengakibatkan biaya penggantian yang sangat besar, tetapi juga dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan akibat tumpahan minyak, membahayakan orang disekitar transformator dan memutus supply energy yang bermuara pada penurunan kualitas pelayanan. Sehingga sangat perlu memperhatikan pemeliharaan berkala transformator supaya dapat beroperasi pada beban puncak.

Dilain pihak, penyedia daya dalam hal ini PLN biasanya menginginkan supaya transformer dioperasikan pada daya maksimal dan kontinu. Seiring berjalannya waktu, hal ini tentu saja akan menyebabkan stress pada isolasi transformator yang dapat memicu terjadinya pemburukan sistem isolasi transformator tersebut. Bagian-bagian sistem isolasi yang menurun akan terjadi dan dapat memicu kerusakan transformator tersebut.

Untuk mencegah terjadinya breakdown pada isolasi transformator, pendeteksian secara on-line memegang peranan yang sangat vital dalam pendeteksian dan penentuan kondisi dari sistem isolasi. Dari data hasil pendeteksian, kondisi isolasi dapat diketahui sehingga langkah-langkah pencegahan dapat ditentukan. Dalam hal terjadi pemburukan yang sangat parah, maka langkah lanjutan seperti pemeriksaan rutin dan perbaikan dapat direncanakan untuk mencegah terjadinya kerusakan fatal pada transformator. Salah satu jenis sistem pemantauan kondisi isolasi transformator adalah dengan mendeteksi adanya gangguan peluahan sebagian (*partial discharge*).

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Peluhan sebagian (*partial discharge*) didefinisikan sebagai peluahan listrik sebagian yang hanya terjadi pada sebahagian isolasi antar konduktor dan dapat terjadi pada area didekat konduktor atau bagian tengah dari isolasi. Jika peluahan semakin meningkat dan mengakibatkan terhubungnya kedua konduktor, maka isolasi akan mengalami breakdown. Walaupun tidak terdapat korelasi langsung antara peluahan sebagian dengan breakdown, terkadang breakdown terjadi tanpa diawali oleh peluahan sebagian, tetapi peluahan sebagian akan mengakibatkan penurunan kekuatan isolasi dan dapat memicu terjadinya breakdown jika peluahan terjadi dalam jangka waktu lama (David, et.al, 2004).

Peluhan sebagian dapat dideteksi dari produk yang dihasilkannya seperti arus peluahan, suara, gas (akibat reaksi kimia), panas, cahaya dan sinyal elektromagnetik. Pendeteksian peluahan sebagian dengan cara mendeteksi sinyal elektromagnetik merupakan salah satu metode yang baru berkembang belakangan ini untuk mendeteksi peluahan pada transformator (Martin et.al, 2005a). Sinyal elektromagnetik ditangkap dengan menggunakan antenna yang berfungsi sebagai sensor elektromagnetik.

### 2.1. Radiasi Elektromagnetik yang Dihasilkan oleh Peluahan Sebagian

Ketika terjadi peluahan sebagian, elektron bebas yang semula diam akan dipercepat dan diperlambat oleh kekuatan medan luar. Proses percepatan dan perlambatan akan menghasilkan medan elektromagnetik yang dipancarkan ke segala arah dari lokasi terjadinya peluahan. Elektron bebas yang diam tak bergerak hanya akan memiliki medan listrik yang diradiasikan secara radial kesegala arah. Ketika elektron  $Q$  bergerak maka kedua medan listrik dan medan magnetik akan dihasilkan.

Besarnya medan elektromagnetik yang diradiasikan oleh sejumlah muatan  $Q$  selama proses peluahan sebahagian dapat dihitung dengan menurunkan persamaan Biot-Savart, menjadi :

$$E_t = \frac{NQ\mu_0}{4\pi} \frac{[a] \sin \theta}{\rho} \quad 1$$

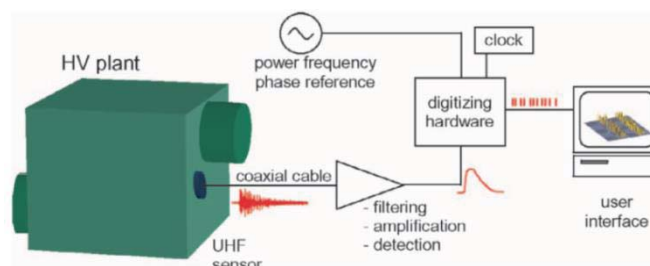
dengan  $N$  adalah jumlah elektron,  $Q$  adalah besar muatan,  $\mu_0$  adalah permeabilitas medium,  $[a]$  merupakan faktor *retardation*,  $\rho$  adalah faktor percepatan elektron dan  $\theta$  merupakan sudut pengamatan.

Jika medan elektromagnetik dihasilkan oleh proses peluahan sebagian, sinyal elektromagnetik tersebut dapat dideteksi dengan menggunakan sensor yang sesuai. Dari persamaan 1, karakteristik sinyal elektromagnetik peluahan sebagian yang dihasilkan bergantung pada:

- Jumlah elektron selama proses peluahan
- Percepatan elektron yang dipengaruhi oleh besar kuat medan sekeliling
- Permeabilitas media berlangsungnya proses peluahan sebagian
- Sudut dan jarak pengamat dari elektron yang dipercepat.

## 2.2. Metode Pendeteksian Sinyal Elektromagnetik Peluahan Sebagian

Sinyal elektromagnetik yang dihasilkan pada saat proses peluahan sebagian akan memiliki spektrum frekuensi yang bergantung pada tipe/jenis sumber PD dan medium tempat proses PD tersebut berlangsung (Martin, 2005a). Metal tajam yang menusuk sistem isolasi menghasilkan gelombang pulsa yang sangat cepat, dengan waktu muka gelombang kurang dari  $\sim 0.9$  ns pada medium isolasi minyak (Martin, et.al, 1998). Sedangkan kontak isolasi yang tidak sempurna menghasilkan pulsa dengan waktu muka mencapai  $\sim 17$  ns (Martin, et.al, 1998). Pulsa dengan waktu muka paling lambat dihasilkan oleh sumber korona (Sinaga, et.all, 2009) dengan waktu muka mencapai  $\sim 50$  ns. Sehingga, rentang frekuensi sinyal elektromagnetik yang dihasilkan pada proses peluahan sebagian adalah dalam orde puluhan MHz sampai di atas 0.5 Ghz.



**Gambar 1:** Diagram pendeteksian Peluahan sebagian dengan menangkap sinyal elektromagnetik

Diagram pendeteksian peluahan sebagian diperlihatkan pada gambar 1. Komponen utama untuk mendeteksi sinyal elektromagnetik adalah sebuah antenna yang berfungsi sebagai sensor untuk menangkap sinyal elektromagnetik yang dipancarkan oleh sumber peluahan sebagian. Sensor dihubungkan dengan peralatan pengukuran untuk menampilkan sinyal peluahan sebagian. Jika sinyal yang dihasilkan oleh sumber peluahan sebagian terlalu kecil, maka amplifier dapat

ditempatkan diantara sensor dengan alat ukur. Sinyal elektromagnetik yang ditangkap oleh sensor dapat direkam dengan menggunakan osiloskop atau digitizer. Gelombang elektromagnetik yang ditangkap akan menampilkan magnitudo sinyal elektromagnetik sebagai fungsi waktu.

### **2.3. Sensor untuk mendeteksi Peluahan Sebagian pada Transformator**

Fungsi pemantauan kondisi isolasi transformator meliputi pendeteksian dan pengidentifikasian peluahan sebagian sampai pada penentuan lokasi terjadinya peluahan sebagian tersebut. Supaya fungsi pemantuan peluahan sebagian pada transformator dapat dilakukan, maka diperlukan sensor dengan kemampuan mendeteksi sinyal peluahan sebagian. Untuk pemantauan isolasi transformator, sensor dapat di pasang di dalam tangki transformator untuk menangkap sinyal elektromagnetik yang dihasilkan oleh sumber peluahan sebagian. Ada dua kemungkinan penempatan sensor pada tangki transformator yakni : melalui lubang saluran pembuangan minyak isolasi (Jose, et.al, 2008) atau dengan jendela dielektrik (Martin, et.l, 2005b). Cara penempatan melalui lubang buang minyak isolasi akan membatasi ukuran sensor yang dapat dibuat. Sementara jendela dielektrik dapat dibuat dengan mengikuti ukuran sensor yang akan di desain. Namun, sensor yang ditempatkan pada jendela dielektrik akan membutuhkan jendela khusus yang harus dibuat dengan cara melubangi tangki transformator. Hal ini dapat dilakukan saat transformator berada pada masa pemeriksaan rutin atau dapat ditambahkan jika transformator belum di produksi. Hal in tidak akan mengurangi unjuk kerja transformator secara keseluruhan.

Sensor yang ditempatkan melalui saluran buang minyak isolasi biasanya merupakan sensor dengan tipe monopole. Ukuran sensor sangat terbatas sehubungan ukuran saluran yang terbatas. Biasanya diameter saluran buang minyak isolasi transformator tidak melebihi 5 cm dengan panjang kurang dari 20 cm (Jose, et.al, 2008). Bentuk sensor dapat berupa monopole pendek (Pinpart et.al, 2009), plat, zigzag atau konikal (Pantelis, et.al, 2007) atau bentuk lain asalkan dapat dimasukkan pada saluran. Semakin dalam sensor dimasukkan, *magnitudo* sinyal peluahan yang terekan akan semakin besar. Namun perlu diperhatikan, penempatan sensor tidak boleh terlalu dalam karena dapat memicu terjadinya breakdown karena tekanan medan listrik yang tinggi pada ujung sensor (David, et.al, 2004). Tekanan medan listrik pada ujung sensor dapat dikurangi dengan membungkus sensor dengan bahan dielektrik tertentu (Andrea, et.al, 2010).

Sementara itu, untuk sensor yang ditempatkan melauai jendela dielektrik biasanya mempunyai bentuk *planar* (mendatar) (Martin, et.al, 2005b). Sensor dapat berupa sensor micro-strip (Aycan, et.al, 2008), log-spiral, spiral (Atanu, et.al, 2007) atau *fractal* (Aycan, et.al, 2008). Sensor bentuk ini biasanya dicetak pada permukaan bahan dielektrik, dengan metode yang sama dengan pembuatan panel rangkaian sirkuit tercetak (*PCB-printed circuit board*). Sensor dicetak

pada papan PCB dengan ukuran dan desain yang sesuai dengan frekuensi kerja sensor. Untuk frekuensi tinggi, ukuran sensor dapat diperkecil sampai 5x5 cm (Gaetano Marrocco, 2008). Namun sensor ini mempunyai bandwidth spektrum frekuensi kerja yang sangat kecil. Untuk memperbesar bandwidth, Aycan, et.al (2008) mendesain microstrip sensor menggunakan PCB berlapis. Sebagai hasilnya, diperoleh sensor dengan rentang frekuensi kerja yang sangat tinggi, 30 MHz sampai 1000 MHz. Namun desain seperti ini sangat sulit dan tidak praktis untuk dibuat.

Kebanyakan alat ukur termasuk osiloskop menggunakan sistem tak-setimbang pada inputnya, dimana input ke osiloskop biasanya merupakan kabel koaksial yang terdiri dari inti konduktor yang bertegangan dan selubung pelindung yang terhubung dengan pentanahan. Sementara itu, sensor yang dicetak pada PCB biasanya merupakan sistem setimbang (catatan: sistem tak-setimbang juga dimungkinkan dengan menggunakan model spiral dan log-spiral lengan tunggal). Sehingga, untuk menghubungkan sensor ke alat ukur dibutuhkan konverter dari sistem setimbang ke sistem tak-setimbang. Komponen ini biasanya disambungkan langsung ke panel sensor dan dibuat dalam satu kesatuan dengan sensor. Sehingga pada dasarnya sensor terdiri dari dua bagian yakni komponen sensor itu sendiri dan konverter. Konverter ini dikenal dengan nama *balun* (*balanced-unbalanced*).

Antenna dan peralatan pengukuran biasanya mempunyai impedansi yang berbeda. Besar impedansi peralatan yang paling umum adalah 50 Ohm, walau terkadang dapat juga dijumpai peralatan dengan impedansi 75 dan 100 Ohm. Sedangkan impedansi sensor biasanya berada pada orde ratusan bahkan ribuan Ohm (Jesper, et.al, 2000). Sehingga *balun*, selain sebagai konverter setimbang ke tak-setimbang, juga berfungsi sebagai impedansi peralihan antar dua impedansi yang berbeda (James, et.al, 1960).

Dengan kemajuan teknologi *microstrip* saat ini, balun dapat dibuat dengan menggunakan bahan yang sama dengan sensor, yakni menggunakan papan PCB. Balun dicetak pada papan PCB sehingga membentuk pola tertentu yang dapat menjembatani dua impedansi yang berbeda dengan frekuensi kerja tertentu. Jesper, et.al (2000) mendesain balun untuk frekuensi kerja 0.1 sampai 3.8 GHz menggunakan papan PCB. Panjang keseluruhan balun dengan menggunakan papan PCB standard adalah 46 mm. Transisi impedansi didapat dengan membuat pola cetakan yang tertentu.

## **2.4. Besaran Dasar Sensor**

Berikut dibahas besaran besaran sensor yang dipergunakan untuk menentukan kualitas suatu sensor (Constantine A. Balanis, 1997).

### **2.4.1. Impedansi Input**

Impedansi input didefinisikan sebagai impedansi sensor pada ujung terminalnya atau perbandingan tegangan dengan arus pada terminal sensor atau juga perbandingan komponen elektrik dengan medan magnet pada tiap titik sensor. Impedansi input  $Z_A$ , impedansi pada terminal sensor didefinisikan sebagai:

$$Z_a = R_a + jX_a \quad 2$$

dimana  $R_a$  merupakan resistansi input yang mengandung dua komponen  $R_L$  resistansi losses sensor dan  $R_R$  resistansi radiasi sensor dan  $X_a$  yang merupakan reaktansi sensor.

Selain didasarkan pada terminal sensor, impedansi input juga dapat ditentukan dari rugi pada pengumpulan dengan panjang  $L$  dan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Z_{in} = Z_o \left[ \frac{Z_a + Z_o \tanh \gamma L}{Z_o + Z_a \tanh \gamma L} \right] \quad 3$$

dengan:

$$\begin{aligned} Z_o &= \text{karakteristik impedansi saluran} \\ Z_a &= \text{impedansi input sensor} \\ \gamma &= \alpha + j\beta \end{aligned}$$

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu\varepsilon}{2} \left[ \sqrt{1 + \left[ \frac{\sigma}{\omega\varepsilon} \right]^2} - 1 \right]} \quad \text{and} \quad \beta = \omega \sqrt{\frac{\mu\varepsilon}{2} \left[ \sqrt{1 + \left[ \frac{\sigma}{\omega\varepsilon} \right]^2} + 1 \right]}$$

dengan :  $\gamma$  = konstanta propagasi kompleks  
 $\alpha$  = konstanta penguatan  
 $\beta$  = konstanta perambatan  
 $\omega$  = frekuensi angular  
 $\mu$  = permeabilitas  
 $\varepsilon$  = konstanta dielektrik  
 $\sigma$  = konduktivitas

Dari persamaan 6, jika impedansi saluran transmisi ( $Z_o$ ) dan impedansi input ( $Z_a$ ) bernilai sama, maka dikatakan saluran dan sensor dalam kondisi terhubung sempurna. Dalam hal ini, tidak ada rugi-rugi akibat efek pantulan dan semua energi yang dialurkan dari sensor diteruskan oleh saluran transmisi. Dalam penelitian ini, idealnya sinyal yang diterima sensor harus sampai di peralatan ukur tanpa mengalami penurunan kualitas.

#### 2.4.2. Voltage standing wave ratio (VSWR)

Jika sensor terhubung dengan peralatan ukur melalui kabel koaxial yang memiliki impedansi yang berbeda dengan sensor, maka sebagian sinyal yang ditangkap oleh sensor tidak akan

diteruskan ke alat ukur karena dipantulkan kembali oleh kabel koaksial. Rugi-rugi akibat impedansi yang tak sesuai tersebut disebut sebagai voltage standing wave ratio (VSWR).

VSWR dirumuskan sebagai:

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \geq 1 \quad 4$$

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_{in} - Z_s}{Z_{in} + Z_s} \quad 5$$

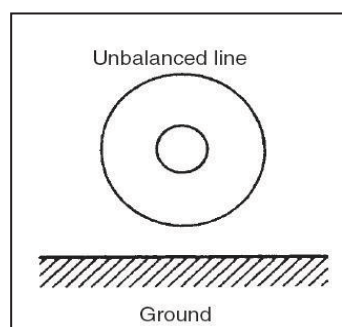
dimana:

- $\Gamma$  = koefisien pantulan
- $V_r$  = amplitudo gelombang yang dipantulkan
- $V_i$  = amplitudo gelombang yang diteruskan
- $Z_{in}$  = impedansi sensor
- $Z_s$  = impedansi koaksial

## 2.5. Balun

Kebanyakan peralatan pengukuran merupakan sistem tak-setimbang (unbalance). Sebagai contoh, kabel koaksial pada gambar 2 merupakan sistem tak setimbang. Bidang tanah (ground) dibawah kabel koaksial menjadi konduktor ketiga dalam sistem tiga-kawat. Konduktor selubung kabel koaksial memiliki kapasitansi ke tanah sedangkan konduktor dalam tidak memiliki kapasitansi ke tanah. Sehingga arus yang mengalir lewat tanah dapat menyebabkan arus pada koaksial menjadi tak-setimbang.

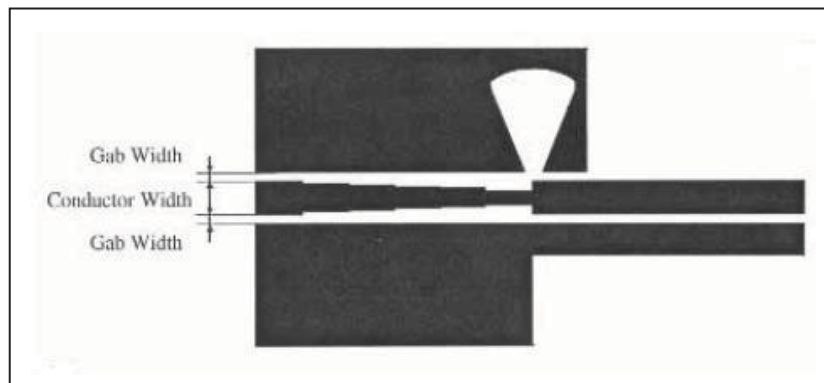
Ketika sistem tak-setimbang (unbalance) dihubungkan dengan sistem setimbang (balance) seperti sensor dipole, log-spiral dua lengan) maka dibutuhkan sebuah komponen transisi. Komponen transisi ini disebut sebagai balun. Selaian untuk menjembatani sistem setimbang dengan sistem tak-setimbang, balun juga berfungsi sebagai transisi impedansi karena perbedaan impedansi sensor dengan peralatan pengukuran. Ada beberapa jenis tipe balun seperti : balun terlipat, sarung, koaksial terbelah, transformator, diiris atau balun microstrip. Tipe diiris (J. W. Duncan, 1960) dan balun microstrip (Jae-Gu Choi, 2004) memiliki kemampuan bandwidth yang tinggi sehingga cocok untuk rentang frekuensi yang besar.



**Gambar 2:** Potongan-melintang kabel koaksial

### 2.5.1. Balun Microstrip

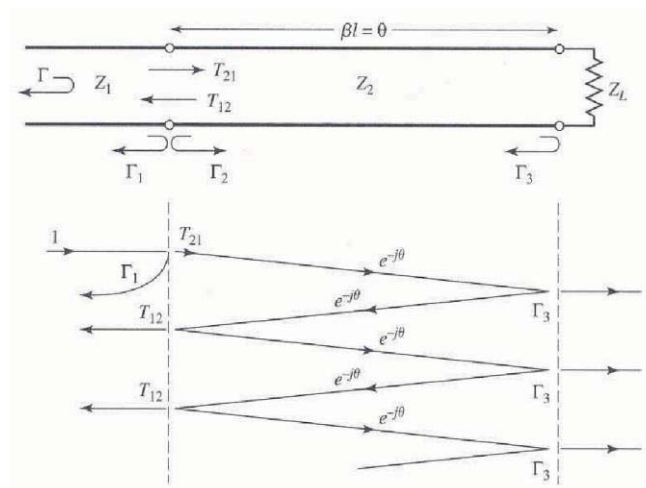
Balun mikrostrip memiliki keunggulan dibandingkan dengan balun jenis lain. Ukuran balun mikrostrip relatif kecil dan juga mempunyai rugi-rugi tambahan yang jauh lebih kecil. Contoh balun mikrostrip ditunjukkan dalam gambar 3. Balun ini merupakan bentuk balun *coplanar-waveguide to coplanar-stripline (CPW-to-CPS)*. Gambar memperlihatkan transformasi dari saluran penyuplai CPW tak-setimbang ke saluran penyuplai CPS setimbang. Jumlah bagian bergantung pada impedansi sensor dan kabel koaksial yang digunakan dan juga besar koefisien refleksi yang dikehendaki.



**Gambar 3:** Balun mikrostrip 4 tingkat

### 2.5.2. Transisi penyesuai seperambat gelombang

Pantulan pada saluran transmisi merupakan teori yang mendasari prinsip balun mikrostrip dan dijelaskan berikut ini. Jumlah bagian transisi balun bergantung pada lebar frekuensi yang dibutuhkan. Secara mendasar, semakin lebar frekuensi kerja yang digunakan maka jumlah bagian transisi balun harus semakin banyak. Sehingga proses transmisi sinyal akan semakin baik.



**Gambar 4:** Pantulan balik dan koefisien transmisi



Gambar 4 memperlihatkan diagram pantul pada saluran transmisi ke suatu sensor yang dinyatakan sebagai impedansi  $Z_L$ . Koefisien pantulan dapat dihitung sebagai :

$$\Gamma_1 = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad 7$$

$$\Gamma_2 = -\Gamma_1 \quad 8$$

$$\Gamma_3 = \frac{Z_L - Z_2}{Z_L + Z_2} \quad 9$$

Koefisien terusan transmisi dirumuskan sebagai:

$$T_{21} = 1 + \Gamma_1 = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad 10$$

$$T_{12} = 1 + \Gamma_2 = \frac{2Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad 11$$

Jika dimisalkan bahwa beban (sensor) memiliki impedansi yang berbeda dengan saluran sehingga terjadi pantulan. Maka koefisien pantulan total dapat dituliskan sebagai:

$$\Gamma \square \Gamma_1 + \Gamma_3 e^{-2j\theta} \quad 12$$

Jika komponen transisi yang dibuat terdiri dari banyak tingkatan, maka koefisien pantulan tiap bagian dapat dihitung sebagai berikut :

$$\Gamma_0 = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0}$$

$$\Gamma_n = \frac{Z_{n+1} - Z_n}{Z_{n+1} + Z_n}$$

$$\Gamma_N = \frac{Z_L - Z_N}{Z_L + Z_N}$$

Sehingga koefisien refleksi totalnya menjadi :

$$\Gamma(\theta) = \Gamma_0 + \Gamma_1 e^{-2j\theta} + \Gamma_2 e^{-4j\theta} + \Gamma_3 e^{-6j\theta} \dots + \Gamma_N e^{-2Nj\theta}$$

atau:

$$\Gamma(\theta) = 2e^{-2j\theta} \left[ \Gamma_0 \cos N\theta + \Gamma_1 \cos(N-2)\theta + \dots \right. \\ \left. + \Gamma_N \cos(N-2)\theta + \dots + G(\theta) \right] \quad 13$$

dengan:

$$G(\theta) = \begin{cases} \frac{1}{2} \Gamma_{N/2} & \text{untuk } N \text{ genap} \\ \Gamma_{(N-1)/2} \cos \theta & \text{untuk } N \text{ ganjil} \end{cases}$$

Sebagai ringkasan, perhitungan impedansi dapat dilakukan dengan mengikuti tahap-tahap berikut (David M. Pozar, 1998):

1. Tentukan jumlah tingkatan ( $N$ ) yang dibutuhkan untuk memenuhi persyaratan bandwidth dan faktor ripple  $\Gamma_m$ .
2. Tuliskan fungsi Chebyshev untuk sejumlah  $N$ -tingkatan.
3. Tentukan semua faktor  $\Gamma_n$  dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\Gamma(\theta) = 2e^{-2j\theta} [\Gamma_0 \cos N\theta + \Gamma_1 \cos(N-2)\theta + \dots + \Gamma_N \cos(N-2)\theta + \dots + G(\theta)]$$

4. Hitung impedansi tiap bagian  $Z_n$  menggunakan pendekatan:

$$\Gamma_n \cong \frac{1}{2} \ln \frac{Z_{n+1}}{Z_n}$$

5. Tentukan panjang balun  $l = \lambda_0 / 4$  atau ekivalen dengan  $(2n+1)\lambda_0 / 4$

#### **BAB 4. METODE PENELITIAN**

Sensor didesain dengan menggunakan perangkat lunak CST microwave studio. Bentuk pola sensor akan didesain yakni *log-spiral* dengan dua lengan. Untuk menilai unjuk kerja sensor, parameter-parameter berikut digunakan :

1. Voltage standing wave reflected (VSWR) : parameter ini memperlihatkan perbandingan sinyal yang diteruskan dan dipantulkan oleh sensor. Ideal sensor (tanpa rugi) akan mempunyai VSWR = 1.
2. Bandwidth : frekuensi kerja yang diinginkan adalah 300 MHz s.d 3000 MHz.

Sensor dengan desain terbaik dibuat dengan menggunakan papan PCB. Papan PCB dari bahan FR4 dipilih karena memiliki kapasitansi yang lebih rendah dibanding bahan lain. Kapasitansi yang rendah akan menghasilkan sensor dengan dimensi yang lebih kecil. Sehingga relatif lebih mudah dibuat dan dipasang pada tangki transformator.

Sensor yang didesain adalah sensor setimbang, sehingga memerlukan *balun*. *Balun* yang direncanakan akan dibuat dari bahan yang sama dengan sensor yakni papan PCB. Dimensi *balun* dihitung dengan menggunakan software MATLAB. Kemudian hasil perhitungan diplot menggunakan CST microwave studio dan digabungkan dengan sensor untuk mengetahui unjuk kerja akhir dari sensor.

## BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut dibahas hasil simulasi dan perhitungan yang diperoleh untuk komponen Sensor Log-spiral dan Balun.

### 5.1. SENSOR

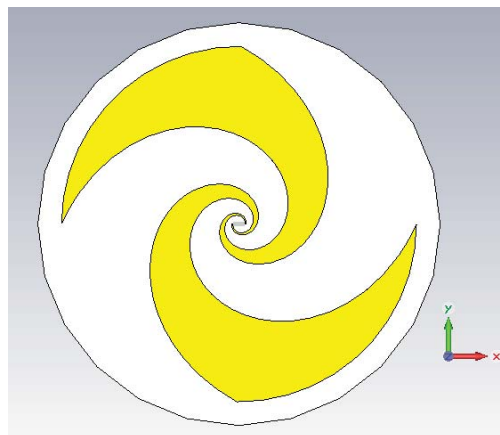
Sensor untuk mendeteksi peluahan sebagian menggunakan bahan metal yang didesain dan dibuat untuk menangkap sinyal gelombang elektromagnetik. Sensor berfungsi sebagai penghubung antara peralatan pengujian seperti sinyal digitizer dengan lingkungan sekeliling sensor berada. Berikut dibahas besaran dasar sensor yang hendak didesain.

Jenis sensor yang dipilih adalah tipe log-spiral. Lengan sensor log-spiral dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$r_1 = r_0 e^{a\phi} \quad 14a$$

$$r_2 = r_0 e^{a(\phi-\phi_0)} \quad 14b$$

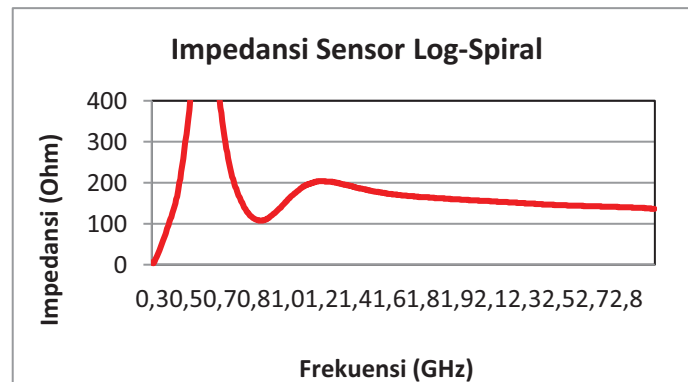
dimana:  $r_1$  = radius luar lengan spiral  
 $r_2$  = radius dalam lengan spiral  
 $r_0$  = darius mula lengan spiral  
 $a$  = tingkat pembesaran spiral  
 $\phi$  = posisi sudut



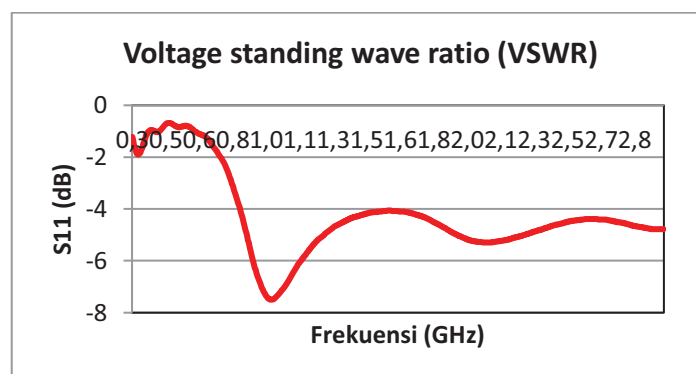
**Gambar 5:** Desain sensor log-spiral

Jumlah lengan biasanya menggunakan 2 atau 4 , dan dalam penelitian ini dipilih 2 lengan dengan alasan kesederhanaan (gambar 5). Jumlah belitan adalah 1,5 kali karena jumlah belitan ini cukup untuk menghasilkan pola radiasi yang baik bagi sensor (J.D. Dyson, 1959). Ujung lengan spiral dibuat terpotong melingkar karena akan menghasilkan impedansi yang lebih stabil (J. A. Kaiser , 1960). Sensor didesain menggunakan media PCB FR4 yang tersedia secara komersial dan diameter sensor dibatasi sampai 15 cm karena alasan penempatan di transformator yang paling ideal.

Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi sensor log-spiral untuk besaran impedansi dan voltage standing wave ratio. Dari gambar 6.a terlihat bahwa sensor memiliki impedansi yang berfluktuasi dengan nilai impedansi pada frekuensi tengah 1500 MHz adalah 160 Ohm. Nilai ini dipergunakan sebagai acuan impedansi sensor dan akan dipergunakan sebagai dasar untuk mendesain balun. Sedangkan pada gambar 6.a terlihat sensor memiliki nilai VSWR lebih kecil dari -4 db dan relatif rata untuk frekuensi pada rentang 750 MHz s.d 3000 MHz.



(a)

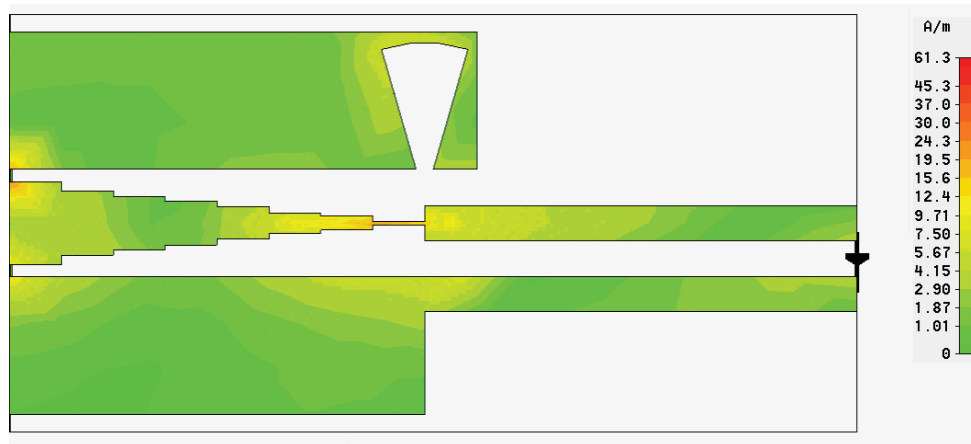


(b)

**Gambar 6:** Karakteristik sensor log-spiral (a) Impedansi (b) voltage standing wave ratio (VSWR).

## 5.2. Balun

Karena sensor log-spiral merupakan sistem yang setimbang (balance), sementara itu peralatan ukur seperti osiloskop merupakan sistem tak setimbang (unbalance), maka sensor harus diberi tambahan transisi dari sistem setimbang ke tak setimbang yang dikenal dengan istilah balun (balance-unbalance). Balun yang direncanakan dibuat dengan bahan PCB berbahan FR4 juga.



**Gambar 7:** Sebaran arus pada permukaan balun dengan jumlah tingkatan 6, ujung bagian bagian setimbang diberi beban impedansi 160 ohm, pada frekuensi 1500 Mhz.

Ukuran panjang tiap bagian balun haruslah sesuai dengan  $\lambda/4$  dari frequency optimum. Dengan target frekuensi optimum 1500 Mhz, maka  $\lambda/4$  adalah 15 mm (gambar 7). Dengan tiap bagian sebesar 15 mm, maka panjang balun menjadi 135 mm, balun mungkin membuat panjang keseluruhan sensor menjadi terlalu pangjang. Dengan menggunakan faktor reduksi  $(2n+1)$  dengan  $n = 7$ , maka panjang keseluruhan menjadi 48 mm.

**Table.1:** Dimensi balun sensor log-spiral

Bagian	Impedansi desain (ohm)	S (mm)	W (mm)	S+W (mm)	Impedansi perhitungan (ohm)
<b>coaxial</b>	50	4.8	0.7	6.2	49
<b>CPW 1</b>	65.06	3.7	1.25	6.2	65
<b>2</b>	73.24	3.1	1.55	6.2	73.7
<b>3</b>	83.54	2.5	1.85	6.2	83
<b>4</b>	95.75	1.8	2.2	6.2	95.5
<b>5</b>	109.23	1.2	2.5	6.2	109.6
<b>6</b>	122.9	0.8	2.7	6.2	122.5
	160	0.5	2.2	6.2	159.3
<b>CPS</b>	160	3	2.7	8.4	160.6

CPW = coplanar waveguide (bagian tak setimbang)

CPS = coplanar strip-line (bagian setimbang)

Besaran balun dihitung dengan menggunakan formula Chebyshev multi-section transformer. Balun didesain sehingga dengan VSWR tidak melebihi 0.2. Hasil perhitungan ditampilkan dalam tabel 1

## BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Sensor log-spiral lengan ganda dapat didesain menggunakan perangkat lunak CST. Hasil desain sensor yang diperoleh dengan konstrain ukuran sensor 15 cm, maka didapat impedansi frekuensi tengah 1500 MHz sebesar 160 Ohm dan Voltage standing wave ratio mendekati -4 db pada frekuensi 750 Mhz s.d 300 MHz.
2. Untuk menghubungkan sensor log-spiraal dengan sistem pengukuran 50 Ohm, maka didesain balun yang berfungsi sebagai transisi dari impedansi 160 Ohm ke 50 Ohm. Jumlah tingkatan hasil desain adalah 6 dengan panjang keseluruhan balun adalah 48 mm.

### 6.2. Saran

Penelitian dapat disempurnakan dengan menguji hasil desain dengan menggunakan kalibrasi antenna.

## ACKNOWLEDGMENT

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DIKTI yang membantu penelitian ini melalui skema Penelitian Fundamental dengan nomer SK: 236/UN26/8/PL/2014.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Andrea Cavallini, G. C. Montanari, and M. Tozzi, 2010; "PD apparent charge estimation and calibration: A critical review", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, pp. 198 – 205.
2. Atanu Roy, Saswati Ghosh and Ajay Chakrabarty, 2007; Wideband Performance of Dielectric Loaded Monopole Trans-ceive Antenna System; *Intl. Conf. on Industrial and Information Systems (ICIIS 2007)*, 8 – 11 August 2007, Sri Lanka, pp. 181-185.
3. Aycan Erentok and Richard W. Ziolkowski, 2008; Metamaterial-Inspired Efficient Electrically Small Antennas; *IEEE Trans. On Antennas and Propagation*, Vol. 56, No. 3, pp. 691-707.
4. Constantine A. Balanis, 1997; *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley and Son, Second Edition, USA.
5. David F. Warne and A. Haddad, 2004; *Advance in High voltage Engineering*, London, Institution of Electrical Engineers.
6. David M. Pozar, 1998; *Microwave Engineering*, John Wiley & Son, New York, USA, Second Edition.
7. Gaetano Marrocco, 2008; The Art of UHF RFID Antenna Design: Impedance-Matching and Size-Reduction Techniques; *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 50, No. 1.
8. J. A. Kaiser, 1960; "The Archimedean Two-Wire Spiral Antenna", *IRE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. AP-8, pp. 312-323.
9. J.D. Dyson, 1959; "The Equiangular Spiral Antenna," *IRE Transactions on Antennas and Propagation*, pp. 181–187.

10. James W. Duncan and V. P. Minerva, 1960; "100:1 Bandwidth Balun Transformer", *Proceeding of the Institute of Radio Engineers (IRE)*, Vol. 48, No. 2, pp. 156-164.
11. Jae-Gu Choi, Sang-Hwa Yi, and Kwang-Hwa Kim, 2004; "Development of a novel tapered balun for the UWB UHF coupler", *Conference of the 26<sup>th</sup> International Power Modulator Symposium*, San Francisco, USA, pp. 493 – 496.
12. Jesper Thaysen, K. B. Jakobsen, and J. Appel-Hansen, 2000; "A Wideband Balun — How Does it Work?", *Applied Microwave and Wireless*, Vol. 12, No. 10, pp. 40-50.
13. 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.
14. Martin D. Judd, Li Yang, and Ian B. B. Hunter, 2005a; "Partial Discharge Monitoring for Power Transformers Using UHF Sensors Part 1: Sensors and Signal Interpretation", *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 21, No. 2, pp. 5- 14.
15. Martin D. Judd, L. Yang, and I. B. B. Hunter, 2005b; "Partial discharge monitoring for power transformers using UHF sensors Part 2: Field Experience", *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 21, No. 3, pp. 5-13.
16. Martin D. Judd and O. Farish, 1998; "High Bandwidth Measurement of Partial Discharge Current Pulses", *The International Symposium on Electrical Insulation (ISEI)*, Toyohashi, Japan, Vol.2, pp. 436-439, June 1998.
17. Pantelis Agoris, S. Meijer, and J. J. Smit, 2007; "Sensitivity Check of an Internal VHF/UHF Sensor for Transformer Partial Discharge Measurements", *The Powertech '07 Conference*, Lausanne, France, pp. 2065 – 2069.
18. 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.
19. 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.