

JURNAL

ISSN 1411-8289

# Elektronika dan Telekomunikasi

VOLUME 9, NOMOR 3

Juli - Desember 2009

Akreditasi LIPI No : 72 / Akred LIPI / P2MBI / 5 / 2007



LIPI

PUSAT PENELITIAN ELEKTRONIKA DAN TELEKOMUNIKASI  
LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA

J. El. Kom	Vol. 9	No. 3	Hal. 82-151	Bandung Desember 2009	ISSN 1411-8289
------------	--------	-------	-------------	--------------------------	-------------------

# JURNAL Elektronika dan Telekomunikasi

---

## SUSUNAN REDAKSI

**Penanggung Jawab** : Kepala Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI

**Dewan Redaksi** : Prof. Dr. Masbah RT. Siregar  
Prof. Dr. Totok MS. Soegandi  
Prof. Dr. Ir. Adang Suwandi Ahmad  
Prof. Ir. Ika Hartika Ismet, MA  
Dr. AB. Suksmono  
Dr. Ir. Adit Kurniawan, MEng  
Dr. Goib Wiranto  
Dr. Mashury Wahab, MEng  
Dr. Purwoko Adhi, DEA

**Redaksi Pelaksana  
Ketua** : Ir. Yuyu Wahyu, MT

**Anggota** : Ir. Pamungkas Daud, MT  
Lilis Retnaningsih, S.Si  
Yadi Radiansyah, ST

**Sirkulasi** : Poppy Sumarni

**Alamat Redaksi** : Sub. Bid. Jasa dan Informasi  
PPET LIPI  
Jl. Sangkuriang Bandung 40135  
Telp. (022) 2504660/1 ; Fax. (022) 2504659  
E-mail : [Info@ppet.lipi.go.id](mailto:Info@ppet.lipi.go.id)

**Akreditasi LIPI No : 72 / Akred – LIPI / P2MBI / 5 / 2007**

## DAFTAR ISI

Kata Pengantar .....	ii
1. Modul Surya untuk Mengatasi Krisis Energi ..... ( <i>Ika Ismet, Shobih dan Erlyta Septa Rosa</i> )	82 - 89
2. Bidirectional metal-based 1X2 POF Coupler with Hollow Taper Waveguide ( <i>Abang Annuar Ehsan, Sahbudin Shaari, Mohd Kamil Abd. Rahman</i> ) .....	90 - 94
3. Efektivitas Transformator Delta Zigzag (Dz) Sekunder Lilitan Ditransposisi Membatasi Harmonisa.. ( <i>Chairul Gagarin Irianto, Rudy Setiabudy</i> )	95 - 103
4. Evaluasi Kinerja Forward Error Correction pada Mobile WiMAX/IEEE 802.16e .....	104 - 109
( <i>Muhammad Daud Nurdin, Andriyan Bayu S., Hendrawan, Sugihartono dan Deni Hamdani</i> )	
5. Image Processing Pemisahan Object dari Background pada Identifikasi Tingkat Kematangan Buah Pisang Mas .....	110 - 117
( <i>Dayat Kurniawan, Ros Sariningrum</i> )	
6. Pemanfaatan Sifat Kabel Semi Kaku untuk Pengoreksi Fasa pada Saluran Transmisi Terdistribusi Antena Radar Tersusun .....	118 - 123
( <i>Syamsu Ismail dan Deni Permana K.</i> )	
7. Penentuan State of Charge Batere Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan .....	124 - 130
( <i>Yefriad, Rismawan Perdana Putra Barus, dan Nadia Alfitri</i> )	
8. Rancang Bangun Instrumen Elektronik sebagai Sistem Pengamanan Gedung dari Kebakaran Berbasis Handphone .....	131 - 136
( <i>Ali Nurdin</i> )	
9. Simulasi Rancang Bangun High Gain Power Amplifier (PA) .....	137 - 140
( <i>Pamungkas Daud, Mashury, Dadin Mahmudin dan Yudi Yuliyus</i> )	
10. Teknologi Lapisan Tipis pada Substrat Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) dan Aplikasinya Untuk Rangkaian Gelombang Mikro .....	141 - 147
( <i>Lia Muliani, Gandi Sugandi, Jojo Hidayat</i> )	
11. Indeks Elektronika dan telekomunikasi	
Volume 9 No. 1 Januari - Juni 2009	
No. 2 September 2009 (Edisi Khusus)	
No. 3 Juli - Desember 2009	
A. Indeks Pengarang .....	148
B. Indeks Judul Makalah.....	148
C. Indeks Kata Kunci .....	149
D. Key Words Indeks .....	150 - 151

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Salam Sejahtera untuk kita semua

Pembaca Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi yang budiman

Kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia sehingga Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi bisa terbit di hadapan para pembaca semua.

Pada terbitan Volume 9 nomor 3 tahun 2009 ini meliputi bidang komponen mikroelektronika, bidang elektronika dan bidang telekomunikasi sesuai dengan bidang kompetensi kami dengan judul-judul antara lain :

*Modul Surya untuk Mengatasi Krisis Energi ,directional metal-based 1X2 POF Coupler with Hollow Taper Waveguide, Efektivitas Transformator Delta Zigzag (Dz) Sekunder Lilitan Ditransposisi Membatasi Harmonisa, Evaluasi Kinerja Forward Error Correction pada Mobile WiMAX/IEEE 802.16e, Image Processing Pemisahan Object dari Background pada Identifikasi Tingkat Kematangan Buah Pisang Mas, Pemanfaatan Sifat Kabel Semi Kaku untuk Pengoreksi Fasa pada Saluran Transmisi Terdistribusi Antena Radar Tersusun, Penentuan State of Charge Batere Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan, Rancang Bangun Instrumen Elektronik sebagai Sistem Pengamanan Gedung dari Kebakaran Berbasis Handphone, Simulasi Rancang Bangun High Gain Power Amplifier (PA) , Teknologi Lapisan Tipis pada Substrat Alumina (Al2O3) dan Aplikasinya Untuk Rangkaian Gelombang Mikro.*

Kami mengharapkan saran dan kritik dari para pembaca untuk perbaikan jurnal ini agar lebih berkualitas. Mudah-mudahan apa yang kami sajikan dapat menambah wawasan dan bermanfaat bagi kita semua.

**Redaksi**

# Modul Surya untuk Mengatasi Krisis Energi

Ika Ismet, Shobih dan Erlyta Septa Rosa

Puslit. Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) – LIPI

Komplek LIPI, Jl. Sangkuriang,

Bandung, 40135

[ika@ppet.lipi.go.id](mailto:ika@ppet.lipi.go.id), [erlyta@ppet.lipi.go.id](mailto:erlyta@ppet.lipi.go.id), [shobih@ppet.lipi.go.id](mailto:shobih@ppet.lipi.go.id)

## Abstract

*This paper shows the process of 50 Wp Solar module for the application of Solar Home System (SHS) using solar cell made from  $5 \times 10 \text{ cm}^2$  multicrystalline silicon wafer. By utilization of the existing equipment facilities at Research Centre for Electronics and Telecommunication (PPET) – LIPI and at PT. LEN Industri (Persero), the fabrication of solar cell is also described here with the efficiency around 11-12%. The solar cells were packaged into solar module MSI-50 (with the efficiency about 10%) with the power 46 Wp which is applicable for SHS consists of 1 (one) or 2 (two) solar modules. It is expected that this research will be able to back up the National Program to solve the energy crisis in Indonesia.*

**Key words:** solar cell, solar module, solar home system.

## Abstrak

*Tulisan ini menunjukkan proses pembuatan modul surya 50 Wp untuk aplikasi Solar Home System (SHS) dengan menggunakan sel surya yang terbuat dari bahan wafer silikon (Si) multikristal berdimensi  $5 \times 10 \text{ cm}^2$ . Dengan menggunakan fasilitas peralatan yang tersedia di Puslit. Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) – LIPI dan di PT. LEN Industri (Persero), fabrikasi sel surya Si multikristal yang menghasilkan efisiensi sekitar 11 – 12% dibahas pula disini. Sel surya tersebut diassembling menjadi prototip modul surya MSI-50 (efisiensi sekitar 10%), dengan daya 46 Wp yang dapat diaplikasikan untuk SHS yang terdiri dari 1 (satu) atau 2 (dua) buah modul surya. Diharapkan hasil riset ini dapat mendukung Program Nasional dalam mengatasi krisis energi di Indonesia.*

**Kata kunci:** sel surya, modul surya, solar home system.

## 1. Pendahuluan

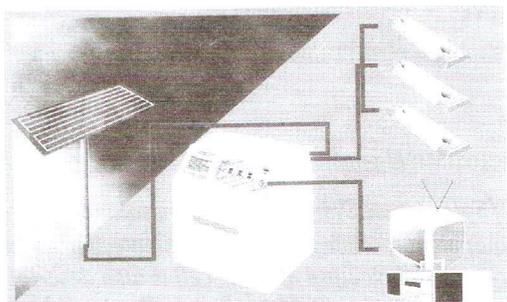
### 1.1 Pemanfaatan PLTS

Pembangkit Listrik Energi Surya (PLTS) atau energi surya, pada dasarnya merupakan suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang menggunakan cahaya matahari. PLTS tersebut terdiri dari komponen-komponen tertentu yaitu modul surya, baterai, regulator, dan konstruksi penyangga modul. Modul surya merupakan bagian terpenting dari suatu sistem PLTS baik yang bersifat *stand alone* atau lebih dikenal dengan Solar Home System (SHS), ataupun yang bersifat *hybrid*/gabungan antara tenaga surya dengan

sumber pembangkit listrik lainnya seperti diesel, air dan tenaga bayu/angin.

Adapun inti dari PLTS adalah berupa sel surya, terbuat dari bahan kristal silikon (Si) yang secara langsung dapat merubah energi cahaya menjadi energi listrik. Dalam aplikasinya, sel surya tersebut disusun secara seri dan paralel dalam satu modul untuk mendapatkan level tegangan dan arus yang diinginkan. Dengan demikian PLTS ini berbentuk modular sehingga dapat melayani kebutuhan daya yang kecil dengan sistem desentralisasi maupun kebutuhan daya yang besar dalam bentuk sistem sentralisasi. Gambar 1 menunjukkan diagram sistem pelistrikan SHS

untuk perumahan, terdiri dari 1 (satu) atau 2 (dua) buah modul surya dengan total daya 45 - 50 Wp, tiang penyangga, baterai berikut regulator, 3 buah lampu neon, TV dan radio, sedangkan Gambar 2 menunjukkan foto pemasangan PLTS untuk aplikasi SHS di daerah pedesaan dan terpencil.



Gambar 1: Sistem pelistrikan SHS [1]



Gambar 2 : Sistem SHS di daerah terpencil untuk tipe satu dan dua modul [2]

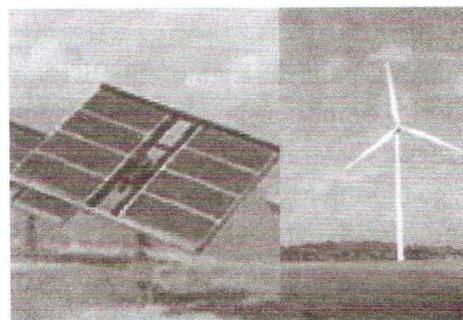
Penggunaan PLTS di Indonesia dengan daya rendah, saat ini masih terbatas antara lain untuk

penerangan di daerah terpencil, peralatan komunikasi, pemancar TV, *refrigerator* untuk penyimpanan vaksin di Puskesmas, pompa air untuk irigasi, program listrik untuk para nelayan, dan lampu jalan/taman.

Untuk daerah yang penduduknya terkonsentrasi pada suatu tempat sehingga jarak antar rumahnya tidak berjauhan maka pemanfaatan sistem PLTS dapat berupa sistem *hybrid* agar lebih efisien dan efektif. Gambar 3 menunjukkan foto pemasangan dari sistem *hybrid* dengan diesel. Pada gambar tersebut terlihat rangkaian modul surya sebagai sumber energi di mana pada siang hari akan menghasilkan energi listrik yang kemudian disimpan dalam baterai sampai tiba waktunya dipergunakan. Sedangkan diesel akan bekerja untuk mencatu kekurangan beban yaitu apabila energi yang tersimpan di baterai berada pada ambang batas atau pada kondisi beban puncak. Sementara gambar 4 adalah sistem gabungan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).



Gambar 3. Sistem *hybrid* PLTS dan diesel [1]



Gambar 4. PLTS dengan PLTB [3]

Di samping aplikasi untuk SHS di daerah terpencil, PLTS ini dapat dimanfaatkan pula dipertanian dengan sistem *grid connected* yaitu sistem PLTS dari rumah tangga yang dihubungkan ke jaringan PLN di mana pada tahun 2025 direncanakan akan mencapai 658 MWp. Sistem ini selain bisa membantu PLN mengurangi beban puncak, juga membantu pemerintah dalam mengurangi biaya subsidi BBM [4]. Dengan demikian aplikasi PLTS untuk pembangkit listrik dapat menggunakan 3 (tiga) pendekatan sistem yaitu SHS, *Hybrid* dan *PV Grid Connected*.

Mengenai *PV Grid Connected*, bertempat di lokasi PT. LEN Industri-Bandung, pada bulan November 2008 telah diresmikan program kerjasama penelitian antara pemerintah Indonesia yang diwakili Departemen ESDM dan Pemerintah Jepang yang diwakili oleh New Energy And Industrial Development Organization (NEDO)-Jepang. Kerjasama ini bertujuan mengembangkan suatu sistem PLTS terkoneksi dengan grid yang dapat menjamin pasokan listrik berkualitas untuk pemakaian listrik di Industri, Rumah Sakit, Airport dan sebagainya yang menggunakan peralatan sensitif terhadap adanya gangguan / kualitas listrik [5].

Di luar negeri sistem *grid connected* ini sudah dimanfaatkan bahkan masyarakat bisa menjual kelebihan listrik simpanannya kepada perusahaan listrik negaranya. Diperkirakan pada tahun 2050 hampir semua energi di dunia dapat dibangkitkan oleh sel surya ini [6].

## 1.2 Permasalahan

Pada pembuatan sel surya di Indonesia salah satu teknologi dalam pembentukan sambungan p-n yaitu dengan teknologi *screen printing* atau teknologi *Thick Film* [7]. Metoda ini menghasilkan efisiensi sekitar 13%. Namun demikian untuk diterapkan dalam suatu industri atau sistem produksi, proses pembentukan sambungan p-n

dengan metoda ini masih relatif mahal. Fabrikasi sel surya dengan menggunakan deposisi Phosphor (P) secara *spray* dengan bahan asam fosfat dapat mengatasi masalah ini karena menawarkan bahan difusi P yang jauh lebih murah dibandingkan dengan bahan pasta P yang biasa dipergunakan pada metoda *screen printing* [8]. Namun pada saat proses scale-up ke wafer Si yang lebih besar ternyata efisiensi menurun lagi dari 9-10% menjadi 6-7%. Dalam hal ini dengan menggunakan alat ukur yang sama, sel komersial berada pada kisaran 9,3-11% padahal efisiensi sel tersebut sekitar 12-14%. Dari hasil analisa, permasalahan scale-up ini diperkirakan karena adanya sumber pengotor berasal dari kondisi *conveyor furnace* untuk pembentukan sambungan p-n yang harus dalam keadaan bersih. Seperti dimaklumi bahwa selama ini proses difusi, proses metalisasi kontak dan ARC, dilakukan di PT. LEN Industri dengan menggunakan *conveyor furnace* yang sama.

Dengan demikian untuk kegiatan tahun 2007, pembentukan sambungan p-n dilakukan di PPET menggunakan *spray* asam fosfat ( $H_3PO_4$ ) dan proses difusinya dengan menggunakan peralatan *conveyor furnace* yang ada di PPET. Sedangkan proses metalisasi dan ARC dilaksanakan di LEN dengan *conveyor furnace* milik LEN. Pada awal tahun 2008, diperoleh parameter proses sel surya yang cukup *repeatable* sehingga selanjutnya dicoba proses untuk membuat modul surya dengan daya minimal 45 Wp, sesuai dengan persyaratan *Solar Home System* (SHS) yang dapat menggunakan 1 (satu) atau 2 (dua) buah modul surya dengan kebutuhan daya sekitar 45 – 50 Wp [2].

## 2. Prosedur dan Metodologi

Dibandingkan dengan teknologi yang dikembangkan oleh Solarex Pty. Ltd., dalam kegiatan ini pembentukan emitter dengan *spray* larutan  $H_3PO_4$  tidak memerlukan pemanasan

sehingga lebih sederhana dan tetap mampu menghasilkan lapisan  $H_3PO_4$  yang tipis dan merata, serta emitter yang dangkal. Disamping itu akan menghemat biaya listrik karena proses deposisi P dilakukan pada temperatur kamar. Teknik ini cukup sederhana, mudah, serta dapat dilakukan secara massal dengan menggunakan ban berjalan sehingga dapat diaplikasikan di industri. Penguasaan teknologi ini diharapkan dapat memacu proses percepatan aplikasi sel surya untuk skala komersial dalam mendukung program nasional serta memberikan nilai tambah yang besar bagi kemandirian proses sel surya.

Metode penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

- Pendataan parameter modul surya buatan luar negeri yang nantinya akan digunakan sebagai bahan perbandingan;
- Scale-up proses sel surya dari  $5 \times 5 \text{ cm}^2$  ke dimensi  $5 \times 10 \text{ cm}^2$
- Analisa dan perbaikan proses;
- Pembuatan modul surya (dengan dimensi sel surya  $5 \times 10 \text{ cm}^2$ ).
- Hasil pengukuran dan analisa.

### 3. Fabrikasi Sel Surya

Kegiatan penelitian ini dilakukan di 2 (dua) lokasi yaitu di PPET dan di LEN dalam upaya untuk meningkatkan efisiensi sel surya dengan memberdayakan infrastruktur/fasilitas peralatan yang tersedia. Dengan demikian untuk melaksanakan kegiatan ini diperlukan gabungan fasilitas alat yang ada di PPET dan di LEN.

Tabel-1 menunjukkan uraian kegiatan berikut lokasi dan fasilitas peralatan yang tersedia yang telah berumur sekitar 15-20 tahun.

Kegiatan ini dilakukan melalui pelaksanaan optimasi dan re-optimasi proses, pengurangan tahapan proses serta upaya eliminasi tahapan proses yang tidak kompatibel dengan proses produksi. Demikian pula halnya dengan bahan

**Tabel-1.** Fasilitas peralatan dan lokasi kegiatan

No.	Uraian Kegiatan / Lokasi	Peralatan
<b>I</b>	<b>PPET-LIPI</b>	
1.	Teksturing dan pencucian	- Wet bench - 1 - DI H <sub>2</sub> O System - 1
2.	Spray phosphor	- Sprayer
3.	Difusi	- Conveyor furnace - 1 - Air filter - 1
<b>II</b>	<b>LEN</b>	
4.	Deglazing	- Wet bench - 2 - DI H <sub>2</sub> O System - 2
5.	Pasivasi SiO <sub>2</sub>	- Oxidation furnace
6.	Screen printing ARC	- Screen printer
7.	Leveling Drying Firing	- Oven - Conveyor furnace - 2 - Air filter - 2 (milik PPET).
<b>III</b>	<b>LEN</b>	
8.	Screen printing AgAl dan Al Leveling Drying	- Screen printer - Dryer conveyor
9.	Screen printing Ag Leveling Drying Co-firing	- Screen printer - Dryer conveyor - Conveyor furnace - 2 - Air filter - 2
10.	Testing	- Sun simulator & sorter

untuk keperluan proses, telah dikaji mengenai kemungkinannya untuk diganti dengan bahan yang lebih murah dan gampang diperoleh di pasaran dalam negeri.

Dengan menggunakan teknologi *spray*, secara garis besar proses pembuatan sel surya tersebut adalah sebagai berikut [16]:

- Pencucian wafer Si dan teksturing  
*Wafer* Si multikristal tipe-p, yang akan diproses terlebih dahulu dibersihkan. Selanjutnya dilakukan proses teksturing agar refleksi cahaya berkurang. Si multikristal menggantikan monokristal karena harganya yang lebih murah.
- Pembentukan p-n *junction*.  
Pembentukan p-n *junction* dilakukan dengan cara mendeposisikan uap phosphor (P) dari larutan asam fosfat, pada permukaan wafer Si secara *spray*, lalu proses difusi pada suhu tinggi dengan menggunakan alat *conveyor furnace* untuk membentuk tipe-n di atas wafer Si tipe-p. P-n *junction* tersebut, dibentuk

dengan cara memanaskan  $H_3PO_4$  yang dialirkan gas nitrogen ( $N_2$ ), pada temperatur 400-850 °C, kemudian didepositkan pada permukaan Si dimana teknologi ini telah dipatenkan oleh Koval *et al.* [17] dari Solarex – Amerika pada tahun 1982. Jenis teknologi ini dengan sedikit modifikasi pada bagian *sprayer* serta tanpa pemanas (sehingga dapat menghemat biaya listrik), telah dicoba dalam kegiatan riset kami. Penggunaan larutan asam fosfat karena lebih murah dan mudah diperoleh di pasaran dalam negeri dibandingkan dengan bahan pasta phosphor yang diimpor.

#### □ Metalisasi

Pembuatan kontak pada bagian bawah dan bagian atas sel dilakukan dengan proses metalisasi, dengan menggunakan pasta perak (Ag) untuk bagian atas dan campuran perak-alumunium (Ag/Al) serta Al untuk bagian bawah. Proses ini dilakukan dengan alat *screen printing* (SP), kemudian dilakukan proses *drying* dan *firing* dengan *conveyor furnace*.

#### □ Pelapisan Anti Refleksi

Pelapisan anti refleksi dilakukan juga dengan *screen printing* menggunakan bahan pasta  $TiO_2$  lalu *drying* dan *co-firing* sehingga diperoleh sampel sel surya.

Sel surya dengan tahapan proses seperti di atas telah diassembling LEN dan dikemas menjadi modul surya dengan menggunakan bahan-bahan yang tahan terhadap cuaca.. Tahapan proses assembling sel surya untuk dirakit menjadi modul surya antara lain [9]:

- *Tabbing*, yaitu pemasangan *ribbon tab* di daerah *busbar* sebagai penghubung antar sel;
- *Matrixing* atau interkoneksi sel, yaitu penyambungan sel secara seri;
- *Test matrix*;

- *Lay-up*, menyusun bahan-bahan dimulai dari kaca, deretan sel surya, EVA dan tedlar;
- Laminasi, yaitu proses kapsulasi yang dilakukan dengan menggunakan alat laminator pada kondisi ruang vakum;
- Pemeriksaan hasil laminasi;
- *Framing*, yaitu pemasangan frame Al dan terminal pada bagian belakang modul;
- Pengukuran kurva I - V modul surya.

Pengukuran karakterisasi arus terhadap tegangan (I – V) dari modul surya hasil percobaan diukur dengan menggunakan alat SPI – Sun simulator model 204 A dari Spire Corp.pada kondisi 100 mW/cm<sup>2</sup>. Proses assembling dan pengukuran karakterisasi ini dilakukan di LEN.

## 4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

### 4.1 Pengukuran Karakteristik Modul Surya Luar Negeri.

Untuk pendataan parameter modul surya buatan luar negeri dilakukan pengukuran modul surya menggunakan peralatan SPI-Sun simulator model 204 A dari Spire Corp. yang dilakukan di LEN, namun demikian untuk alat ukur karakterisasi I-V sel surya dilakukan dengan alat ukur yang tidak standar. Hasil pengukuran sel surya menghasilkan efisiensi sel yang lebih rendah 2-3% bila dibandingkan dengan alat ukur yang standar, karena sel surya luar negeri dengan efisiensi sekitar 13% menggunakan alat ini hanya terukur 10,8%. Sebagai bahan pembanding, dilakukan pengukuran modul surya multikristal 50 Wp (dengan dimensi sel 10x10 cm<sup>2</sup>), buatan Solarex Pty. Ltd-Australia, ASE- Jerman, Motech-Taiwan, dan SP Solar-China. Hasil pengukuran karakterisasi I-V modul surya tersebut dapat dilihat pada Tabel-2. Efisiensi modul surya biasanya 80-90% dari efisiensi sel surya akibat adanya refleksi cahaya matahari dari bahan kapsulasi [10]. Data modul surya 50 Wp pada Tabel-2, lajur 7, diperoleh dari LEN yang telah mengimpor sel surya dari berbagai produsen

di luar negeri dengan daya berkisar antara 45-50 Wp [11].

**Tabel-2.** Hasil pengukuran modul surya luar negeri

Para meter	MODUL SURYA 50 Wp					
	Unit	SP Solar China	Solarex Australia	ASE Jerman	Motech Taiwan	LN [11]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Pmax	Wp	46,92	49,12	50,48	50,22	45 - 50
Vpm	V	17,42	16,84	17,37	17,58	16 - 17,8
Ipm	A	2,694	2,918	2,907	2,856	2,9 - 3,0
Voc	V	21,26	20,95	21,44	22,06	21 - 22,2
Isc	A	3,175	3,287	3,164	3,134	2,8 - 3,2
Rs	$\Omega$	0,897	0,832	0,814	0,908	0,8 - 0,9
Rsh	$\Omega$	97,530	94	393	360	57 - 360
FF		0,695	0,713	0,744	0,726	0,7 - 0,74
$\eta$	%	13,2	12,92	14,41	14,33	12 - 14

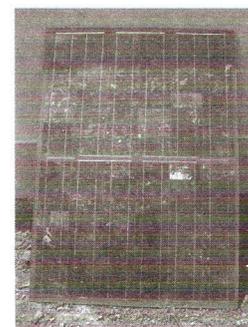
**4.2. Proses Scaleup dan Karakterisasi**

Pada awal tahun 2008 percobaan scale-up proses sel suryan dari dimensi 5x5 cm<sup>2</sup> ke 5 x 10 cm<sup>2</sup> serta dengan melakukan re-optimasi proses co-firing kontak, menghasilkan efisiensi sel meningkat dari 8% menjadi 9%. Gambar 5 menunjukkan foto sel surya hasil scale-up ke dimensi 5x10 cm<sup>2</sup>. Sel surya dengan dimensi 5x10cm<sup>2</sup> tersebut berhasil dapat diassembling menjadi modul surya MSI-50 dengan efisiensi () sekitar 10%, arus Isc sebesar 2,9 A, tegangan Voc = 27,03 V, dan daya maksimum sekitar 46,4 Wp, tahanan seri Rs = 1,7  $\Omega$  dan FF sekitar 0,6. Sel surya tersebut disusun secara seri dan paralel dengan matriks 6x16 sel untuk mengejar besarnya daya yang diinginkan. Biasanya modul surya 50 Wp berkisar antara 45 -50 Wp [11] sehingga prototip modul surya dengan daya sebesar 46, 4 Wp maka modul tersebut sudah termasuk kategori modul surya 50 Wp. Dengan demikian prototip ini dapat diaplikasikan untuk SHS yang terdiri dari 1 (satu) buah modul surya. Gambar 6 menunjukkan foto prototip tersebut sedangkan Gambar 7 adalah karakteristik kurva I-V modul surya MSI-50 (dengan daya sekitar 46 Wp).

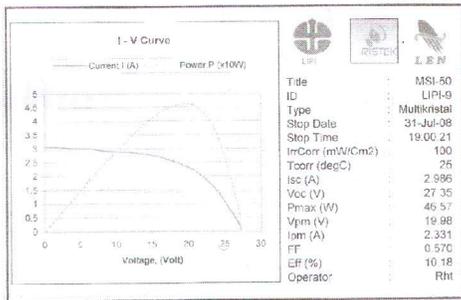


**Gambar 5.** Foto sel surya 5x10 cm<sup>2</sup>

Dibandingkan dengan modul surya luar negeri (LN) pada Tabel-2, terlihat bahwa besarnya arus Ipm dan fill factor masih lebih kecil akibat tahanan seri R<sub>s</sub> yang masih besar sekitar dua kali lipat, yang berefek pula pada efisiensi modul sekitar 10%. Sementara V<sub>oc</sub> dan tegangan maksimum Vpm lebih besar, akibat jumlah sel yang lebih banyak. Efisiensi modul surya dari hasil penelitian ini (lihat Gambar 7) sepertinya terbatas sampai 10% karena keterbatasan peralatan proses yang tersedia. Seandainya fasilitas peralatan lengkap, maka efisiensi sel dapat ditingkatkan lagi dengan melakukan optimasi proses difusi phosphor [12,13] untuk memperoleh konsentrasi doping phosphor dan dalamnya *junction* yang optimum (dengan alat spreading resistance), serta proses pasivasi (dengan alat Plasma Enhancement Chemical Vapour Deposition) untuk mengurangi kecepatan rekombinasi di permukaan dan di dalam bulk Si [14]. Dengan efisiensi modul surya sebesar 10%, maka efisiensi sel yang sebenarnya diperkirakan sekitar 12% (bukan 9%) karena efisiensi modul surya berkisar antara 80-90% dari efisiensi sel surya akibat adanya refleksi cahaya matahari dari bahan kapsulasi [10].

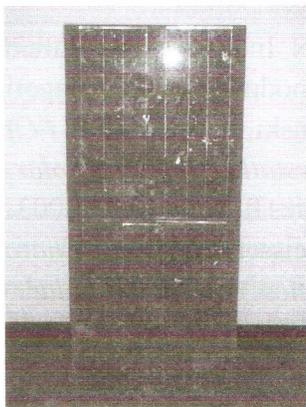


**Gambar 6.** Foto Prototip Modul Surya MSI-50

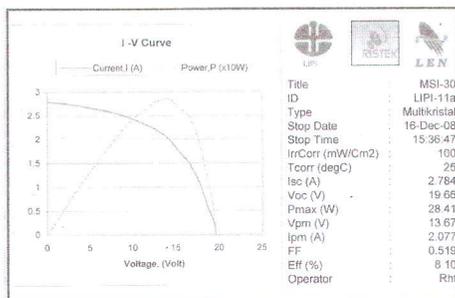


Gambar 7. Kurva I-V Modul Surya 46 Wp

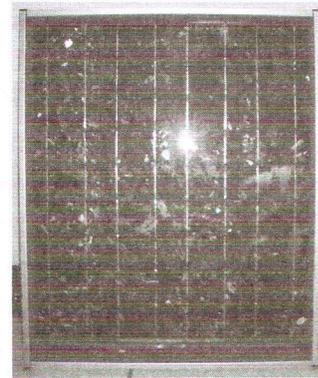
Untuk aplikasi SHS dengan sistem 2 (dua) modul surya, sebagian sel surya telah dipackage menjadi modul surya MSI-30 menghasilkan daya 29 Wp (lihat Gambar 8) dengan hasil pengukuran karakterisasi I-V seperti tertera pada Gambar 9. Selanjutnya sisanya telah dibuat modul surya MSI-18 (lihat Gambar 10) dengan daya sekitar 17 Wp sehingga kedua modul surya tersebut menghasilkan total daya sebesar 46 WP. Gambar 11 adalah hasil pengukuran kurva I-V MSI-18.



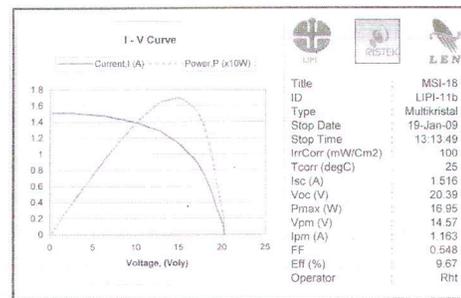
Gambar 8. Foto Prototip Modul MSI-30



Gambar 9. Kurva I-V Modul Surya 29 Wp



Gambar 10. Foto Prototip Modul MSI-18



Gambar 11. Kurva I-V Modul Surya 17 Wp

5. Kesimpulan dan Saran

1. Kegiatan penelitian ini telah menghasilkan prototip modul surya dengan efisiensi sekitar 10% dan daya 46 Wp, untuk aplikasi SHS dengan sistem 1 modul dan sistem 2 modul surya. Kegiatan ini diharapkan dapat berkontribusi dalam mengatasi krisis energi listrik di Indonesia.
2. Penggunaan teknik *spray* H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dengan bahan substrat multikristal menjadikan proses sel surya ini cukup kompetitif dibandingkan dengan sel surya impor.
3. Penguasaan teknologi proses sel surya agar disesuaikan dengan kebutuhan industri sehingga hasil riset dapat diterapkan di industri.
4. Walaupun sudah ada Peraturan Presiden nomor 5/2006, tetapi belum ada kebijakan yang jelas untuk mendorong munculnya industri sel surya di dalam negeri.

5. Dengan fasilitas peralatan proses sel surya yang menghasilkan efisiensi sel maksimum 10%, maka untuk aplikasi SHS sebaiknya memakai sistem 2 (dua) modul untuk menghindari terjadinya keretakan bahan kapsulasi gelas, karena dimensi packaging untuk sistem 1 (satu) modul akan membutuhkan dimensi yang relatif besar. Aplikasi lainnya adalah untuk penggunaan daya yang kecil seperti untuk lampu jalan atau lampu taman.

### Ucapan Terimakasih

Kegiatan penelitian ini dapat terlaksana melalui program Insentif Kapasitas Iptek Sistem Produksi dari Kementerian Riset dan Teknologi. Untuk itu kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ristek dan juga kepada LIPI yang telah mengelola administrasi penelitian ini. Ucapan terima kasih kami sampaikan pula kepada PT. LEN Industri (Persero) atas penggunaan fasilitas guna menunjang terlaksananya penelitian ini. Demikian pula kepada A. Wahid Aminuddin, ST., dan Jojo Hidayat ST., yang telah banyak membantu dalam melakukan penelitian ini.

### 6. Daftar Pustaka

1. Brosur, PT. LEN Industri, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya"
2. PT. R & S Rekadaya Energi Surya, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Photovoltaic (PV) Energy: Solar Home Systems", 1992.
3. <http://www.nwseed.org/>
4. Kompas, "Dikembangkan Tenaga Surya Untuk Listrik Perkotaan", 7 Agustus 2005. Peraturan Presiden Republik Indonesia, Nomor 5 Tahun 2006, tentang "Kebijakan Energi Nasional", Jakarta, 25 Januari 2006.
5. PT. LEN Industri "Demonstration Project on Stabilized and Advanced Grid-connection System" November.
6. M. Green, "Power to the People: Sunlight to Electricity Using Solar Cells", UNSW Press Ltd., 2000.
7. Ika Ismet, Almi Simbolon, Eman Sulaeman, Erlyta Septa Rosa, "The Development of Higher Efficiency Solar Cell at PT. LEN Industri", The 16<sup>th</sup> CAFE0'98, 26-28 November 1998, Clarc Field - Philippine.
8. Ika Ismet, Shobih, Erlyta Septa Rosa, "Industrial Solar Cell Processing", Proc. of 1<sup>st</sup> Intl. Workshop on Solar Energy Utilization, Jakarta, Sept. 2004.
9. Ika Ismet, Erlyta S.R., Shobih., "Perkembangan Penelitian Sel Surya Silikon Kristal", Seminar Nasional XIV Kimia Dalam Industri dan Lingkungan, 13-14 Des. 2005, Yogyakarta.
10. Andi Baumann, Yash Bhargava, Z.X. Liu, Gregory Nemet, James Wilcox, "Photovoltaic Technology Review", MSE/C226, Des. 6, 2004.
11. PT. LEN Industri (data karakteristik listrik produk modul surya Luar Negeri).
12. M. Lipinski and P. Panek, "Optimisation of Monocrystalline Silicon Solar Cell", Opto-Electronics Review, II (4), 2003.
13. H. J. Queisser, "Forward Characteristics and Efficiencies of Silicon Solar Cells", Solid State Electronics, Vol. 5, 1962.
14. R. Kishore, S.N. Sigh, and B.K. Das, "PECVD Grown Silicon Nitride AR Coatings on Polycrystalline Silicon Solar Cells", Solar Energy Materials and Solar Cells, 26 (1992), North Holland.

# Bidirectional metal-based 1X2 POF Coupler with Hollow Taper Waveguide

Abang Annuar Ehsan<sup>1</sup>, Sahbudin Shaari<sup>1</sup>, Mohd Kamil Abd. Rahman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Microengineering and Nanoelectronics (IMEN), Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM, Bangi, Selangor, Malaysia

<sup>2</sup>Faculty of Applied Science, Universiti Teknologi MARA, 40450 Shah Alam, Selangor, Malaysia  
Email: [aaehsan@eng.ukm.my](mailto:aaehsan@eng.ukm.my)

## Abstract

*A metal-based 1X2 POF coupler with core size of 1000  $\mu\text{m}$  has been designed and fabricated using metallic mold insert. The device has an input POF fiber, a middle hollow taper region and output POF fibers. Non-sequential ray tracing shows the device working as a simple splitter and combiner device. The device has been fabricated by producing the metallic mold insert using a low cost CNC machining tool. The device is assembled by inserting short POF fibers at the input and output sections of the mold insert before the interfaces of the hollow region. The device exhibit an insertion loss of about 8.2 dB as splitter and performs in a simple combiner operation.*

**Key Word :** POF coupler, taper waveguide, CNC machining

## 1. Introduction

Plastic Optical Fiber (POF) is a well known medium for short range data communication due to its large-core size, multimode properties, low cost and robust characteristics. In addition, POF is also being used in optical signaling, lighting and decoration system. Other specialty applications of POF are in the automotive, entertainment, and sensor industries [1]. In all of these applications, it is necessary to split or combine the optical signals using passive components. In the silica fiber industry, passive optical devices are well known and have been produced. However, in POF technology, many such devices are still under development [1].

There have been many techniques of assembling POF couplers. These techniques include (i) twisting and fusion (ii) side polishing (iii) chemical etching (iv) cutting and gluing (v) thermal deformation (vi) molding (viii) biconical body and (ix) reflective body [1].

A 1X2 POF coupler has been designed using a simple metallic mold insert. The POF coupler device is segregated into three sections: an input POF fiber, an intermediate hollow taper region and output POF fibers. The hollow taper region is constructed using hollow structure which allows waveguiding to occur by simple reflection on the metallic inner surface. The 1X2 POF coupler is designed and then simulated using non-sequential ray tracing which allow us to predict the optical performance of the device. Finally, based on the 3D CAD design, mold insert of the device is fabricated using CNC machining on an aluminum block. POF cable of 1 mm core size is inserted at the input and output ports of the coupler. This optical device has been characterized for both splitter and combiner operation.

This research work on metal-based POF coupler is part of our research project on low-cost POF couplers.

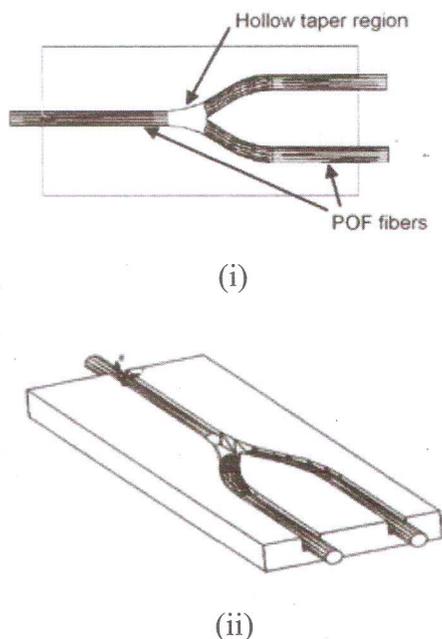
Some other research works related to this project is the portable optical access-card system [2-5],

design of optical code generating device based on asymmetric POF couplers [6-8], and low cost acrylic POF couplers [9-10].

## 2. Pof Coupler Design

The basic coupler design will utilize a simple 1X2 Y-branch coupler as shown in Fig. 1. Fig. 1(i) shows the 2D view of the POF coupler with the hollow taper section. The 1X2 Y-branch coupler is a simple model which we are able to illustrate the construction of the coupler with the middle hollow taper section. The input and output sections to the coupler are constructed using short POF fibers which are slotted into the Y-shaped grooves of the mold insert, shown in Fig. 1(i). The POF fibers are slotted until the fibers are positioned just before the hollow taper region shown in this Fig. 1(i). Fig. 1(ii) is the 3D view of the POF coupler.

The width of the groove region has been set at 1 mm which allows a 1 mm core POF fiber to fit in firmly. In this coupler design, the branching angle is set large at an angle of 53.

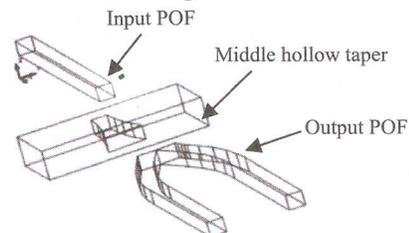


**Fig. 1** Metal-based 1X2 POF coupler (i) POF coupler with the middle hollow taper region (ii) 3D view of the POF coupler

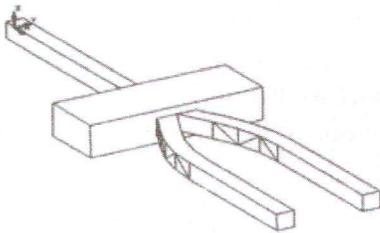
A metallic hollow-type structure has been proposed because of the device large core size (1 mm core size) and the ease of producing the mold insert. Light propagates along the waveguide coupler solely by reflection on the metallic inner-surface. The hollow structure allows a more flexibility in guiding light rays without the constraint of the material's refractive index and allow large branching angle. Hollow waveguides have been previously used in laser light delivery system for medical application [11,12] where the radiation wavelengths used are greater than 2  $\mu\text{m}$  [12]. These devices are also being used for photonics integrated circuits where temperature insensitivity is required [13,14].

## 3. Device Simulation

Non-sequential ray-tracing simulation tool has been used to model the POF coupler due to its highly multimode characteristics. In a non-sequential ray tracing, we use three dimensional object, which is pre-drawn using CAD tool. In order to perform the non-sequential ray tracing of the device, the POF coupler is divided into three separate sections, which is illustrated in Fig. 2. The input to the POF coupler which is the 1 mm core POF fiber is constructed using a straight rectangular block. Similarly, the outputs of the device which are the 1 mm core POF fibers are simulated using a Y-shaped structure. Finally, the hollow taper section is represented as a rectangular block with a hollow tapered inner section. These three parts are then joined together to form a simple structure as shown in Fig. 3.



**Fig. 2** Components of the 1X2 POF coupler for non-sequential ray tracing: input POF, middle hollow taper and output POF



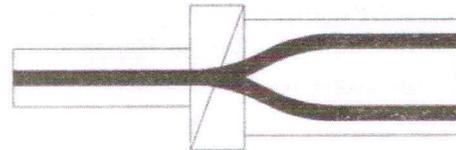
**Fig. 3** Complete CAD block of the POF coupler after combining

The inner-surface of the hollow taper region is defined as reflective where the material coating is written as metal coating. As for the input and output sections, an outer layer is defined to simulate the cladding for the POF fiber, where the refractive index for the core is defined as 1.49 and the cladding as 1.0. We have set the cladding index to be 1.0 as the actual cladding thickness will be negligible (about 20  $\mu\text{m}$ ) compare to the core diameter of 980  $\mu\text{m}$ . The wavelength used in this simulation is 650 nm, with input power of 1.0 mW. Rectangular source is used which emits rays in a cosine distribution form.

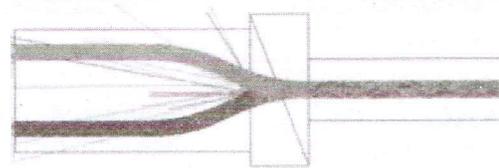
The ray tracing plots for the 1X2 POF coupler are shown in Fig. 4 and 5. Fig. 4 shows the device operating as a simple 3 dB splitter. This ray tracing plot shows the optical characteristics of the 1X2 POF coupler with the hollow taper region. It can be seen that light rays are confined completely in the POF coupler in all sections, input, output and the middle hollow taper region. The output power measured at the two output ports are 0.52 mW and 0.46 mW.

Fig. 5 shows the ray tracing plot of the POF coupler device operating as a combiner. Here, two light sources are placed at the two output ports whereas a photodetector is placed at the input port. Some stray light can be seen coming out from the area close to the intersection between the Y-branch structure and the middle hollow taper region. This is mainly due to the angle of incidence of light at the core-cladding interface is very small and light cannot be totally reflected. The power measured at the input port are 0.46 mW and 0.47 mW when

either one of the light source at the two output ports is activated while the other light source is turn off. When both the light sources are activated, the power measured at the input port is 0.88 mW.



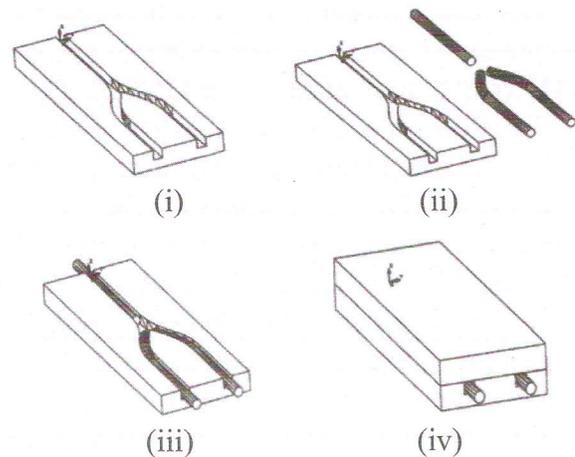
**Fig. 4** Ray tracing plot of the 1X2 POF coupler as a 3 dB splitter



**Fig. 5** Ray tracing plot of the 1X2 POF coupler as a combiner

**4. Fabrication and Characterization**

In the fabrication process, a rigid mold insert is designed and fabricated using a micro milling tool. This technique is a maskless process which significantly reduced the highly cost of producing



**Fig. 6** Device fabrication and assembling (i) mold insert with engraved U-grooves (ii) POF fibers insertion (iii) POF fibers alignment (iv) enclosed POF coupler

photomask, and the costly photolithographic equipment. After the mold insert has been fabricated, short POF fibers are inserted into the engraved slots until the fibers are positioned just before the hollow taper region at both the input and output ports. A top metal plate is then placed on top of the mold insert to enclose the device. Fig. 6 illustrates the steps for the device fabrication and assembling.



**Fig. 7** Metal-based 1X2 POF coupler device (i) device with POF fibers (ii) device with top metal plate

We have used aluminum blocks for the mold insert. A CNC micro milling machine with milling tool size of 1.0 mm and spindle speed up to 30,000 rpm has been utilized. Fig. 7 (i) and (ii) show the 1X2 POF coupler devices which have been fabricated and assembled showing the input and output POF fibers, and the middle hollow taper region.

The optical power from the POF coupler have been measured using Advanced Fiber Solution FF-OS417 (LED) and optical meter OM210. The test wavelength is set at 650 nm. A short 1.0 mm core POF fiber is used for the input and output ports. Fig. 7 (i) shows the 1X2 POF coupler with the short POF fibers are inserted into the engraved regions of the mold insert. Fig. 7 (ii) is the POF coupler with a top metal plate. The effective input power  $P_{in}$  is 0 dBm. In the splitter operation, the output power detected at both output ports are  $P_1 = -8.15$  dB and  $P_2 = -7.45$  dB. The insertion loss of this device is about 8.2 dB and the excess loss is 4.96 dB.

The measurement for the combiner is done by having two optical light sources connected to the output ports of the POF coupler and a detector

placed at the input port of the device. The effective input power  $P_{in}$  is 0 dBm. The power measured at the input port are  $P_1 = -12.1$  dB and  $P_2 = -12.64$  dB when either one of the light source at the two output ports is activated while the other light source is turn off. When both the light sources are activated, the power measured at the input port is about -9.31 dB. Converting the power from dB to milliwatt, gives  $P_1 = 0.06$  mW,  $P_2 = 0.05$  mW and the combine power at the input port at 0.12 mW. The total combined power is in close proximity to expected combiner device, which will be the sum of the two output power, i.e.  $P_1 + P_2 = 0.11$  mW.

## 5. Conclusions

A low cost 1X2 POF coupler has been designed and fabricated using simple metallic mold insert. The splitting region of the device is constructed using hollow taper region. The device has been simulated using non-sequential ray tracing with both the input and output POF fibers inserted before the hollow taper waveguide region. The simulated results show for a splitter with an input power of 1 mW, a 0.52 mW and 0.46 mW output powers are obtained. In the combiner application, the combined power measured is 0.88 mW. The mold insert for the device has been fabricated on aluminum block using CNC machining tool. The device structure is composed of input POF fiber, middle taper waveguide and output POF fibers. The insertion loss of the metal-based device is still high at 8.2 dB. In addition, operation as combiner is possible but with a high insertion loss. High losses are unavoidable in the hollow taper waveguide region due to the excessive surface roughness on the metallic surface. Furthermore, due to back-reflection and unmatched NA at the POF fiber-hollow taper interface, high coupling loss is expected. An improvement to the device is being done by producing the mold insert using ultra-high speed CNC machining.

### Acknowledgment

The authors would like to thank Universiti Teknologi MARA for the financial support on this project and machining facilities, and to the Institute of Microengineering and Nanoelectronics (IMEN), Universiti Kebangsaan Malaysia for providing the simulator tool Zemax.

### 6. References

1. L.R. Kawase, Passive Optical Fiber Devices. In Polymer Optical Fibers, Hari Singh Nalwa (Ed.). American Scientific Publishers, California, 2004, pp. 121-126.
2. **A.A. Ehsan, S. Shaari, M.N Abdullah, and M.K. Abd. Rahman**, "Asymmetric Hollow POF Coupler Design for Portable Optical Access Card System", *SPIE Europe Microtechnologies for the New Millennium*, Vol. 7362, Dresden, Germany, 2009.
3. **A.A. Ehsan, S. Shaari, and M.K. Abd. Rahman**, "1x2 y-branch plastic optical fiber waveguide coupler for optical access-card system," *Progress In Electromagnetics Research*, PIER 91, pp. 85-100, 2009
4. **A.A. Ehsan, S. Shaari, and M.K. Abd. Rahman**, "Design of a Plastic Optical Fiber (POF) Waveguide Coupler for Portable Optical Access Card System," *ASM Science Journal*, Publisher: Akademi Sains Malaysia, Vol.2, No.2, pp. 47-55, 2008
5. **A.A. Ehsan, S. Shaari, M.K. Abd. Rahman and Kee Mohd Rafique Kee Zainal Abidin** "Hollow Optical Waveguide Coupler for Portable Access Card System Application," *Journal of Optical Communications*, Vol. 30 (2), pp.67-73, 2009.
6. **A.A. Ehsan, S. Shaari, and M.K. Abd. Rahman**, "Non-Sequential Ray Tracing of Asymmetric Hollow Optical Waveguide Couplers," *Proceedings of IEEE Regional Symposium on Microelectronics (RSM2007)*, Penang, pp 467-471, 2007
7. **A.A. Ehsan, S. Shaari, and M.K. Abd. Rahman**, "Design of 1XN Cascaded Asymmetric Hollow Optical Waveguide Couplers," *6<sup>th</sup> International Conference on Optics-Photonics Design and Fabrication (ODF'08)*, Taipei, Taiwan, pp.105-106, 2008
8. **A.A. Ehsan, S. Shaari, and M.K. Abd. Rahman**, "Optical Code Generating device using 1XN Asymmetric Hollow Waveguide Couplers," *Acta Photonica Sinica (China)*, Vol. 37, No. 5, pp. 849-854, 2008
9. **A.A. Ehsan, S. Shaari, and M.K. Abd. Rahman**, "Design and Fabrication of an Acrylic-based 1X2 POF Coupler using CNC Machining," *2008 IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE 2008)*, Johor Bahru, Johor, pp.306-310, 2008
10. **A.A. Ehsan, S. Shaari, and M.K. Abd. Rahman**, "Fabrication of an all-plastic 1X2 POF coupler using EGX-400 desktop engraver". *2009 Asia Pacific Conference on Optics Manufacture (APCOM 2009)*, Taipei, Taiwan, 3B6, 2009.
11. A. Hongo, T. Koike, and T. Suzuki, Infrared hollow fibers for medical applications, *Hitachi Cable Review* 23, pp. 1-5. (2004).
12. R.M. Verdaasdonk and C.F.P. Swol, Laser light delivery systems for medical applications, *Phys. Med. Biol.* 42, pp. 869-894 (1997).
13. T. Miura, F. Koyama, Y. Aoki, A. Matsutani, and K. Iga, Hollow optical waveguide for temperature-insensitive photonic integrated circuit, *Japanese Journal of Applied Physics* 40 (Part 2, No. 7A): L688-L690 (2001).
14. T. Miura, F. Koyama, and A. Matsutani, Modeling and fabrication of hollow optical waveguide for photonic integrated circuits, *Japanese Journal of Applied Physics* 41 (Part 1, No. 7B): L4785-L4789 (2002).

# Efektivitas Transformator Delta Zigzag (DZ) Sekunder Lilitan Ditransposisi Membatasi Harmonisa

Chairul Gagarin Irianto<sup>1</sup>, Rudy Setiabudy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, FTI Universitas Trisakti, Jakarta

<sup>2</sup>Departemen Teknik Elektro, FT Universitas Indonesia, Depok  
[chairul\\_irianto@trisakti.ac.id](mailto:chairul_irianto@trisakti.ac.id), [rudy@ee.ui.ac.id](mailto:rudy@ee.ui.ac.id)

## Abstract

*Delta wye (Dy) transformer in domestic distribution power substation loaded with single-phase nonlinear load and unequally distributed causes a harmonic current problem and imbalanced load in the three-phase four-wire distribution system. This single-phase nonlinear imbalanced increases more the third harmonic current component and triplene (THD current) in the load current in the transformer phase and neutral which causes the increased losses in transformer and increases the heat. For reducing the harmonic component, the secondary winding of the Delta zigzag (Dz) transformer is made in inter-phase relation (zigzag) and transposed symmetrically so the harmonic component of the load current is disappearing/eliminating each other. The secondary transformer Dz is transposed as to be able to reduce the imbalanced impact loads in the distribution system, it can also reduce the third harmonic circulation current and triplene in the transformer circuit. As a result of the experiment, it can be shown that when the nonlinear load is connected to the transposed secondary transformer Dz; therefore, the harmonic circulation current can be reduced in the primary side or the source one. The configuration arrangement of the transposed secondary winding zigzag is a development or improvement of the existing transformer Dz.*

**Keywords:** harmonics, transposed secondary winding Dz transformer, non-linear loads.

## Abstrak

*Transformator Dy pada gardu distribusi domestic dibebani beban nonlinier satu fasa dan terdistribusi tidak merata menyebabkan masalah harmonisa arus dan ketidakseimbangan beban pada sistem distribusi tiga fasa empat kawat. Ketidakseimbangan beban nonlinier satu fasa ini makin meningkatkan komponen arus harmonisa ketiga dan triplen (THD arus) pada arus beban di penghantar fasa dan netral yang mengakibatkan peningkatan rugi-rugi pada transformator dan meningkatkan panas. Untuk menurunkan komponen harmonisa itu lilitan sekunder transformator Delta zigzag (Dz) dibuat dalam hubungan antar fasa (zigzag) dan ditransposisi simetris sehingga komponen harmonisa arus beban saling menghilangkan. Transformator Dz sekunder ditransposisi selain mampu menurunkan dampak ketidakseimbangan beban di sistem distribusi juga dapat menurunkan sirkulasi arus harmonisa ketiga dan triplen pada rangkaian transformator. Dari hasil eksperimen ditunjukkan bahwa ketika beban nonlinier dihubungkan ke transformator Dz sekunder ditransposisi maka sirkulasi arus harmonisa dapat diturunkan pada sisi primer atau sisi suplai. Rancang bangun konfigurasi lilitan sekunder zigzag ditransposisi merupakan pengembangan atau perbaikan dari transformator Dz yang sudah ada.*

**Kata kunci:** harmonisa, ketidakseimbangan beban, transformator Dz sekunder lilitan ditransposisi, beban nonlinier.

## 1. Pendahuluan

Dampak dari meningkatnya kesejahteraan ekonomi masyarakat ditinjau dari aspek kebutuhan daya listrik adalah makin meningkat dan meluasnya penggunaan beban nonlinier berbasis elektronika (lampu fluorescent balas elektronik, komputer, pengendali kecepatan motor, dll). Menurut Prabhakara pada tahun 2020 lebih dari 50 persen kapasitas daya listrik yang dibangkitkan akan dibebani beban nonlinier satu fasa yang dalam kenyataannya terdistribusi tidak merata dan rating dayanya semakin besar [1].

Umumnya, peralatan listrik satu fasa yang hemat dalam pemakaian energi listrik ini disuplai dari sumber tiga fasa empat kawat. Dalam operasinya, perangkat elektronik ini menggunakan penyearah satu fasa dan kapasitor perata C. Akibatnya, arus saluran hanya mengalir saat pengisian muatan kapasitor C, yaitu di puncak gelombang tegangan saluran sehingga gelombang arus tidak proportional lagi terhadap tegangannya (non-linier) dan mengalami distorsi (nonsinusoidal).

Selain itu dari aspek regulasi, dalam rangka penghematan energi dimana salah satu langkah program penghematan energi adalah semakin banyaknya digunakan lampu hemat energi (LHE). Karena LHE memakai balas elektronik maka dapat membangkitkan arus harmonisa di sistem distribusi daya. Dalam kenyataannya, karena kondisi pembebanan tidak seimbang dan waktu penggunaan berbeda menyebabkan penggunaan lampu LHE menimbulkan masalah mutu listrik yang berat pada sistem distribusi.

Berbagai upaya telah dikembangkan dalam meminimasi aliran arus harmonisa karena pembebanan tidak seimbang beban nonlinier satu fasa. Beberapa diantaranya, filter, transformator K-rated, transformator Delta-woye (Dy), kombinasi transformator Delta zigzag (Dz) dengan penggeser fasa, transformator Scott, dan kombinasi transformator Le Blanc dengan filter. Filter mampu meredam harmonisa tetapi filter membatasi

keandalan sistem distribusi dan mahal serta belum mampu mengatasi pembebanan tidak seimbang. Untuk membatasi dampak pembebanan tidak seimbang langsung di sumbernya dibutuhkan transformator konfigurasi lilitan khusus. Telah banyak literature dan penelitian membahas teknologi transformator lilitan khusus diantaranya adalah transformator hubungan transformator Narrow Band Technology (NBT) [5], transformator Vee/vee (Open Delta), T-Scott, Le Blanc [3], dan Dy [6] serta transformator Dz [12].

Dari hasil penelitian Cheng-Ping Huang et al [2] terhadap model Vee/vee, Scott dan Le Blanc untuk mengatasi ketidakseimbangan beban nonlinier menunjukkan bahwa skema hubungan Vee/vee menyebabkan gangguan ketidakseimbangan lebih serius pada sumber tiga fasa dibandingkan dengan skema hubungan Scott dan Le Blanc. Hubungan Scott tidak menyediakan lilitan delta untuk sirkulasi arus harmonisa ketiga dan triplen karenanya tegangan harmonisa triplen tetap ada pada rangkaian transformator. Dengan sisi primer transformator Le Blanc dihubungkan delta maka kelebihan hubungan lilitan ini mampu membatasi tegangan harmonisa triplen. Namun, jika lilitan sekunder transformator Le Blanc dibebani dengan kapasitas besar maka pembebanan menjadi tidak seimbang. Untuk itu dibutuhkan lilitan tersier yang dihubungkan delta atau memasang filter di sisi sekunder [4]. Transformator Dy pada gardu distribusi dibebani beban nonlinier tidak mampu mempertahankan bentuk gelombang sinusoidal dan keseimbangan beban [J.Schonek, 26]. Penggunaan transformator Dz dalam menurunkan arus harmonisa pada pembebanan tidak seimbang lebih menguntungkan karena merupakan penghambatan pasif, kokoh (rugged), dan tidak rumit. Tetapi terdapat kekurangan pada transformator Dz karena kinerjanya tergantung pada kedekatan letak lokasinya dengan beban. Selain itu, jika sumber tegangan terdistorsi atau tidak seimbang, maka kinerja dalam membatasi arus harmonisa di sisi sumber tidak optimal [J. Schonek, 26]. Distorsi harmonisa ini memperbesar

harga rms arus fasa dan daya reaktif, menaikkan temperature, menurunkan efisiensi transformator. Jika peningkatan temperature terus menerus maka diperkirakan unit transformator mengalami kegagalan atau bahkan kerusakan. Akibatnya, banyak transformator dibebani dibawah kapasitas rating agar kenaikan panas tidak melampaui batas temperature kerja.

Dari uraian teknologi transformator diatas diketahui bahwa disain lilitan delta primer saja belum maksimal menghambat aliran distorsi harmonisa dari sisi sekunder akibat beban tidak seimbang. Untuk itu, pertama adalah menurunkan tingkat ketidakseimbangan beban dengan menyeimbangkan resultan ggm induksi arus-arus beban dengan mendistribusikan ggm induksi secara simetris di ketiga kaki inti. Sehingga resultan ggm induksi komponen arus harmonisa beban tidak berlebihan dan dapat diredam dengan cara mensirkulasikan arus harmonisa di lilitan delta primer. Dengan membatasi sirkulasi arus-arus harmonisa maka rugi-rugi panas lilitan transformator diturunkan sekaligus memperkecil aliran energy medan elektromagnetik ke sisi saluran suplai [J. Schonek, 26].

Tujuan dari penelitian ini mengusulkan metode menyeimbangkan ggm induksi (amper-lilit) sekaligus menghambat arus harmonisa ketiga dan triplen di inti sisi sekunder ditransposisi diharapkan derajat keseimbangan menjadi lebih baik **karena sirkulasi arus harmonisa ketiga dan triplen lebih sedikit**. Rancang bangun konfigurasi lilitan zigzag ditransposisi merupakan pengembangan atau perbaikan dari transformator Dz yang sudah ada.

## 2. Teknologi Penghambat Harmonisa Arus Berdasarkan Transformator

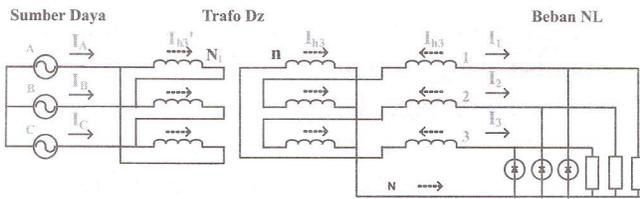
Penyebab utama meningkatnya harga rms arus di fasa dan netral pada system distribusi adalah ketidakseimbangan arus fasa dan arus harmonisa ketiga dan triplen yang dihasilkan dari beban nonlinier.

Menjaga keseimbangan system distribusi tiga fasa dengan mendistribusikan beban nonlinier satu fasa secara merata guna menurunkan dampak pembebanan tidak seimbang merupakan solusi yang sulit dilakukan. Transformator tetap dibebani tidak seimbang sehingga transformator Dy tidak mampu bekerja optimal. Lilitan lilitan transformator Dy tidak mampu membatasi arus harmonisa ketiga dan triplen beban nonlinier yang terdistribusi tidak seimbang. Akibatnya, resultan arus harmonisa ketiga dan triplen memperbesar harga rms arus di penghantar fasa dan netral yang selanjutnya menaikkan rugi daya dan meningkatkan temperature kerja di lilitan transformator. Jika hal ini dibiarkan terus menerus maka transformator daya diprediksi mengalami kegagalan atau kerusakan.

### 2.1. Transformator Dz

Untuk membatasi arus harmonisa dan triplen lilitan wye sekunder transformator Dy dibuat dalam hubungan antar fasa atau interlilitan (zigzag). Dengan demikian, disain lilitan zigzag pada sisi sekunder transformator Dz mampu mereduksi harmonisa urutan ketiga. Namun, jika beban tiap fasa tidak seimbang, komponen harmonisa triplen tidak dapat direduksi dengan baik pada sisi delta primer. Maka dari itu kebanyakan dari harmonisa triplen tetap bersirkulasi di sisi primer.

Ditinjau diagram transformator Dz menyuplai beban nonlinier yang sama besar, seperti Gambar 1. Dimana setiap beban nonlinier satu fasa identik membangkitkan arus harmonisa ketiga,  $I_{h3}$  yang sama besar di penghantar fasanya. Dari diagram diketahui bahwa induksi ggm (amper-lilit) pada kaki inti yang sama di sisi sekunder saling meniadakan (memperkecil). Hasilnya, tidak ada arus harmonisa ketiga yang bersirkulasi di sisi delta primer.



**Gambar 1.** Arus Harmonisa Ketiga Di Transformator Dz.

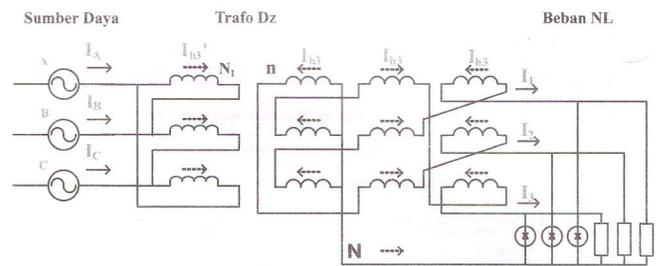
Diketahui bahwa arus harmonisa ketiga hanya dapat dieliminasi total jika beban terdistribusi seimbang merata. Namun dalam kenyataannya pembebanan di saluran distribusi tidak pernah seimbang. Dengan demikian, arus harmonisa ketiga di semua fasa fasanya tidak sama besar dan menurunkan atau reduksi ggm amper-lilitan di kaki inti sisi sekunder tidak terjadi [14]. Hasilnya, arus harmonisa ketiga tetap dapat bersirkulasi di lilitan primer dan selanjutnya mengalir ke saluran suplai daya [18].

Dari studi diatas diketahui hubungan zigzag transformator mampu lebih baik mengurangi dampak keseimbangan sistem yang disebabkan ketidakseimbangan beban nonlinier satu fasa dibandingkan transformator Dy.

**2.1. Transformator Dz Sekunder Ditransposisi**

Ide dasar metode hubungan sekunder ditransposisi ini adalah berdasarkan teori transposisi kawat-kawat saluran transmisi daya fasa-tiga untuk mengatasi ketidak simetrisan akibat letak geometris lilitan zigzag [11]. Di sisi lilitan sekunder setiap jumlah lilitan fasa tegangan rendah,  $N_2$  dibagi menjadi 3 bagian sama besar,  $n=N_2/3$ . Dan, setiap  $n$  bagian lilitan fasa diletakkan secara silang simetris pada ketiga kaki inti yang berbeda. Kemudian, ketiga bagian dari lilitan diseri menyusun satu lilitan fasa, seperti Gambar 2.

Hasilnya, resultan ggm lilitan fasa adalah kali  $1/2$  setiap  $n$ , atau  $1/3$  bagian ggm. Kelebihan konfigurasi ini mampu membatasi tegangan harmonisa triplen diantara saluran fasa beban dan netral dengan cara memposisikan saling



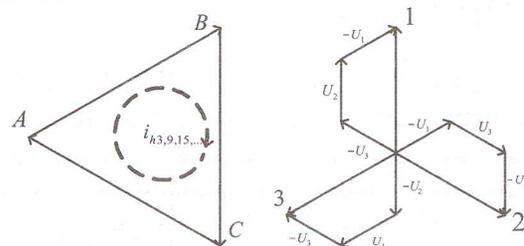
**Gambar 2.** Arus Harmonisa Ketiga pada Transformator Dz Sekunder lilitan ditransposisi

berlawanan fasa dari setiap tegangan  $n$  lilitan seri tersebut. Dengan konfigurasi ini maka secara maknetik dan elektrik, impedansi dalam transformator Dz sekunder ditransposisi menjadi lebih besar dari transformator Dz.

Dengan lilitan zigzag sekunder ggm amper-lilit arus harmonisa beban di setiap kaki inti saling menghambat atau mengurangi. Maka dari itu arus harmonisa ketiga yang bersirkulasi di rangkaian transformator dan mengalir ke saluran suplai dapat lebih diperkecil.

Pada Gambar 2 tampak diagram transformator Dz mensuplai beban nonlinier satu fasa yang membangkitkan arus harmonisa ketiga dan triplen,  $I_{h3}$  di penghantar fasanya. Dari diagram diketahui bahwa ggm amper. lilit ( $I_{h3} \cdot N_2/3$ ) arus harmonisa ketiga dan triplen pada kaki inti sekunder yang sama saling menghapuskan atau memperkecil.

Hubungan fasor induksi GGM diantara sisi primer dan sekunder, dapat dilihat pada Gambar 3 berikut:



**Gambar 3.** Hubungan fasor induksi GGM diantara sisi primer dan sekunder.

Hubungan fasor tegangan primer dan sekunder

$$U_{BA} = U_B - U_A = k_1 u_1 = k_1 (-U_3 + U_2) U_1 \quad (1)$$

$$U_{CB} = U_C - U_B = k_1 u_2 = k_1 (-U_1 + U_3) U_2 \quad (2)$$

$$U_{AC} = U_A - U_C = k_1 u_3 = k_1 (-U_2 + U_1) U_3 \quad (3)$$

Diagram vektor tegangan sekunder perfasa pada Gambar 3. Sebagai contoh, untuk vektor tegangan sekunder fasa 1 adalah:

$$u_1 = (-U_3 + U_2 - U_1)$$

Jadi untuk kondisi beban seimbang, jumlah ggm lilitan fasa adalah sama dengan dua kali dari pada ggm 1/3 lilitan, yaitu:

$$e_1 = e_3 \cos 60^\circ + e_2 + e_1 \cos 60^\circ = 2e$$

Sedangkan untuk kondisi beban tidak seimbang, karena arus fasa beban mengalir di 1/3 lilitan pada kaki maka inti diinduksikan ggm yang relatif sama besar sehingga fluks resultan inti mendekati seimbang. Dengan demikian, resultan ggm lawan yang diinduksikan dari sisi sekunder ke sisi primer tetap relatif seimbang meskipun beban tidak seimbang.

Hubungan vektor ggm arus lilitan fasa sekunder diatas dibentuk dari hubungan lilitan zigzag, maka arus di lilitan zigzag yang diturunkan di lilitan delta adalah:

$$i_A = k_2 i_1 = k_2 (-i_1 - i_2 + i_3) \quad (4)$$

$$i_B = k_2 i_2 = k_2 (i_1 - i_2 + i_3) \quad (5)$$

$$i_C = k_2 i_3 = k_2 (i_1 + i_2 - i_3) \quad (6)$$

$$\text{Dimana ; } k_2 = (n/N_1) \quad n = (N_2/2)$$

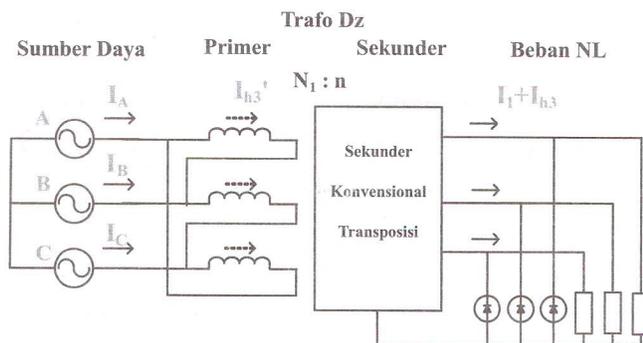
Dari persamaan (4), (5) dan (6) menunjukkan bahwa vektor resultan ggm arus masing-masing sepertiga bagian lilitan zigzag sekunder pada kaki inti yang sama dapat saling menghilangkan atau memperlemah. Sehingga dari selisih arus fasa lilitan sekunder yang diinduksikan ke lilitan delta primer menjadi lebih kecil. Arus induksi di sisi primer tersebut sudut fasanya sama atau sefasa dengan arus urutan nol dan bersirkulasi di lilitan delta primer sama seperti arus harmonisa urutan ketiga.

Dari penjelasan tersebut, bahwa aliran arus harmonisa yang dihasilkan oleh beban nonlinier (yang mengalir balik dari beban ke sumber melalui transformator) dapat diperkecil dengan disirkulasikan di delta primer sedangkan arus fasa beban komponen fundamental tetap mengalir ke beban, untuk melayani beban yang terhubung ke transformator.

Dari ketiga arus beban pada masing-masing 1/3 bagian lilitan sekunder membangun fluks maknet di inti yang sama, dimana sudut fasanya berbeda 180 derajat listrik. Dengan demikian, fluks maknet diantara tiga bagian lilitan saling mengurangi dan terjadi penghapusan sinyal-sinyal frekwensi harmonisa. Karena amplitudo tiga arus beban di 1/3 bagian lilitan fasa sekunder adalah 1/2 lebih kecil dari amplitudo arus lilitan fasa [11, 13], maka resultan fluks ggm arus harmonisa ketiga dan triplen di inti menjadi lebih kecil. Hasilnya, jumlah aliran energi elektromagnetik distorsi harmonisa arus dari inti ke lilitan sekunder dapat diperkecil. Dengan demikian, arus fasa lilitan delta primer transformator mengandung sedikit komponen harmonisa ketiga dan triplen yang diharapkan tidak muncul di gelombang sinusoidal arus fasa di saluran sumber.

### 3. Deskripsi Masalah.

Masalah yang dibahas pada tulisan ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Beban nonlinier satu fasa masing masing disuplai melalui transformator Dz dan transformator Dz sekunder lilitan ditransposisi. Beban nonlinier menginjeksikan arus harmonisa ke sisi sekunder transformator. Untuk itu ditentukan besarnya injeksi arus harmonisa ketiga dilihat dari sisi primer transformator atau sisi system. Kemudian, besarnya injeksi arus harmonisa ini dibandingkan dengan besar injeksi arus harmonisa ketika tiga beban nonlinier satu fasa dihubungkan ke transformator Dz, seperti Gambar 4.



**Gambar 4.** Suplai beban nonlinier satu fasa melalui transformator Dz.

Penelitian ini menyelidiki pengaruh transformator Dz sekunder ditransposisi dalam mengatasi kenaikan arus harmonisa yang bersirkulasi ditinjau dari sisi utility saluran sumber.

Dalam penelitian ini, model sistem daya adalah sumber tegangan sinusoidal ideal. Impedansi dan tegangan harmonisa sistem daya diabaikan. Transformator Dz sekunder lilitan ditransposisi terdiri dari lilitan delta di primer dan tiga bagian lilitan identik silang simetris (ditransposisi) di sekunder. Sedangkan pada transformator Dz terdapat lilitan delta di primer dan dua lilitan di sekunder. Rasio lilitan transformator Dz sekunder ditransposisi  $k_1 = (N_1/n); n = (N_2/2)$  dan transformator Dz  $k_1 = (N_1/n)$  dimana  $n = (N_2/\sqrt{3})$ . Impedansi bocor kedua transformator Dz diperkirakan 2%. Impedansi maknetisasi diatur 1000 perunit. Beban nonlinier dilengkapi penyearah AC/DC gelombang penuh. Dalam penelitian investigasi ini kinerja pengaruh penurunan frekwensi harmonisa beban nonlinier pada transformator Dz ditentukan. Kemudian, kandungan harmonisa pada arus primer dibandingkan untuk setiap kondisi pembebanan diantara dua transformator Dz.

#### 4. Pengukuran Harmonisa

Pengaruh dari harmonisa sistem pada pembebanan transformator Dz dapat diketahui dari sirkulasi arus harmonisa ketiga dan triplen yang

disebabkan beban nonlinier. Sirkulasi arus harmonisa beban ini meningkatkan rugi daya pada tranformator Dz, memperbesar kenaikan temperature kerja dan menurunkan kapasitas daya output dan akhirnya dapat menyebabkan kerusakan transformator. Pengukuran arus harmonisa dilakukan pada sisi primer atau sumber saat kondisi pembebanan seimbang dan tidak seimbang beban nonlinier dari transformator Dz dan Dz sekunder ditransposisi. Dari hasil pengukuran kemudian dianalisa untuk mengetahui distribusi spektrum frekwensi arus harmonisa, arus harmonisa (THD arus) yang dieliminasi atau diturunkan, dan harga rms arus fasa beban ditinjau dari sisi primer atau saluran sumber.

Untuk mengukur distorsi harmonisa yang dihasilkan dari beban nonlinier, maka digunakan sumber tegangan tiga fasa empat kawat 380; transformator Dz 1250 VA, 380 V/6 x 55 V, 50 Hz; dan alat ukur Power Quality Analyzer. Power Quality Analyzer adalah alat yang dapat mengukur tegangan dan arus harmonisa sesuai dengan urutan harmonisanya. Untuk pembebanan pada kondisi seimbang masing-masing terminal tegangan output fasa sekunder dibebani 450 Volt-Amper. Sedangkan, pada kondisi pembebanan tidak seimbang terminal tegangan output fasa sekunder dibebani 360, 270, dan 270 Volt-Amper.

##### 4.1. Kasus 1: Beban Satu Fasa Seimbang

Untuk beban satu fasa seimbang maka transformator Dz mendistribusikan harmonisa ke setiap fasanya, transformator Dz merasakan beban sebagai beban tiga fasa pada sistem daya. Dengan demikian, kandungan harmonisa arus (THD arus) di arus fasanya lebih sedikit. Hasil percobaan menunjukkan penghambatan harmonisa untuk masing masing penggunaan transformator Dz dan kandungan harmonisa arus primer seperti tabel 1.

**Table 1.** Harmonisa Kondisi Beban Seimbang dengan Transformator Dz dan Dz Sekunder Ditransposisi.

Urutan-H	Dz			Dz Sekunder Ditransposisi		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3
1	1,912	1,978	1,750	1,73	1,757	1,624
3	0,166	0,086	0,080	0,089	0,026	0,072
5	0,606	0,699	0,617	0,395	0,492	0,482
7	0,365	0,320	0,279	0,115	0,092	0,108
9	0,049	0,049	0,022	0,024	0,036	0,011
11	0,046	0,091	0,095	0,018	0,066	0,058
13	0,030	0,045	0,082	0,044	0,032	0,052
15	0,012	0,012	0,011	0,009	0,012	0,008
17	0,023	0,020	0,030	0,015	0,011	0,02
19	0,010	0,001	0,005	0,015	0,007	0,018
21	0,008	0,012	0,006	0,007	0,003	0,007
$I_{RMS}$	2,028	2,102	1,833	1,791	1,84	1,72
THD <sub>1</sub> (%)	38,24	39,6	39,72	24,58	28,95	31,18

Dari Tabel 1 dapat ditunjukkan harmonisa ketika beban seimbang dihubungkan ke panel sumber melalui transformator Dz menghasilkan resultan harmonisa (THD I) frekwensi urutan ketiga, kelima, ketujuh, dan triplen yang dapat diredam sebesar 40%. Table 1 juga menunjukkan pengaruh transformator Dz sekunder ditransposisi dapat menurunkan THD arus hingga 30 %.

**4.2. Kasus 2: Beban Satu Fasa Tidak Seimbang**

Dalam kasus ini, studi karakteristik transformator Dz membatasi harmonisa arus pada beban satu fasa yang tidak seimbang. Terdapat N beban nonlinier yang terdistribusi diantara ketiga fasa sisi sekunder transformator Dz. Untuk menyatakan keseimbangan beban pada distribusi beban ini didefinisikan faktor keseimbangan beban sebagai berikut:

$$k = \frac{L_1}{L_1 + L_2 + L_3} \tag{7}$$

Dimana  $L_1, L_2, L_3$  dan adalah besarnya beban yang disuplai sisi sekunder 1, 2, dan 3 transformator Dz. Nilai factor keseimbangan adalah dari 0 sampai 1. Meskipun beban berbeda kapasitas dayanya tetapi beban memiliki karakteristik harmonisa yang sama.

**Table 2.** Harmonisa Kondisi Beban Tidak Seimbang dengan Transformator Dz dan Dz Sekunder Ditransposisi

Urutan-H	Dz			Dz Sekunder Ditransposisi		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3
1	1,211	1,446	1,124	1,179	1,297	0,943
3	0,231	0,221	0,025	0,134	0,109	0,078
5	0,375	0,524	0,433	0,318	0,354	0,342
7	0,280	0,276	0,219	0,128	0,098	0,095
9	0,042	0,053	0,010	0,024	0,037	0,013
11	0,075	0,076	0,091	0,073	0,081	0,051
13	0,018	0,022	0,015	0,033	0,027	0,023
15	0,005	0,009	0,008	0,012	0,015	0,007
17	0,014	0,005	0,009	0,005	0,014	0,021
19	0,018	0,013	0,014	0,01	0,009	0,011
21	0,008	0,011	0,008	0,007	0,009	0,005
$I_{RMS}$	1,295	1,580	1,220	1,248	1,355	1,037
THD <sub>1</sub> (%)	43,78	44,28	44,2	33,53	30,48	39,17

Tabel 2 menunjukkan harmonisa ketika beban tidak seimbang dihubungkan ke panel sumber melalui transformator Dz menghasilkan resultan harmonisa (THD I) frekwensi urutan ketiga, kelima, ketujuh, dan triplen yang dapat diredam sebesar 44 %. Table 1 juga menunjukkan pengaruh transformator Dz sekunder ditransposisi menunjukkan bahwa dapat meredam hingga sebesar 39 %.

Penggunaan transformator Dz sekunder ditransposisi yang memiliki nilai impedansi induktif lebih besar dari pada Dz konvensional maka transformator diharapkan memiliki kemampuan mengeliminasi harmonisa triplen dan menurunkan kandungan harmonisa urutan lainnya [17, 18]. THD arus turun dari 40 % menjadi 31 % pada kondisi pembebanan seimbang, dan dari 44% menjadi 39% pada kondisi tidak seimbang. Arus fasa total juga diturunkan menjadi 1,8 Amper dari 2 Amper dan 1,2 Amper dari 1,4 Amper masing-masing pada kondisi seimbang dan tidak seimbang. Dengan semakin kecilnya arus rms primer seiring dengan semakin kecilnya THD arus berarti penggunaan transformator Dz sekunder tiga lilitan silang simetris terjadi peningkatan pada kapasitas daya system sebesar 10 %.

Untuk menganalisis kinerja transformator Dz pada operasi pembebanan dilakukan dengan menggunakan data total distorsi harmonisa arus primer dari hasil pengukuran kondisi pembebanan seimbang dan tidak seimbang beban nonlinier. Adapun hasilnya dapat seperti pada Tabel 3 untuk masing-masing jenis transformator Dz dan kondisi pembebanan. Nilai rms arus fasa di primer atau sumber yang dapat diseimbangkan dan THD arus primer yang mampu diredam masing-masing transformator Dz, seperti pada table 3 berikut.

**Tabel 3.** Rekapitulasi Arus RMS, THD Arus.

Tipe Transformator	Kondisi Pembebanan	$I_{RMS}$ (Amper)	THD I (%)
Dz	Seimbang	2,0	40
	Tidak Seimbang	1,4	44
Dz-Sekunder Ditransposisi	Seimbang	1,8	31
	Tidak Seimbang	1,2	39

Dari Tabel 3 diketahui, meskipun kemampuan transformator Dz membatasi harmonisa cukup baik tetapi nilai factor dayanya masing-masing 3,4% dan 1,8% lebih kecil dari Dz sekunder ditransposisi pada pembebanan seimbang dan tidak seimbang. Hal ini, selain membuktikan prinsip penghambat fasa dengan prinsip menghubungkan seri setiap 1/3 lilitan di tiga kaki inti transformator Dz sekunder ditransposisi sehingga polaritas ggm saling berlawanan arah atau saling melemahkan. Tetapi juga, membuktikan bahwa transformator Dz sekunder ditransposisi memiliki impedansi dalam lebih besar. Dengan membagi lilitan perfasa secara geometris menjadi tiga bagian simetris menyebabkan lintasan elektrik dan maknetik lebih panjang sehingga nilai relatif impedansi lilitan transformator lebih besar. Dan, kelebihan karakteristik elektrik dan maknetik rangkaian impedansi dalam transformator Dz sekunder ditransposisi menghambat aliran energy elektromagnetik harmonisa arus dari beban ke saluran sistem distribusi daya listrik. Hasilnya, nilai arus rms fasa sisi primer atau sisi system distribusi yang mensuplai beban menjadi lebih kecil dibandingkan dengan arus rms pada transformator Dz yang sudah ada.

Nilai THD arus Dz sekunder ditransposisi lebih rendah menunjukkan bentuk gelombang resultan induksi ggm fasa semakin mendekati bentuk gelombang sinusoidal murni. Dengan memperbaiki factor daya sistem distribusi dengan transformator maka arus beban yang melalui transformator dapat diturunkan, berarti semakin banyak jumlah beban yang dapat dilayani. Dalam praktiknya, upaya memperbaiki efisiensi dengan membatasi THD arus yang dapat menyebabkan harga rms arus lebih besar dengan menggunakan transformator Dz sekunder ditransposisi lebih murah dibandingkan dari pada mengganti transformator Dz dengan kapasitas daya yang lebih besar.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil pengukuran dapat dilihat konfigurasi lilitan Dz sekunder ditransposisi (tiga bagian lilitan silang simetris) memiliki kemampuan kombinasi menghambat harmonisa secara elektrik maupun maknetik, yaitu dengan menaikkan nilai impedansi induktif rangkaian dan menyeimbangkan induksi ggm di inti. Kombinasi kemampuan mengisolasi ini menurunkan kandungan arus frekwensi harmonisa sehingga tingkat distorsi harmonisa arus (THD arus) di arus rms di setiap fasa primer atau arus di saluran sumber menjadi turun. Metode ini dapat diterapkan untuk transformator daya di gardu distribusi dan pusat industry yang banyak terdapat beban nonlinier dan menjamin menurunkan dampak pembebanan tidak seimbang.

Transformator Dz sekunder ditransposisi telah diterapkan dan diuji pada beban nonlinier dengan THD arus lebih besar 75 % menunjukkan hasil memuaskan mengatasi distorsi harmonisa arus ini mampu menurunkan THD arus hingga 31% dan 40% masing-masing untuk kondisi beban seimbang dan tidak seimbang.

Dalam perbandingan diantara transformator Dz pada kapasitas beban yang sama, rancangan transformator Dz sekunder tiga lilitan ditransposisi telah menunjukkan efisiensi dan factor daya lebih baik.

Simulasi percobaan transformator pada kondisi pembebanan seimbang dengan beban nonlinier disampaikan pada tulisan ini. Pada saluran menuju ke sumber dari sisi delta primer menunjukkan besaran komponen frekwensi triplen arus primer lebih kecil dibandingkan dengan arus beban dan arus netral. Berarti penggunaan transformator delta-zigzag dengan tiga lilitan di sisi sekunder mampu membatasi distorsi harmonisa arus secara bermakna di saluran sistem daya listrik modern.

Didapatkan bahwa arus netral sangat besar meskipun di sisi sekunder transformator melayani beban yang terdistribusi merata diantara fasa-fasanya. Arus netral tersebut, yang didominasi komponen harmonisa kelipatan tiga (triplen: 3, 9, 15...), mengalir diantara sisi sekunder transformator dan saluran fasa-fasa beban, tidak menyebar ke sisi sumber.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti yang telah membiayai penelitian ini melalui anggaran Penelitian Tahun Akademik 2005/2006 sampai makalah ini dapat dipublikasikan.

### 6. Daftar Pustaka

1. F.S. Prabhakara, Robert L. Smith, Ray P. Stratford, INDUSTRIAL AND COMMERCIAL POWER SYSTEMS HANDBOOK, McGraw-Hill Companies, 1996.
2. J. Desmet, I.Sweertvaegher G. Vanalme, K. Stockman, R. Belmans, "Analysis of the neutral conductor current in a three phase supplied network with non-linear single phase loads", IEMDC/IEEE Conf. MIT, Cambridge, Massachusetts, USA, 17-21 June, electronic proc, hal. 2.
3. Johan Driesen, David Bartolive, Ronnie Belmans, "Analysis of the behavior fusing system in the present of non-linear loads", EMDC/IEEE Conf. MIT, Cambridge, Massachusetts, USA, 17-21 June, electronic proc.
4. Zuhail Prof DR. Ir., Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya, Penerbit ITB, Bandung, 1988.
5. Syafrudin Masri1, Che Mat Hadzer "Suatu Survei Kualitas Daya Sistem Distribusi Tenaga Listrik Pada Pusat Komputer", Electric, Control, Communication & Information Seminar 2004 Seminar Nasional Bidang Energi, Elektronika, Kendali, Telekomunikasi dan Sistem Informasi, Gedung Widyaloka, Universitas Brawijaya Malang, 25-26 Mei 2004, hal. 2.
6. Narrow Bandwidth Technology A PLITRON White Paper, WP050201. Rev 1, May, 2002.
7. Sy-Ruen Huang, Bing-Nan Chen, Harmonic Study of Le Blanc Transformer for Taiwan Railway's Electrification System, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.17 No.2 April 2002.
8. Leon M. Tolbert, Harold D. Hollis, Peyton S. Hale, Jr. "Evaluation Of Harmonic Suppresion Devices" IEEE IAS Annual Meeting, Oct. 6-10, 1996, San Diego, CA, pp. 2340-2346
9. M.Kostenko, L. Piotrovsky, Electrical Machines Vol. I Direct Current Machines And Transformer, MIR Publishers, Moscow 1968
10. Hutauruk, T.S. "Transmisi Daya Listrik" Erlangga, Jakarta, 1993.
11. H. K. Høidalen, R. Sporild, Using Zigzag Transformers with Phase-shift to reduce Harmonics in AC-DC Systems, Presented at the International Conference on Power Systems Transients (IPST'05) in Montreal, Canada on June 19-23, 2005 Paper No. IPST05 44.
12. Cadence Design Systems, Inc, PSpice® User's Guide includes PSpice A/D, PSpice A/D Basics, and PSpice Product Version 15.7 July 2006.
13. J. Arrillaga, B.C. Smith, N.R. Watson, A.R. Wood, Power System Harmonic Analysis, Wiley, 1997.

# Evaluasi Kinerja Forward Error Correction pada Mobile WiMAX/IEEE 802.16e

Muhammad Daud Nurdin<sup>1,2</sup> Andriyan Bayu Suksmo<sup>1</sup> Hendrawan<sup>1</sup>  
Sugihartono<sup>1</sup> dan Deni Hamdani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesa 10 Bandung 40132

<sup>2</sup>Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh, Aceh Utara, NAD  
E-mail: syechdaud@yahoo.com

## Abstract

*In this paper the broadband wireless access system provided by the IEEE 802.16 wireless MAN air interface with its amendment to mobile users (IEEE 802.16e) is addressed. The computer simulation was used to evaluate the performance of forward error correction (FEC). We especially provide performance results for two four FEC schemes intended for IEEE 802.16e, namely convolutional codes (CC) and low-density parity-check (LDPC) codes. We exclusively consider data transmission in the downlink based on scalable OFDMA using channel model of ITU-R Recommendation M.1225.*

**Keywords:** IEEE 802.16e, convolutional codes, LDPC codes.

## Abstrak

*Tulisan ini menyajikan evaluasi sistem broadband wireless access yang didefinisikan oleh Standar IEEE 802.16 wireless MAN air interface berikut amandemennya (IEEE 802.16e) yang dimaksudkan untuk mobile user. Evaluasi dilakukan dengan simulasi komputer untuk menguji kinerja forward error correcting (FEC). Kode FEC yang dievaluasi adalah kode-kode yang didefinisikan pada Standar IEEE 802.16e, khususnya kode konvolusi (CC) dan kode low-density parity-check (LDPC). Di sini hanya mempertimbangkan transmisi data downlink berbasis pada scalable OFDMA pada kanal Rekomendasi ITU-R M.1225.*

**Kata kunci:** IEEE 802.16e, kode konvolusi, kode LDPC.

## 1. Pendahuluan

Standar telekomunikasi IEEE 802.16 [1] memimpikan teknologi akses broadband wireless sebagai suatu teknik yang menyediakan broadband wireless access (BWA) last mile dalam suatu jaringan metropolitan area network (MAN). Kinerja dan layanan-layanan tersebut hendaknya sebanding atau lebih baik daripada DSL tradisional, layanan-layanan kabel atau T1/E1 leased line. Khususnya di daerah-daerah di luar jangkauan DSL dan kabel, IEEE 802.16 dapat memberikan solusi akses broadband yang efektif-biaya. Istilah WiMAX (worldwide interoperability for microwave access) telah menjadi sinonim

dengan IEEE 802.16, yang memajukan dan mensertifikasi kompatibilitas dan interoperabilitas dari produk-produk broadband wireless.

Dalam release pertamanya 802.16 terfokus pada aplikasi-aplikasi line-of-sight (LOS) dalam jangkauan frekuensi berizin 10-66 GHz berdasar kan transmisi single carrier (WirelessMAN-SC). Selanjutnya, pada amandemen yang pertama dimuatkan aplikasi-aplikasi non-line-of-sight (NLOS) pada band berizin dan band tanpa izin dalam jangkauan frekuensi 2-11 GHz (WirelessMAN-SCa). Untuk memenuhi persyaratan solusi biaya rendah dalam lingkungan multipath, orthogonal frequency division

multiplexing (OFDM) dipilih sebagai teknik transmisi layer fisik (WirelessMAN-OFDM). Ini kemudian lebih dikenal sebagai Fixed WiMAX. Berikutnya, untuk mengantarkan kinerja akses broadband wireless yang optimum, dipakai konsep scalable OFDMA (orthogonal frequency division multiple access). Arsitekturnya didasarkan atas scalable bandwidth subchannel yang menggunakan ukuran FFT yang beragam sesuai dengan bandwidth kanal. Dalam Working Group E (IEEE 802.16e) [2], berlangsung evolusi dari IEEE 802.16 yang mengalamatkan aplikasi-aplikasi mobile yang dengan demikian memungkinkan akses broadband secara langsung ke alat-alat portable seperti smartphones, PDA, notebook dan komputer laptop. Inilah yang kemudian populer dengan sebutan Mobile WiMAX.

Penelitian ini terfokus pada downlink layer fisik WirelessMAN-OFDMA dari IEEE 802.16 bersama dengan amandemennya untuk aplikasi mobile yang didefinisikan pada IEEE 802.16e. Untuk forward error correction (FEC) dalam standar IEEE 802.16 WirelessMAN-OFDMA, diajukan tiga skema pengkodean, yaitu convolutional code (CC), block turbo code (BTC) dan convolutional turbo code (CTC). Selanjutnya dalam amandemennya (IEEE 802.16e) ditambahkan kode low-density parity-check (LDPC).

Beberapa penelitian telah dilakukan para peneliti terdahulu untuk mengevaluasi kinerja FEC. Diantaranya evaluasi kinerja FEC pada fixed WiMAX [3] dan kinerja FEC pada mobile WiMAX transmisi uplink pada kanal TU30 [4]. Dalam tulisan ini diajukan hasil evaluasi kinerja FEC pada mobile WiMAX transmisi downlink pada kanal Rekomendasi ITU-R M.1225. Adapun skema FEC yang disimulasikan adalah dua dari empat skema pengkodean yang ada, yakni kode CC dan LCPC. Kode CC sendiri adalah mandatori untuk mobile WiMAX sedangkan kode LDPC adalah optional.

Tulisan ini disusun sebagai berikut: pada bagian 2 akan diberikan suatu tinjauan ringkas layer fisik WirelessMAN-OFDMA dasar untuk downlink. Gambaran terperinci tentang skema-skema FEC disajikan pada bagian 3. Akhirnya, hasil-hasil simulasi untuk kedua skema FEC tersebut diberikan pada bagian 4.

## 2. Tinjauan Sistem

Disini kita mempertimbangkan transmisi downlink yang menggunakan lapisan fisik WirelessMAN-OFDMA yang dispesifikasikan dalam standar IEEE 802.16. Parameter-parameter OFDM yang diasumsikan adalah sebagaimana tersebut pada Tabel 1. Nominal bandwidth BW dianggap sebesar 10 MHz. Dengan menerapkan faktor sampling  $n = 28/25$ , maka menghasilkan frekuensi sampling  $F_s = 11,2$  MHz. Useful symbol time dilambangkan dengan  $T_b$  dan panjang cyclic prefix dengan  $T_g$ , maka fraksi  $G = T_g/T_b$  yang diasumsikan sebesar  $G = 1/8$ .

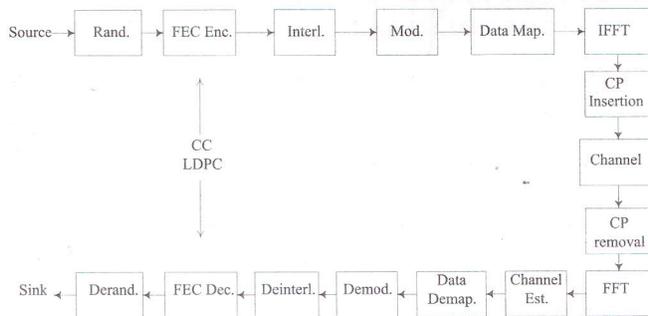
**Tabel 1.** Parameter-parameter sistem

Primitive Parameters		Derived Parameters	
BW	10 MHz	$F_s = \left\lfloor \frac{n \cdot BW}{8000} \right\rfloor \cdot 8000$	11,2 MHz
$N_{FFT}$	1024	$\Delta f = F_s/N_{FFT}$	10,938 kHz
$N_{used}$	840	$T_b = 1/\Delta f$	91,4 $\mu s$
$n$	28/25	$T_g = G \cdot T_b$	11,4 $\mu s$
$G$	1/8	$T_s = T_b + T_g$	102,9 $\mu s$

Diagram blok layer fisik dilukiskan pada Gambar 1. Data biner setelah randomisasi dimasukkan ke dalam FEC encoder. Dalam hal ini, hanya mempertimbangkan convolutional codes (CC) dan kode low-density parity-check (LDPC), yang dilukiskan secara terperinci pada bagian 3. Setelah interleaving, bit-bit tersebut dimasukkan ke dalam modulator. Modulator bertugas memetakan bit-bit terhadap simbol-simbol QPSK. Meskipun standar juga mendefinisikan modulasi 16QAM dan 64QAM, tetapi evaluasi di sini hanya

menggunakan modulasi QPSK. *Data mapper* berikutnya bertanggung jawab terhadap penentuan simbol-simbol termodulasi pada subcarrier-subcarrier. Sesuai dengan standar IEEE 802.16 WirelessMAN-OFDMA, pola alokasi subcarrier khusus digunakan untuk menerangkan kekhususan-kekhususan yang berkenaan dengan downlink OFDMA. Standar ini memberikan apa yang dinamakan metoda alokasi subchannel *PUSC* (partial usage of subchannels). Keluaran data mapper adalah berupa sinyal paralel, yang selanjutnya diinputkan ke IFFT untuk memperoleh sinyal time domain. Berikutnya sinyal time domain ini ditambahkan cyclic prefix untuk mencegah intersymbol interference (ISI).

Kanal diasumsikan merupakan kanal fading multipath time-varian yang memodelkan mobile user dalam skenario NLOS. Yaitu mengadopsi model kanal pada Rekomendasi ITU-R M.1225. Noise penerima dimodelkan melalui proses additive white Gaussian noise (AWGN) yang ditambahkan pada sinyal yang diterima.



**Gambar 1.** Model layer fisik WirelessMAN-OFDMA downlink

Dengan mengasumsikan sinkronisasi yang sempurna, penerima mengekstrak useful symbol time dan oleh sebab itu membuang cyclic prefix. Setelah mendapatkan sinyal domain frekuensi melalui FFT, channel estimator mengestimasi kanal dan melakukan equalisasi dengan 1-tap equalizer. Penerima lalu mengekstrak informasi spesifik user (*data demapping*). Dengan anggapan bahwa delay spread dari kanal lebih kecil daripada

cyclic prefix dan variansi waktu dari kanal pada satu simbol OFDM dapat diabaikan, simbol yang diterima dalam domain frekuensi  $R_i$  diberikan oleh :

$$R_i = H_i X_i + N_i \quad i = 0, \dots, N_{used} - 1.$$

Disini,  $X_i$  adalah simbol yang ditransmisikan,  $H_i$  adalah sampel bernilai kompleks dari fungsi transfer kanal dan  $N_i$  adalah sampel noise bernilai kompleks dalam subcarrier  $i$ . Channel estimator menghitung  $\hat{H}_i$  yang merupakan estimasi faktor kanal nyata  $H_i$ . Dalam uraian berikut ini kita asumsikan pengetahuan tentang fungsi transfer kanal sempurna dan oleh sebab itu, estimasi kanal juga sempurna ( $\hat{H}_i = H_i$ ). Sehingga equalizer 1-tap (zero forcing) menghitung

$$\bar{R}_i = \frac{R_i}{H_i} = X_i + \frac{N_i}{H_i}$$

Simbol-simbol terequalisasi ini diumpungkan ke soft output demodulator yang menghitung log-like ratios (LLRs) untuk setiap bit. Setelah dilakukan deinterleaving maka LLRs tersebut dimasukkan ke dalam FEC decoder yang menggunakan *soft input* ini untuk decoding.

### 3. Forward Error Correction

Dalam uraian berikut ini dijabarkan FEC encoder untuk kode-kode CC dan LDPC yang didefinisikan dalam bagian WirelessMAN-OFDMA dari [1] dan [2].

#### A. Convolutional Code (CC)

Pada bagian WirelessMAN-OFDMA disebutkan bahwa CC adalah satu-satunya skema pengkodean mandatori, sedangkan semua skema pengkodean lainnya seperti LDPC adalah optional. Kode induk CC adalah dengan rate  $R = 1/2$ , convolutional encoder memori  $m = 6$  dengan matriks generator  $G(D) = (1 + D + D^2 + D^3 + D^6 \ 1 + D^2 + D^3 + D^5 + D^6)_{oct}$ . Kata kode dibangkitkan menggunakan metoda tailbiting. Ini

berarti bahwa encoder dimulai dalam keadaan yang sama sebagaimana ia berakhir setelah encoding. Untuk encoder-encoder non-rekursif (seperti di sini), ini amatlah mudah. Shift register pada encoder harus diawali dengan bagian akhir dari deretan informasi karena ini akan merupakan keadaan dimana encoder berakhir setelah pengkodean barisan informasi ini. Untuk decoding kita menggunakan algoritma Viterbi (VA).

Sebagai optional untuk metoda encoding, CC dapat juga diencodekan menggunakan terminasi atau zero-tailing (ZT-CC), dimana encoder dipaksa kembali ke keadaan semua-nol dengan memasukkan deretan nol secukupnya kedalam encoder.

#### B. Kode low-density parity-check (LDPC)

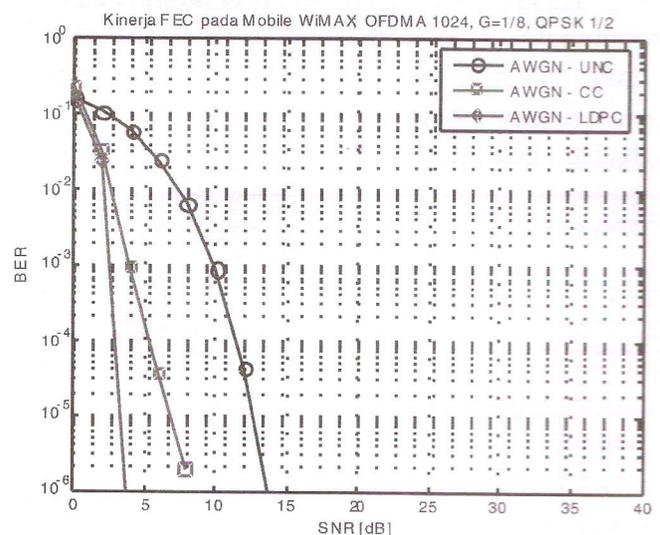
Dengan kode LDPC irregular optional,  $k$  bit informasi sistematis diencodekan menjadi  $n$  bit kode dengan menambahkan  $r = n - k$  parity check bit. Kode LDPC didefinisikan berdasarkan matriks parity check  $\mathbf{H}$  berukuran  $(n - k) \times n$  yang diperluas dari binary base matrix  $\mathbf{H}_b$  berukuran  $r_b \times n_b$ , dimana  $n = z \cdot n_b$  dan  $r = z \cdot r_b$ . Ukuran base matrix  $n_b$  adalah bilangan bulat yakni 24 dan faktor perluasan  $z$  adalah bilangan bulat  $24 \leq z \leq 96$ . Dari nilai-nilai ini kita dapat menghitung panjang kode minimum  $n_{min} = 24 \cdot 24 = 576$  bit dan panjang kode maksimum  $n_{max} = 24 \cdot 96 = 2304$  bit.

Seluruhnya ada lima macam base matrix yang berbeda, satu untuk kode rate  $1/2$ , dua macam untuk kode rate  $2/3$  dan dua macam untuk kode rate  $3/4$ . Elemen-elemen base matrix  $p(i,j)$  adalah berupa “-1” yang menunjukkan suatu penggantian dengan matriks nol berukuran  $z \times z$  atau berupa bilangan-bilangan bulat  $p(i,j) = 0$  yang menunjukkan penggantian dengan matriks permutasi  $z \times z$ . Matriks permutasi menggambarkan circular right shift pada posisi-posisi  $p(i,j)$ . Ini berarti suatu elemen  $p(i,j) = 0$  haruslah diganti dengan matriks identitas  $z \times z$ . Untuk pendekodean kita terapkan belief propagation decoder menggunakan algoritma sum-product.

#### 4. Hasil Simulasi

Dalam uraian berikut di bawah ini disajikan beberapa hasil simulasi. Tailbiting CC diencodekan menggunakan VA decoder. Mengenai LDPC decoder, jumlah maksimum iterasi pendekodean belief propagation dibatasi sampai 10. Simulasi dilakukan untuk kanal Pedestrian A, Pedestrian B, dan Vehicular A, dengan code rate  $1/2$ , panjang kode 576, dan skema modulasi QPSK.

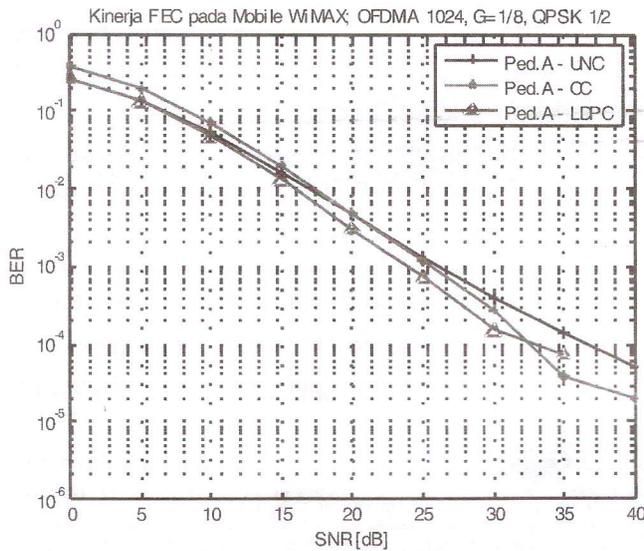
Sebagai acuan, kita awali dengan hasil simulasi untuk kedua skema FEC pada kanal AWGN. Pada Gambar 2 dilukiskan bit error rate (BER) versus signal-to-noise-ratio (SNR). Panjang kode tersebut adalah  $N = 576$  bit, code rate adalah  $R = 1/2$  dan skema modulasinya adalah QPSK.



**Gambar 2.** Perbandingan FEC, BER, AWGN,  $R = 1/2$ ,  $N = 576$

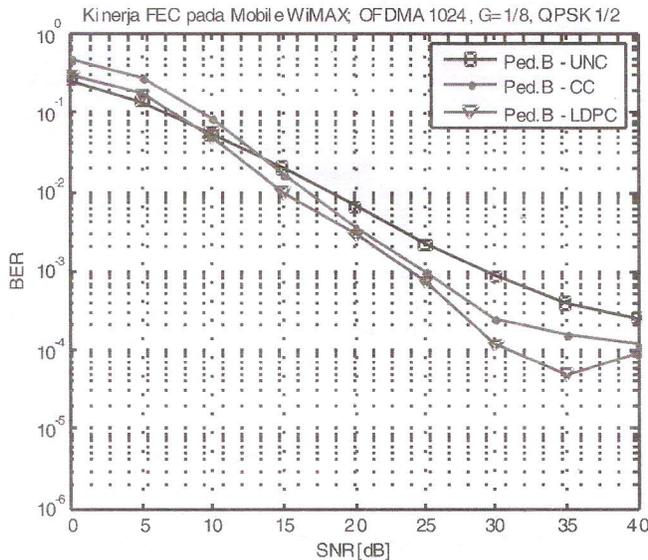
Dapatlah dilihat bahwa CC berkinerja lebih buruk dibanding LDPC. Terlihat kinerja LDPC lebih bagus sekitar 4,5 dB dibanding CC, dan memberikan coding gain 10 dB terhadap transmisi uncoded pada BER  $210^{-6}$ . Sementara CC hanya memberikan coding gain 5,5 dB.

Berikut ini berturut-turut disajikan hasil simulasi evaluasi kinerja CC dan LDPC dengan code rate  $1/2$  pada kanal Pedestrian A, Pedestrian B, dan Vehicular A.



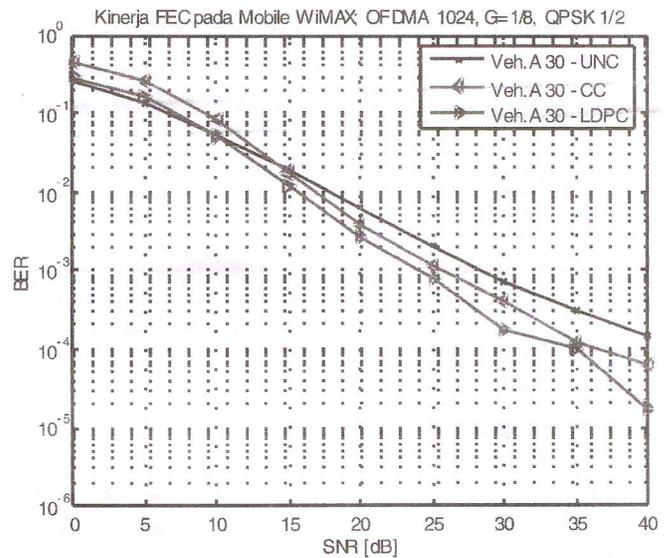
Gambar 3. Kinerja FEC pada kanal Ped. A

Hasil simulasi pada kanal Pedestrian A ditampilkan pada Gambar 3 di atas. Simulasi dilakukan dengan asumsi user bergerak dengan kecepatan 3 km/jam.



Gambar 4. Kinerja FEC pada kanal Ped. B

Berikut hasil simulasi pada kanal Pedestrian B disajikan pada Gambar 4. Seperti halnya pada kanal Pedestrian A, simulasi pada kanal Pedestrian B ini juga dilakukan dengan asumsi user bergerak dengan kecepatan 3 km/jam.



Gambar 5. Kinerja FEC pada kanal Veh. A Sedangkan hasil simulasi pada kanal Vehicular A ditampilkan pada Gambar 5 di atas. Dalam hal ini, simulasi dilakukan dengan asumsi user bergerak dengan kecepatan 30 km/jam.

### 5. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan simulasi untuk menguji kinerja kode CC dan kode LDPC yang didefinisikan dalam Standar IEEE 802.16e pada kanal Rekomendasi ITU-R M.1225. Pengujian dilakukan pada layer fisik WirelessMAN OFDMA dengan ukuran FFT 1024, code rate 1/2, panjang kode 576, dan modulasi QPSK. Dari hasil simulasi, didapat bahwa kinerja kedua kode tidak jauh berbeda terutama pada kanal Pedestrian A. Meskipun secara umum kinerja kode LDPC sedikit lebih bagus daripada kode CC.

### Daftar Pustaka

1. IEEE Std 802.16-2004, *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, 1 October, 2004.
2. IEEE Std 802.16e-2005 and IEEE Std 802.16-2004/Cor 1-2005 (Amendment and Corrigendum to IEEE Std 802.16-2004), *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area*

- Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1*, 28 February 2006.
3. M.A. Hasan, *Performance Evaluation of WiMAX/IEEE 802.16 OFDM Physical Layer*, M.Sc. Thesis in Helsinki University of Technology, 2007.
  4. B. Baumgartner, M. Reinhardt, G. Richter, and M. Bossert, "Performance of Forward Error Correction for IEEE 802.16e," in *Proc. of International OFDM Workshop*, Aug. 2005.
  5. D.J.C. MacKay, *Information Theory, Inference, and Learning Algorithms*, Cambridge University Press, 2003.
  6. S. Lin and D.J. Costello, *Error Control Coding: Fundamentals and Applications*, 2<sup>nd</sup> Edition, Pearson Prentice Hall, 2004.
  7. C.E. Shannon, "A Mathematical Theory of Communication," *Bell System Technical Journal*, vol. 27, pp. 379-423, 1948.
  8. R.G. Gallager, *Low-Density Parity-Check Codes*, MIT Press, Cambridge, MA, 1963.
  9. H. Harada and R. Prasad, *Simulation and Software Radio for Mobile Communications*, 2001.
  10. J.G. Andrews, A. Ghosh, and R. Muhamed, *Fundamentals of WiMAX*, Prentice Hall, 2007.
  11. L. Nuaymi, *WiMAX: Technology for Broadband Wireless Access*, John Wiley & Sons, 2007.

# *Image Processing Pemisahan Object dari Background pada Identifikasi Tingkat Kematangan Buah Pisang Mas*

Dayat Kurniawan, Ros Sariningrum

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI

Jl. Sangkuriang Komplek LIPI Bandung 40135, telp. 2504661, fax. 2504659

Email: dayat@ppet.lipi.go.id

## Abstract

*Banana is largely consumed by human because it contains nutrients such as sugar. Knowledge of the amount sugar contained is useful, for example it allows the estimation of delivery time while minimizing the rotting risk. Banana has 8 ripeness levels according to sugar amount contained. Sugar amount is related to banana skin color. High sugar amount is indicated by yellow skin while low sugar amount is indicated by green. Prior to ripeness level identification by neural network program, it is necessary to do digital image processing, in order to differentiate banana color from the background. Digital image processing methods used are contrast enhancement, thresholding and logic process. Results show that the developed program can extract banana color from the background. Different ripeness levels have different values which are between 90 and 120.*

**Key words :** *sugar content, skin color, ripeness, image processing.*

## Abstrak

*Buah pisang banyak dikonsumsi oleh manusia karena banyak mengandung zat gizi seperti zat gula. Dengan mengetahui kandungan zat gula tersebut, banyak manfaat yang dapat diambil, misalnya dapat memperkirakan waktu pengiriman pisang ke suatu daerah agar tidak busuk. Buah pisang memiliki delapan level tingkat kematangan jika dihubungkan dengan kandungan gula. Kandungan gula dapat dikaitkan dengan perubahan warna kulit buah pisang. Jika kandungan gulanya tinggi warna kulit pisang menjadi lebih kuning dan jika kandungan gulanya rendah warna kulit pisang menjadi hijau. Sebelum melakukan proses identifikasi tingkat kematangan buah pisang menggunakan jaringan syaraf tiruan, hal yang perlu dipersiapkan pertama kali adalah memisahkan buah pisang dengan background-nya berdasarkan warna. Pengolahan citra digital menggunakan beberapa metode dengan urutan kontras, pengambangan dan proses logika. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa program yang dibuat dapat memisahkan buah pisang dari background-nya. Tingkat kematangan yang berbeda mempunyai nilai batas yang berbeda. Nilai batas tersebut berkisar antara 90 dan 120.*

**Kata kunci :** *kandungan gula, warna kulit, level kematangan, pengolahan citra.*

## 1. Pendahuluan

Jenis pisang yang berbeda mengandung gizi yang berbeda pula. Rata-rata setiap 100 gram daging pisang mengandung air sebanyak 70 g, protein 1.2 g, lemak 0.3 g, pati 27 g dan serat 0.5 g. Buah pisang kaya akan potasium sebanyak 400 mg/100 g dan merupakan bahan makanan untuk diet karena mengandung kolesterol, lemak serta garam rendah. Buah pisang juga kaya akan vitamin C, B<sub>6</sub>, vitamin A, *thiamin*, *riboflavin* dan *niacin*.

Energi yang terkandung setiap 100 g sebanyak 275-465 kJ[1]. Pada jasa pengiriman buah pisang ke suatu daerah, para pengusaha tidak mempertimbangkan kematangan buah sehingga buah akan busuk saat tiba di tempat tujuan. Dengan mengetahui tingkat kematangan buah pisang, maka para pengusaha dapat memilih buah pisang yang tepat dengan perkiraan waktu yang tepat sehingga buah tidak akan busuk saat sampai ke tujuan. Adapun kriteria kematangan pisang disajikan dalam tabel 1[1].

Agar tingkat kematangan buah pisang dapat diklasifikasikan berdasarkan kadar gula dan kandungan pati maka citra dari buah pisang harus diolah terlebih dahulu. Proses pengolahan citra meliputi peningkatan *level* kontras, pengambangan dan operasi logika. Proses pengolahan citra di atas bertujuan untuk memisahkan buah pisang dari *background*.

**Tabel 1.** Kriteria tingkat kematangan pisang

Tingkat Kematangan	Warna Kulit Buah	Persen Pati	Persen Gula
1	Hijau	20	0.5
2	Hijau Mulai Kuning	18	2.5
3	Hijau lebih banyak dari Kuning	16	4.5
4	Kuning lebih banyak dari Hijau	13	7.5
5	Kuning lebih banyak namun ujung buah masih hijau	7	13.5
6	Seluruhnya kuning	2.5	18.0
7	Kuning sedikit bintik coklat	1.5	19.0
8	Kuning dengan banyak bintik coklat	1.0	19.0

Berdasarkan pada latar belakang masalah, maka dapat dibuat rumusan masalah yaitu bagaimana membuat program *image processing* yang dapat memisahkan buah pisang dari *background*-nya.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Peningkatan Kontras

Citra dengan kontras rendah mempunyai nilai keabuan yang tidak terlalu berbeda untuk semua titik, di mana titik tergelap dalam citra tidak mencapai hitam pekat dan titik paling terang dalam citra tidak berwarna putih cemerlang. Dengan meningkatkan kontras maka titik yang cenderung gelap akan menjadi lebih gelap dan yang cenderung terang menjadi lebih terang[2,3,4]. Peningkatan

kontras dilakukan dengan rumus:

$$Ko = \frac{Ki - Ki_{min}}{Ki_{max} - Ki_{min}} * 255$$

Dimana  $Ki$  = nilai *pixel* yang ingin dirubah  
 $Ki_{min}$  = nilai terendah *pixel*  
 $Ki_{max}$  = nilai tertinggi *pixel*

### 2.2 Pengambangan

Pengambangan digunakan untuk mengubah citra dengan format skala keabuan ke citra biner yang hanya memiliki dua nilai yaitu hitam (0) dan putih (1). Operasi pengambangan ada dua cara yaitu satu batas pengambangan dan dua batas pengambangan. Satu batas pengambangan hanya memiliki satu nilai batas ambang. Fungsi yang digunakan adalah

$$Ko = \begin{cases} 0, & \text{jika } Ki < \text{ambang (1 = putih)} \\ 1, & \text{jika } Ki \geq \text{ambang (0 = hitam)} \end{cases}$$

Dua batas pengambangan memiliki dua nilai batas ambang yaitu ambang bawah dan ambang atas. Dilakukan untuk menampilkan titik-titik yang mempunyai rentang nilai skala keabuan tertentu. Fungsi yang digunakan adalah

$$Ko = \begin{cases} 0, & \text{ambang bawah} \leq Ki \leq \text{ambang atas} \\ 1, & \text{lainnya[4]} \end{cases}$$

### 2.3 Operasi Logika

Operasi logika adalah operasi memanipulasi setiap bit yang terdapat dalam setiap *pixel*. Beberapa operasi logika yang dapat diterapkan pada dua atau lebih citra, yaitu AND, OR, XOR, SUB dan NOT. Adapun tabel dari operasi di atas dapat dilihat dalam Tabel 2[4].

**Tabel 2.** Operasi Logika

A	B	A AND B	A OR B	A XOR B	NOT A
0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	1	1
1	0	0	1	1	0
1	1	1	1	0	0

Dari Tabel 2, nilai 1 dan 0 merupakan bilangan biner 1 bit. Pada operasi AND hasilnya akan 0 jika salah satu atau kedua nilai A dan B berlogika 0 dan akan berlogika 1 jika A dan B berlogika 1. Pada operasi OR hasilnya akan 1 jika salah satu atau kedua nilai A dan B berlogika 1 dan akan berlogika 0 jika A dan B berlogika 0. Pada operasi XOR hasilnya akan 0 jika nilai dari A dan B berlogika sama dan akan berlogika 1 jika A dan B berlogika tidak sama. Operasi NOT adalah operasi pembalik di mana hasil merupakan kebalikan dari input. Operasi SUB mirip dengan operasi pengurangan, dengan fungsi :

$$A \text{ SUB } B = \begin{cases} A - B, & \text{jika } A \geq B \\ 0, & \text{jika } A < B \end{cases}$$

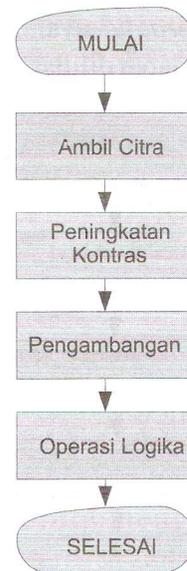
## 2.4 Histogram Citra

*Histogram* merupakan suatu fungsi yang direpresentasikan melalui grafik. *histogram* menunjukkan jumlah titik yang ada dalam suatu citra untuk setiap tingkat keabuan. Sumbu X menunjukkan tingkat warna, sumbu Y menunjukkan frekuensi kemunculan titik. Histogram dapat digunakan sebagai penentuan parameter digitasi, pemilihan batas ambang, dan pengenalan atau pencocokan citra[4].

## 3. Metodologi Penelitian

Penelitian pra pengolahan citra pada identifikasi tingkat kematangan buah pisang emas merupakan bagian dari penelitian dengan judul Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dengan Metode *Learning Vector Quantization* (LVQ) dan Alih Ragam Gelombang Singkat pada Identifikasi Tingkat Kematangan Buah Pisang Berbasis PC. Metode yang dilakukan dalam penelitian secara keseluruhan adalah melakukan uji gula dan pati, membuat *prototype*, membuat *hardware* elektronik, membuat perangkat lunak yang terdiri dari program *interface*, program pengolahan citra digital, dan program jaringan syaraf tiruan. Makalah yang ditulis ini hanya mengfokuskan

masalah pada pembuatan perangkat lunak pengolahan citra. Program pengolahan citra menggunakan Delphi 7. Flowchart dari proses pengolahan citra yang dapat dilihat dalam Gambar 1.

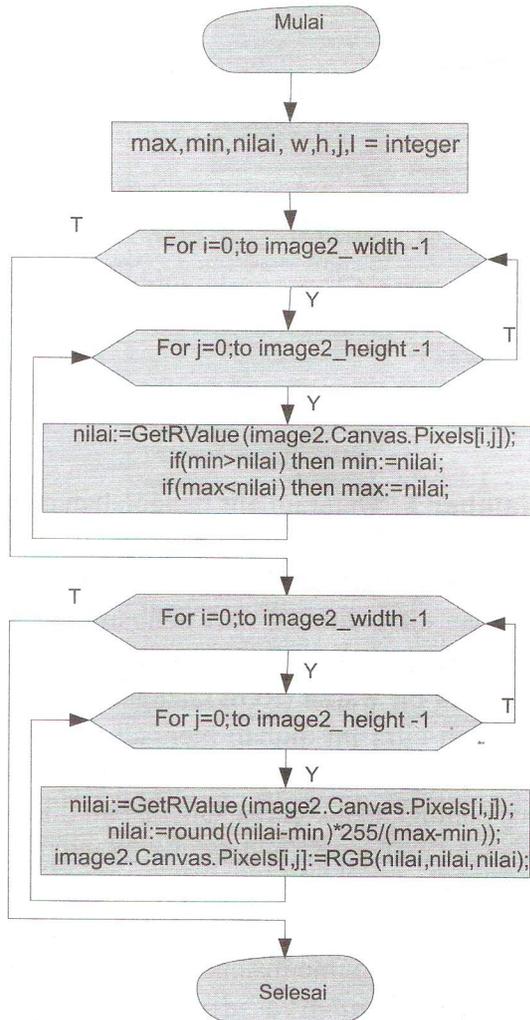


Gambar 1 : Diagram alir pengolahan citra

Dari Gambar 1 dapat dijelaskan bahwa pengolahan citra dimulai dari pengambilan citra. Citra digital diperoleh dari hasil foto kamera yang memiliki 24 bit warna (RGB) dengan format jpg. Format dari citra ini diubah menjadi format bmp supaya bisa diolah. Langkah berikutnya adalah operasi peningkatan kontras. Operasi ini dilakukan untuk mendapatkan perbedaan warna yang cukup jelas antara objek dengan *background*. Citra hasil operasi ini adalah citra aras keabuan 24 bit (nilai RGB sama). Untuk memisahkan citra buah pisang dari *background*-nya digunakan operasi pengambangan dengan batas ambang tunggal yang dapat diatur nilainya dari 0 255. Citra hasil operasi ini adalah citra yang tiap *pixel*-nya hanya mempunyai nilai 0 atau 1. Sedangkan untuk mendapatkan citra warna buah pisang yang sudah terpisah dari *background*-nya digunakan operasi logika yaitu logika OR. Operasi ini dilakukan dengan cara citra hasil operasi pengambangan di OR-kan dengan citra aslinya.

### 3.1 Peningkatan Kontras

Peningkatan kontras digunakan untuk mendapatkan warna *pixel* yang gelap semakin gelap dan warna *pixel* yang terang semakin terang sehingga objek memiliki warna yang terlihat jelas berbeda dari *background*-nya. Algoritma dari program yang dibuat dapat dilihat dalam Gambar 2.



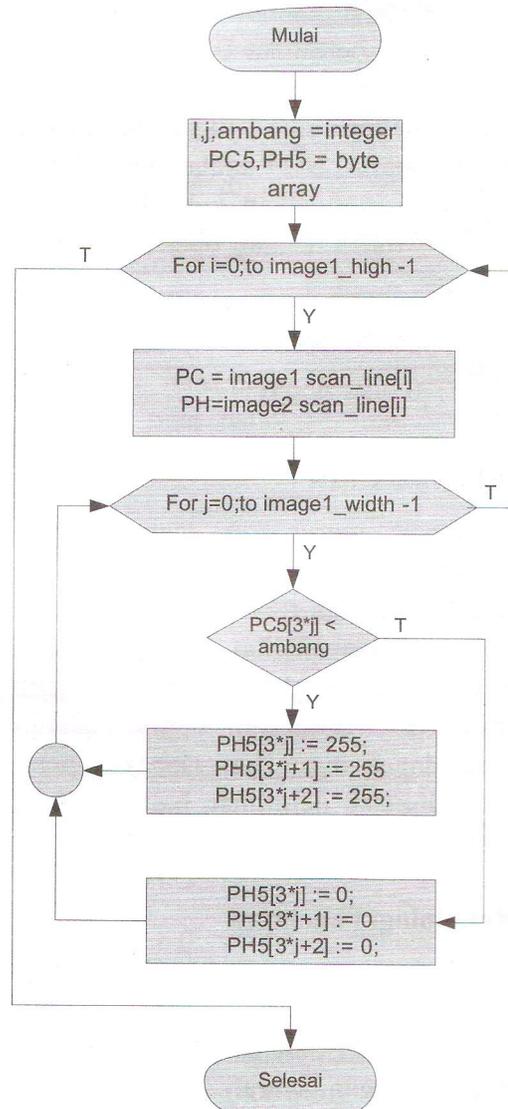
Gambar 2 : Diagram alir peningkatan kontras

### 3.2 Pengambangan

Proses pengambangan menggunakan satu nilai ambang yang dapat diubah-ubah dari 0 255. Pengambangan digunakan untuk memisahkan objek (buah pisang) dari backgroundnya. Fungsi yang digunakan adalah

$$K_o = \begin{cases} 0, & \text{jika } K_i < \text{ambang (1 = putih)} \\ 1, & \text{jika } K_i \geq \text{ambang (0 = hitam)} \end{cases}$$

Diagram alir dari proses pengambangan dapat dilihat dalam Gambar 3

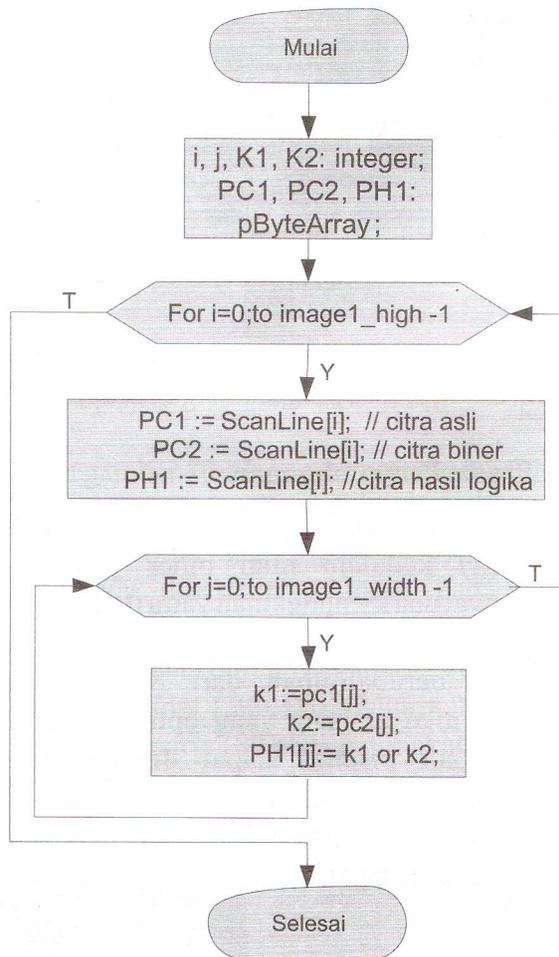


Gambar 3 : Diagram alir proses pengambangan

### 3.3 Operasi Logika

Operasi logika yang digunakan adalah OR. Operasi ini akan mengubah tiap bit RGB yang ada dalam tiap *pixel* dengan output citra warna 24 bit. Operasi ini dilakukan antara citra asli dengan citra hasil proses pengambangan. Diagram alir dari

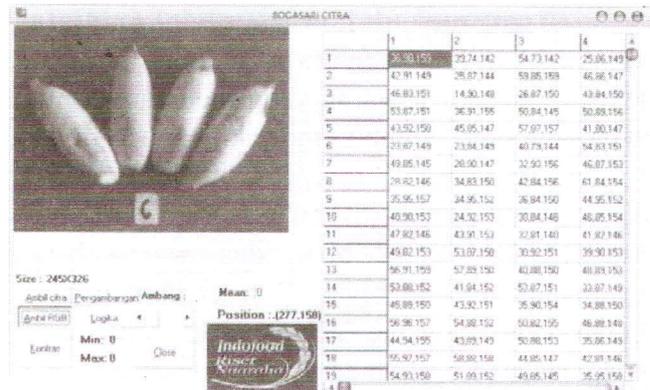
operasi logika dapat dilihat dalam Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir operasi logika

4. Hasil dan Pembahasan

Proses pengolahan citra warna atau citra 24 bit akan mengalami kesulitan jika dilakukan secara langsung. Oleh karena itu untuk memudahkan dalam pengolahannya citra warna diubah dulu menjadi citra aras keabuan. Pada proses pengolahan citra 24 bit, hal yang dilakukan pertama kali adalah membaca nilai RGB tiap *pixel* dan menempatkannya dalam sebuah matrik agar memudahkan dalam proses pengolahan. Selanjutnya mengolah tiap nilai RGB sesuai dengan operasi yang diinginkan. Tampilan program pengolahan citra dapat dilihat dalam Gambar 5

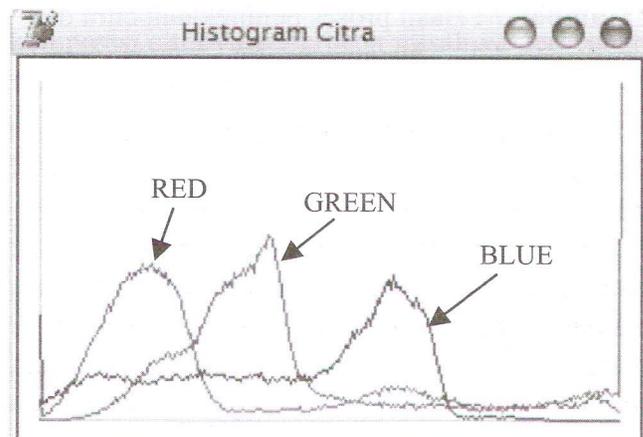


Gambar 5 : Tampilan Program pengolahan citra

Pada Gambar 5 file yang akan diolah berukuran 245 x 326. Adapun fungsi dari tombol-tombol yang terdapat dalam tampilan adalah sebagai berikut:

1. Ambil citra : mengambil citra dari folder yang ada di komputer
2. Ambil RGB : mengambil nilai RGB dari tiap *pixel* pada citra
3. Pengambilan : melakukan proses pengambilan citra
4. Logika : melakukan proses logika
5. Kontras : melakukan proses kontras

Jika nilai RGB dari tiap *pixel* ditampilkan dalam bentuk *histogram*, maka gambar dari *histogram* dapat di lihat dalam Gambar 6.

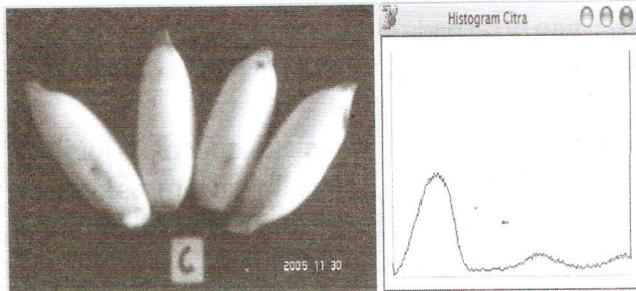


Gambar 6 : Histogram citra buah pisang yang akan diolah

*Histogram* dalam gambar 6 diatas menunjukkan fungsi antara nilai RGB tiap *pixel* dengan banyaknya warna yang mempunyai nilai RGB yang sama. Sumbu x mewakili nilai RGB dari 0 255, dan sumbu Y mewakili banyaknya *pixel*. Warna merah menunjukkan *pixel* R, warna biru menunjukkan *pixel* biru, dan warna hijau menunjukkan *pixel* hijau. Dari gambar 6 *pixel* merah cenderung ke gelap, *pixel* hijau agak gelap, dan *pixel* biru cenderung ke arah terang.

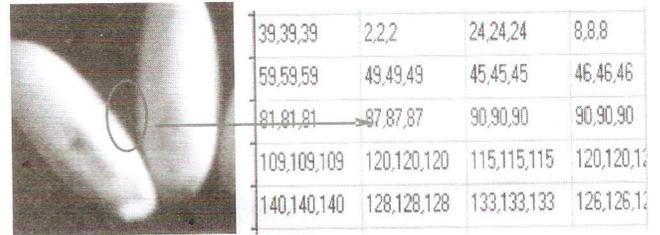
**4.1 Peningkatan Kontras**

Peningkatan kontras dilakukan dengan mengambil salah satu dari nilai RGB sebagai nilai acuan. Jika buah pisang sudah berwarna kuning maka nilai yang diambil adalah *pixel* R dan jika warna buah pisang masih hijau warna yang diambil adalah *pixel* G. Hasil dari operasi peningkatan kontras dapat dilihat dalam Gambar 7.



**Gambar 7 :** Hasil proses peningkatan citra dan *histogram* citra

Dari gambar *histogram* citra dapat dianalisis bahwa *pixel* citra lebih mengelompok ke arah gelap. Warna gelap menunjukkan warna *background* dan warna terang menunjukkan objek citra. Untuk menentukan nilai ambang maka perlu diketahui nilai *pixel* perbatasan antara objek dengan *background*. Pada gambar 7 diambil salah satu dari nilai *pixel* perbatasan yaitu berada pada koordinat (120,114). Nilai dari *pixel* yang berada pada daerah sekitar koordinat tersebut dapat dilihat dalam Gambar 8.

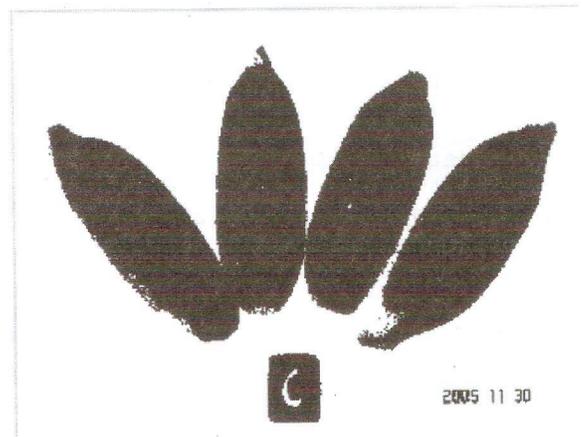


**Gambar 8.** Nilai *pixel* di daerah sekitar koordinat (120,114)

Berdasarkan gambar 8 batas ambang yang dipilih untuk proses pengambangan adalah 80 100.

**4.2 Proses Pengambangan**

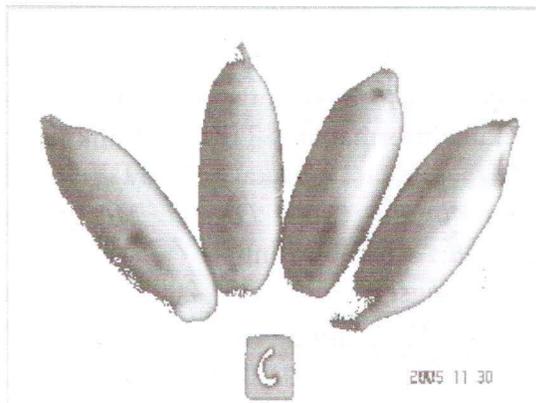
Proses pengambangan mengubah nilai RGB tiap *pixel* kedalam nilai biner yang hanya mempunyai dua kemungkinan yaitu 0 (hitam) dan 1 (putih). Berdasarkan gambar 8 nilai ambang yang diberikan berubah-ubah dari 80-100 sampai diperoleh nilai ambang yang optimum sehingga objek (buah pisang) dapat dipisahkan dari *background*-nya. Nilai ambang optimum yang diperoleh pada nilai 90. Hasil dari proses pengambangan dapat dilihat dalam Gambar 9.



**Gambar 9 :** Hasil proses pengambangan

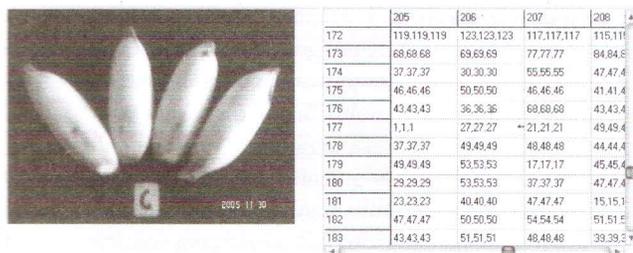
**4.3 Logika proses**

Hasil dari logika proses dapat dilihat dalam Gambar 10.



Gambar 10 : Hasil proses logika

Pada gambar 10 ada bagian objek yang hilang, hal ini disebabkan *pixel* yang menjadi garis tepi dari objek memiliki nilai yang lebih besar dari nilai ambang yang diberikan sehingga pada waktu operasi pengambangan, *pixel* tersebut diberi nilai 255 (putih). Bagian objek yang hilang berada pada disekitar koordinat [206,180]. Matrik RGB pada kolom 206 dan baris 180 pada peningkatan kontras memiliki nilai seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar 11 : Nilai RGB kolom 206 baris 180

Dari gambar 11 nilai RGB [206,180] = [53 53 53], karena nilai ambang yang digunakan 90 maka pada operasi pengambangan nilai tersebut diubah menjadi [255 255 255]. Hal inilah yang menyebabkan daerah disekitar koordinat tersebut ada bagian dari objek hilang. Keadaan ini terjadi karena pada bagian tersebut terlalu gelap yang nilainya mendekati 0. Adapun nilai ambang optimum untuk enam tingkat kematangan dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Nilai ambang optimum tiap *level* kematangan

Tingkat Kematangan literatur	Tingkat Kematangan Penelitian	Warna Kulit Buah	Nilai Ambang
1	A	Hijau	120
2	B	Hijau Mulai Kuning	110
3		Hijau lebih banyak dari Kuning	
4	C	Kuning lebih banyak dari Hijau	90
5	D	Kuning lebih banyak namun ujung buah masih hijau	100
6	E	Seluruhnya kuning	100
7	F	Kuning sedikit bintik coklat	100
8		Kuning dengan banyak bintik coklat	

Dari Tabel 3. setiap tingkat kematangan mempunyai nilai ambang yang berbeda. Hal ini disebabkan karena setiap *level* mempunyai komposisi citra yang berbeda misalnya perbedaan warna antara objek dengan *background* dan intensitas cahaya yang mengenai objek beserta *background*-nya.

### 5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa program image processing yang dibuat sudah dapat memisahkan objek (buah pisang) dari *background*-nya dengan nilai ambang optimum yang berbeda-beda berkisar 90-120 untuk tiap *level* kematangan. Jika nilai ambang lebih besar atau lebih kecil dari nilai

ambang optimum, maka ada bagian dari objek yang hilang atau ada bagian background yang masih tersisa.

### Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT. Bogasari Nugraha atas kerjasamanya, serta kepada PPET-LIPI yang telah membari kesempatan untuk mempublikasikan tulisan ini.

### 6. Daftar Pustaka

1. Ashari, S. 1995. *Hortikultura Aspek Budidaya*. Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta
2. Nugroho, Setyo. 2005. *Implementasi Metode Contrast Stretching untuk Memperbaiki Kontras Citra: Laporan Penelitian*. Jurusan Teknik Informatika, STIKOM, Balikpapan.
3. Balza Achmad, Kartika Firdausy. 2005. *Teknik Pengolahan Citra Digital Menggunakan Delphi*. Ardi Publishing.
4. Hestningsih, Idhawati. 2007. Pengolahan Citra. <http://idhaclassroom.com/download/pengolahan-citra/Pengolahan%20Citra.pdf>, diakses tanggal 30 juni 2008.

# Pemanfaatan Sifat Kabel Semi Kaku untuk Pengoreksi Fasa pada Saluran Transmisi Terdistribusi Antena Radar Tersusun

Syamsu Ismail dan Deni Permana K

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI, Jl. Cisititu 21/154D Bandung 40135

E-mail : ismail@ppet.lipi.go.id

## Abstract

*Arrayed antenna with the dimension of  $V \times W$  individual antenna element might yield a narrow beam radiation pattern angle, and also has high directivity. To yield the optimum performance from the arrayed antenna, the supplied radio frequency in each group of antenna elements must be arranged in order to be supplied in phase, i.e. the supplied power for row  $V$  must be in phase of  $v$ , and for column  $W$  must be  $w$ . The phase difference at each antenna element can change the direction of radiation, or even the shape of the pattern might be distorted. The phase similarity at the end of coaxial cable to the element might be achieved by making the cable to each element has the same physical length, with the assumption that each cable has similar characteristic. Practically, it is very difficult to find out similar phase, since homogeneity along the cable might different. This paper will discuss phase corrector by means of non phase ideality of semi rigid coaxial cable. The correction is done by bendings along the cable. The numbers of bendings is adjusted due to phase shifting requirement.*

**Key words :** *phase match, bending, non ideal semi rigid, arrayed antenna.*

## Abstrak

*Antena tersusun dengan jumlah  $V \times W$  elemen antena dapat memberikan berkas pola radiasi yang sempit, dan juga menghasilkan direktifitas yang tinggi. Untuk memperoleh kinerja yang optimal dari antena tersusun, maka diperlukan pencatu daya frekuensi radio pada masing-masing antena dengan sinyal berfasa sama yaitu sinyal pencatu elemen-elemen antena di baris  $V$  harus berfasa  $v$ , dan di kolom  $W$  harus  $w$ . Pergeseran fasa dapat mengakibatkan arah radiasi berubah, bahkan bentuk polanyapun mungkin terganggu. Kesamaan fasa pada ujung saluran transmisi di titik masukan antena dapat dicapai dengan membuat panjang fisik dari masing-masing kabel koaksial sama, dengan berasumsi bahwa masing-masing kabel sama. Secara praktis keadaan tersebut sangat sulit diperoleh, karena struktur homogenitas sepanjang kabel belum tentu sama. Tulisan ini akan membahas pengoreksi fasa dengan memanfaatkan ketidakidealan fasa kabel koaksial semi kaku yang dapat menggeser fasa bila terjadi tekukan sepanjang kabel. Koreksi fasa dilakukan dengan membuat tekukan-tekukan pada koaksial semi kaku, dengan jumlah tekukan disesuaikan dengan kebutuhan.*

**Kata kunci :** *penyesuai fasa, tekukan, semi rigid tidak ideal, antena tersusun.*

## 1. Pendahuluan

Pencatutan daya frekuensi radio, atau RF, dengan fasa yang pasti pada sistem antena tersusun sangat dibutuhkan, karena faktor beda fasa ini besar peranannya pada kinerja dari sistem. Antena tersusun, atau *arrayed antenna* terdiri dari sejumlah elemen antena yang dipasang berjejer pada posisi horisontal dan vertikal, misalnya sebanyak  $V$  di jajaran horisontal dan  $W$  di jajaran

vertikal. Antena tersusun memiliki beberapa kelebihan atau keuntungan, bila dibandingkan hanya dengan antena tunggal<sup>[1]</sup>. Beberapa kelebihan itu di antaranya dapat meningkatkan kinerja dari sistem, seperti menurunkan kebutuhan daya pancar untuk mencapai jarak jangkauan yang sama pada sistem radar yang menggunakan antena tunggal, meningkatkan resolusi citra sapuan horisontal maupun vertikal, untuk memperlebar berkas vertikal, *fan beam*, pada radar peringatan

dini, dan sebagainya. Satu hal yang besar artinya yaitu memungkinkan digunakannya sapuan, atau *scanning*, secara elektronik. Saat ini sapuan elektronik banyak digunakan pada sapuan arah vertikal untuk radar dengan antena tersusun yang memiliki berkas radiasi berbentuk pincil, *pencil beam*.

Penempatan elemen dan pencatutan daya pada masing-masing elemen untuk sistem antena tersusun harus memenuhi syarat yang ditentukan. Hal itu perlu diperhatikan agar diperoleh lebar pola berkas yang sempit dan arah tidak terdistorsi dan tidak menyimpang dari yang telah ditetapkan. Penempatan dari elemen-elemen antena tidak dibahas disini. Masing-masing elemen antena dicatu oleh pembagi daya atau distributor satu *port* ke  $M$  *port*, di sisi pemancar. Sedangkan di sisi penerima, masing-masing dari elemen antena digabung dalam pengkombinasi dari  $N$  *port* menjadi satu *port*. Distribusi dan kombinasi daya RF ke dan dari elemen antena melalui saluran transmisi masing-masing elemen. Pergeseran fasa yang tidak diinginkan dapat terjadi pada saluran transmisi dan juga pada pendistribusi ataupun pengkombinasi daya. Koaksial semi rigid yang tidak ideal dapat digunakan untuk pengoreksi fasa dalam orde beberapa derajat sampai sekitar 30 derajat<sup>[3]</sup>.

Selanjutnya, tulisan ini akan membahas landasan teori, pengukuran perbedaan fasa antara satu *port output* dengan *port* lain pada pendistribusi dan pengkombinasi daya RF, percobaan beberapa bentuk penggeser fasa, dan suatu aplikasi pengoreksi fasa pada pendistribusi dan pengkombinasi daya yang bekerja pada frekuensi daerah pita X untuk sistem radar FM.

## 2. Landasan Teori.

Elemen penggeser fasa banyak digunakan pada antena tersusun. Kegunaan penggeseran fasa di antaranya untuk mengendalikan arah berkas radiasi gelombang elektromagnetik<sup>[2]</sup> yang dipancarkan dari antena. Pola radiasi dari antena

tersusun bergantung pada empat faktor, yaitu: posisi dari satu elemen terhadap yang lainnya, fasa-fasa relatif arus pencatu di dalam elemen-elemen, magnitude relatif dari arus dalam individu elemen, dan pola radiasi dari individu elemen<sup>[1]</sup>. Pengendalian berkas radiasi dapat dilakukan dengan menggunakan teknik penggeseran fasa, pada sinyal pencatu elemen dari antena tersusun, secara teratur mulai dari elemen acuan sampai ujung. Sudut berkas dari antena susunan terhadap sisi lebar dapat diekspresikan dalam *term* perbedaan fasa progresif tiap elemen,  $\alpha$ , yaitu<sup>[1]</sup>

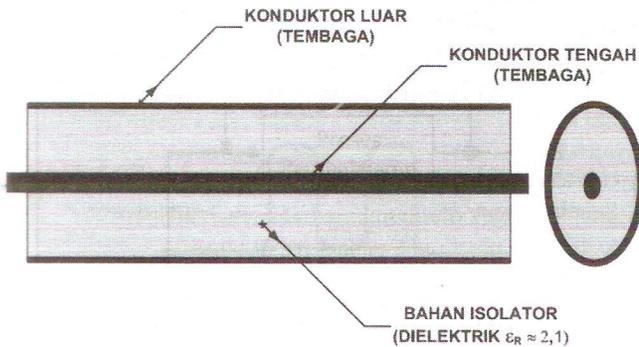
$$\sin\beta = \frac{\alpha\lambda}{2\pi d} \dots\dots\dots 2.1$$

Pokok bahasan dalam tulisan ini adalah pengaruh beda fasa daya catuan pada tiap-tiap elemen antena tersusun sehingga perlu melakukan koreksi. Jika dianggap frekuensi dan jarak  $d$  suatu konstanta  $C$ , sesuai dengan pokok bahasan, maka persamaan 2.1 dapat ditulis  $\sin\beta = C\alpha$  atau  $\beta = \sin^{-1}\alpha C$  sehingga diperoleh

$$\beta = f(\alpha) \dots\dots\dots 2.2$$

Saluran transmisi dari pendistribusi daya 1-N ke masing-masing elemen antena, pada sistem radar gelombang mikro dengan antena tersusun menggunakan koaksial semi kaku, atau *semi rigid*. Kebocoran radiasi pada semi rigid hampir tidak ada, namun rugi-rugi dari saluran tetap ada. Bahan dielektrik antara konduktor tengah dengan luar biasanya poly- tetrafluorethylene. PTFE memiliki kelebihan dibandingkan dengan bahan lain, yaitu tahan terhadap panas selama proses penyolderan, kekuatan regangan mekanis cukup tinggi, kelemahannya lebih kaku dibanding plastik. Konstanta dielektrik bahan erat hubungannya dengan kapasitansi dari saluran koaksial semi rigid, untuk PTFE,  $\epsilon_r \approx 2,1$ <sup>[5]</sup> pada 10GHz. Konstanta dielektrik terhadap udara adalah  $\epsilon_r = \epsilon_r \epsilon_0$  dengan  $\epsilon_0$  adalah konstanta dielektrik udara sebesar 8,842 pF/m. Konstruksi koaksial semi rigid tersusun dalam

bentuk pipa atau silinder panjang, seperti gambar 1.



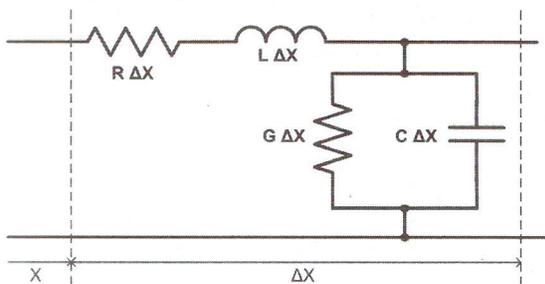
Gambar 1 : Konstruksi Koaksial Semi Rigid<sup>[5]</sup>.

Antara kedua konduktor terdapat bahan dielektrik dengan sifat permeabilitas  $\mu$ , dan permitifitas  $\epsilon$ , maka nilai induktansi dan kapasansi per satuan panjang adalah<sup>[4]</sup>

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \ln\left(\frac{R}{r}\right) \quad \text{dan} \quad C = 2\pi\epsilon \left(\ln\left(\frac{R}{r}\right)\right)^{-1}$$

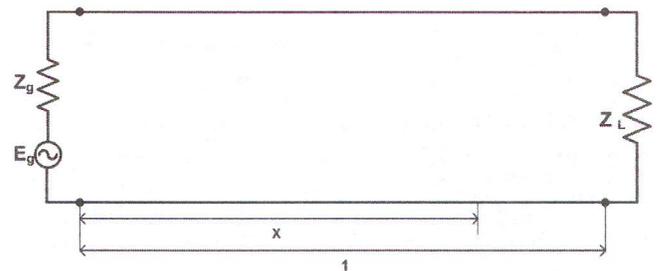
dengan R adalah radius dalam konduktor luar dan r adalah radius konduktor dalam, *inner*. Rangkaian ekuivalen saluran ditunjukkan pada gambar 2. Induktansi L dan resistansi R seri, kapasitansi C dan konduktansi G paralel sepanjang koaksial semi rigid, konstanta propagasi  $\gamma$  dapat ditulis

$\gamma = \sqrt{ZY} = \sqrt{(R + j\omega L) + (G + j\omega C)}$  uraian lebih jauh didapat bilangan real dan imajiner yaitu<sup>[4]</sup>  $\gamma = A + jB$ , dimana A merupakan konstanta atenuasi saluran, dan B adalah konstanta fasa dalam radians persatuan panjang.



Gambar 2: Rangkaian Ekuivalen Saluran Transmisi<sup>[5]</sup>.

Dengan terkandungnya elemen-elemen, seperti gambar 2, saluran sepanjang semi rigid, maka akan terjadi perubahan baik fasa maupun magnituda bila sinyal ditransmisikan dari sumber ke suatu titik, X. Sinyal generator  $E_g$  dengan impedansi  $Z_g$  dicatukan ke dalam saluran transmisi, gambar 2.4.  $E_{(x)}$  adalah tegangan yang besar dan fasanya fungsi dari panjang saluran x.



Gambar 3 : Saluran Transmisi dengan Pencatuan oleh Generator Sinyal.

$$E(x) = E_s e^{-Ax} e^{-jBx} \dots\dots\dots 2.5$$

Magnituda  $E_s e^{-Ax}$  dipengaruhi oleh faktor A dan panjang x. Faktor  $e^{-jBx}$  menyatakan ketertinggalan fasa yang semakin besar pada penambahan panjang x. Magnitude faktor ini adalah satu dengan sudut fasa  $-Bx$  radians. Dapat disimpulkan dari penjelasan di atas bahwa tegangan yang dicatukan sepanjang saluran, yang memiliki rugi-rugi transmisi, dengan terminasi  $Z_L$ , amplitudo di titik ke arah beban akan berkurang, disertai juga ada ketertinggalan fasa secara progresif. Untuk menyatakan sinyal persamaan 2.3 merupakan gelombang berjalan, maka pernyataan itu harus dalam bentuk harga sesaat. Bila  $E_s$  nilai efektif riil, maka nilai tegangan sesaat sepanjang saluran adalah<sup>[5]</sup>

$$e = \text{Re} \left( E_s \sqrt{2} \cdot e^{-Ax} \cdot e^{-jBx} \cdot e^{j\omega t} \right)$$

jika  $E_{\text{max}} = E_s \cdot e^{-Ax} \sqrt{2}$ , maka

$$e = E_{\text{max}} e^{j(\omega t - Bx)}$$

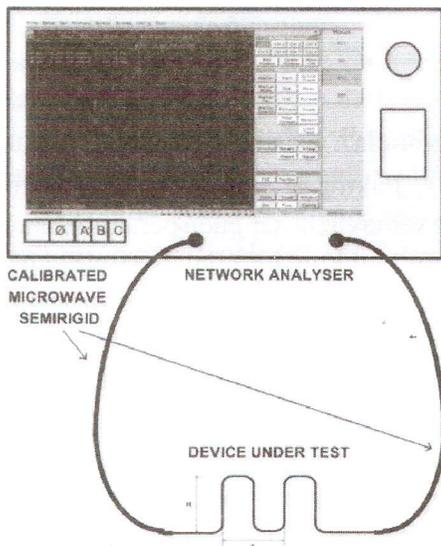
diperoleh harga sesaat dari e fungsi t sedangkan ketertinggalan fasa fungsi

$$e = E_{\max} \cos(\omega t - Bx) \dots\dots\dots 2.4$$

Dari persamaan 2.4 dapat dilihat bahwa beda fasa fungsi dari panjang saluran, yaitu  $Bx$ . Pergeseran fasa maksimum  $360^\circ$  terjadi bila  $Bx = \lambda$ , dengan  $x$  adalah panjang riil dari inti atau *inner*, dielectric, dan konduktor luar atau *outer*.

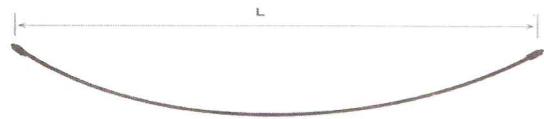
**3. Eksperimen Geser Fasa Semi Rigid**

*ADVANTEST Network Analyser R3770* digunakan untuk mengukur parameter  $S$  dari koaksial semi kaku, *setup* Pengukuran seperti gambar 4. kalibrasi *Network Analyser* dan *microwave probes* untuk konfigurasi *full 2-ports short, open, terminated, through, omit-open*, dari kedua port pada frekuensi kerja sistem, dilakukan diawal pengukuran.

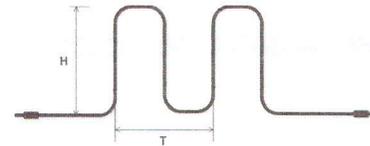


**Gambar 4 :** Setup Pengukuran  $S_{12}$  Koaksial Semi Rigid<sup>[3]</sup>.

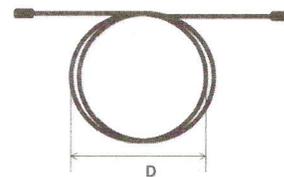
Percobaan dilakukan pada kabel koaksial semi kaku. Dua koaksial semi kaku dengan panjang fisik sama, dalam kondisi ini nilai  $S_{12}$  dari kedua kabel seharusnya sama. Untuk mengetahui pengaruhnya terhadap pergeseran fasa awal telah digunakan beberapa bentuk bengkokan koaksial semi rigid, seperti gambar 5.



(a) Bentuk lengkungan busur.



(b) Bentuk *Periodic Bending*.



(c) Bentuk 2T *Coil*.

**Gambar 5.** Beberapa bentuk lengkung dan bengkokan koaksial semi rigid<sup>[3]</sup>.

**4. Beberapa Hasil Pengukuran**

Bentuk lengkungan busur, gambar 5a, adalah bentuk awal dari semi rigid. Nilai  $L$  diawali dengan harga maksimal yang dapat dilakukan, karena panjang *microwave probe* yang terbatas. Pengaruh lengkungan busur, dengan mengubah panjang  $L$ , bengkokan periodik dan belitan semirigid terhadap fasa dan magnituda  $S_{12} \angle \Phi_{12}$  di ujung semi rigid, ditunjukkan pada tabel 1. Tabel 2 hasil percobaan yang sama untuk koaksial semi rigid yang lain. Perlu diperhatikan bahwa setiap koaksial semi rigid dengan diameter tertentu memiliki radius minimum koaksial tersebut boleh dibengkokan. Data umum dari semi rigid menyebutkan minimum bending radius  $\geq 1$  inch. Panjang koaksial percobaan sekitar 1200 mm. Percobaan diawali dengan semi rigid lengkung busur, dibuat  $L = 700$  mm, kemudian pengukuran magnitud  $S_{12}$  dan fasa  $\Phi_{12}$ . Pengukuran diulangi untuk masing-masing harga  $L$  dan bentuk lainnya. Bentuk *Coil*, secara praktis, menyulitkan *adjustment* fasa, disamping

instalasinya. Oleh karena itu, bentuk lengkung busur dan bengkok periodik yang digunakan. Tabel 2 menunjukkan beda fasa dengan kedua bentuk semirigid untuk koreksi fasa pada radar dengan antena tersusun.

**Tabel 1.** Pengaruh Lengkung busur, Coil, dan B-Periodik terhadap pergeseran fasa<sup>[3]</sup>.

SEMIRIGID	L,D,H,T (mm)	S <sub>12</sub>   ∠φ <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>   ∠φ <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>   ∠φ <sub>12</sub>
BENTUK :	-----	9.36 GHz	9.4 GHz	9.44 GHz
Busur, L	= 700	0,698 62,56°	0,700 -23,31°	0,681 -109,25°
Busur, L	= 600	0,698 63,37°	0,700 -22,34°	0,682 -108,16°
Busur, L	= 420	0,698 64,04°	0,701 -21,62°	0,683 -107,47°
Coil, 2,5 T	D = 145	0,698 66,64°	0,701 -19,03°	0,683 -105,06°
Periodik 3P	H = 95 T = 80	0,692 65,86°	0,695 -20,02°	0,676 -105,86°

**Tabel 2.** Pengaruh Lengkung busur, dan B-Periodik terhadap pergeseran fasa<sup>[3]</sup>.

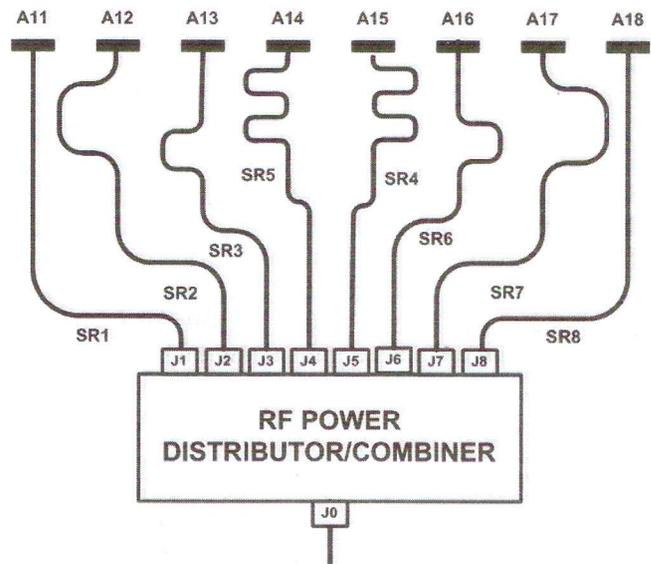
SEMIRIGID	L,D,H,T (mm)	S <sub>12</sub>   ∠φ <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>   ∠φ <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>   ∠φ <sub>12</sub>
BENTUK :	Freq =	9.36 GHz	9.4 GHz	9.44 GHz
Busur, L	= 900	0,767 68,90°	0,770 -17,86°	0,749 -102,47°
Busur, L	= 600	0,765 69,05°	0,766 -17,82°	0,744 -102,39°
Busur, L	= 300	0,765 69,92°	0,766 -16,83°	0,744 -101,42°
Periodik 2 Per	H = 200 T = 180	0,766 76,13°	0,769 -10,84°	0,748 -95,44°
Periodik 2 Per	H = 200 T = 230	0,764 77,74°	0,767 -9,21°	0,746 -93,66°

Dari tabel 2 dapat dilihat pergeseran fasa dari lengkungan bengkokan dan ukuran. Pergeseran pada lengkung busur sekitar 1°, sedangkan pada bengkokan periodik 2P, beda fasa mencapai hampir 10°. Pergeseran fasa tersebut terlihat kecil, tetapi di

dalam sistem antena tersusun perbedaan maksimum 3°, sehingga pengaturan antara 1° ~ 10° sudah cukup. Salah satu penyebab pergeseran fasa pada bengkokan adalah karena perubahan panjang pada *inner*,  $X + \Delta X$  karena tarikan. Hal tersebut terbukti pada pengukuran awal semirigid lengkung busur L = 1000 mm, pada frekuensi f = 9,4 GHz didapat fasa φ<sub>12</sub> = -23,18°, dibentuk Coil 2½ T dengan D = 145 mm, didapat φ<sub>12</sub> = -19,03°, kemudian bentuk dikembalikan ke asal didapat φ<sub>12</sub> = -22,62°, fasa tidak kembali ke φ<sub>12</sub> = -23,18°. Penyebab lain adalah struktur dari *inner* itu sendiri, dan kondisi fisik pada dielektrik yang menjadi perantara *inner*, dan *outer* sepanjang kabel.

**5. Koreksi Fasa Pada Antena Tersusun.**

Antena tersusun, dengan susunan V x W, jika W = 1 maka akan terbentuk antena garis. RF masing-masing elemen antena dicatu oleh pembagi daya RF, distributor, pada penerima pengkombinasi daya RF. Di sisi pemancar, daya RF dari port J<sub>0</sub> didistribusikan ke port J<sub>1</sub> sampai dengan J<sub>8</sub>, menuju masing-masing elemen antena, gambar 6. Perbedaan fasa di masing-masing port antena harus sama.



**Gambar 6.** Distributor atau Kombiner daya RF ke atau dari elemen antena<sup>[3]</sup>.

dengan  $J_2$ ,  $J_2$  dengan  $J_3$ , dan seterusnya, yaitu keluaran dari distributor. Oleh karena itu, tuning phase match harus dilakukan secara total dengan konfigurasi tertentu, kemudian untuk ketepatan dilakukan *alignment* seperti gambar 6.

## 6. Kesimpulan

Koreksi ketepatan fasa, atau *phase match*  $\phi_{12}$  dengan memanfaatkan ketidakidealan koaksial semi kaku, yaitu pembengkokan periodik,  $X_r$  Coil. Busur, dapat memberikan koreksi fasa sesuai dengan keinginan. Pada pembengkokan busur dicapai pergeseran sekitar 1 derajat, sedangkan pada pembengkokan  $X_r$  Coil didapat sekitar 4 derajat dari bentuk asal. Demikian juga terjadi pergeseran beberapa derajat untuk pembengkokan periodik.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan pada rekan-rekan yang telah memberikan bantuan dalam penelitian ini. Bantuan tersebut dalam berupa koreksi naskah, diskusi, penyediaan elemen, konstruksi mekanik, peralatan ukur antenna.

## 7. Daftar Pustaka

1. Blake Lamont V., "Antennas", *John Wiley & Sons*, New York: 1966.
2. Helszajn J., "Microwave Engineering Passive Active and Nonreciprocal Circuits", *McGraw-Hill Book Company*, London: 1992.
3. Ismail Syamsu, "Log Book Penelitian Radar dan Gelombang Mikro PPET-LIPI", Bandung: 2009.
4. Jaip P.K. dan Gurbir Kaur, "Networks Filters and Transmission Lines", *Tata McGraw-Hill Publishing Co. Ltd.*, New Delhi: 1994.
5. Sinnema W., "Electronic Transmission Technology", *Prentice-Hall International Editions*, Englewood Cliffs 1979.

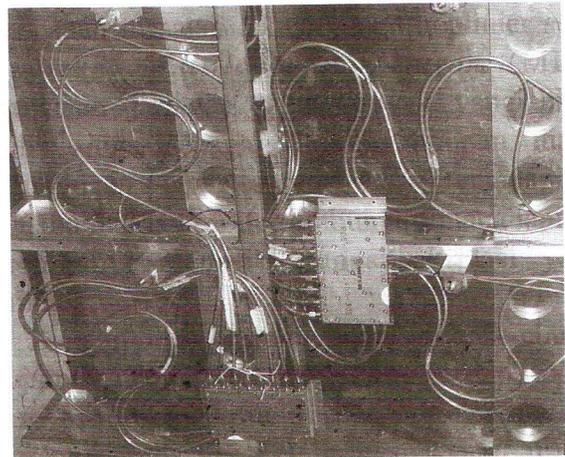


Foto 1. Koreksi fasa  $\phi_{12}$  pada Radar Pantai PPET-LIPI<sup>[3]</sup>

# Penentuan *State of Charge* Baterre Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan

Yefriadi<sup>1)</sup>, Rismawan Perdana Putra Barus<sup>2)</sup> dan Nadia Alfitri<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Elektro, Politeknik Negeri Padang, Komp. Unand, Limau Manis, Padang, yefriadi@yahoo.com

<sup>2)</sup>Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, jl. Sangkuriang no.14, Bandung, rismawan.ppb@gmail.com

<sup>3)</sup>Jurusan Elektro, Politeknik Negeri Padang, Komp. Unand, Limau Manis, Padang, n\_alfitri@yahoo.com

## Abstract

*State of charge (SOC) indicates the amount of charge left in the battery. Unfortunately the measurement can not be done directly and the nonlinear characteristics of the battery makes the exact determination of SOC hard. Artificial neural network is one of many alternative methods to estimate SOC. Sullivan has developed an artificial neural network to estimate SOC with current, voltage, temperature and accumulation ampere hours as its inputs. However the presence of Peukert effect which relates the current, voltage and SOC in a nonlinear way impose a better dimension separation for the artificial neural network to estimate SOC more accurately. Because of its linear relation with SOC, the variable energy accumulation gradient is utilized as input of the artificial neural network to get the better dimension separation mentioned before. This research showed that the additional input variable energy accumulation gradient, generally has improved the performance of the artificial neural network, which can be seen from the absolute mean error which decreases from 9.19% when using Sullivans 5-3-1 network to 7.95% when using the modified 6-3-1 network, and the percentage of success increases from 75.68% to 79.33%. However specifically in the dynamic discharge rate experiment, although the absolute mean error decreases from 20.73% to 20,20% but the neural network loses its generalization, which can be seen from the decreasing of percentage of success from 30.53% to 24.25%*

**Keywords :** SOC, Artificial Neural Networks, Energy accumulation gradient

## Abstrak

*State of charge (SOC) adalah indikator besarnya muatan yang tersisa dalam sebuah baterre. Namun pengukurannya yang tidak dapat dilakukan secara langsung dan sifat baterre yang tidak linier membuat penentuan SOC secara tepat menjadi sulit. Metoda jaringan syaraf tiruan merupakan salah satu alternatif untuk estimasi SOC. Sullivan telah mengembangkan jaringan syaraf tiruan ini untuk estimasi SOC dengan input arus, tegangan, temperatur dan akumulasi ampere hours. Akan tetapi adanya efek Peukert yang menyatakan hubungan non linier antara arus, tegangan dan SOC sebagai salah satu karakteristik pada baterre menyebabkan perlunya separasi dimensi yang lebih baik pada jaringan syaraf tiruan untuk dapat mengenali pola karakteristik SOC baterre secara lebih akurat. Oleh sebab itu karena sifatnya yang memiliki hubungan yang cukup linier terhadap SOC, maka variabel gradien akumulasi energi dimasukkan sebagai salah satu input jaringan untuk memperbaiki masalah separasi dimensi tersebut. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan variable gradient akumulasi energi pada input jaringan secara umum telah dapat memperbaiki kinerja jaringan syaraf tiruan, hal ini terlihat dari menurunnya rata-rata galat absolut dari 9,19% pada jaringan 5-3-1 Sullivan menjadi 7,95% pada jaringan 6-3-1 hasil modifikasi, dan meningkatnya persentase keberhasilan dari 75,68% menjadi 79,33%. Akan tetapi secara spesifik pada percobaan laju dinamik walaupun rata-rata galat absolut jaringan mengalami penurunan dari 20,73% pada jaringan Sullivan menjadi 20,20% pada jaringan 6-3-1, generalisasinya mengalami penurunan hal ini terlihat dari persentase keberhasilan yang turun dari 30,53% menjadi 24,25%.*

**Kata Kunci :** State of Charge, jaringan syaraf tiruan, gradien akumulasi energi

## 1. Pendahuluan

*State of Charge* (SOC) merupakan salah satu karakteristik batere yang penting untuk diketahui, sebab mengetahui nilai SOC pada batere maka pengguna dapat memperkirakan berapa lama batere tersebut dapat digunakan sampai muatannya tidak dapat digunakan lagi untuk mendukung operasional suatu peralatan [1]. Indikasi nilai SOC dinyatakan dengan angka dari 0 sampai dengan 100%. Cara konvensional dalam penentuan SOC batere adalah melalui *look up table* dengan mengukur *Open Circuit Voltage* (OCV) dari batere dengan menggunakan voltmeter lalu melihat pada tabel untuk memperkirakan SOC batere tersebut. Namun cara seperti ini tidak dapat diterapkan untuk menentukan SOC suatu batere secara real time. Untuk mengatasi hal tersebut beberapa metoda kini telah dikembangkan untuk menentukan SOC batere yang terpasang pada suatu perangkat elektronik, diantaranya melalui pendekatan pendekatan *black box modelling* dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan.

Sebelum penelitian ini dilakukan, Sullivan[2] telah melakukan pengembangan dalam estimasi nilai SOC batere ini dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan. Pada metoda yang dikembangkan-nya, Sullivan menggunakan parameter arus, tegangan pada saat  $t$  dan  $t-1$ , akumulasi Ah dan temperatur sebagai masukan serta parameter SOC sebagai keluaran. Akan tetapi adanya efek *Peukert* yang menyatakan hubungan non linier antara arus, tegangan dan SOC sebagai salah satu karakteristik pada batere, menyebabkan ketidakakuratan pada estimasi yang dilakukan oleh jaringan syaraf tiruan. Oleh sebab itu diperlukan adanya separasi dimensi yang lebih baik pada jaringan syaraf tiruan untuk dapat mengenali pola karakteristik SOC batere secara lebih akurat.

Pada penelitian ini, dilakukan sedikit modifikasi pada jaringan syaraf tiruan milik Sullivan dengan menambahkan variabel gradien akumulasi energi sebagai salah satu masukan jaringan untuk memperbaiki masalah separasi

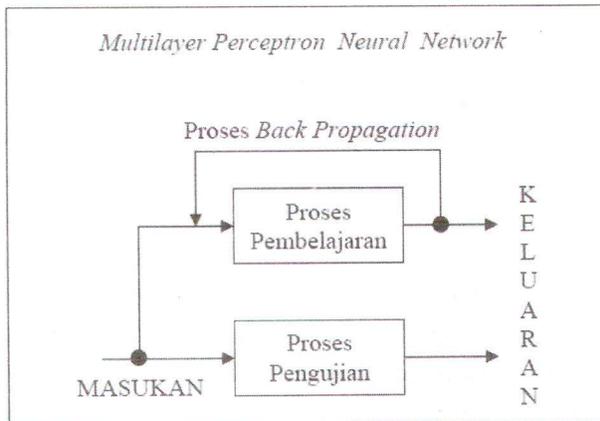
dimensi tersebut. Variabel ini dipilih karena sifatnya yang linier terhadap SOC. Dengan penambahan variabel ini diharapkan estimasi SOC menjadi lebih akurat yang ditandai mengecilnya galat rata-rata estimasi jaringan syaraf tiruan dan meningkatnya tingkat keberhasilan.

## 2. Tinjauan Pustaka

Jaringan syaraf tiruan adalah suatu metoda yang dikembangkan berdasarkan sistem jaringan syaraf biologis. Sebuah jaringan syaraf tiruan terdiri dari banyak elemen yang disebut neuron yang dikombinasikan secara paralel dan memiliki struktur yang non linier. Jaringan syaraf tiruan banyak digunakan dalam pengenalan objek, pemrosesan sinyal, pemodelan sistem dan pemecahan masalah teknis yang nonlinier serta kompleks. *Multilayer perceptron* (MLP) merupakan jaringan lapis banyak yang biasa disebut juga sebagai jaringan umpan maju, berhubungan dengan estimasi beban antara lapisan masukan dan lapisan tersembunyi dimana lapisan tersembunyi memiliki fungsi aktivasi yang nonlinier.

Dengan memilih jumlah lapisan tersembunyi dan jumlah neuron tersembunyi pada setiap lapisan akan dimungkinkan untuk memvariasikan kompleksitas dari model jaringan syaraf tiruan. Dengan kata yang sederhana MLP adalah *general-purpose*, fleksibel, model nonlinier, yang dengan pemberian jumlah neuron tersembunyi dan data yang cukup, akan dapat mengaproksimasi fungsi apapun sampai pada tingkat keakuratan yang diinginkan. Dengan kata lain MLP adalah aproksimator yang universal. MLP dapat digunakan ketika tidak ada pengetahuan tentang bentuk hubungan antara variabel bebas dan tidak bebas [3].

Adapun proses yang terjadi pada *jaringan MLP*, adalah sebagai berikut :



Gambar 1 : Proses Pembentukan Jaringan MLP

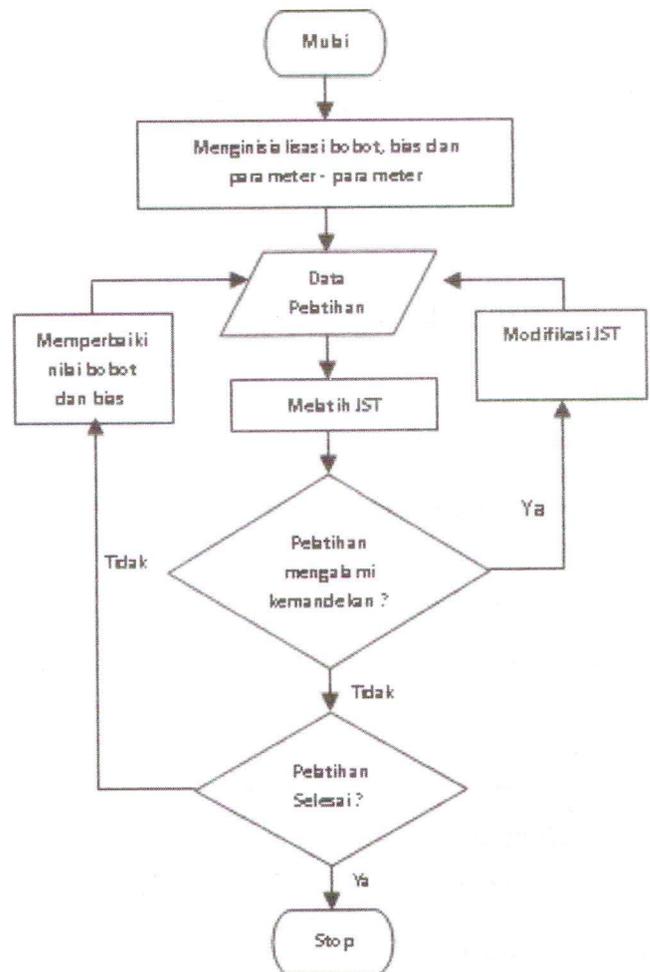
Perancangan jaringan syaraf tiruan meliputi dua tahap yaitu tahap desain dan pelatihan. Adapun tahap desain terdiri dari tiga tahap yaitu :

- **Desain jaringan syaraf tiruan**
  - Pada saat mendesain jaringan syaraf tiruan ada tiga tingkat yang perlu diperhatikan yaitu :
    - o Desain node
      - Penentuan tipe input
      - Pemilihan fungsi transfer
    - o Desain jaringan
      - Menentukan banyak lapisan yang akan digunakan
      - Menentukan ukuran setiap lapisan
      - Merancang desain output
    - o Desain pelatihan
      - Penentuan parameter jaringan (angka pembelajaran, nilai ambang).
- Pengumpulan data
 

Setelah data terkumpul, data dibagi ke dalam set pelatihan dan set ujicoba. Set pelatihan digunakan untuk melatih jaringan, sedangkan set ujicoba digunakan setelah pelatihan jaringan selesai.
- Pemilihan lingkungan pengembangan
 

Lingkungan pengembangan dipilih sesuai dengan keperluan dan kemampuan pengembang.

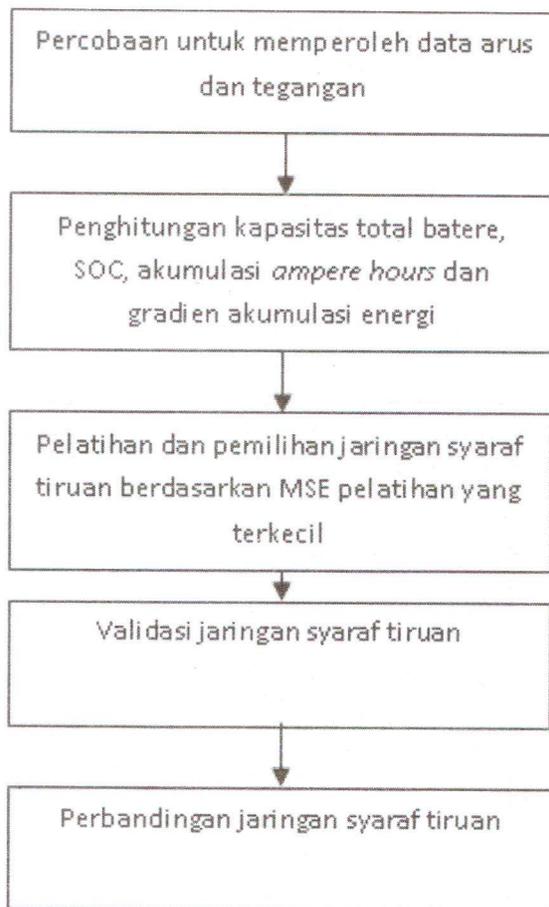
Adapun prosedur pelatihan jaringan syaraf tiruan, ditunjukkan pada gambar.2



Gambar 2 : Prosedur pelatihan jaringan syaraf tiruan [4]

### 3. Metoda Penelitian

Untuk memperoleh model jaringan syaraf tiruan yang sesuai, dilakukan sejumlah langkah yaitu mendapatkan data untuk pelatihan lalu melakukan validasi pada model jaringan syaraf tiruan yang diusulkan. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan :



**Gambar 3 :** Langkah penelitian untuk mendapatkan model jaringan syaraf tiruan

#### 4. Percobaan

Ada beberapa percobaan yang dilakukan pada penelitian ini, percobaan pertama dilakukan untuk mensimulasikan lingkungan kerja batere dengan laju dinamik terdiri dari urutan pelepasan arus konstan. Batere dalam keadaan penuh pada saat pertama kali dilakukan percobaan. Pulsa arus pelepasan dilakukan mulai 64 A hingga 1,5 A, sehingga total waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan satu percobaan adalah sekitar 273,15 menit (4,5525 jam). Data tegangan, dan arus diambil setiap 1 detik. Setelah melewati proses ini, batere kemudian diisi kembali dengan arus konstan sampai keadaan penuh. Temperatur *water bath* dikendalikan agar tetap konstan pada 40°C.

Percobaan kedua dilakukan untuk simulasi

lingkungan kerja dengan laju statik dilakukan dengan cara pelepasan pada arus konstan. Arus pelepasan adalah 18 A, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus adalah sekitar 106 menit (1,777 jam) dan datanya diambil setiap 1 detik. Setelah melewati proses ini, batere kemudian diisi kembali dengan arus konstan sampai keadaan penuh. Temperatur *water bath* dikendalikan agar tetap konstan pada 40°C.

Kapasitas total batere dapat ditentukan dengan cara menjumlahkan arus yang keluar secara keseluruhan mulai dari batere dalam keadaan penuh sampai batere dinyatakan habis sesuai dengan kapasitas nominalnya melalui persamaan berikut [5]:

$$Q = \sum_{n=0}^k I_n \quad (1)$$

dimana

$$\begin{aligned} I_n &= \text{arus pada saat } n \\ k &= \text{total waktu yang dibutuhkan} \\ &\quad \text{untuk mengosongkan batere} \\ Q &= \text{kapasitas total batere} \end{aligned}$$

Setelah itu untuk dapat melakukan validasi terhadap estimasi SOC yang dilakukan oleh jaringan syaraf tiruan, maka perlu dicari nilai SOC batere yang sebenarnya yang akan digunakan sebagai target pelatihan dan target validasi. SOC dapat ditentukan melalui persamaan [5]:

$$z_{n+1} = z_n - \left( \frac{\Delta t}{C_{nom}} \right) I_n \quad (2)$$

dimana :

$$z_n = \text{SOC pada saat } n.$$

$$\text{Bila } n = 0 \text{ maka } z_0 = Q$$

$$C_{nom} = \text{kapasitas nominal}$$

$$I_n = \text{arus pada saat } n$$

Akumulasi *ampere hours* menyatakan total muatan listrik yang telah dikeluarkan. Akumulasi *ampere hours* dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$Q_k = \sum_{n=0}^k I_n \tag{3}$$

dimana

- $I_n$  = arus pada saat n
- $Q_k$  = akumulasi pada saat k

Akumulasi energi dinyatakan dalam persamaan :

$$E_k = \sum_{n=0}^k V_n \sum I_n \tag{4}$$

dimana

- $V_n$  = Tegangan pada saat n
- $I_n$  = Arus pada saat n

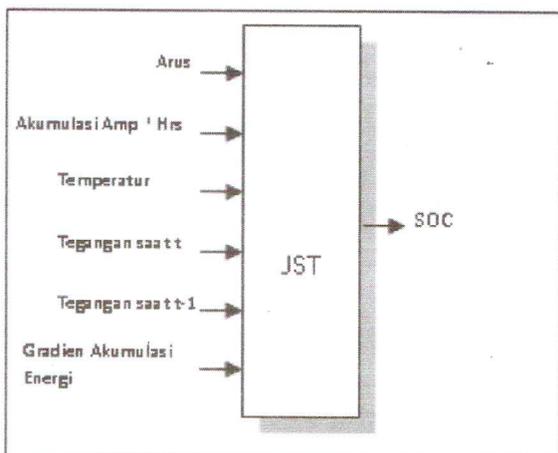
Sehingga gradien akumulasi energinya :

$$\frac{\sum E_n}{\sum t} = \frac{E_n \sum E_{n \sum k}}{k} \tag{5}$$

dimana

- $k$  = rentang waktu, dalam penelitian ini dipilih  $k = 1$

Dengan demikian model jaringan syaraf tiruan yang merupakan hasil modifikasi dari model jaringan syaraf tiruan Sullivan digambarkan dalam bentuk input output seperti pada gambar.4.



Gambar 4 : Rancangan model jaringan syaraf tiruan

Nilai dari variabel input diatas dinormalisasi terlebih dahulu sebagai berikut :

$I_{\text{normalisasi}} = I / 64$  dengan asumsi arus maksimum yang di terapkan adalah 64 A.

$V_{\text{normalisasi}} = V / 14$  dengan asumsi tegangan maksimum yang dialami adalah 14 V.

$\text{Temp}_{\text{normalisasi}} = \text{Temp} / 40$  dengan asumsi temperatur dijaga konstan 40° C.

Metode pelatihan yang digunakan adalah metode propagasi balik dan metode optimasinya adalah *gradient descent*. Pada penelitian ini, pelatihan dilakukan dengan kondisi akhir pelatihan yaitu iterasi dibatasi sampai 15000 *epoch*. Selain itu momentum diatur pada nilai yang konstan yaitu 0,85.

Teknik validasi yang digunakan adalah dengan teknik *holdout* yaitu dengan memisahkan data menjadi data pelatihan dan data pengujian. Total data yang diperoleh adalah 36531 buah. Percobaan pertama terdiri atas 28 siklus. Percobaan kedua terdiri atas 22 siklus. Data yang digunakan untuk pelatihan digunakan sebanyak 20 siklus. Pembagian data diatur agar adil untuk setiap percobaan [4]. Tabel.1 berikut memberikan keterangan mengenai jumlah data yang akan dibagi.

Tabel 1: Pembagian data hasil percobaan

	Siklus	Jumlah Data	Jumlah Siklus Pelatihan	Jumlah Siklus Pengujian
Percobaan 1	28	12727	10	10
Percobaan 2	22	23804	10	10
Total	50	36531	20	20

Untuk pelatihan dipilih 20 siklus secara acak dan sisanya untuk validasi. Beberapa aspek validasi ditinjau untuk melihat performansi arsitektur jaringan dalam melakukan aproksimasi terhadap data selain data pelatihan, yaitu:

- Aspek keakurasian yaitu untuk melihat ketelitian dalam menjawab permasalahan. Untuk menilai aspek ini dilakukan perhitungan terhadap galat absolut dari ujicoba jaringan.

- Aspek generalisasi yaitu untuk melihat bagaimana kemampuan jaringan terpilih dapat memecahkan banyak masalah. Dalam penilaiannya dilakukan dengan membandingkan persentase keberhasilannya.
- Aspek konsistensi. Sebuah sistem yang tidak konsisten hanya menunjukkan penanganan yang bagus pada kasus-kasus tertentu [4].

**5. Hasil dan Pembahasan**

Tabel.2 menunjukkan rekapitulasi hasil ujicoba jaringan saraf tiruan 6-3-1 hasil modifikasi dengan jaringan syaraf tiruan 5-3-1 milik Sullivan dkk pada setiap siklus yang diuji, sedangkan tabel.3 menunjukkan rata-rata galat absolut dan persentase keberhasilan dari seluruh data yang diuji.

**Tabel 2 :** Rekapitulasi galat absolut dan persentase keberhasilan pada setiap siklus yang di uji dari jaringan 6-3-1 hasil modifikasi dengan jaringan 5-3-1 milik Sullivan

Siklus Yang Di Uji	Jaringan 6-3-1		Jaringan 5-3-1	
	Rata-rata Galat Absolut	Persentase Keberhasilan	Rata-rata Galat Absolut	Persentase Keberhasilan
1	4.74%	98.23%	4.99%	96.38%
2	4.19%	99.81%	5.50%	90.29%
3	33.64%	0.00%	30.33%	10.78%
4	3.51%	99.82%	4.71%	98.43%
5	31.86%	0.00%	30.95%	5.32%
6	4.80%	98.34%	6.53%	89.37%
7	18.19%	14.87%	19.92%	28.48%
8	3.78%	99.82%	5.40%	95.38%
9	16.89%	23.70%	16.77%	38.96%
10	3.73%	99.82%	5.32%	95.10%
11	30.87%	0.00%	30.16%	4.62%
12	4.53%	97.50%	6.33%	89.65%
13	21.01%	4.61%	22.30%	22.70%
14	5.37%	94.45%	7.22%	85.40%
15	17.49%	17.03%	19.43%	28.17%
16	3.28%	99.82%	4.40%	97.69%
17	12.73%	50.25%	15.87%	35.53%
18	6.18%	95.66%	8.54%	77.26%
19	14.58%	33.80%	16.56%	34.37%
20	15.51%	24.68%	14.99%	29.57%

Hasil pada tabel. 3 memperlihatkan secara umum perbaikan yang diperoleh. Perbaikan yang dicapai adalah menurunnya rata-rata galat absolut dari 9,19% pada jaringan Sullivan menjadi 7,95% pada jaringan hasil modifikasi, selain itu persentase keberhasilan juga meningkat dari 75,68% menjadi 79,33%.

**Tabel 3 :** Rata-rata galat absolut dan persentase keberhasilan seluruh data yang diuji pada jaringan 6-3-1 hasil modifikasi dengan jaringan 5-3-1 milik Sullivan

Jaringan 6-3-1 Modifikasi		Jaringan 5-3-1 Sullivan	
Rata-rata Absolute Error	Persentase Keberhasilan	Rata-rata Absolute Error	Persentase Keberhasilan
7.95%	79.33%	9.19%	75.68%

Pada tabel.4 diperlihatkan hasil perbaikan yang dicapai secara lebih spesifik yaitu rata-rata galat absolut dan persentase keberhasilan pada

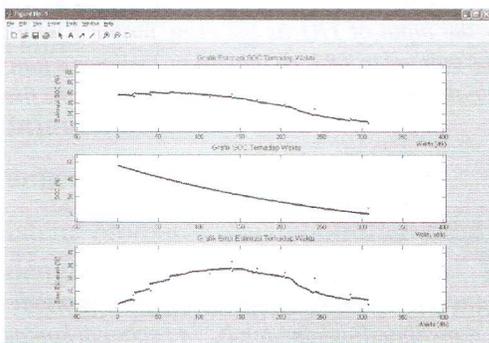
**Tabel. 4** Perbandingan rata-rata galat absolut dan persentase keberhasilan hasil ujicoba laju statik dan laju dinamik pada jaringan 6-3-1 fungsi aktivasi gaussian dengan jaringan 5-3-1 milik Sullivan

	Jaringan 6-3-1 Modifikasi		Jaringan 5-3-1 Sullivan	
	Rata-rata Absolute Error	Persentase Keberhasilan	Rata-rata Absolute Error	Persentase Keberhasilan
Rata-rata pada satu siklus laju dinamik ( Percobaan Pertama )	20.20%	24.25%	20.73%	30.53%
Rata-rata pada setiap siklus laju statik ( Percobaan Kedua )	5.49%	90.97%	6.89%	84.81%

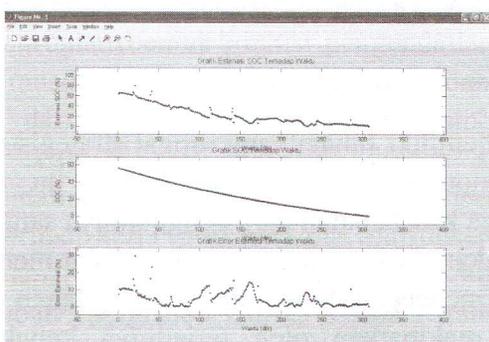
percobaan pertama dan kedua. Pada tabel tersebut terlihat bahwa pada percobaan pertama, rata-rata galat absolut jaringan mengalami perbaikan yaitu menurun dari 20,73 % menjadi 20,20%, akan tetapi jaringan kehilangan generalisasinya karena

mengalami penurunan persentase keberhasilan dari 30,53% menjadi 24,25%. Pada percobaan kedua terlihat bahwa rata-rata galat absolut mengalami perbaikan dari 6,89% menurun menjadi 5,49% dan persentase keberhasilannya mengalami peningkatan dari 84,81% menjadi 90,97%.

Sebagai contoh ujicoba, pada siklus kesembilan yang terlihat pada gambar 5 dan gambar.6 menunjukkan perbandingan hasil ujicoba jaringan 5-3-1 Sullivan dengan jaringan 6-3-1. Ujicoba tersebut menunjukkan jaringan milik Sullivan memperoleh rata-rata galat absolut 15,87% dan persentase keberhasilan 35,53%. Sedangkan jaringan 6-3-1 memperoleh rata-rata galat absolut 12,73% dan persentase keberhasilan 50,25%.



**Gambar 5 :** Ujicoba siklus kesembilan jaringan 5-3-1 Sullivan



**Gambar.6 :** Ujicoba siklus kesembilan jaringan 6-3-1

## 6. Kesimpulan

Secara keseluruhan penambahan variabel gradien akumulasi energi pada input jaringan

syaraf tiruan 6-3-1 telah menunjukkan perbaikan kinerja pada jaringan syaraf tiruan dibandingkan jaringan syaraf tiruan milik Sullivan. Hal ini terlihat dari menurunnya rata-rata galat absolute dari 9,19% pada jaringan Sullivan menjadi 7,95% pada jaringan 6-3-1 hasil modifikasi, dan meningkatnya persentase keberhasilan dari 75,68% menjadi 79,33%. Akan tetapi pada percobaan laju dinamik walaupun rata-rata galat absolut jaringan mengalami penurunan dari 20,73% pada jaringan Sullivan menjadi 20,20% pada jaringan 6-3-1, generalisasinya mengalami penurunan hal ini terlihat dari persentase keberhasilan yang turun dari 30,53% menjadi 24,25%.

## 7. Daftar Pustaka

1. Gregory L. Plett (2004), *Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs Part 1. Background*, *Journal of Power Sources* 134, ELSEVIER, 252-261
2. Sullivan (2000), *Method and apparatus for determining battery state of charge using neural networks architecture*, *Patent number 6064180, USPTO*
3. Sarle, Warren S. (1994), *Neural Networks and Statistical Models*, *Proceedings of the Nineteenth Annual SAS Users Group International Conference*, April, 1-13
4. Dyah Puspitaningrum (2006), *Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan*, Andi, Yogyakarta
5. Gregory L. Plett (2004), *Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs Part 2. Modelling and Identification*, *Journal of Power Sources* 134, ELSEVIER, 262-276

# Rancang Bangun Instrumen Elektronik sebagai Sistem Pengamanan Gedung dari Kebakaran Berbasis Handphone

**Ali Nurdin**

Staf pengajar Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Telekomunikasi  
Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang  
Jl Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139.  
Ali\_viking\_kps@yahoo.com

## Abstract

*This circuit works based on the heat which is accepted by temperature sensor, namely LM 334 Z which will change the heat into produced voltage, then accepted by temperature sensor amplifier, and compared by IC 741 as the comparator. If we compare, IC 741 will give voltage on 0-3 volt. And then, 0-3 volt output will be the input of TR1 as the relay motor 1 which cause monostabil 555 circuit works. Monostabil 555 output will give uncontinous voltage to TR2, so that relay 2 will has a function as the keypad yes connector to HP. Next while HP will make a private number calling, relay 3 will be on for turning on the fire alarm and also turning on the water pump automaticcally.*

**Keyword :** design, security, fire, handphone.

## Abstrak

*Rangkaian ini bekerja berdasarkan panas diterima oleh sensor suhu yaitu LM 334 Z yang merubah panas menjadi bentuk tegangan yang dihasilkan, kemudian diterima oleh penguat sensor suhu, dan dibandingkan oleh IC 741 sebagai komparator, jika sebanding maka IC 741 akan menghasilkan tegangan 0-3 V. Selanjutnya keluaran 0-3 V tersebut akan menjadi masukan TR1 sebagai penggerak relay 1 yang mengakibatkan rangkaian monostabil 555 akan bekerja. Keluaran monostabil 555 akan memberi tegangan yang terputus-putus pada TR2 sehingga relay 2 akan berfungsi sebagai penghubung tombol yes pada HP. Selanjutnya HP akan menghubungi nomor HP pribadi, bersamaan itu juga relay 3 akan aktif menghidupkan alarm kebakaran dan sekaligus menghidupkan pompa air secara otomatis.*

**Kata Kunci :** Rancang bangun, sistem pengaman, kebakaran, Handphone.

## 1. Pendahuluan

Kerugian yang disebabkan oleh kebakaran dari tahun ke tahun semakin bertambah. Selain menimbulkan kerugian materi, peristiwa kebakaran tidak jarang juga menimpa korban jiwa. Karena itu sangatlah penting kita mencegah terjadinya kebakaran, sehingga kerugian yang akan timbul dapat diatasi sampai tingkat yang paling minim.

Dalam beberapa tahun dikota-kota besar banyak dibangun gedung-gedung, apartemen bertingkat serta bangunan-bangunan perkantoran

yang memiliki fungsi yang sangat strategis untuk perekonomian bangsa, oleh karena itu untuk menjaga keselamatan para penghuninya sangatlah diperlukan suatu sistem pemadam yang memadai untuk mencegah timbulnya permasalahan yang besar diakibatkan oleh terjadinya kebakaran. Kebakaran biasanya terjadi akibat kecelakaan atau kelalaian manusia seperti kompor meledak, puntung rokok yang dibuang sembarangan, hubungan singkat listrik dan sebagainya. Kebakaran juga disebabkan oleh peristiwa alam seperti sambaran petir, untuk itu kerugian yang

ditimbulkan oleh kebakaran dapat diperkecil dengan bantuan instrument elektronik berupa “Rancang bangun instrument elektronik sebagai sistem pengamanan gedung dari kebakaran berbasis handphone.

Alat ini dapat mendeteksi adanya bahaya kebakaran lalu dengan sendirinya akan mengaktifkan pompa-pompa air untuk memadamkan api sementara dan menghidupkan alarm secara otomatis, sebelum datangnya bantuan dari dinas pemadam kebakaran, serta memberi aba-aba adanya kebakaran ke handphone pribadi kita melalui handphone yang telah kita aplikasi dengan sensor yang ada pada alat ini. Pembuatan dan perancangan alat ini secara khusus ditujukan untuk keamanan rumah tetapi tidak menutup kemungkinan digunakan pada tempat tempat lain.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Pengertian Umum Sensor Suhu

Sistem otomatis atau controller tidak akan lepas dengan apa yang disebut “Sensor” karena suatu sistem pengendali secara mempunyai prosedur dan rangkaian proses yang saling berkaitan. Bermula dari proses perubahan yang ditangkap dan diolah oleh pengolah sinyal atau data yang kemudian diteruskan sebagai keluaran dari oleh data dalam bentuk kondisi pengendalian.

Transduser adalah alat yang mengubah suatu energi dari suatu bentuk ke bentuk lain, yang merupakan elemen penting dalam sistem pengendalian. Secara umum transduser dibedakan atas 2 prinsip kerja yaitu: pertama, transduser input, yang dapat dikatakan bahwa transduser ini akan mengubah energi non listrik. Kedua, transduser output adalah kebalikan dari transduser input yaitu mengubah energi listrik menjadi non listrik.

Sensor adalah alat untuk mendeteksi atau mengukur sesuatu yang digunakan untuk mengubah variasi mekanik, magnetis, panas, sinar, dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik. Sensor itu sendiri terdiri dari transduser dengan atau tanpa

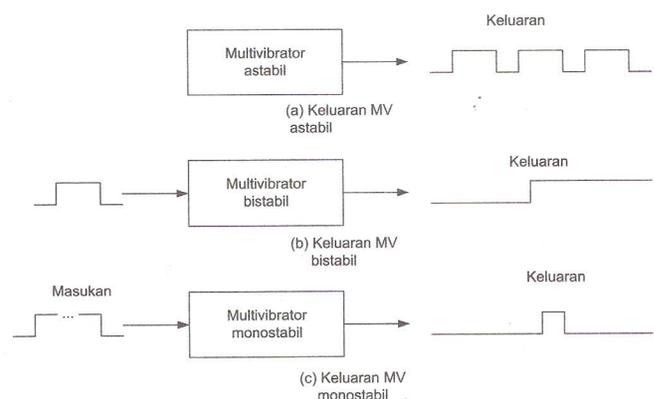
penguat atau pengolah sinyal yang terbentuk dalam satu system pengindera. Dalam lingkungan sistem pengendali sensor memberikan kesamaan yang menyerupai mata, pendengaran, hidung, lidah, yang kemudian akan diolah oleh controller sebagai otaknya.

### 2.2 Multivibrator

Multivibrator adalah rangkaian pembangkit pulsa yang menghasilkan keluaran gelombang segi empat. Multivibrator diklasifikasikan multivibrator astabil bistabil dan monostabil.

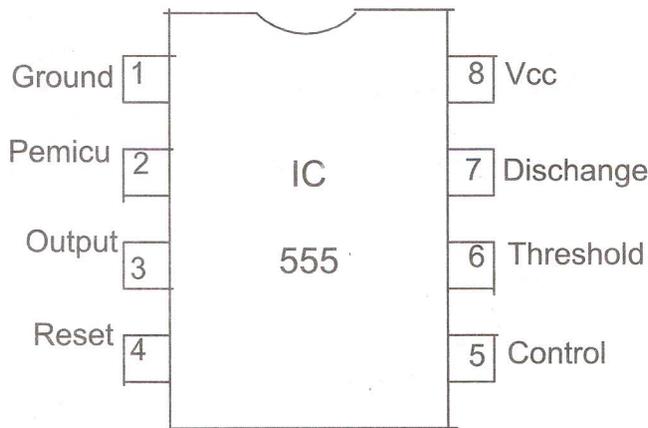
Suatu multivibrator astabil juga disebut dengan multivibrator bergerak bebas. Multivibrator astabil menghasilkan aliran kontinu pulsa-pulsa sebagaimana digambarkan pada gambar 1a. Multivibrator bistabil disebut juga dengan flip flop. Multivibrator bistabil selalu dalam keadaan stabil satu atau dua ( set atau reset ). Bentuk dasar dari multivibrator bistabil digambarkan dalam gambar 1b, dengan pulsa masukan memicu perubahan bentuk keluaran dari rendah ke tinggi.

Multivibrator monostabil disebut juga multivibrator satu pulsa. Ketika satu pulsa dipicu, sebagaimana terlihat pada gambar 1c, maka multivibrator menghasilkan satu pulsa pendek.



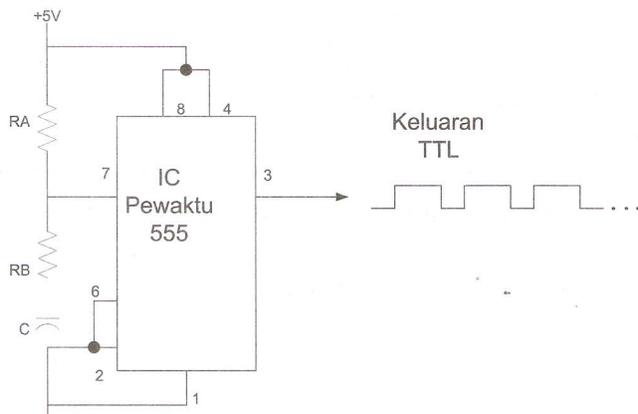
Gambar 1. Keluaran Multivibrator.

Pewaktu 555 biasanya dijual dalam bentuk IC DIP 8- Pin. Fungsi semua pin untuk IC pewaktu 555 diperlihatkan dalam gambar 2



**Gambar 2.** IC 555 dan Pin-Pinnya

Multivibrator Astabil sebagai IC pewaktu 555 multiguna dapat digunakan sebagai multivibrator astabil, bistabil atau monostabil. Pewaktu 555 menunjukkan hubungan seperti multivibrator astabil (bergerak bebas) dalam gambar 3



**Gambar 3:** Rangkaian Pewaktu Multivibrator Astabil

Multivibrator Astabil sering disebut dengan detak bila digunakan dalam sistem digital. Sistem detak digunakan dalam semua sistem dasar mikroprosesor dan digital sinkron. Beberapa karakter penting dari detak dalam sistem digital adalah frekuensi, waktu putaran detak, kestabilan frekuensi, kestabilan regangan dan bentuk gelombang. Waktu putaran detak dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$T = 1/f$$

Dengan T = waktu (detik)

f = frekuensi (Hz)

detak memerlukan gelombang persegi dengan waktu naik dan waktu turun yang cepat.

Multivibrator monostabil atau satu tembakan menghasilkan pulsa keluaran dengan lama waktu tetap, setiap saat inputnya dipicu. Ide dasar dari multivibrator monostabil diperlihatkan dalam gambar. Pemicuan masukan dapat keseluruhan pulsa, transisi detak dari R (rendah) ke T (tinggi) atau transisi pulsa pemicu dari T ke R bergantung pada satu tembakan. Pulsa keluaran dapat berupa negative atau positif. Pendesain dapat mengatur lamanya waktu pulsa keluaran dengan menggunakan kombinasi kapasitor-kapasitor yang berlainan.

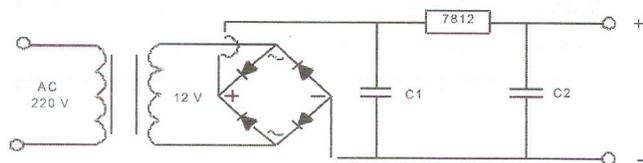
### 2.3 Catu Daya

Catu daya adalah sebuah rangkaian yang mengubah rangkaian AC menjadi DC. Pada rangkaian ini catu daya hanya sebagai pendukung kerja dari rangkaian diantaranya adalah penurunan tegangan, penyearah, filter dan regulator. Transformer disini berfungsi sebagai komponen yang digunakan sebagai penurun tegangan. Sebagai contoh tegangan dari sumber bolak balik AC 110 Volt atau 220 Volt diturunkan menjadi 12 Volt dan untuk keperluan itu diperlukan transformator step down yang bertegangan sekunder pada 12 Volt. Penyearah dioda sistem jembatan dapat dibuat menggunakan 4 buah dioda yang tersusun sedemikian rupa sehingga dapat bekerja sebagai penyearah. Filter dibuat dengan menggunakan kapasitor, dimana kapasitor akan dimuati selama dioda melewati arus dan selama dioda tidak lagi melewati arus, saat inilah kapasitor mengosongkan muatannya.

Regulator adalah penstabil tegangan dimana untuk mendapatkan tegangan positif 5 Volt dan 12 Volt dapat digunakan IC regulator tipe 7805 dan 7812 sehingga tegangan keluaran dari regulator ini benar-benar stabil.



**Gambar 4 :** Blok Diagram Catu Daya



**Gambar 5:** Catu Daya Rangkaian IC 7812

## 2.4 Telepon Seluler

Banyak orang telah mengenal dan menggunakan telephone seluler (ponsel) atau handphone (hp) sebagai peralatan yang sangat praktis untuk melakukan komunikasi dimanapun mereka berada tanpa dibatasi oleh ruang dan rentang panjang kabel. Saat ini ponsel telah mempunyai beberapa fungsi yang semakin berkembang tidak hanya sebagai alat komunikasi praktis saja.

Di dalam suatu sistem selular, daerah jangkauan dari suatu operator dibagi menjadi sel-sel. Sebuah sel meliputi area dari satu pemancar atau suatu kumpulan kecil pemancar. Ukuran suatu sel ditentukan oleh daya pemancar. Konsep sistem selular sebenarnya berdasar pada penggunaan daya pemancar yang rendah untuk memungkinkan penggunaan frekwensi yang lebih efisien. Bidang frekwensi yang dialokasikan ke suatu *cellular mobile radio system* disalurkan melalui suatu kelompok sel dan distribusi ini diulangi di semua daerah jangkauan dari suatu operator. Jumlah keseluruhan dari saluran radio yang tersedia kemudian digunakan pada setiap kelompok sel yang membentuk area dari suatu operator. Jarak antar sel yang menggunakan frekwensi yang sama harus cukup, untuk menghindari interferensi.

### Fasilitas Tambahan Pada Handphone

Setiap handphone terdapat fasilitas tambahan. Fasilitas tambahan ini dapat dikelompokkan menjadi:

- Pendialan nomor terakhir ( Last number dialing/redial )  
Fasilitas yang memungkinkan untuk panggilan ulang nomor terakhir.
- Pendialan Singkat (Abbreviated dialing )  
Fasilitas untuk nomor-nomor dalam memori yang diprogram sebelumnya secara otomatis
- Pengingat ( Remainder Dialing )  
Fasilitas yang memungkinkan pemanggilan secara otomatis suatu nomor tertentu dan pada waktu tertentu yang telah diprogram sebelumnya.
- Perekam dan penjawab otomatis ( Automatic answering dan recording )

Setiap panggilan yang masuk dijawab secara otomatis dan perekaman pesan penelephone.

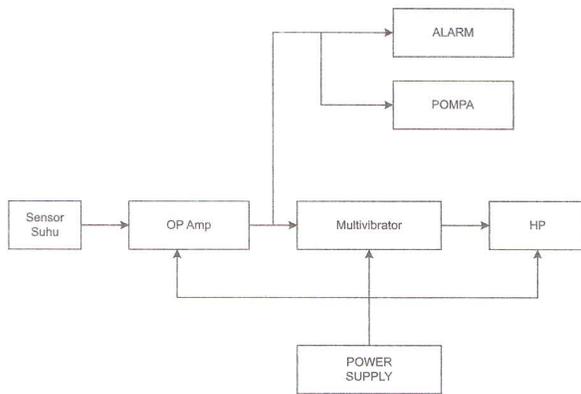
## 3. Pembahasan

Perancangan merupakan suatu tahap yang paling penting dalam pembuatan alat. Sebab dengan merancang kita dapat mengetahui komponen apa yang digunakan sehingga alat yang kita buat dapat bekerja seperti yang kita harapkan. Petunjuk mengenai komponen apa yang harus digunakan, spesifikasi dan karakteristik mengenai komponen dapat kita ketahui melalui data book. Spesifikasi tentang komponen sangat penting karena dengan demikian kita dapat menganalisa alat yang kita buat. Untuk mendapatkan hasil yang optimal, haruslah terlebih dahulu membuat rancangan yang baik dengan memperhatikan sifat dan karakteristik dari komponen yang dipergunakan serta persediaan suku cadang dipasaran sehingga dapat mempermudah dalam pengerjaannya dan kerusakan pada komponen yang dipergunakan dapat dihindari.

### 3.1. Diagram Blok dan Rangkaian Lengkap

Diagram blok pada gambar 6 merupakan penyingkatan dari rangkaian yang sesungguhnya seperti terlihat pada rangkaian lengkap pada gambar 7, karena dalam diagram blok ini hanya

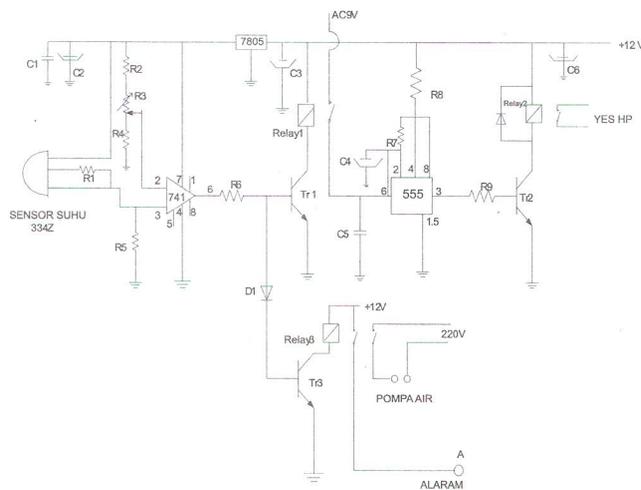
terdapat hubungan jalur antara blok-blok saja. Dimana masing-masing blok mewakili komponen utama dan komponen penunjang yang berhubungan dengan rangkaian yang sebenarnya.



Gambar 6 : Blok Diagram

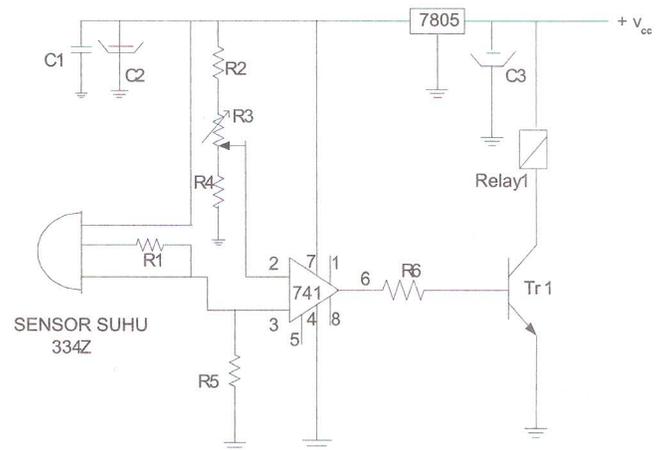
### 3.2. Rangkaian Penguat Sensor Suhu

Penguat depan Sensor suhu yang berfungsi sebagai penguat juga dapat digunakan untuk menambah kepekaan sensor suhu. Penguat pada rangkaian ini terdiri dari suatu penguat depan yang mempunyai tanggapan tegangan dan impedansi dari sensor suhu yang biasanya tinggi. Disamping itu juga penguat ini harus berfungsi sebagai komparator/ pembanding dimana jika tegangan yang dihasilkan sensor suhu (ekivalen dengan suhu ruangan) lebih kecil dari tegangan referensi



Gambar 7 : Rangkaian Pendeteksi Kebakaran

(ekivalen dengan suhu yang diinginkan) maka proses pengiriman dapat dilakukan kebagian berikutnya. Untuk rangkaian penguat ini digunakan komponen utama yaitu penguat IC LM 741 yang berfungsi sebagai pembanding dan IC LM 334 Z sebagai sensor suhu yang bekerja pada suhu 0°-60°



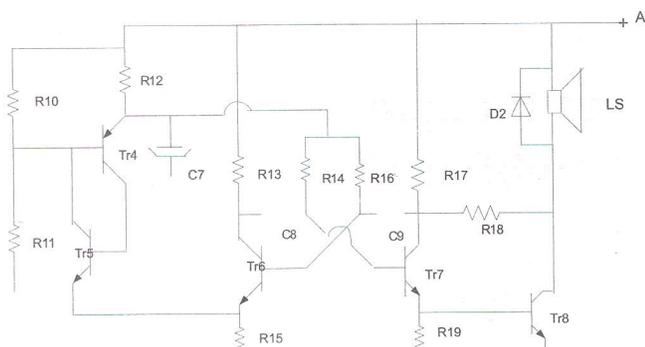
Gambar 8 : Rangkaian Penguat Sensor Suhu

### 3.3. Multivibrator

Pada rangkaian ini, multivibrator digunakan sebagai indikator saja sehingga dapat juga dengan rangkaian lain apabila diperlukan. Berdasarkan pada gambar rangkaian, kalau kita hubungkan pena 2 dengan pena 6 dan kepada rangkaian ditambahkan Rs maka akan menimbulkan frekuensi yang stabil, kalau pena 2 dan pena 6 dihubungkan, IC 555 akan diaktifkan apabila kapasitor sudah netral kembali, sekarang tegangan pada kondensator akan bertukar antara 1/3 Vcc dan 2/3 Vcc.

### 3.4. Alarm

Untuk rangkaian alarm ,kerja rangkaiannya tidak terlalu rumit. Pada saat relay dalam kondisi tidak bekerja dan sensor tidak jalan maka speaker tidak akan berbunyi. Tetapi apabila resistansi sensor menjadi tinggi maka relay tertarik dan alarampun diaktifkan.



Gambar 9 : Rangkaian Alarm

### 3.5. Catu Daya

Unit catu daya dari suatu sistem rangkaian merupakan bagian terpenting untuk bekerja instrument atau sistem rangkaian elektronika. Karena sistem kerja rangkaian yang dibuat dalam tugas akhir ini memerlukan catu daya yang telah distabilkan. Maka dirancang suatu sistem rangkaian pencatu daya yang distabilkan dengan menggunakan IC 7812 yang mempunyai tegangan keluaran 12 Volt dan kemampuan mengalirkan arus sebesar 1 ampere.

Hal ini diperoleh dari karakteristik elektrik-elektrik IC regulator itu sendiri. IC regulator dengan seri LM 7812 adalah regulator positif 12 Volt dengan tiga terminal, satu jalan masuk, satu jalan keluar dan satu lagi untuk koneksi bersama untuk massa. Seperti terlihat pada gambar. Adalah rangkaian regulator dengan tegangan keluaran yang konstan dan merupakan rangkaian yang dipakai untuk mencatu daya rangkaian.

Sebagaimana yang terlihat seperti pada gambar 5. Bentuk rangkaian ini sangat sederhana hanya diperlukan kapasitor masukan dan keluaran,  $C_1$  berfungsi untuk mencegah terjadinya osilasi sedangkan  $C_2$  berfungsi untuk memperbaiki tegangan ripple atau tanggapan kilasan atau transient response. Agar stabilisator tegangan IC 7812 bekerja baik tegangan input diperlukan 5 volt lebih tinggi dari tegangan keluaran yang diinginkan atau tegangan regulatornya. Namun tegangan masukan maksimal yang diperoleh dan sebesar 35 volt kecuali untuk IC 7824 sampai 40 volt.

## 4. Kesimpulan

Rancang bangun instrument elektronik ini untuk mengembangkan suatu peralatan elektronika yang diharapkan mampu memecahkan permasalahan yang timbul akibat bahaya kebakaran sehingga seseorang atau masyarakat dapat mencegah dan menanggulangnya sedini mungkin.

Sedangkan manfaat yang dapat diperoleh dari pembuatan alat ini adalah sebagai berikut: Mempermudah dalam melindungi rumah dari bahaya kebakaran. Peralatan pengontrol dan pemadam kebakaran ini diharapkan dapat bekerja dengan cepat apabila terjadi kebakaran dan dengan segera dapat memadamkannya. Sebagai pengontrol dan pendeteksi adanya bahaya kebakaran sehingga kerugian yang timbul akibat kebakaran dapat dihindari.

## 5. Daftar pustaka

1. David Parsons, , "The mobile radio propagation channel", *Pentech press. Publishers*, London, 1992.
2. Gatot Santoso, "Sistem seluler CDMA", *Penerbit graha Ilmu*, Jogyakarta, 2004.
3. Malvino, "Prinsip-prinsip elektronik", jilid 1 dan 2, *penerbit Erlangga*, Jakarta 1994
4. PT. Telkom, "System CDMA design", Divlat PT Telkom, Bandung, 2003.
5. PT. Telkom, "CDMA Technology", *Divlat PT Telkom*, Bandung 2003
6. Sunomo, "Pengantar sistem komunikasi nirkabel", PT. grasindo, Jakarta. 2004
7. Theodore S Rappaport, , "Wireless communication principle and practice", *Prentice Hall*, New jersey, 1996.
8. Vijay K Garg, , "Principles and applications of GSM", *Prentice Hall*, New jersey, 1999.

# Simulasi Rancang Bangun High Gain Power Amplifier (PA)

Pamungkas Daud, Mashury, Dadin Mahmudin dan Yudi Yuliyus

1)2)3)4) Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi  
Komplek LIPI Gdg. 20 Lt. 4, Jl. Sangkuriang, Bandung- Indonesia  
Tlp. 022-2504661, Fax. 022-2504659, Email: mashury@ppet.lipi.go.id

## Abstract

The High Gain of Microwave circuit design Power Amplifier (PA) proposed for radar system in this research. Specifications of High Gain Power Amplifier is designed to be a low noise figure about 5 dB maximum, the strengthening of stability in the 9,36-9,43 GHz band, a gain factor of approximately 33 dB and 9.4 GHz operating frequency. Designing of High Gain Power Amplifier requires simulation process by using special application software for microwave devices (LINC) and high mathematical analysis. PA works to strengthen the signal to reach the level of 1 or 2 watts (30-33 dBm). The results of the study design and realization of the High Power Amplifier Gain will later be applied to the transmitter (transmitter) of the radar system.

**Key Words :** gain, noise, software, amplifier

## Abstrak

Rancang bangun rangkaian Gelombang Mikro High Gain Power Amplifier (PA) untuk sistem Radar diajukan dalam penelitian ini. Spesifikasi dari High Gain Power Amplifier yang akan dirancang adalah mempunyai noise figure yang rendah sekitar 5 dB maksimum, kestabilan penguatan yang tinggi pada band 9,36 - 9,43 GHz, factor penguatan yang besar sekitar 33 dB dan frekuensi kerja 9,4 GHz. Perancangan High Gain Power Amplifier ini memerlukan proses simulasi menggunakan software aplikasi khusus dan analisa matematis yang tinggi. PA berfungsi untuk memperkuat signal mencapai level 1 atau 2 watt (30-33 dBm). Hasil perancangan dan realisasi dari penelitian High Gain Power Amplifier ini nantinya akan diaplikasikan pada bagian pemancar (Transmitter) dari sistim Radar.

**Kata Kunci :** gain, noise, software, amplifier

## 1. Pendahuluan

Radar atau *Radio Detection and Ranging* adalah suatu sistem yang menggunakan gelombang elektromagnet untuk mengamati jangkauan, ketinggian, arah atau kecepatan baik obyek bergerak maupun diam dalam hal ini untuk pengamatan kondisi lingkungan pantai contoh kapal laut. Sistem Radar yang paling sederhana terdiri dari r-f power, antena dan obyek yang menjadi target. Antena memancarkan gelombang dengan faktor waktu  $e^{i\omega t}$  dimana pada waktu menyentuh target pada jarak  $r$ , akan direfleksikan kembali ke antena, yang faktor waktunya menjadi

$e^{i(\omega t - 2kr)}$ , dengan  $k = 2\pi/\lambda$ . Gelombang yang dikembalikan amplitudanya akan menurun dengan faktor  $\alpha$  yang bergantung kepada target dan berbagai faktor geometri. Hal ini memerlukan perubahan yang disebabkan oleh proses modulasi. Modulasi disini dimaksudkan termasuk perubahan yang disebabkan oleh signal yang diinduksikan oleh target maupun signal yang berasal dari transmitter. Semua sistem Radar yang dimungkinkan dapat diklasifikasikan dalam gambaran tipe modulasi dan penggunaan informasi yang dihasilkan. Semua jenis modulasi baik Radar pulsa maupun c-w, memberikan pendeteksian yang

sama baiknya terhadap background thermal noise, sepanjang sistem penerimanya sesuai dengan spektrum yang dipancarkan[6,7].

Prinsip kerja suatu pemancar Radar yaitu memancarkan gelombang radio yang direfleksikan oleh target dan dideteksi oleh alat penerima yang berlokasi di tempat yang sama. Desain pemancar Radar dalam penelitian ini menggunakan sistem FM-CW, dimana dalam CW Radar ini outputnya terdiri dari pulsa-pulsa yang sempit. Keunggulan dari CW Radar mempunyai kemampuan untuk mengukur kecepatan dengan ketelitian tinggi berdasarkan prinsip doppler shift pada frekuensi sinyal yang dikembalikan oleh target yang dideteksi yaitu pergeseran frekuensi gelombang yang dipantulkan dengan nilai yang merupakan fungsi dari kecepatan relatif antara target dan pemancar-penerima. Data jangkauan diambil dari perubahan frekuensi doppler terhadap waktu. Definisi Doppler shift adalah perbedaan antara frekuensi yang diterima dan gelombang yang ditransmisikan, dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$f_d = f_R - f_T \text{ (hertz)}$$

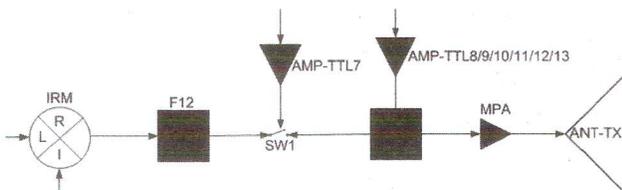
Keterangan .:

$f_d$  = Doppler shift (positif Doppler yaitu dari target mendekat ke Radar)

$f_R$  = Frekuensi dari echo target (Hertz)

$f_T$  = Frekuensi yang ditransmisikan (Hertz)

Apabila frekuensi CW Radar berubah terus menerus terhadap waktu, frekuensi dari sinyal echo akan berbeda dengan frekuensi yang dipancarkan dan perbedaannya sebanding terhadap jarak jangkauan target. Dalam frekuensi modulated Countinuios Wave Radar (FM-CW Radar), frekuensi biasanya berubah secara linier.

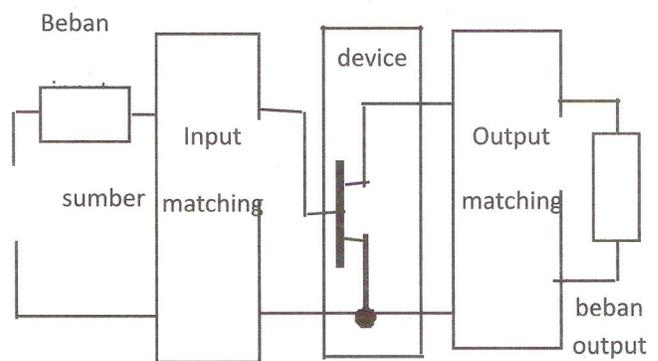


**Gambar 1** : Posisi PA pada Diagram Blok Transmitter Radar

## 2. Metode

Penelitian ini terdiri atas perancangan dan realisasi. Perancangan mencakup identifikasi dan penentuan spesifikasi *High Gain Power Amplifier* (PA), secara berurut metodologi penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Menentukan spesifikasi dari *High Gain Power Amplifier* yang akan dirancang
- Memilih komponen aktif (*device*) dalam hal ini Transistor frekuensi tinggi yang mempunyai spesifikasi sesuai dengan spesifikasi *High Gain Power Amplifier* yang dirancang
- Menghitung untuk menentukan rangkaian *input matching* menggunakan parameter S dari transistor yang sesuai dengan frekuensi kerja dari *High Gain Power Amplifier* yang dirancang[1,2,3]
- Menghitung untuk menentukan rangkaian *output matching* menggunakan parameter S dari transistor yang sesuai dengan frekuensi kerja dari *High Gain Power Amplifier* yang dirancang

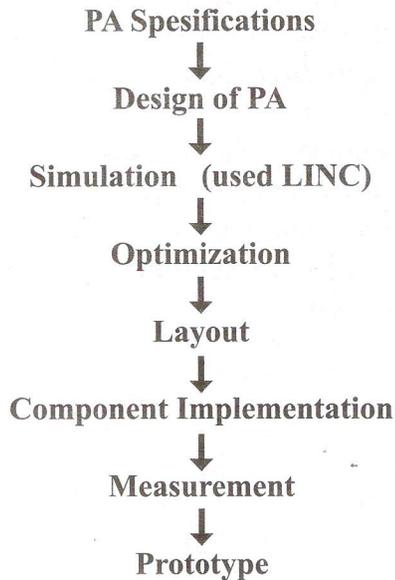


**Gambar 2**: Blok Rangkaian dari *High Gain Power Amplifier* yang dirancang

- Melakukan simulasi dengan menggunakan hasil-hasil perhitungan dari rangkaian *matching input* dan *matching output* untuk melihat response frekuensi dan gain dari rangkaian *High Gain Power Amplifier* yang dirancang[4,5], simulasi dilakukan

menggunakan software aplikasi khusus untuk perancangan rangkaian-rangkaian microwave devices.

- Melakukan sintesa diatas kertas untuk merancang Layout dan menerapkan diatas PCB dalam bentuk strip rangkaian (*microstrip*) yang menyatakan besaran L (induktif) maupun C (kapasitif) sesuai dari perhitungan yang telah dilakukan[8].
- Melakukan Implementasi komponen-komponen penunjang lainnya diatas layout rangkaian yang sudah dibuat.
- Melakukan uji fungsional terhadap rangkaian yang telah dirancang.

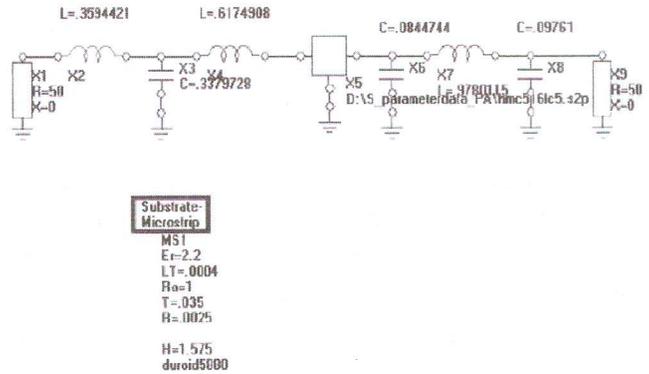


Gambar 3 : Diagram Aliran Proses Perencanaan Pembuatan PA

3. Simulasi

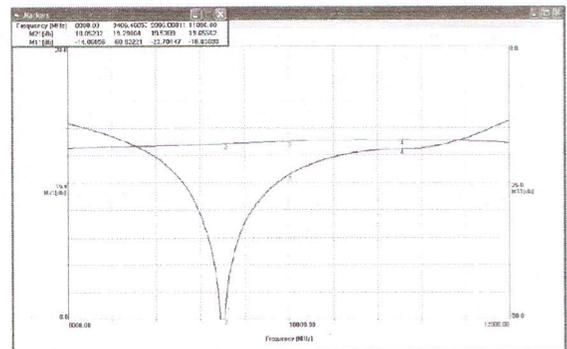
Simulasi dilakukan menggunakan Software LINC untuk desain microwave devices produk Amerika.

Rangkaian Power Amplifier 1 Tingkat



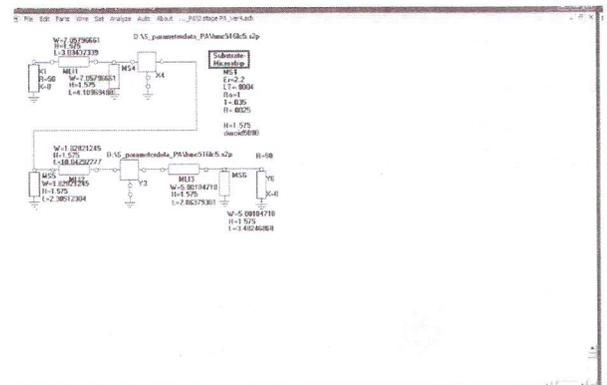
Gambar 4 : Desain Rangkaian Power Amplifier 1 Tingkat

Hasil Simulasi Power Amplifier 1 Tingkat



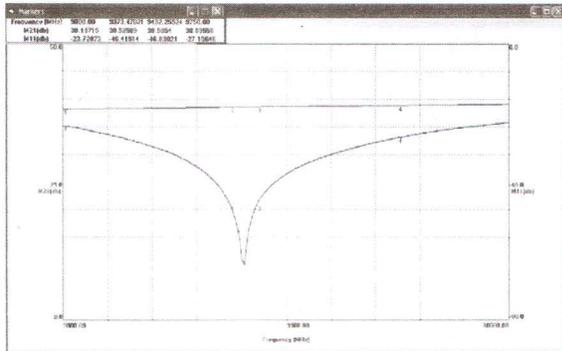
Gambar 5 : Simulasi Power Amplifier (Frekuensi terhadap Gain)

Rangkaian Power Amplifier 2 Tingkat



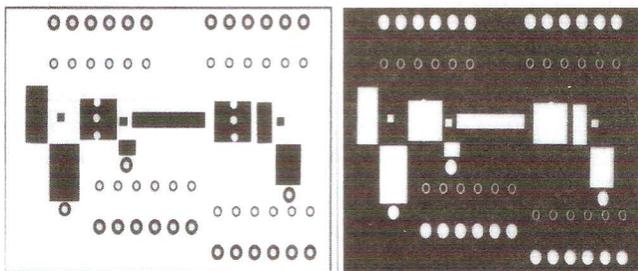
Gambar 6 : Desain Rangkaian Power Amplifier 2 Tingkat

### Hasil Simulasi Power Amplifier 2 Tingkat



**Gambar 7 :** Simulasi PA 2 Tingkat (Frekuensi terhadap Gain)

### Lay out PCB PA



**Gambar 5 :** Lay Out PCB PA dalam format positif dan negatif Film

### 4. Kesimpulan

- Dari hasil simulasi PA satu tingkat didapatkan penguatan (gain) sebesar 19 dB flat untuk Bandwith selebar 120 MHz
- Untuk koneksi antar komponen diperlukan proses *bounding* karena komponen aktif yang digunakan berupa transistor *Chip* yang berukuran kecil (5x5 mm), sedangkan komponen untuk rangkaian bias bisa digunakan komponen *lumped* atau lebih baik lagi berupa *distributed elemen*, pada penelitian ini untuk sementara dicoba menggunakan *lumped* elemen
- Tulisan berikutnya akan menguraikan Realisasi dari pembuatan PA ini dan hasil pengukuran berikut analisisnya

### Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada : Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET-LIPI) atas bantuannya memberikan kesempatan waktu dalam menyiapkan makalah ini.

### 5. Daftar Pustaka

1. Pamungkas Daud, "Design of High Frequency Oscillator", *Buletin IPT-LIPI* September 1996.
2. Pamungkas Daud, "Design of Voltage Control Oscillator (VCO) Frequency 2,6-3.1 Ghz using Thick Film Technology", *Buletin IPT No. 2 Vol.V Juni/Juli 1999*
3. Pamungkas Daud, "Oscillator C-Band Design using Dielectric Resonating Oscillator (DRO)", *Journal Elektronika dan Telekomunikasi*, No.1 Vol. III, Juni-Juli 2003, ISSN: (1411-8289).
4. Samuel Y.Liao, "Microwave Circuit Analysis and Amplifier Design", *Prentice Hall*, 1987.
5. George Vendelin, "Design of Amplifier and Oscillator by the S-Parameter Method", *Willey Interscience*, 1982.
6. S. Kingsley and S. Quegan, "Understanding Radar Systems", *CHIPS*.
7. Leo P. Ligthart, "Short Course on Radar Technologies", International Research Centre for Telecommunications and Radar, TU Delft, September 2005.
8. T.C. Edwards, "Foundations for Microstrip Circuit Design", John Wiley & Sons, 1981.

# Teknologi Lapisan Tipis pada Substrat Alumina ( $Al_2O_3$ ) dan Aplikasinya Untuk Rangkaian Gelombang Mikro

Lia Muliani, Gandi Sugandi, Jojo Hidayat

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET)LIPI

Jl. Sangkuriang Kampus LIPI Bandung 40135

Telp :022-2504660 Fax : 022-2504661

Email: [lia@ppet.lipi.go.id](mailto:lia@ppet.lipi.go.id)

## Abstract

*Thin Film Technology on Alumina substrate ( $Al_2O_3$ ) has been done at our laboratory. This technology is applied in microwave circuits due to its precision in term of dimension, function and its performance. In this work, we used Alumina substrate ( $Al_2O_3$ ) of 99.5% purity. Conductor film consists of Cr/Cu/Au deposited on substrate by sputtering technique and electroplating respectively. Circuits pattern is done by photolithography process both negative and positive mask. In this paper, step process and their influences to the characteristic of devices is described. Band Pass Filter (BPF) was chosen as a prototype of this work with centre frequency of 9.4 GHz.*

**Keywords:** *Thin Film Technology, Alumina Substrate, Microwave Circuits*

## Abstrak

*Teknologi lapisan tipis pada substrat alumina ( $Al_2O_3$ ) telah dilakukan di laboratorium kami. Teknologi lapisan tipis ini diaplikasikan untuk rangkaian gelombang mikro (microwave circuits) yang diakui memiliki keunggulan dari segi kepresisian dimensi, fungsi serta keandalannya. Pada penelitian ini kami menggunakan digunakan substrat alumina dengan kemurnian 99,5%. Lapisan konduktor terdiri atas Cr/Cu/Au dan dideposisi di atas substrat dengan teknik Sputtering dan elektroplating. Pembuatan pola rangkaian dilakukan dengan proses fotolitografi menggunakan masker positif dan mesker negatif. Pada tulisan ini akan diuraikan tahapan proses dan faktor-faktor yang berpengaruh pada karakteristik komponen yang dihasilkan. Pada tulisan ini prototipe rangkaian yang dibuat adalah rangkaian band pass filter dengan frekuensi tengah pada 9,4GHz.*

**Kata kunci:** *Teknologi lapisan tipis, substrat alumina, rangkaian gelombang mikro*

## 1. Pendahuluan

Adanya tuntutan pasar akan produk produk elektronika yang ukurannya semakin kecil, ringan serta kehandalan tinggi memacu berkembangnya teknologi mikroelektronika yang dapat menghasilkan rangkaian dengan kepadatan komponen tinggi disertai dengan miniaturisasi dimensi. Teknolgi lapisan tipis (*thin film technology*) merupakan salah satu teknologi proses mikroelektronika yang dapat diimplementasikan untuk menghasilkan rangkaian-rangkaian seperti tersebut diatas. Aplikasi proses teknologi lapisan

tipis ini banyak digunakan untuk rangkaian gelombang mikro (*microwave circuits*) pada peralatan telekomunikasi, satelit, radar navigasi, industri, sistem alarm, sistem kontrol dan lain-lain.

Dalam pembuatan rangkaian frekuensi sangat tinggi, diperlukan proses yang tepat dan akurat, karena ketelitian sangat mempengaruhi respon frekuensi yang dihasilkan. Proses ini meliputi deposisi lapisan konduktor dan proses pembentukan pola rangkaian atau yang biasa dikenal dengan fotolitografi. Proses fotolitografi merupakan salah satu bagian terpenting dari

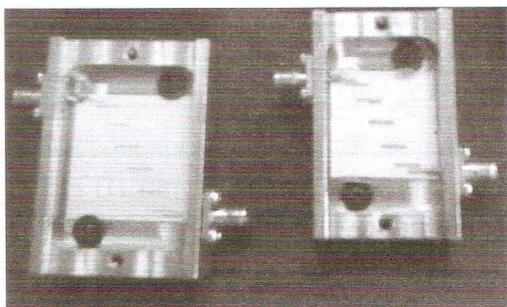
tahapan proses teknologi ini. Untuk itu dilakukan penelitian proses fotolitografi untuk aplikasi pembuatan rangkaian gelombang mikro dengan teknologi lapisan tipis.

Pada tulisan ini akan diuraikan tahapan proses teknologi lapisan tipis di atas substrat alumina ( $Al_2O_3$ ) dengan fotolitografi menggunakan masker positif dan masker negatif. Faktor proses yang berpengaruh pada karakteristik komponen yang dihasilkan dianalisa. Prototipe komponen yang dibuat adalah komponen Band Pass Filter (BPF).

2. Tinjauan Pustaka

a. Rangkaian Gelombang Mikro

Komponen microwave merupakan rangkaian frekuensi sangat tinggi yang umumnya berbentuk planar terbuka berdasarkan teknik perancangan stripline atau mikrostrip. Rangkaian ini terdiri atas pola konduktor berupa elemen rangkaian pasif di atas permukaan substrat dielektrik dan pada sisi lain dilapisi dengan lapisan konduktor [1], seperti contoh pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Contoh rangkaian filter [2]

Rangkaian mikrostrip untuk frekuensi tinggi biasanya menggunakan substrat keramik alumina yang memiliki kemurnian tinggi, permukaan halus (porositas rendah) dan ketebalan 0.020 in atau 0.025 in. Substrat yang dipilih harus memiliki losses yang rendah dan konstanta dielektrik yang tinggi [1]. Tabel 1 menunjukkan jenis substrat dengan parameternya. Pada penelitian ini substrat yang digunakan adalah Alumina 99,5% dengan konstanta dielektrik 9.8 dan ketebalan 0,637 mm

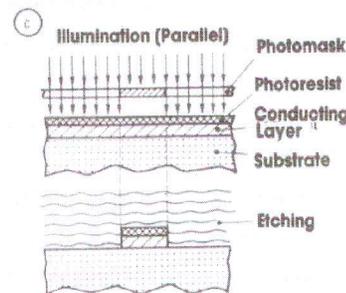
Tabel 1. Jenis Substrat dan parameternya [6]

Material	Relative Permittivity, $\epsilon_r$	Dielectric Loss Factor (at 10 GHz, 25°C), $\tan\delta$	Specific Thermal Conductivity, $K_{30}$ in W/cm K	Linear Thermal Expansion Coefficient (at 25°C), $\Delta L / L \Delta T$ in $10^{-6} K^{-1}$	Temperature Coefficient of $\epsilon_r$ , $\frac{\Delta \epsilon_r}{\epsilon_r \Delta T}$ in $10^{-4} K^{-1}$	Type	Remarks
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ceramic (99.5% pure)	9.8	0.0001	0.37	6.3	+136	In	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ceramic (96%)	9.1	0.001	0.35	6.4		In	
Sapphire	9.4, 1.6	0.0001	0.42	6	+110-+140	In	anisotropic
Quartz glass	3.78	0.0001	0.017	0.25	+13	In	
Corning glass 7059	5.75	0.0036	0.012	4.6		In	
Beryllium oxide Ceramic (BeO) (98%)	6.3	0.006	2.1	6.1	+107	In	dust is poisonous
Titanium oxide TiO <sub>2</sub>	85	0.004	0.05	7.5	-575	In	
Barium Tetratitanate (BaTi <sub>4</sub> )	37	0.0005 (6 GHz)	0.07	9.1	-26	In	negative $\epsilon_r$ temperature coefficient
Zirkonate	20-40	0.0002		5	-130-+100	In	low temperature dependence

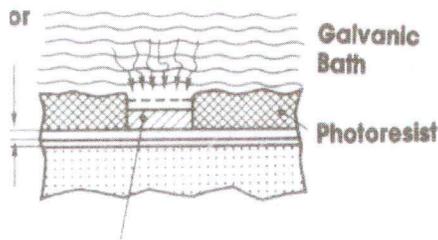
b. Teknik Fotolitografi

Teknologi lapisan tipis terdiri atas tahapan proses meliputi deposisi lapisan dan pembentukan pola rangkaian. Ada dua teknik proses deposisi thin film, yaitu proses Physical Vapour Deposition (PVD) dan Chemical Vapour Deposition (CVD). Proses PVD dibagi menjadi dua katagori yaitu thermal evaporation dan Sputtering [3].

Proses pembentukan pola rangkaian dilakukan dengan teknik fotolitografi menggunakan photoresis positif ataupun photoresis negatif. Masker pola rangkaian dapat berupa masker positif atau masker negatif sesuai dengan pola yang diinginkan, seperti ditunjukkan pada Gambar.2. Pola resis terbentuk setelah proses penyinaran. Pada proses dengan menggunakan photoresis positif, lapisan yang terkena sinar akan larut dalam larutan developer. Dan lapisan konduktornya akan dihilangkan dengan cara dietsa. Sementara pola photoresis yang tidak terkena cahaya, tidak akan teretsa dan merupakan pola rangkaian yang diinginkan.



2a. Masker positif



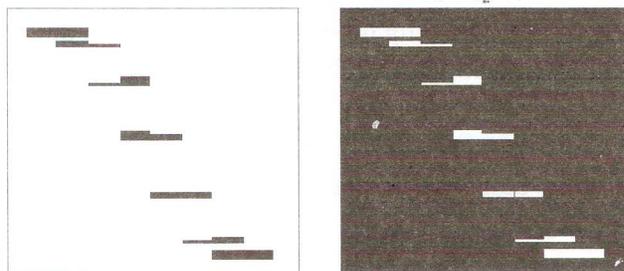
2b. Masker negative

**Gambar.2** Teknik fotolitografi [6]

Teknik fotolitografi harus dilakukan secara hati-hati dan teliti agar tidak merubah lebar jalur dan dimensi rangkaian, yang dapat mempengaruhi respon frekuensi dari rangkaian.

**3. Metodologi**

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui teknik fotolitografi yang tepat untuk membuat rangkaian gelombang mikro dengan teknologi lapisan tipis. Prototipe rangkaian mikrostrip yang dibuat adalah rangkaian Band Pass Filter dengan frekuensi tengah 9,4 GHz. Disain pola rangkaian ini digunakan sebagai masker untuk pembuatan pola konduktor (Gambar.3)



a. Masker positif                      b. Masker negatif

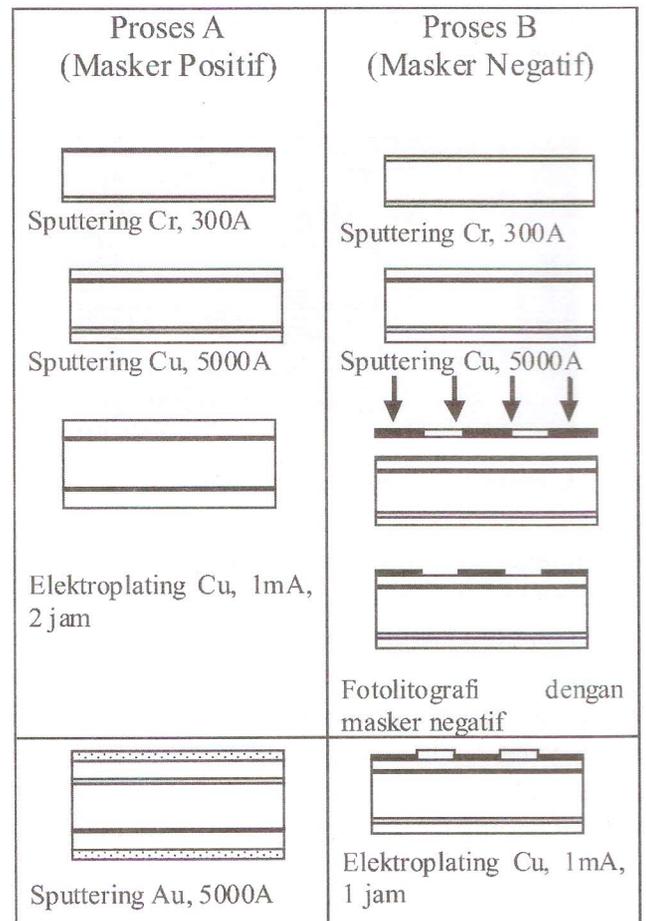
**Gambar 3.** Pola rangkain Band Pass Filter

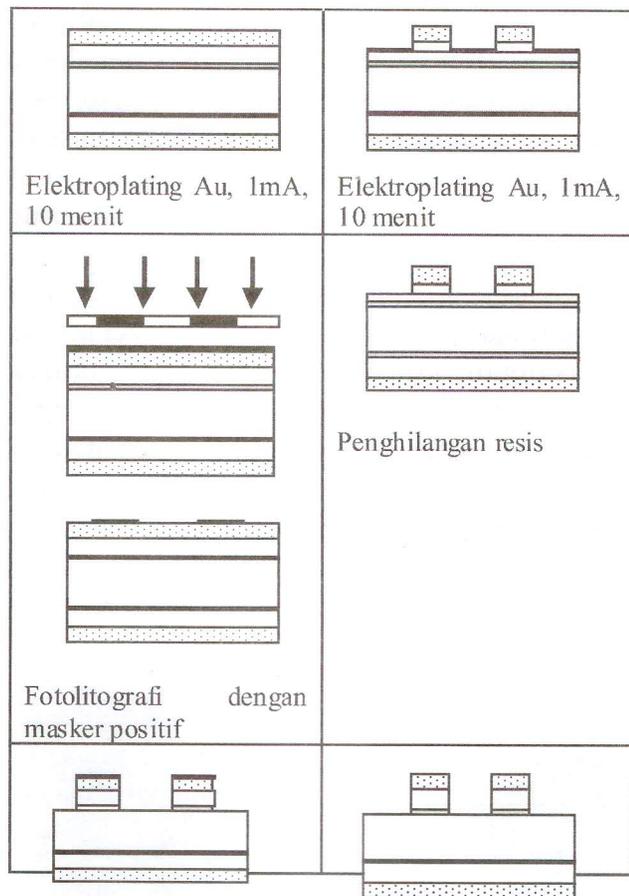
Lapisan konduktor dibuat dengan struktur Cr/Cu/Au dan dideposisi di atas substrat Alumina 99,5%. Deposisi lapisan konduktor dilakukan dengan teknik sputtering dan proses elektroplating untuk meningkatkan ketebalan lapisan. Pada

penelitian ini proses dilakukan dengan tahapan proses fotolitografi yang berbeda, proses A menggunakan masker positif, dan proses B menggunakan masker negatif (teknik lip off). Kedua proses dilakukan dengan menggunakan parameter proses yang sama. Proses fotolitografi dilakukan menggunakan resis positif pola masker positif dan negatif ditunjukkan pada gambar 3. Tahapan proses yang dilakukan ditunjukkan pada gambar.4.

Larutan elektroplating Cu yang digunakan adalah larutan tembaga sulfat campuran dari larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan CuSO<sub>4</sub> dengan anoda lempeng tembaga. Proses elektroplating Au menggunakan larutan emas sianida campuran NaCN, dan NaOH dengan anoda emas berupa sheet.

Larutan etsa yang digunakan adalah KI dan I<sub>2</sub> untuk Au, FeCl<sub>3</sub> untuk tembaga dan Ammonium cerium Nitrat untuk Cr.





**Gambar 4.** Tahapan proses A dan proses B

Untuk mengetahui proses yang terbaik berdasarkan tahapan proses yang dilakukan (proses A dan proses B), rangkaian yang dihasilkan diamati struktur permukaannya menggunakan SEM dan pola jalur konduktornya menggunakan mikroskop dan diukur ketebalan konduktornya. Karakteristik frekuensi dari disain rangkaian diukur dan dianalisa menggunakan peralatan Network Analyzer.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, diketahui bahwa proses sangat mempengaruhi karakteristik listrik komponen yang dibuat. Proses ini adalah proses deposisi lapisan konduktor dan proses fotolitografi (pembentukan pola konduktor). Lapisan konduktor dibuat dengan komposisi Cr/Cu/Au, di mana lapisan emas

merupakan lapisan utamanya. Sifatnya yang memiliki konduktifitas yang tinggi, tidak mudah teroksidasi dan mudah berikatan dengan konduktor lain, menyebabkan logam ini yang sering digunakan sebagai saluran transmisi pada rangkaian gelombang mikro. Konduktor Cr sebagai lapisan *adhesive* terhadap substrat alumina dan konduktor Cu sebagai lapisan antara Cr dan Au.

Pada proses A, fotolitografi dilakukan setelah deposisi lapisan Cr/Cu/Au. Proses fotolitografi menghasilkan pola jalur konduktor yang tertutupi resist. Lapisan Cr/Cu/Au yang tidak tertutupi resist, dihilangkan melalui proses etsa.

Sedangkan pada proses B, fotolitografi dilakukan setelah proses deposisi sputtering Cr/Cu. Proses fotolitografi menghasilkan pola jalur konduktor yang tidak tertutupi resist. Dengan teknik ini proses elektroplating untuk menambahkan ketebalan lapisan hanya terjadi pada lapisan pola jalur konduktor yang terbuka. Proses etsa dilakukan setelah penghilangan resist dan dilakukan untuk menghilangkan lapisan Cr/Cu.

Secara umum kedua teknik fotolitografi ini dapat digunakan untuk pembuatan rangkaian gelombang mikro. Kedua proses ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Proses A, lebih sederhana dan pola rangkaian yang dihasilkan lebih baik. Tetapi proses ini tidak ekonomis, karena luas permukaan pelapisan lebih besar sehingga memerlukan biaya yang besar. Proses etsa dilakukan secara bertahap, untuk menghilangkan lapisan Au/Cu/Cr yang tidak tertutupi resist.

Sedangkan proses B lebih ekonomis karena luas permukaan lapisan lebih kecil, tetapi tahapan proses ini lebih panjang. Pada saat proses elektroplating, kontak konduktor harus benar-benar diperhatikan karena proses pelapisan dapat terjadi tidak hanya pada daerah yang terbuka oleh resist saja. Demikian juga pada saat proses etsa. Proses etsa pada kedua proses ini harus dilakukan dengan selektif menggunakan larutan yang tepat. Karena apabila larutan etsa tidak tepat dan tidak selektif dapat merusak lapisan Au pola jalur, yang otomatis akan merusak lapisan dibawahnya

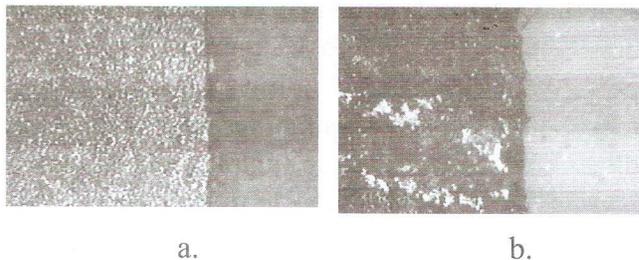
(Cr/Cu). Lapisan Au sebagai lapisan konduktor utama, juga berfungsi sebagai lapisan pelindung lapisan dibawahnya pada pola jalur konduktor.

Permukaan lapisan konduktor Au yang merupakan lapisan utama menghasilkan lapisan berwarna kuning terang dan strukturnya ditunjukkan pada gambar 5.



**Gambar 5.** Foto SEM: Struktur permukaan lapisan konduktor Au

Pengamatan terhadap jalur konduktor yang dihasilkan kedua proses ini dilakukan menggunakan mikroskop. Pola jalur konduktor yang terbentuk pada proses A lebih presisi dan tajam dibanding proses B. Demikian juga struktur lapisan konduktor emasnya, struktur lapisan konduktor proses A lebih baik dibandingkan proses B. Gambar 6 menunjukkan hasil pengamatan jalur konduktor dan permukaan lapisan.

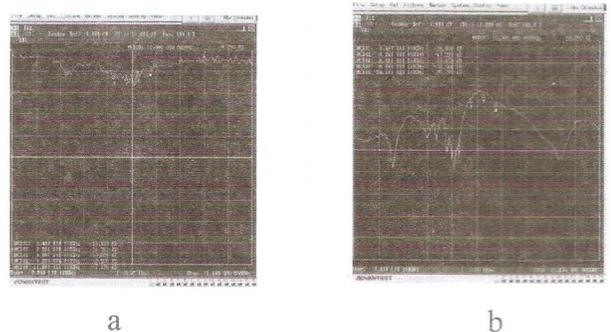


**Gambar 6.** Pola jalur konduktor yang terbentuk proses A (a) dan proses B (b)

Selain dimensi jalur konduktor, ketebalan lapisan konduktor juga mempengaruhi karakteristik frekuensi rangkaian. Ketebalan lapisan diukur menggunakan alat pengukur ketebalan orde micron. Hasil pengukuran ketebalan didapat bahwa proses A adalah sekitar 8-10 mikron, sedangkan proses B adalah sekitar 15-

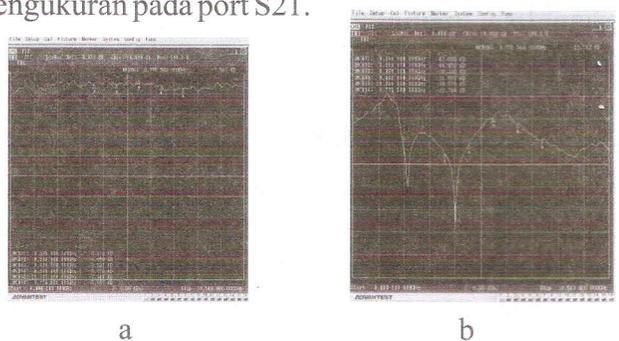
20 mikron. Perbedaan ketebalan ini terlihat pada gambar 4. Ketebalan lapisan untuk rangkaian mikrostrip, biasanya 3-4 kali dari skin depth. Skin depth pada rangkaian ini adalah 0,24 mikron. Ketebalan yang dihasilkan dari kedua proses sebenarnya sudah dapat digunakan untuk rangkaian gelombang mikro.

Respon frekuensi rangkaian diukur menggunakan peralatan Network Analyzer setelah pemasangan konektor SMD. Pengukuran dilakukan pada frekuensi 8 GHz 10 GHz dengan parameter yang diukur adalah parameter-S (*scattering-parameters*) untuk  $S_{11}$  dan  $S_{21}$ . Hasil pengukuran proses A ditunjukkan pada Gambar.7, Gambar.7a menunjukkan hasil pengukuran pada port S11 dan Gambar 7b adalah pengukuran pada port S21.



**Gambar 7.** Hasil Pengukuran BPF proses A (a)  $S_{11}$  dan (b)  $S_{21}$ .

Hasil pengukuran proses B ditunjukkan pada Gambar.8, Gambar.8a menunjukkan hasil pengukuran pada port S11 dan Gambar 8b adalah pengukuran pada port S21.



**Gambar 8.** Hasil Pengukuran BPF proses B (a)  $S_{11}$  dan (b)  $S_{21}$ .

Dari Gambar.7 dan Gambar.8 didapatkan data hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel.2 dan Tabel.3. Berdasarkan data tersebut di atas, terlihat bahwa karakteristik komponen BPF pada proses A dan B belum memiliki frekuensi tengah sesuai rancangan yaitu 9.4 GHz. Frekuensi tengah BPF yang dihasilkan mengalami pergeseran. Frekuensi tengah BPF proses A berada pada 9,6 GHz dan Frekuensi tengah BPF proses B berada pada 8,7 GHz.

**Tabel 2.** Titik-titik pengukuran komponen pada Proses A

Port	Frekuensi (GHz)	Redaman (dB)
S <sub>11</sub>	9,2	-11.762
	9,4	-12.153
	9,6	-10,300
	9,8	-7.978
	10	-7,170
S <sub>21</sub>	9,2	-47.297
	9,4	-26.336
	9,6	-23.872
	9,8	-28.064
	10	-30.780

**Tabel 3.** Titik-titik pengukuran komponen pada Proses B

Port	Frekuensi (GHz)	Redaman (dB)
S <sub>11</sub>	8,7	-7,567
	9,2	-5,666
	9,4	-5,619
	9,6	-3,591
	9,8	-6,010
	10	-7,541
S <sub>21</sub>	8,7	-22,783
	9,2	-44,830
	9,4	-41,080
	9,6	-29,338
	9,8	-21,667
	10	-38,878

Banyak faktor yang mempengaruhi karakteristik frekuensi komponen BPF yang dihasilkan yaitu adanya rugi-rugi (*losses*) yang terdapat dalam saluran transmisi mikrostrip berupa rugi-rugi penyerapan dielektrik substrat, rugi-rugi dari jalur konduktor, serta rugi-rugi yang diakibatkan radiasi karena ketidakkontinuitas dielektrik yang melingkupinya. Pada penelitian ini faktor yang diamati adalah pengaruh dari proses pembuatan komponennya yang menyebabkan terjadinya rugi-rugi jalur konduktor.

Jika dilihat dari ketebalan yang dihasilkan, proses B memiliki ketebalan yang lebih dari proses A, yang berarti memiliki resistansi yang kecil dan losses yang terjadi harus lebih kecil. Hasil pengukuran menunjukkan BPF proses B memiliki losses yang lebih tinggi dari BPF proses A. Respon frekuensi yang dihasilkan BPF proses A lebih baik dibanding BPF proses B. Hal ini dapat disebabkan oleh permukaan lapisan konduktor utama berupa emas (Au) pada proses A lebih baik dari proses B. Selain itu pola konduktor yang dihasilkan juga lebih baik.

## 5. Kesimpulan

Proses teknologi thin film pada substrat Alumina 99,5% dapat dilakukan untuk aplikasi rangkaian gelombang mikro. Karakteristik rangkaian gelombang mikro sangat dipengaruhi oleh tahapan proses pembuatannya, yaitu proses deposisi lapisan konduktor dan proses pembentukan pola jalur konduktor (fotolitografi). Pada penelitian ini tahapan deposisi dan pembentukan pola rangkaian proses A menghasilkan respon frekuensi yang lebih baik dibandingkan dengan tahapan proses B.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LIPI dan PPET-LIPI yang telah memfasilitasi penelitian ini dalam Kegiatan Penelitian Dan Pengembangan IPTEK DIPA Tematik 2007 dan 2008. Terima kasih juga buat rekanrekan peneliti

dan teknisi atas bantuan dan kerjasamanya yang baik.

#### 6. Daftar Pustaka

1. Davies R, & Newton B.H., "Microwave Hybrid Integrated" *Circuit Technology, Wireless Word*, February, 1978.
2. Muliani, L., dkk., "Fabrikasi Komponen MCM Thin Film untuk Aplikasi Rangkaian Gelombang Mikro". *Laporan Teknis Program Tematik PPET-LIPI 2008*, , hal 203-230., Bandung 2008.
3. Kiyotaka W., Shigeru H., "Handbook of Sputter deposition Technology", *Noyes Publications*, Japan, , 1992
4. Maissel, Leon I & Reinhard Glang, "Handbook of Thin Film Technology", New York *Mc.Graw Hill*, Inc, 1970.
5. G. Sugandi., "Pembuatan Rangkaian Tapis Lolos rendah 2 GHz Mikrostrip dengan Teknologi Thick Film Hybrid", *Tugas Akhir, Politeknik ITB, Bandung, 1996*
6. Hoffmann, R.K., "Handbook of Microwave Integrated Circuits" Norwood, *Artech House, Inc*, 1987.
7. Muliani, L., dkk., "Pembuatan konduktor Rangkaian Mikrostrip dengan Teknologi Thin Film", *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi.*, Vol.9 No.1, Bandung 2009.

## A. INDEKS PENGARANG

- Armein Z. R. Langi 17
- Ali Nurdin 131
- Abang Annuar Ehsan, Sahbudin Shaari, Mohd Kamil Abd. Rahman 90
- Baskoro Abie Pandowo, Djoko Hartanto dan Harry Soedibyo 1
- Chairul Gagarin Irianto, Rudy Setiabudy, Maulana Sukmawidjaya dan Dharmananda L. 31
- Chairul Gagarin Irianto, Rudy Setiabudy 95
- Dayat Kurniawan, Ros Sariningrum 110
- Erlyta Septa Rosa, Shobih dan Hari Teja Lesmana 25
- Fredrika H. Kana 12
- Hiskia dan Robeth V. Manurung 7
- Hari Satriyo Basuki 38
- Herawati Yusuf, Eko Tjipto R. dan Iwa Garniw. 46
- I Dewa Putu Hermida dan Lilis Retnaningsih 67
- Ika Ismet, Shobih dan Erlyta Septa Rosa 82
- Lia Muliani, Gandi Sugandi, Lilis Retnaningsih dan Totok M.S Soegandi. 53
- Lia Muliani, Gandi Sugandi, Jojo Hidayat 141
- Muhammad Daud N., Andriyan Bayu S., Hendrawan, Sugihartono dan Deni Hamdani. 104
- Purwoko Adhi, Dayat Kurniawan, Ratna Indra Wijaya dan Ros Sariningrum 59
- Pamungkas D. Mashury, Dadin M. dan Yudi Yuliyus 137
- Syamsu Ismail dan Deni Permana K. 118
- Yefriadi, Rismawan P. Putra Barus, dan Nadia Alfitri. 124

## B. INDEKS JUDUL MAKALAH

- Analisa Kerusakan Seat Ring pada Kontrol Valve dengan Sound Pressure Level 1
- An Amperometric Colesterol Bio Sensor Prepared By Immobilization Of Colesterol Oxidase Based in Screen-Printed Graphite Film Electrode 7
- Bidirectional metal-based 1X2 POF Coupler with Hollow Taper Waveguide 90
- De - Emphasis dan Pre - Amplifier pada Video Demodulator Analog Satellite Receiver. 12
- Efektivitas Transformator Delta Zigzag (Dz) Sekunder Lilitan Ditransposisi Membatasi Harmonisa. 95
- Evaluasi Kinerja Forward Error Correction pada Mobile WiMAX/IEEE 802.16e 104
- Image Processing Pemisahan Object dari Background pada Identifikasi Tingkat Kematangan Buah Pisang Mas 110
- Modul Surya untuk Mengatasi Krisis Energi 82
- Pemampat Ucapan untuk Transkoder 8 kbps 17

- Pembuatan Film Oksida Konduktif Transparan ZnO : Al Menggunakan Metoda Screen Printing. 25
- Pemodelan Matematik Transformator Fasa - 3 dalam Meminimasi Istorsi Harmonisa. 31
- Perancangan dan Implementasi Antena Mikrostrip Annular Ring Menggunakan Catuan Electromagnetically Coupled (EMC) untuk Antena WiMAX. 38
- Peredam Riak Arus Keluaran dan Meningkatkan Efisiensi Cuk Konverter Slobo dan dengan Twisted Magnetomotrans. 46
- Pembuatan KonduktorRangkaian Mikrostrip dengan Teknologi Thin Film. 53
- Penentuan State of Charge Batere Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan 124
- Pemanfaatan Sifat Kabel Semi Kaku untuk Pengoreksi Fasa pada Saluran Transmisi Terdistribusi Antena Radar Tersusun 118
- Rancang Bangun Sintesiser Frekuensi untuk Sistem Komunikasi Rural. 59
- Rancang Bangun Sistem Pemanas Sensor Gas CO Berbasis Bahan SnO<sub>2</sub> Menggunakan Teknologi FilmTebal. 67
- Rancang Bangun Instrumen Elektronik sebagai Sistem Pengamanan Gedung dari Kebakaran Berbasis Handphone 131
- Sistem Komunikasi Menggunakan Gelombang Akustik dengan Memanfaatkan Bawah Air sebagai Medium Propagasi 75
- Simulasi Rancang Bangun High Gain Power Amplifier (PA) 137
- Teknologi Lapisan Tipis pada Substrat Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan Aplikasinya Untuk Rangkaian Gelombang Mikro 141

### C. INDEKS KATA KUNCI

- Antena mikrostrip, 38
- Amperometrik, 7
- Amplifier 131
- Antena tersusun 118
- Air, 75
- Antarmuka, 75
- ACELP 17
- Biosensor, 7
- Beban nonlinier, 31
- Beban nonlinier
- Cross-linking, 7
- Control Valve, 1
- Cavitation, 1
- Cuk konverter, 46
- De-emphasis, 12
- Distorsi harmonisa, 31
- Demodulator, 75
- DSP; 17
- Electromagnetically Coupled (EMC) 38
- Enzim, 7
- Elektoda 67
- Efisiensi, 46
- Film tebal. 7
- Formula Kapasitansi, 1
- Gain 137
- Gelombang Akustik, 75
- Gradien akumulasi energi 124
- Gyrator kapasitor, 46
- Harmonisa, 95
- Handphone 131
- IEEE 802.16e,
- Jaringan syaraf tiruan 124
- Kandungan gula 110
- Kolesterol, 7

- Ketidakseimbangan, 31  
 Ketidakseimbangan beban,  
 Kode konvolusi,  
 Kode LDPC.  
 Kandungan gula, 110  
 Kebakaran 131  
 Level kematangan 110  
 Modul surya 82  
 MP-MLQ; 17  
 Magnetomotans, 46  
 Noise 131  
 Oksida konduktif transparan, 25  
 Oscillator 59  
 Pre-amplifier, 12  
 Pengolahan citra 110  
 Penyesuai fasa 118  
 Propagasi, Modulator, 75  
 Rancang bangun 131  
 Resistansi, pemanas, 67  
 Riak arus. 46  
 Rangkaian Mikrostrip 53  
 Rangkaian gelombang mikro  
 Sound Pressure Level 1  
 Satellite, receiver, 12  
 Software 137  
 Screen printing 25  
 Semi rigid tidak ideal 118  
 Sintesiser frekuensi, 59  
 Sistem pengaman 131  
 Sistem Komunikasi, 75  
 Sensor gas, 67  
 State of Charge,  
 Sel surya, 82  
 Solar home system. 82  
 Substrat alumina,  
 Transformator delta-zigzag. 31  
 Transformator Dz sekunder lilitan ditransposisi,  
 Tekukan 118  
 Transduser 75  
 Teknologi film tebal, 67  
 Transkoder; 17  
 Twisted, 46  
 Teknologi lapis tipis, 53  
 Teknologi lapisan tipis,  
 Video demodulator 12  
 VCO, PLL, 59  
 W-LAN, 38  
 WIMAX, 38  
 Warna kulit 110  
 ZnO:Al 25

#### D. KEYWORDS INDEKS

- Amperometric, 7  
 Acoustic wave, 75  
 Amplifier 137  
 Arrayed antenna. 118  
 Artificial Neural Networks 124  
 ACELP. 17  
 Alumina Substrate 141  
 Biosensor, 7  
 Bending 118  
 Cholesterol, 7  
 Cross-linking, 7  
 Control Valve, 1  
 Cavitation, 1  
 Capacitance formula, 1  
 Communication System,  
 Convolutional codes 104  
 Demodulator, 75  
 De-emphasis, 12  
 Design 131  
 Delta-zigzag transformer. 31  
 Enzyme, 7  
 Electrode 67  
 Electromagnetically Coupled (EMC) 38  
 Energy accumulation gradient 124  
 Efficiency, Out put ripple current. 46  
 Fire 131  
 Frequency synthesizer, 59  
 Gas, 67  
 Gain 137  
 Gyator capacitor, 46  
 Handphone 131  
 Heater, 67  
 Harmonic distortion, 31  
 Harmonics 95  
 Image processing 110  
 IEEE 802.16e 104  
 LDPC codes. 104  
 Microwave circuit 141

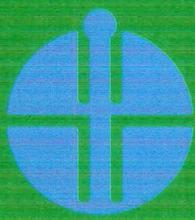
Modulator, 75  
Microstrip antenna, 38  
MP-MLQ; 17  
Noise 137  
Non ideal semi rigid 118  
Phase match 118  
Ripeness 110  
Screen printing 25  
Security 131  
Skin color 110  
SOC 124  
Software 137  
Sugar content 110  
Thick film. 7  
Transducer. 75  
Thick film technology, 67  
Transposedsecondary winding Dz transformer  
Taper waveguide 90  
Transcoder; 17  
Transparent conducting oxide, 25  
Thin film technology, 53  
Thin Film Technology 141  
Twisted,  
Unbalanced,  
Video demodulator 12  
VCO, 59  
Water, 75  
W-LAN, 38  
WIMAX, 38  
ZnO:Al, 25

---



## **Aturan Penulisan Jurnal Elelektronika dan Telekomunikasi PPET LIPI**

1. Redaksi menerima naskah karangan berupa hasil penelitian, pengembangan dan penerapan dalam bidang Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, diutamakan hasil dari kelompok kerja penelitian.
2. Semua naskah yang masuk akan direview dan diseleksi oleh Dewan Direksi.
3. Naskah yang telah dikoreksi akan dikembalikan ke penulis untuk diperbaiki, setelah itu diserahkan kembali ke redaksi pelaksana.
4. Makalah berisi abstrak (bahasa Inggris dan bahasa Indonesia), pendahuluan, tinjauan pustaka, metode penelitian, hasil dan pembahasan, kesimpulan, ucapan terimakasih dan daftar pustaka.
5. Judul makalah ditulis dengan huruf kecil Times New Roman 14 spasi 1 (Judul Makalah).
6. Keterangan tentang penulis (nama penulis [**dicetak tebal**], intansi, alamat instansi, telepon, fax dan e-mail) ditulis dibawah judul makalah dengan huruf Times New Roman 10 spasi 1.
7. Judul **Abstrak** ditulis dengan huruf tebal di tengah, Times New Roman 12 spasi 1,5 terhadap isi bawahnya. Isi Abstract (dalam bahasa Inggris) dan Abstrak (dalam bahasa Indonesia) ditulis memanjang pada satu kolom dengan huruf Times New Roman 10 spasi 1 dan dicetak miring, dilengkapi dengan kata kunci dibawahnya.
8. Bila tulisan dalma bahasa Indonesia, yang didahulukan Abstract dalam bahasa Inggris dan bila tulisan dalam bahasa Inggris Abstrak bahasa Indonesia didahulukan.
9. Sub judul tulisan ditulis dengan huruf tebal, kecil, Times New Roman 12 spasi 1,5 terhadap tulisan bawahnya dengan penomoran angka biasa, (**1 Pendahuluan**).
10. Selain Abstrak, isi makalah ditulis dalam 2 (dua) kolom dengan huruf Times New Roman 12 spasi 1.
11. Gambar dan tabel harus diberi nomor urut, keterangan ringkas dengan huruf Times New Roman 12 dan disebutkan dalam isi makalah, gambar harus disesuaikan dengan ukuran halaman jurnal, (Gambar 1: .....).
12. Persamaan matematik harus ditulis dengan jelas, diberi nomor urut, dan diberi keterangan notasi yang dipergunakan.
13. Contoh penulisan Daftar Pustaka sebagai berikut: Harper, Carles, A, "Handbook of Thick Film Hybrid Microelectronic". *McGraw-Hill*, New York, 1974.
14. Makalah maksimal 6 halaman, termasuk gambar dan tabel.



LIPI

JURNAL  
**ELEKTRONIKA dan TELEKOMUNIKASI**

**PUSAT PENELITIAN ELEKTRONIKA DAN TELEKOMUNIKASI - LIPI**

Jl. Sangkuriang Bandung 40135 Tlp. (022) 250 4660, 250 4661 Fax. (022) 250 4659 - Bandung 40135

<http://www.ppet.lipi.go.id>