

JURNAL

ISSN 1411-8289

# Elektronika dan Telekomunikasi

VOLUME 11, NOMOR 2

Juli - Desember 2011

Akreditasi LIPI No : 276 / AU1 / P2MBI / 05 / 2010



PUSAT PENELITIAN ELEKTRONIKA DAN TELEKOMUNIKASI  
LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA

J. El. Kom	Vol. 11	No. 2	Hal. 79-166	Bandung Juli - Desember 2011	ISSN 1411-8289
------------	---------	-------	-------------	---------------------------------	-------------------

# JURNAL Elektronika dan Telekomunikasi

## SUSUNAN REDAKSI

**Pelindung / Penasehat :** Deputi Bidang IPT-LIPI

**Penanggung Jawab :** Kepala PPET-LIPI

**Dewan Redaksi :**

Prof. Dr. Masbah R.T. Siregar	(Fisika)
Prof. Eko Raharjo	(Antena)
Dr. AB. Suksmono	(Image Processing)
Dr. Ir. Adit Kurniawan, M. Eng.	(Antena/Wireless Communication)
Dr. Goib Wiranto	(Bahan dan Komponen Mikroelektronika)
Dr. Mashury Wahab, M. Eng.	(Wireless dan RADAR)
Dr. Purwoko Adhi, DEA	(Elektronika)
Dr. Ir. Yuyu Wahyu, MT	(Antena dan TV Digital)
Dr. Edy Supriyanto, S.Si, M.Si	(Mikroelektronika)

### Redaksi Pelaksana

**Ketua :** Kepala Sub Bagian Jasa dan Informasi

**Anggota :** Lilis Retnaningsih, S.Si  
Iqbal Syamsu, MT  
Arief Nur Rahman, S.Si  
Taufiqqurrachman, ST

**Sirkulasi :** Poppy Sumarni  
Dicky Desmunandar

**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 : 276/ AU1 / P2MBI / 05 / 2010**

## DAFTAR ISI

---

Kata Pengantar .....	
1. Analisa Numerik Pengaruh Bentuk Patch Antena Cetak Monopol terhadap Efisiensinya untuk Radar Tomografi 3-Dimensi Penembus Permukaan ..... (Folin Oktafiani dan Achmad Munir)	79 - 84
2. Analisis Penyandian dan Penguraian Dengan Teknik Reed-Solomon Code (15, 11) ..... (Taufiqurrachman dan Deni Permana)	85 - 90
3. Enkripsi Citra Menjadi Bentuk Teks Untuk Keamanan File ..... (Arief Nur Rahman dan Octa Heriana)	91 - 97
4. Fabrikasi dan Karakterisasi sensor Gas NO <sub>2</sub> Berbasis Serbuk Wo <sub>3</sub> dengan Skala Nanometer ..... (Lilis Retnaningsih)	98 - 102
5. Implementasi Sistem Instrumentasi dan Kendali Temperatur Nitridasi Plasma Menggunakan M-Series PLC ..... (I Dewa Putu Hermida, Slamet Santosa dan Tjipto Sujitno)	103 - 109
6. Klasifikasi Citra Kanker Payudara dengan Menggunakan Algoritma Fuzzy C Means ..... (Octa Heriana, Thomas Sri Widodo, Indah Soesanti dan Maesadji Tjokronagoro)	110 - 116
7. Pembangkit Chirp untuk Radar FM CW Berbasis DDS ..... (Purwoko Adhi)	117 - 121
8. Penggunaan Frekuensi Pembawa Koheren untuk Mempermudah Regenerasi Clock pada Sistem Komunikasi Data Bawah Air ..... (Syamsu Ismail dan Eko Joni Pristianto)	122 - 127
9. Perancangan dan Simulasi Antena Rolled Dipole Array untuk Aplikasi Ground Penetrating Radar (GPR) dengan Footprint yang Dapat Berubah Menggunakan Metode Finite Difference Time Domain (FDTD) ..... (Yuyu Wahyu, Deni Permana, Herry Gunawan S dan Heroe Wijanto)	128 - 133
10. Perancangan Microstrip Branch Line Coupler dengan T-Junction untuk Mobile WiMAX pada Frekuensi 2,3 GHz ..... (Gunawan Wibisono dan Indah Riyanti)	134 - 140

11. Simulasi dan Pengukuran Patch Array Mikrostrip Antenna ..... (Mashury Wahab, Yuyu Wahyu, Purwoko Adhi dan Daday Ruhiyat)	141 - 148
12. Sistem Pendeteksian Kondisi Mesin Sepeda Motor 4-Langkah Berdasarkan Suara Menggunakan Support Vector Machine (SVM) ..... (Hesti Susilawati, Ari Fadli, Winda Astuti dan Nangim Ulinnuha)	149 - 154
13. Studi Perakitan dan Pengujian Karakteristik I-V Sel Surya Berbasis Dye-Sensitized (DSSC) dalam Rangkaian Seri yang Terhubung Secara Eksternal ..... (Jojo Hidayat, Lia Muliani dan Natalita M.N)	155 - 160
14. Indeks Elektronika dan Telekomunikasi Volume 11 No. 1. Januari Juni 2012 No. 2. Juli Desember 2011	
A. Indeks Pengarang .....	161
B. Indeks Judul Makalah .....	162 - 63
C. Indeks Kata Kunci .....	164
D. Keywords Index .....	165

## KATA PENGANTAR

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

Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi telah terbit dari tahun 2001 dan telah terakreditasi B sejak tahun 2007 dengan No Akreditasi LIPI No. 72/Akred LIPI/P2MBI/5/2007.

Adapun jurnal Elektronika dan Telekomunikasi setiap tahunnya terbit minimal 2 kali, dan setiap makalah yang diterbitkan telah melalui proses pemeriksaan oleh Dewan Redaksi yang telah ditunjuk sesuai dengan kompetensinya atau kepakarannya.

Makalah yang masuk ke redaksi pelaksana sejumlah 17 makalah, namun tidak seluruhnya dapat kami terbitkan, karena harus memenuhi kriteria makalah yang telah ditetapkan.

Pada penerbitan Volume 11 Nomor 2 tahun 2011 ini, disajikan 13 makalah yang meliputi topik - topik dalam bidang Radar, Sel Surya, Sensor, Material Maju, Telemetri dan Aplikasi Elektronika. Makalah yang diterbitkan merupakan hasil dari penelitian yang telah dilakukan di lingkungan LIPI maupun dari instansi lainnya.

Pada kesempatan kali ini redaksi juga memberi kesempatan kepada para peneliti dari instansi lain yang terkait dengan bidang Elektronika, Telekomunikasi, Bahan dan Komponen Mikroelektronika, untuk dapat ikut menerbitkan hasil penelitiannya di Jurnal ini

Semoga makalah yang diterbitkan kali ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan dapat memberi kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan di bidang yang terkait. Redaksi berharap makalah yang akan diterima untuk penerbitan selanjutnya dapat lebih bervariasi sehingga bisa menambah wawasan ilmu pengetahuan dan teknologi bagi para pembaca.

**Redaksi Pelaksana**

# Analisa Numerik Pengaruh Bentuk *Patch* Antena Cetak Monopol terhadap Efisiensinya untuk Radar Tomografi 3-Dimensi Penembus Permukaan

Folin Oktafiani<sup>1)</sup> dan Achmad Munir<sup>2)</sup>

1) Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi - LIPI

Jl. Cisit 21/154D Bandung 40135 INDONESIA

Telp. 022 2504660/2504661 Fax. 022 2504659 Email: folin\_okta@yahoo.com

2) Laboratorium Penelitian Telekomunikasi Radio dan Gelombang Mikro

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha No. 10 Bandung 40132 INDONESIA

Telp. 022 2501661 Fax. 022 2534133 E-mail: munir@ieee.org

## Abstract

*This research aims to investigate the effect of patch shape on monopole printed antenna upon its efficiency for surface penetrating radar application. Antenna efficiency is a crucial factor that influences the overall radar system performance because antenna with high efficiency will facilitate the signal processing, hence, the accurate data will be obtained. The antenna that has been analyzed was a modification of Octopus antenna which has circular monopole patch. The method chosen to investigate the effect of monopole printed antenna patch shape is numerical method using 3D software which operates at frequency domain. The analysis was done by changing the patch shape of octopus antenna into triangle, square, hexagonal, octagonal and dodecagon shapes, which had the same radius and center point as the Octopus antenna. The antenna which has been analyzed must be able to cover the operating frequency range between 50 -5000MHz for VSWR  $\leq 1,5$  while maintaining compact dimension. The simulation results show that, by comparing the required value of return loss and VSWR, the octagonal shape not only gave higher efficiency than octopus antenna but also gave more stable efficiency value for overall frequency range compared to the other shapes. The highest efficiency value obtained was 65.39% at a frequency of 1.55GHz.*

**Keywords:** monopole antenna, efficiency antenna, surface penetrating radar, return loss, VSWR

## Abstrak

*Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh bentuk patch antena cetak monopol terhadap efisiensinya untuk radar tomografi 3-dimensi penembus permukaan. Efisiensi antena adalah faktor penting yang mempengaruhi performansi secara keseluruhan sistem radar karena antena dengan efisiensi tinggi akan mempermudah dalam pemrosesan sinyal sehingga akan didapat data yang akurat. Antena yang dianalisa merupakan modifikasi dari antena Octopus yang mempunyai patch monopol berbentuk lingkaran. Metode yang digunakan untuk menganalisa pengaruh bentuk patch antena monopol adalah dengan metode numerik (simulasi) menggunakan bantuan perangkat lunak yang bekerja pada domain frekuensi. Analisa dilakukan dengan merubah bentuk patch antena cetak monopol menjadi bentuk segi tiga, segi empat, segi enam, segi delapan dan segi dua belas dengan jari-jari dan titik tengah yang sama dengan antena Octopus. Antena yang dianalisa harus mampu mencakup rentang frekuensi kerja 50-5000MHZ untuk nilai VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)  $\leq 1,5$  dengan tetap mempertahankan dimensinya yang compact. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan memperhatikan nilai return loss dan VSWR sesuai yang dipersyaratkan, bentuk patch monopol segi delapan memberikan nilai efisiensi yang lebih tinggi dari antena Octopus dan mempunyai nilai efisiensi yang relatif lebih stabil untuk semua rentang frekuensi kerja dibandingkan dengan bentuk patch monopol yang lain. Nilai efisiensi tertinggi diperoleh sebesar 65,39% pada frekuensi kerja 1,55 GHz.*

**Kata Kunci:** antena monopol, efisiensi antena, radar penembus permukaan, return loss, VSWR

## 1. Pendahuluan

Radar tomografi 3-dimensi penembus permukaan yang merupakan bagian dari radar penembus permukaan (*Surface Penetrating Radar*,

*SPR*) atau juga dikenal dengan istilah *ground penetrating radar* adalah suatu metode pencitraan yang menggunakan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi benda-benda yang terkubur di

bawah permukaan tanah atau benda-benda yang tersembunyi di balik dinding [1]-[5]. Salah satu perangkat yang mempunyai peranan penting dalam sistem SPR adalah antena dimana perangkat ini berfungsi untuk memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik. Banyak faktor yang mempengaruhi performansi antena SPR, salah satu faktor penting adalah efisiensi antena yang secara teoritis didefinisikan sebagai perbandingan antara daya yang dipancarkan antena dengan daya yang diserap antena [6].

$$h = \frac{P_r}{P_i} \quad (1)$$

dimana:

$P_r$  = daya radiasi (W)

$P_i$  = daya yang diserap (W)

Jika antena yang dirancang mempunyai efisiensi yang tinggi dengan mengasumsikan *path loss* sangat kecil (untuk kondisi ideal) maka sinyal yang diterima oleh antena penerima akan mempunyai daya yang hampir sama dengan sinyal yang dikirimkan oleh antena pengirim. Jika kondisi ini dipenuhi maka performansi sistem SPR secara keseluruhan akan meningkat sehingga akan meningkatkan ketelitian terutama dalam pemrosesan sinyal untuk mendapatkan informasi tentang benda yang merefleksikan gelombang elektromagnetik yang ditransmisikan..

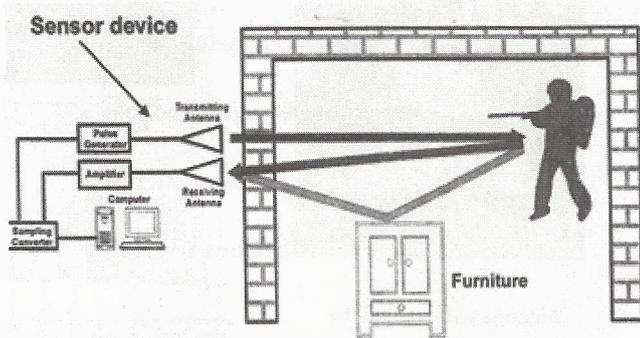
Berdasarkan penjelasan tersebut maka pada makalah ini diusulkan suatu analisa numerik untuk meningkatkan efisiensi antena pada aplikasi SPR dengan cara memodifikasi bentuknya. Untuk merealisasikan usulan ini, dipergunakan suatu antena cetak monopol yang mempunyai frekuensi kerja 50-5000MHz [7]. Antena yang dipergunakan sebagai referensi ini mempunyai 3 bagian penting, salah satunya diantaranya adalah *patch* monopol lingkaran. Pengaruh perubahan bentuk *patch* monopol dari bentuk lingkaran menjadi bentuk yang lain terhadap efisiensi radiasinya akan diamati secara numerik menggunakan bantuan

perangkat lunak. Dengan tetap mempertahankan dimensinya yang *compact* serta memperhatikan parameter lain seperti *return loss* dan VSWR, efisiensi radiasi dari masing-masing bentuk akan dibandingkan dengan efisiensi radiasi antena *Octopus* yang digunakan sebagai antena referensi.

## 2. Sekilas Tentang Radar Penembus Permukaan

Radar penembus permukaan atau *surface penetrating radar* (SPR) yang dalam istilah lain kadang disebut dengan *subsurface radar* atau *ground penetrating radar* mengacu pada sebuah metode geofisika dengan menggunakan gelombang elektromagnetik yang dirancang untuk merekam corak atau karakteristik di bawah permukaan tanah atau di balik dinding tanpa mengebor ataupun menggali tanah [1]-[3]. Istilah *surface-penetrating radar* lebih spesifik menjelaskan aplikasi metode tersebut untuk tujuan konstruksi bangunan misalnya gedung, jembatan, dan lain-lain [4]-[5]. Dengan SPR maka informasi mengenai keadaan di balik dinding atau dibawah permukaan tanah dapat dilakukan dengan cepat dan mudah tanpa perlu adanya penggalian tanah.

Sebagaimana sistem radar pada umumnya, sistem SPR terdiri atas bagian pemancar (*transmitter*) yang berujung pada antena pengirim yang terhubung ke sumber pulsa dan bagian penerima (*receiver*) yang berpangkal pada antena penerima yang terhubung ke unit pengolahan sinyal dan citra. Ada 2 jenis sistem radar yang sering digunakan, yaitu sistem monostatik yang menggunakan satu antena sebagai antena pemancar sekaligus sebagai antena penerima, dan sistem bistatik yang menggunakan antena pemancar dan antena penerima secara terpisah. gambar 1 mengilustrasikan salah satu aplikasi dari SPR sistem bistatik yang digunakan untuk mendeteksi benda atau orang yang berada di balik dinding.



**Gambar 1:** Aplikasi SPR bistatik untuk mendeteksi benda atau orang dibalik dinding [5].

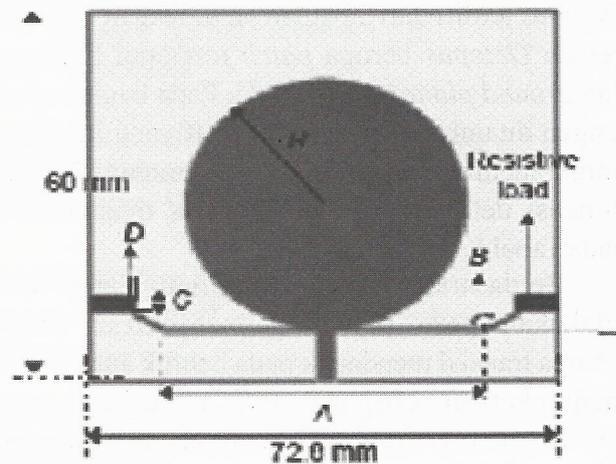
Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada dasarnya SPR bekerja dengan memanfaatkan pantulan sinyal/gelombang elektromagnetik. Sistem SPR memiliki rangkaian pemancar (*transmitter*) dan rangkaian penerima (*receiver*). Rangkaian pemancar akan menghasilkan sinyal/pulsa listrik dalam bentuk PRF (*pulse repetition frequency*) dengan energi dan durasi tertentu. Sinyal ini dipancarkan oleh antenna ke dinding dan mengalami redaman serta cacat sinyal lainnya selama proses perambatannya. Jika pulsa tersebut menabrak suatu benda, maka ada sebagian sinyal pantulan yang masuk ke antenna penerima. Kemudian sinyal pantulan tersebut akan diterima oleh antenna penerima untuk diteruskan ke bagian pengolahan sinyal. Dari hasil pengolahan sinyal pantulan akan dapat diketahui posisi, bentuk, dan ukuran dari benda-benda tersebut.

Keuntungan utama dari teknik SPR adalah bahwa antenna SPR tidak perlu kontak dengan permukaan dinding atau permukaan bumi, dengan demikian dapat dimungkinkan untuk dilakukan survei secara cepat. Keuntungan lainnya adalah kemampuan untuk mendeteksi jenis target yang diberikan secara istimewa dan menghasilkan gambar target dalam 3 dimensi. Frekuensi tinggi yang dipancarkan dalam bahan dengan konduktivitas rendah, seperti air garam, tanah liat dan bijih konduktif atau mineral, akan mengakibatkan pelemahan sinyal yang cukup

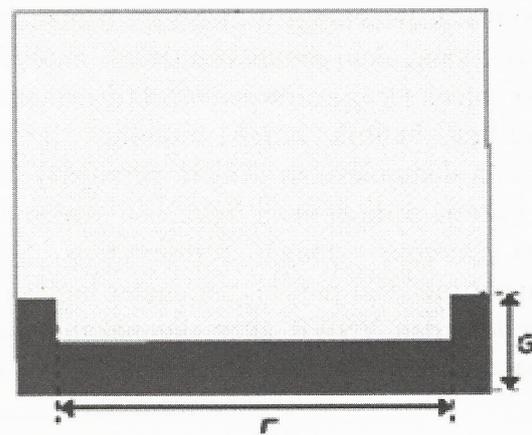
besar. Salah satu teknik untuk mengatasinya adalah dengan menurunkan frekuensi sinyal yang ditransmisikan, namun teknik ini akan mengurangi resolusi target yang dideteksi [1].

### 3. Perancangan Antena Dan Simulasi

Antena yang diusulkan dalam penelitian ini dirancang menggunakan bahan FR-4 Epoxy yang mempunyai ketebalan 1,6mm dan konstanta dielektrik 4,3. Dimensi antenna yang diusulkan adalah 72,8mm x 60mm dengan frekuensi kerja 505000MHz. Antena tersebut merupakan modifikasi dari antenna *Octopus* yang digunakan sebagai antenna referensi [8].



(a)



(b)

**Gambar 2 :** Antena *Octopus* sebagai antenna referensi

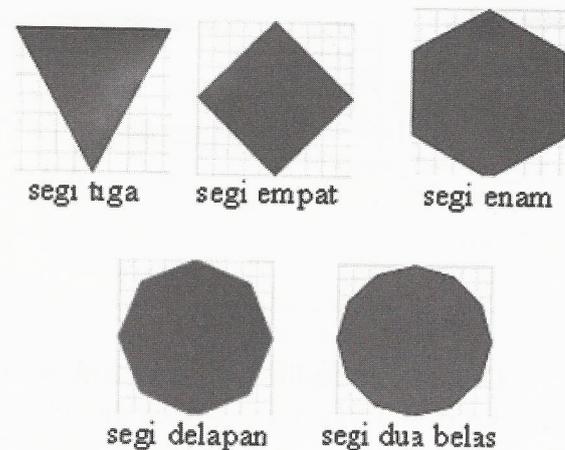
(a). tampak depan (b). tampak belakang

Tabel 1 : Dimensi antena *Octopus*.

Dimensi	Besar
A	50mm
B	150°
C	2mm
D	1mm
E	0,5mm
F	60mm
G	15mm
R	22mm
Beban	82Ohm

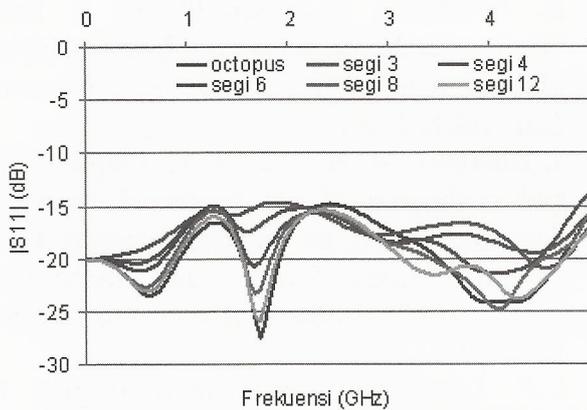
Seperti diperlihatkan pada gambar 2, antena *Octopus* terdiri dari 3 bagian yaitu lengan *Octopus*, kepala *Octopus* berupa *patch* monopol lingkaran dan *ground plane* berbentuk U. Pada bagian ujung lengan ditambahkan beban resistif yang berfungsi untuk meningkatkan *bandwidth* antena. Adapun dimensi detail dari antena *Octopus* ditabulasikan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada [8] yang menyatakan bahwa adanya transisi mendadak pada bentuk antena akan meningkatkan efisiensi antena, maka bentuk kepala antena *Octopus* yang berupa *patch* monopol lingkaran akan dimodifikasi menjadi bentuk bersegi dengan hipotesis bahwa efisiensi radasinya akan meningkat. Beberapa bentuk *patch* monopol yang akan digunakan dalam modifikasi kepala antena *Octopus* diperlihatkan pada gambar 3. Kelima bentuk *patch* monopol tersebut kemudian disimulasikan dengan perangkat lunak yang bekerja pada domain frekuensi, dengan data antena *Octopus* sebagai referensinya. Selain parameter efisiensi radasinya, parameter lain seperti *return loss* dan VSWR akan digunakan sebagai pembandingan terutama terkait frekuensi kerjanya.

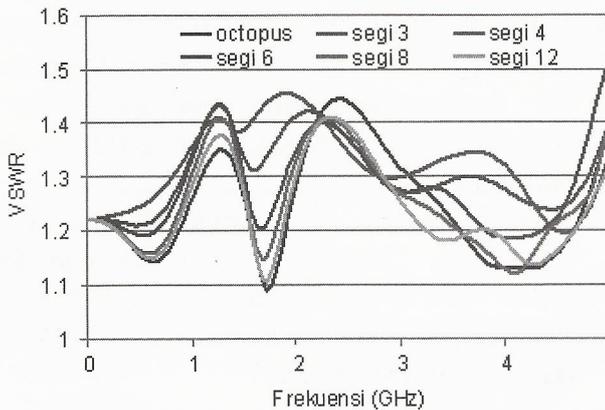
Gambar 3 : Bentuk modifikasi kepala antena *Octopus*.

#### 4. Hasil Simulasi Dan Diskusi

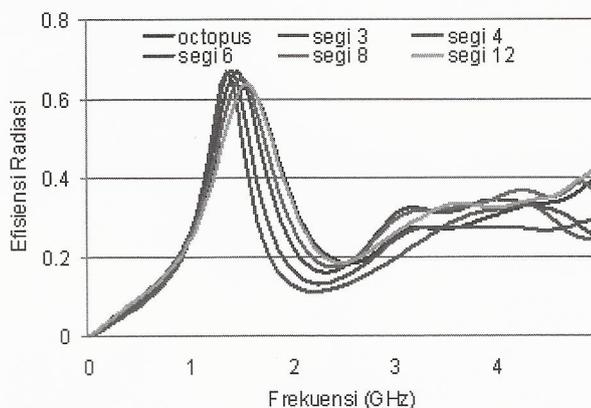
Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi *return loss* dari antena *Octopus* dan modifikasinya. Terlihat bahwa hampir semua bentuk *patch* monopol mempunyai rentang frekuensi kerja 50-5000MHz dengan *return loss* maksimum sekitar 15dB, sehingga dapat dikatakan bahwa antena modifikasi memenuhi persyaratan *return loss* seperti yang dimiliki oleh antena *Octopus*. Dari hasil tersebut terlihat pada rentang frekuensi kerja 1,2-2,1GHz terjadi perbaikan *return loss* akibat adanya peningkatan jumlah transisi mendadak pada sisi-sisi *patch*, sedangkan pada rentang frekuensi kerja 3,5-5GHz terjadi sebaliknya. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa transisi mendadak berpengaruh positif pada perbaikan *return loss* untuk frekuensi rendah namun berpengaruh negatif terhadap *return loss* untuk frekuensi tinggi.



**Gambar 4 :** Hasil simulasi *return loss* antenna *Octopus* dan antenna modifikasi.



**Gambar 5 :** Hasil simulasi VSWR antenna *Octopus* dan antenna modifikasi.



**Gambar 6 :** Hasil simulasi efisiensi radiasi antenna *Octopus* dan antenna modifikasi.

Dari hasil simulasi VSWR antenna *Octopus* dan antenna modifikasi yang diperlihatkan pada gambar 5, terlihat bahwa semua jenis antenna modifikasi mempunyai  $VSWR \leq 1,5$  untuk rentang frekuensi kerja 505000MHz, sehingga antenna modifikasi telah memenuhi persyaratan *bandwidth* yang lebar. Sedangkan pada hasil simulasi efisiensi radiasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 6 menunjukkan bahwa antenna *Octopus* mempunyai efisiensi radiasi paling rendah untuk rentang frekuensi kerja 1-2 GHz. Antenna dengan bentuk *patch* monopol segi dua belas mempunyai efisiensi radiasi yang hampir sama dengan antenna *Octopus*, hal ini disebabkan karena bentuk segi dua belas menyerupai bentuk lingkaran. Adapun antenna dengan bentuk *patch* monopol segi empat dan segi enam memberikan nilai efisiensi radiasi yang paling tinggi pada frekuensi kerja sekitar 1,5GHz, akan tetapi pada frekuensi kerja sekitar 2,25GHz efisiensi radasinya cukup rendah.

Dari kelima bentuk *patch* monopol yang diusulkan, antenna dengan bentuk *patch* monopol segi delapan memberikan efisiensi radiasi yang relatif lebih tinggi dibanding yang lain dan juga dibanding antenna *Octopus*. Hal ini terlihat dari nilai *return loss* yang relatif stabil pada semua rentang frekuensi kerja. Meskipun efisiensi radiasi yang dihasilkan tidak terlalu tinggi pada rentang frekuensi kerja tertentu, namun untuk rentang frekuensi kerja yang lain tidak memberikan nilai yang paling rendah. Dari hasil simulasi efisiensi radiasi pada gambar 6 terlihat bahwa antenna modifikasi yang dihasilkan memberikan efisiensi radiasi tertinggi sebesar 65,39% pada frekuensi kerja 1,55GHz.

### 5. Kesimpulan

Modifikasi bentuk *patch* antenna cetak monopol dari bentuk lingkaran menjadi bentuk bersegi telah dianalisa secara numerik dan terbukti dapat meningkatkan efisiensi radiasi antenna. Semua antenna modifikasi yang dihasilkan mempunyai rentang frekuensi kerja yang sama

dengan antenna *Octopus* yaitu antara 505000MHz untuk nilai  $VSWR \leq 1.5$ . Bentuk modifikasi *patch* antenna cetak monopol yang memberikan hasil yang maksimal adalah bentuk segi delapan karena dari hasil simulasi menunjukkan nilai *return loss* yang relatif stabil pada semua rentang frekuensi kerja dan mempunyai nilai efisiensi radiasi yang lebih tinggi dari antenna *Octopus*, jika dibandingkan dengan bentuk monopol yang lain. Walaupun mempunyai nilai efisiensi radiasi yang tidak terlalu tinggi, namun bentuk *patch* monopol segi delapan tidak memberikan efisiensi radiasi yang paling rendah untuk frekuensi kerja tertentu. Penelitian lanjutan terkait penerapan hasil analisa numerik ini sedang dilakukan dimana upaya untuk memperkecil dimensi antenna cetak monopol dengan tetap mempertahankan performansinya akan menjadi kajian baik secara numerik maupun eksperimen.

## 6. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini disponsori secara parsial oleh The Asahi Glass Foundation 2011 Research Grant.

## 7. Daftar Pustaka

- [1] D.J. Daniels, "Surface penetrating radar". The Institution of Electrical Engineers: London, United Kingdom, 2006.
- [2] H.M. Jol, R.J. Dechaine and R. Eisenman, "Archeological GPR investigation at Rennes-le-Chateau, France", *The 9<sup>th</sup> Int. Conf. on Ground Penetrating Radar (GPR) Proc.*, Santa Barbara, 2002, pp. 91-95.
- [3] H. Machguth, O. Eisen O and F. Paul, "Helicopter borne snow profiling on Alpine glaciers with GPR", *Geophysical Research Lett.* vol. 8, 2006.
- [4] J. Ishikawa, M. Kiyota and K. Furata, "Test and evaluation of anti-personnel landmine detection based on vehicle-mounted GPR system", *Japan Science and Technology Agency, IEICE Technical Report*, vol. 363, no. 105, 2005.
- [5] L.P. Ligthart, "UWB technologies in communication and radar," *Short Course*, 2010.
- [6] H. G. Schantz, "Radiation efficiency of UWB antennas," *IEEE UWBST Conference Proc.*, 2002.
- [7] R.B.V.B. Simorangkir and A. Munir, "Numerical design of UWB printed antenna for surface penetrating radar application", *Journal TELKOMNIKA*, Aug. 2011 (*to be published*)
- [8] A.A. Pramudita, A. Kurniawan and A.B. Suksmono, "Modified dipole antenna for UWB SFCW-SPR" *Int. Conf. Electrical Engineering and Informatics (ICEEI) Proc.*, Bandung, Indonesia, 2007

# Analisis Penyandian dan Penguraian Dengan Teknik Reed-Solomon Code (15, 11)

Taufiqurrachman dan Deni Permana

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) LIPI  
Kampus LIPI Gd. 20 Lt. 4 Jl. Sangkuriang Bandung (40135) - INDONESIA  
Telp. 022-2504661 Fax. 022-2504659  
e-mail : [taufiq@ppet.lipi.go.id](mailto:taufiq@ppet.lipi.go.id)

## Abstract

Encoder and decoder techniques Reed-Solomon Code is required in digital communication systems to protect information that is sent from the source through a channel to the sink to avoid mistakes. The information will be sent by the source before the encoder process in which information is given the addition of parity checks to form a password. After that, the password is sent through a channel and will be the process of decoder at the receiving end. Decoder process will detect any errors that occur in the password that was sent and to make corrections to errors in the password. From the analysis calculation and design software simulation with encoder techniques and the decoder using Binary Symmetric Channel (BSC) as a channel model is acquired the ability to correct the maximum error rate of 2-byte symbol in the 15-byte password symbols.

**Keywords:** Encoder, Decoder, Reed-Solomon Code, Binary Symmetric Channel (BSC), Parity Check

## Abstrak

Teknik Penyandian dan Penguraian Reed-Solomon code diperlukan dalam sistem komunikasi digital untuk melindungi informasi yang akan dikirimkan dari source (pengirim) melalui suatu channel ke sink (penerima) agar tidak terjadi kesalahan. Informasi yang akan dikirimkan oleh source terlebih dahulu dilakukan proses penyandian dimana informasi tersebut diberikan penambahan parity check sehingga membentuk sebuah kata sandi. Setelah itu, kata sandi tersebut dikirimkan melalui suatu channel dan akan dilakukan proses penguraian pada sisi sink. Proses penguraian akan mendeteksi adanya kesalahan yang terjadi pada kata sandi yang dikirimkan dan melakukan koreksi terhadap kesalahan pada kata sandi tersebut. Dari hasil analisis perhitungan dan perancangan simulasi perangkat lunak dengan teknik penyandian dan penguraian menggunakan model kanal Binary Symmetric Channel (BSC) diperoleh kemampuan untuk mengkoreksi kesalahan maksimum sebesar 2 byte simbol pada kata sandi 15 byte simbol.

**Kata Kunci:** Penyandian, Penguraian, Reed-Solomon Code, Binary Symmetric Channel (BSC), Parity Check

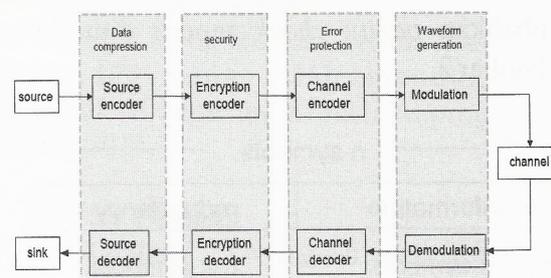
## 1. Pendahuluan

Blok diagram dari suatu sistem komunikasi digital diperlihatkan pada Gambar 1. Informasi yang dikirimkan dari *source* pada suatu *channel* dalam sistem komunikasi digital dapat mengalami kesalahan yang disebabkan oleh adanya *noise* dan interferensi.

Agar informasi yang dikirimkan dari *source* dapat diterjemahkan kembali menjadi informasi yang benar oleh *sink* maka diperlukan suatu proses penyandian dan proses penguraian.

Proses penyandian pada sisi *source* disebut dengan *channel encoder*, sedangkan untuk proses

penguraian pada sisi *sink* disebut dengan *channel decoder*.



**Gambar 1 :** Blok Diagram dari Sistem Komunikasi Digital [1].

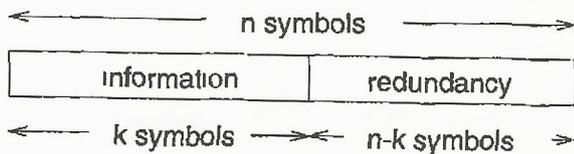
Proses penyandian dan penguraian yang digunakan ada beberapa metode yaitu *Forward Error Correction* (FEC), *Automatic Repeat reQuest* (ARQ), dan Hybrid ARQ.

Proses penyandian dan penguraian dengan menggunakan metode FEC memiliki tingkat kompleksitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode ARQ. Teknik penyandian dan penguraian dengan metode FEC terdiri dari dua jenis teknik penyandian yaitu penyandian blok linier dan penyandian konvolusi. Penyandian siklis (*cyclic code*) merupakan salah satu penyandian blok linier yang melakukan penyandian dan penguraian dengan menggunakan matematika aljabar linier dalam bentuk *polynomial*.

Dalam penyandian siklis terdapat bermacam-macam teknik penyandian yang dikembangkan secara khusus diantaranya adalah Reed-Solomon (RS), Golay Code, Reed-Muller (RM), Meggit Decoder, Bose-Chaudhuri-Hocquenghem (BCH) dan sebagainya. Dalam tulisan ini dibahas analisis perhitungan dan perancangan simulasi perangkat lunak dengan teknik penyandian dan penguraian menggunakan teknik Reed-Solomon Code (15, 11).

**2. Teori**

Teknik penyandian Reed-Solomon adalah salah satu dari teknik penyandian blok linier dimana informasi yang dikirimkan dibagi kedalam beberapa blok data. Setiap blok data dibentuk kedalam kata sandi (*code word*) dengan menambahkan *parity check* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2** : Blok Penyandian Secara Sistematis [2]

Reed-Solomon *code* dapat digambarkan ke dalam (n,k) *code*, dimana n merupakan panjang dari kata sandi dalam bentuk simbol dan k merupakan panjang dari informasi dalam bentuk simbol. Penyandian Reed-Solomon *code* menggunakan perhitungan aritmatika *finite field* yang dinotasikan kedalam GF(q) dengan jumlah elemen dalam sebuah *finite field* dibentuk dari  $q = 2^m$ .

Reed-Solomon *code* dengan simbol GF(q) memiliki parameter-parameter [2]:

$$\begin{aligned} n &= q - 1 \\ n - k &= 2t \end{aligned} \dots\dots\dots(1)$$

Sehingga untuk *polynomial* generator yang di notasikan sebagai g(x) menggunakan persamaan [2]:

$$g(x) = (x - \alpha)(x - \alpha^2) \dots (x - \alpha^{2t}) \dots\dots\dots(2)$$

dimana g(x) memiliki  $1, \alpha, \alpha^2, \dots, \alpha^{2t}$  sebagai akar-akar dan koefisien dari GF(q).

Pada proses penyandian Reed-Solomon *code* dengan bentuk sistematis disajikan dalam tiga tahapan. Tahap pertama adalah informasi yang akan dikirimkan dinotasikan sebagai d(x) dan dikalikan dengan konstanta  $x^{n-k}$  seperti pada persamaan [3]:

$$c(x) = d(x) \times x^{n-k} \dots\dots\dots(3)$$

Kemudian pada tahap kedua, menentukan sisa hasil bagi dari pembagian antara C(x) dengan g(x) seperti pada persamaan [3]:

$$r(x) = c(x) \text{ mod } g(x) \dots\dots\dots(4)$$

Selanjutnya pada tahap ketiga, kata sandi dibentuk dengan melakukan penambahan antara hasil pada persamaan (3) dengan hasil pada persamaan (4), sehingga kata sandi yang dinotasikan sebagai C(x) dihasilkan seperti pada persamaan [3]:

$$C(x) = c(x) \oplus r(x) \dots\dots\dots(5)$$

Pada proses transmisi informasi dari *source* ke *sink* pada suatu *channel* maka akan terjadi

kesalahan pada informasi yang dikirimkan. Model *channel* yang digunakan pada tulisan ini adalah *Binary Symmetric Channel* (BSC). Model *channel* ini mengasumsikan bahwa sisi *source* selalu mengirimkan *bit* data yang benar sedangkan pada sisi *sink* akan terjadi “flip” *bit* yang akan mengubah data atau informasi yang dikirimkan oleh sisi *source*. Sehingga informasi yang diterima oleh sisi *sink*, dinotasikan dengan  $R(x)$  akan menghasilkan persamaan :

$$R(x) = R(x) \oplus e(x) \dots\dots\dots(6)$$

Pada proses penguraian Reed-Solomon *code* terdiri dari empat tahapan proses yaitu : perhitungan sindrom, penentuan lokasi kesalahan, penentuan nilai dari lokasi kesalahan dan pengkoreksian informasi yang diterima.

Perhitungan sindrom diperlukan untuk mengetahui ada tidaknya kesalahan yang terjadi pada informasi yang diterima,  $r(x)$ . Apabila tidak terjadi kesalahan maka perhitungan sindrom akan menghasilkan nilai nol. Perhitungan sindrom dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan [3] :

$$S_i = r(\alpha^i) \text{ dimana } 1 \leq i \leq 2t \dots\dots\dots(7)$$

Selanjutnya dengan menggunakan algoritma Peterson-Goreinstein-Zieler (PGZ) dilakukan pencarian posisi dari kesalahan yang terjadi pada informasi yang diterima oleh *sink*. Lokasi dari kesalahan dapat dijelaskan dengan menentukan akar-akar persamaan yang disebut sebagai *error locator polynomial*, dimana lokasi dari kesalahan dapat dibentuk dalam bentuk matrik pada persamaan [4] :

$$\begin{bmatrix} S_1 & S_2 & \dots & S_t \\ S_2 & S_3 & \dots & S_{t+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_t & S_{t+1} & \dots & S_{2t-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_t \\ \sigma_{t-1} \\ \vdots \\ \sigma_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{t+1} \\ S_{t+2} \\ \vdots \\ S_{2t} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(8)$$

*Error locator polynomial* dapat di definisikan kedalam persamaan [4] :

$$\sigma(x) = 1 + \sigma_1 x + \dots + \sigma_t x^t \dots\dots\dots(9)$$

Dari persamaan (9) dilakukan substitusi terhadap  $x$  untuk memperoleh akar-akar dari persamaan (9). Akar-akar dari persamaan (9) merupakan *reciprocal* dari posisi kesalahan ( $\beta$ ) yang terjadi pada kata sandi yang diterima oleh *sink* seperti ditunjukkan pada persamaan [5] :

$$\beta = x^{-1} \dots\dots\dots(10)$$

Tahap selanjutnya dari proses penguraian Reed-Solomon *code* adalah menentukan nilai dari lokasi kesalahan yang terjadi pada informasi yang diterima oleh *sink*. Penentuan nilai dari lokasi kesalahan pada informasi yang diterima oleh *sink* dinotasikan sebagai  $Y(x)$  dan didefinisikan dalam bentuk matrik pada persamaan [4] :

$$\begin{bmatrix} \alpha^{e_1} & \alpha^{e_2} & \dots & \alpha^{e_t} \\ (\alpha^{e_1})^2 & (\alpha^{e_2})^2 & \dots & (\alpha^{e_t})^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\alpha^{e_1})^t & (\alpha^{e_2})^t & \dots & (\alpha^{e_t})^t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_t \end{bmatrix} \dots\dots\dots(11)$$

Maka kesalahan yang terjadi pada informasi yang diterima oleh *sink* dinotasikan sebagai  $e(x)$  dan didefinisikan sebagai persamaan *polynomial* [4] :

$$e(x) = Y_1 x^{e_1} + Y_2 x^{e_2} + \dots + Y_t x^{e_t} \dots\dots(12)$$

Pengkoreksian kesalahan pada informasi yang diterima oleh *sink* dapat dilakukan dengan melakukan penambahan  $r(x)$  dengan  $e(x)$  yang dihasilkan oleh persamaan (12). Informasi yang diterima oleh *sink* ini masih dalam bentuk kata sandi dimana informasi yang ditambahkan dengan *parity check*. Untuk mendapatkan informasi awal (informasi sebelum di bentuk kata sandi pada sisi *source*) maka dilakukan dengan membagi antara  $r(x)$  dan konstanta  $x^{n-k}$ .

**3. Analisis Perhitungan**

Dalam uraian berikut ini akan diberikan analisa perhitungan tentang teknik penyandian dan penguraian dengan metode Reed-Solomon *code*

(15,11). Dalam perhitungan pada proses penyandian dan penguraian diperlukan sebuah generator *polynomial* (g(x)). Generator *Polynomial* (g(x)) ini dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2) sehingga diperoleh generator *polynomial*:

$$g(x) = x^4 + 13x^3 + 12x^2 + 8x + 7 \dots\dots\dots(13)$$

Data masukan atau informasi yang akan dikirimkan oleh source diberikan data dengan nilai : d(x) = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11] Data masukan (d(x)) dapat direpresentasikan kedalam bentuk *polynomial* menjadi :

$$d(x) = x^{10} + 2x^9 + 3x^8 + 4x^7 + 5x^6 + 6x^5 + \dots\dots\dots(14)$$

$$7x^4 + 8x^3 + 9x^2 + 10x + 11$$

Untuk melakukan proses penyandian dari data masukan (d(x)) pada persamaan (14) dapat menggunakan persamaan (3) sampai dengan persamaan (5), sehingga diperoleh kata sandi (C(x)) adalah :

$$C(x) = x^{14} + 2x^{13} + 3x^{12} + 4x^{11} + 5x^{10} + 6x^9 + \dots\dots\dots(15)$$

$$7x^8 + 8x^7 + 9x^6 + 10x^5 + 11x^4 + 11x^3 + \dots\dots\dots$$

$$10x^2 + 14x + 6$$

Kata sandi (C(x)) pada persamaan (15) kemudian ditransmisikan pada suatu channel ke sink (penerima).

Diasumsikan pada channel terjadi penambahan noise secara acak (random), sehingga akan menghasilkan kata sandi yang diterima oleh sink (R(x)) menjadi :

$$R(x) = x^{14} + 2x^{13} + 3x^{12} + 4x^{11} + 5x^{10} + 6x^9 + \dots\dots\dots(16)$$

$$7x^8 + 8x^7 + 9x^6 + 3x^5 + 11x^4 + 11x^3 + \dots\dots\dots$$

$$15x^2 + 14x + 6$$

Kata sandi yang telah diterima di sisi sink (R(x)) akan dilakukan proses penguraian dengan melakukan perhitungan sindrom terhadap kata sandi R(x). Perhitungan sindrom dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (7), sehingga diperoleh nilai sindrom. S(x) = [4 5 0 1]

Selanjutnya dilakukan penentuan posisi dari kesalahan yang terjadi pada kata sandi R(x) dengan menggunakan persamaan (8). Bentuk matrik dari

persamaan lokasi kesalahan (L(x)) adalah :

$$\begin{bmatrix} 4 & 5 \\ 5 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10 \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(17)$$

Dengan menyelesaikan persamaan (17) menggunakan perhitungan matrik maka didapat nilai :

$$\begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 11 \\ 2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(18)$$

Dari substitusikan hasil pada persamaan (18) kedalam persamaan (9) diperoleh persamaan *error locator* dalam bentuk *polynomial* menjadi :

$$L(x) = 1 + 2x + 11x^2 \dots\dots\dots(19)$$

Setelah itu substitusikan  $x = \alpha^i$  dimana  $i = 0, 1, \dots, 14$  kedalam persamaan (19). Hal ini diperlukan untuk menentukan akar-akar dari persamaan (19). Akar-akar persamaan dari persamaan (18) adalah  $\alpha^{10}$  dan  $\alpha^{13}$  Sehingga posisi kesalahan (Y) dari kata sandi yang diterima oleh sink adalah  $x^5$  dan  $x^2$

Tahap selanjutnya pada proses penguraian adalah menentukan nilai dari posisi kesalahan (Y) yang terjadi pada kata sandi yang diterima oleh sink. Penentuan nilai dari posisi kesalahan menggunakan persamaan (11) diperoleh :

$$\begin{bmatrix} 6 & 4 \\ 7 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 5 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(20)$$

Penyelesaian persamaan (20) akan menghasilkan nilai  $Y_1 = 9$  dan  $Y_2 = 5$  Maka error (kesalahan) yang terjadi pada persamaan (16) dapat dituliskan kedalam bentuk *polynomial* dengan menggunakan persamaan (12) menjadi :

$$e(x) = 9x^5 + 5x^2 \dots\dots\dots(21)$$

Tahap terakhir pada proses penguraian kata sandi pada sisi sink adalah mengkoreksi kata sandi yang diterima pada persamaan (16) dengan error yang terjadi pada kata sandi (persamaan (21)) dengan melakukan penambahan XOR pada persamaan (6). Kata sandi yang telah dikoreksi adalah :

$$R(x) = x^{14} + 2x^{13} + 3x^{12} + 4x^{11} + 5x^{10} + \dots\dots\dots(22)$$

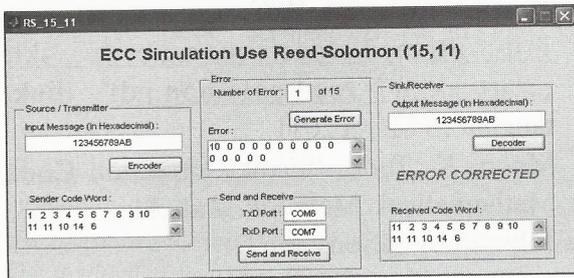
$$6x^9 + 7x^8 + 8x^7 + 9x^6 + 10x^5 + \dots\dots\dots$$

$$11x^4 + 11x^3 + 10x^2 + 14x + 6$$

Persamaan (22) menghasilkan nilai yang sama dengan persamaan (15), dan akan menghasilkan informasi awal yang sama pada sisi source bila diuraikan menjadi informasi awal.

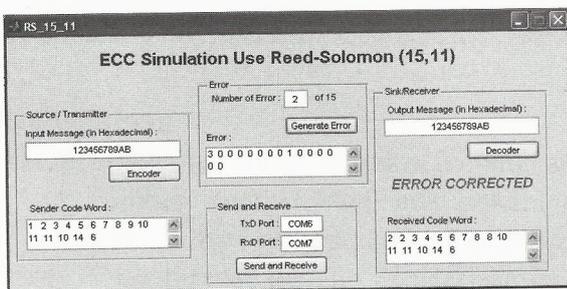
**4. Hasil Simulasi Perangkat Lunak**

Berdasarkan hasil analisis perhitungan diatas maka telah dirancang suatu simulasi perangkat lunak dengan hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 6.



Gambar 3 : Simulasi dengan Error 1-byte Simbol.

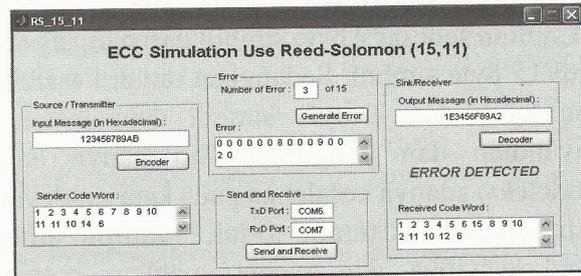
Data yang diberikan pada Gambar 3 dalam bentuk bilangan Heksadesimal adalah :  $d(x) = [1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9\ A\ B]$  Data  $d(x)$  kemudian dibentuk kedalam kata sandi dan diberikan error sebanyak 1-byte simbol secara acak. Kata sandi tersebut kemudian dikirimkan dari source melalui koneksi kabel xtalk RS232 ke sink. Selanjutnya pada sisi sink, kata sandi tersebut diuraikan dan dikoreksi menjadi informasi awal yang benar dengan baik pada sisi sink.



Gambar 4 : Simulasi dengan Error 2-byte Simbol.

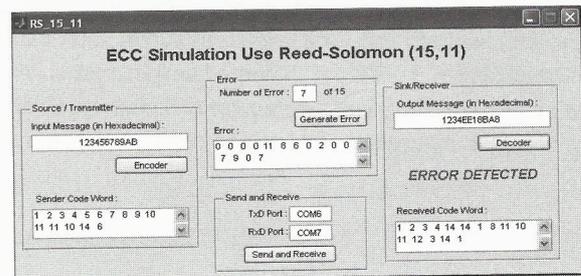
Pada percobaan kedua, data masukan ( $d(x)$ )

yang diberikan sama dengan pada percobaan pertama tetapi jumlah error yang diberikan adalah 2-byte simbol secara acak. Setelah kata sandi diuraikan pada sisi sink maka error yang terjadi pada kata sandi yang diterima oleh sink masih dapat dikoreksi dan dapat diterjemahkan menjadi informasi awal yang benar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 5 : Simulasi dengan Error 3-byte Simbol.

Pada percobaan ketiga masih menggunakan data masukan yang sama tetapi jumlah error yang diberikan pada kata sandi yang dikirimkan ke sink adalah sebanyak 3-byte simbol secara acak. Gambar 5 menunjukkan hasil penguraian disisi sink yang gagal untuk mengkoreksi error dan menerjemahkannya menjadi informasi yang salah.



Gambar 6 : Simulasi dengan Error 7-byte Simbol.

Pada percobaan keempat diberikan jumlah error sebanyak 7-byte simbol pada kata sandi yang akan dikirimkan ke sink dengan data masukan yang sama dengan percobaan sebelumnya. Dari hasil penguraian kata sandi yang diterima sink mengalami kegagalan dalam mengkoreksi error

dan menerjemahkan menjadi informasi yang salah pada sisi sink seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

### 5. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil analisis perhitungan dan simulasi perangkat lunak, teknik penyandian dan penguraian Reed-Solomon code dapat mengoreksi kesalahan yang terjadi pada kata sandi yang dikirimkan pada suatu channel maksimum sebesar 2 byte simbol dari panjang kata sandi 15 byte simbol. Sedangkan untuk kesalahan yang lebih dari 2 byte simbol dengan teknik penyandian dan penguraian ini hanya dapat mendeteksi adanya kesalahan pada kata sandi yang akan diuraikan tetapi tidak mampu untuk mengoreksinya dan menerjemahkan menjadi informasi awal yang benar.

### 6. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih Penulis sampaikan pada rekan-rekan peneliti dan teknisi yang telah memberikan bantuan berupa koreksi dan diskusi untuk melengkapi dan menyelesaikan tulisan ini.

### 7. Daftar Pustaka

- [1] Micheloni R., Marelli A., and Ravasio R., "Error Correction Codes for Non-Volatile Memories", Springer.
- [2] Morelos, Robert H., Zaragoza, "The Art of Error Correcting Coding", A John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Lin, Shu., Daniel J. Costello, Jr., "Error Control Coding: Fundamentals and Applications", Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1983.
- [4] [http://ptgmedia.pearsoncmg.com/...sklar7.../art\\_sklar7\\_reed-solomon.pdf](http://ptgmedia.pearsoncmg.com/...sklar7.../art_sklar7_reed-solomon.pdf), diakses tanggal 15 Maret 2011.
- [5] Moon, K. Todd, "Error Correction Coding: Mathematical Methods and Algorithm", A John Wiley & Sons, Inc.

# Enkripsi Citra Menjadi Bentuk Teks Untuk Keamanan File

Arief Nur Rahman dan Octa Heriana

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI

Jl. Cisititu 21/ 154D Bandung 40135 Telp. 022 250 4660, 250 4661 Fax. 022 250 4659

e-mail: rahman@ppet.lipi.go.id

## Abstract

*Application program design for digital image files security can be created by securing the image file into a text collection file. One simple method of data securing process is done by converting the pixel values into an encrypted text by changing the first components of pixels into an ASCII character using modified Chipper Alphabetical Compound methods. Modifications to the Chipper Alphabetical Compound is done by converting each pixel value in the image into characters, and then the converted pixel value is encrypted using a key that has been determined before. As a result, digital image files is showed as a text file that can not be read by others and can be restored to its original shape without any significant change.*

**Keywords:** image, security, conversion, encrypted

## Abstrak

*Perancangan program aplikasi untuk pengamanan berkas citra digital dapat dilakukan dengan cara mengamankan file citra menjadi sebuah kumpulan teks. Salah satu metode sederhana dalam proses pengamanan data ini dilakukan dengan cara mengkonversi nilai pixel menjadi teks terenkripsi dengan mengubah terlebih dahulu komponen-komponen pixel menjadi sebuah karakter ASCII melalui metoda Pemanfaatan Chipper Abjad Majemuk yang dimodifikasi. Modifikasi pada chipper abjad majemuk dilakukan dengan cara mengkonversi setiap nilai pixel pada citra ke dalam karakter huruf, dan selanjutnya nilai pixel tersebut dienkripsi dengan menggunakan key yang sudah ditentukan. Dari perancangan yang dilakukan maka diperoleh file citra digital menjadi sebuah teks yang tidak bisa dibaca orang lain dan dapat dikembalikan menjadi bentuk semula tanpa perubahan yang berarti.*

**Kata kunci:** citra, pengamanan, konversi, enkripsi

## 1. Pendahuluan

Kemampuan dalam mengakses informasi secara cepat dan tepat menjadi hal yang penting. Data atau informasi tidak hanya disajikan dalam bentuk teks, tetapi juga dapat berupa gambar/citra, audio (bunyi, suara, musik), maupun video. Keempat informasi ini sering disebut multimedia.[1] Dengan bantuan komputer, citra dapat ditampilkan dan diolah sehingga dapat diperoleh data citra yang diinginkan.

Penyampaian informasi dalam bentuk citra juga membutuhkan keamanan dan kerahasiaannya seperti halnya file berupa teks. Keamanan data pada file citra telah dilakukan dalam berbagai algoritma

yang mengubahnya menjadi sebuah citra baru yang mengalami perubahan nilainya. Namun karena kerumitan algoritma dalam pengamanan file citra ke dalam bentuk citra yang baru maka teknologi untuk memecahkan keamanan tersebut semakin berkembang. keamanan file citra dilakukan dengan menggunakan suatu algoritma yang dapat mengubahnya menjadi sebuah kumpulan teks dan tidak mengubah bentuk atau komponen dari file aslinya.

Dalam makalah ini, penulis akan membuat suatu program aplikasi yang dapat membantu untuk mengamankan informasi dalam bentuk citra. Program aplikasi ini dapat mengubah file citra menjadi sebuah kumpulan teks yang tidak dapat

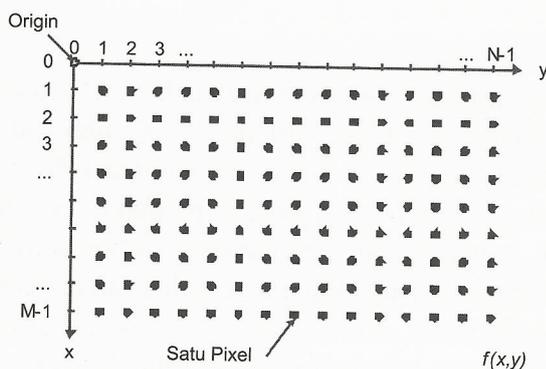
dimengeti oleh orang yang tidak berkepentingan. Setelah mengubahnya ke dalam teks, metode yang digunakan juga dapat mengembalikan *file* yang telah diubah menjadi bentuk informasi semula yaitu *file* citra.

Dalam makalah ini akan dibahas tentang pembahasan mengenai konsep dasar citra, pengantar kriptografi dan pemanfaatan *chipper* abjad majemuk.

**1.1. Konsep Dasar Citra**

Gambar atau citra didefinisikan sebagai tiruan barang (orang, binatang, tumbuhan) yang dibuat dengan coretan pensil atau media lainnya pada sebuah kertas dan sebagainya.[2] Citra sebagai bentuk informasi visual mempunyai karakteristik yang tidak dimiliki oleh data teks. Citra dapat memberikan informasi yang lebih banyak daripada informasi yang dihasilkan dalam bentuk teks.

Elemen terkecil dalam sebuah citra yaitu *pixel* yang memiliki elemen pada citra digital yang memiliki lokasi (x,y) dan nilai f(x,y). *Pixel* memiliki nama lain yaitu *picture elements, image element, pels*. [3] Representasi citra dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1:** Representasi citra digita

**1.2. Pengantar Kriptografi**

Kriptografi (*cryptography*) berasal dari

Bahasa Yunani: “*cryptós*” artinya “*secret*” (rahasia), sedangkan “*gráphein*” artinya “*writing*” (tulisan). Jadi, kriptografi berarti “*secret writing*” (tulisan rahasia). Ada beberapa definisi kriptografi yang telah dikemukakan di dalam berbagai literatur. Definisi yang dipakai di dalam buku-buku yang lama (sebelum tahun 1980-an) menyatakan bahwa kriptografi adalah ilmu dan seni untuk menjaga kerahasiaan pesan dengan cara menyandikannya ke dalam bentuk yang tidak dapat dimengerti lagi maknanya. Definisi ini mungkin cocok pada masa lalu di mana kriptografi digunakan untuk keamanan komunikasi penting seperti komunikasi di kalangan militer, diplomat, dan mata-mata. Namun saat ini kriptografi lebih dari sekadar *privacy*, tetapi juga untuk tujuan *data integrity, authentication, dan non-repudiation*. Kriptografi adalah ilmu dan seni untuk menjaga keamanan pesan (*Cryptography is the art and science of keeping messages secure*).[4]

Konsep matematis yang mendasari algoritma kriptografi adalah relasi antara dua buah himpunan yaitu himpunan yang berisi elemen-elemen *plaintext* dan himpunan yang berisi *ciphertext*. Enkripsi dan dekripsi merupakan fungsi yang memetakan elemen-elemen antara kedua himpunan tersebut. Misalkan P menyatakan *plain text* dan C menyatakan *chipper text*, maka fungsi enkripsi E memetakan P ke C, Seperti pada rumus[3]

$$E(P) = C \dots\dots\dots(1)$$

Dan fungsi dekripsi D memetakan C ke P,

$$D(C) = P \dots\dots\dots(2)$$

Karena proses enkripsi kemudian dekripsi mengembalikan pesan ke pesan asal, maka kesamaan berikut harus benar,

$$D(E(P)) = P \dots\dots\dots(3)$$

### 1.3. Pemanfaatan *Chipper* Abjad Majemuk

Pemanfaatan *chipper* abjad majemuk merupakan metode sederhana yang dapat mengamankan file citra menjadi sebuah kumpulan teks. Metode ini tidak mengubah elemen dari file citra asli, namun hanya mengubah bentuknya sehingga orang yang tidak berkepentingan tidak dapat melihat informasi dalam citra tersebut.

Langkah langkah yang dilakukan dalam pemanfaatan *chipper* abjad majemuk adalah dengan cara setiap nilai *pixel* pada citra dikonversi ke dalam karakter huruf, yaitu hasil sisa bagi dan hasil bagi dengan heksadesimal kemudian nilai yang didapat diganti dengan suatu karakter. Karena konversi terbatas pada hexadesimal yaitu sampai 16 alfabet (A-P), maka untuk lebih mengamankan hasil konversi data menjadi teks diperlukan cara untuk memunculkan lebih banyak ragam karakter yaitu dengan menggunakan kunci tertentu pada tiap-tiap karakter yang dihasilkan. [5]

Pada metoda ini terdapat kelemahan yaitu setiap *pixel* dikonversi menjadi 6 karakter sehingga *chipper text*-nya menjadi 2 kali lebih besar dari pada file aslinya, dan waktu yang digunakan untuk mengenkripsi dan dekripsi memerlukan waktu yang lebih lama karena ukura *chipper text* menjadi 2 kali lebih besar dari pada *plain text*.

Modifikasi *chipper* abjad majemuk dengan cara setiap nilai *pixel* pada citra dikonversi ke dalam karakter huruf, hasil bagi bilangan bulat (*divide*) setiap *pixel* dengan 16 kemudian nilai yang didapat diganti dengan satu karakter. Setelah dikonversi menjadi karakter lalu nilai *pixel* tersebut diacak dengan menggunakan *key* tertentu. Contoh hasil konversi dapat dilihat pada Tabel 1.

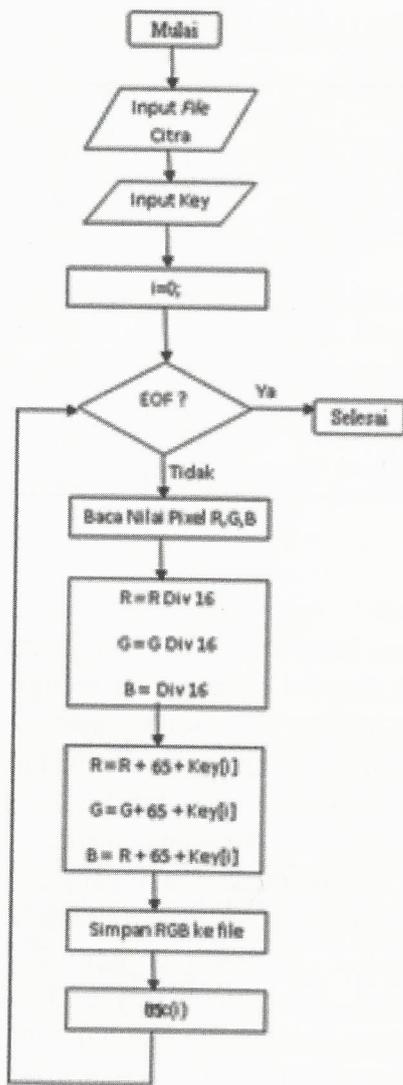
Tabel 1: Contoh hasil konversi

Nilai <i>Pixel</i>	Hasil Konversi	<i>Key</i>	Hasil yang sudah di acak
255	P	B	R
255	P	Z	Q
86	F	3	7
86	F	C	F
0	A	&	\$
0	A	N	&
117	H	^	1
102	G	^	0
34	C	*	+
...	...	...	...
75	E	C	E

## 2. Metode

Proses konversi *file* citra menjadi teks terenkripsi dimulai dengan cara mengambil nilai *pixel* pada gambar pada setiap layer (*red, green, blue*). Nilai pada setiap layer dimulai dari 0 sampai dengan 255. Nilai ini mewakili tingkat kecerahan pada gambar dimana 0 merupakan nilai yang paling gelap dan 255 merupakan nilai yang paling cerah. Setelah nilai pada setiap *pixel* diperoleh lalu nilai-nilai tersebut dikonversi menjadi bilangan heksadesimal. Selanjutnya hanya diambil hanya nilai awalnya saja (bilangan bulat hasil bagi). Setelah diperoleh nilai dari setiap *pixel* lalu nilai tersebut dikonversi menjadi karakter, dengan memanfaatkan *chipper* abjad majemuk yang telah dimodifikasi. Setelah dikonversi menjadi nilai ASCII lalu diacak dengan *key* tertentu.

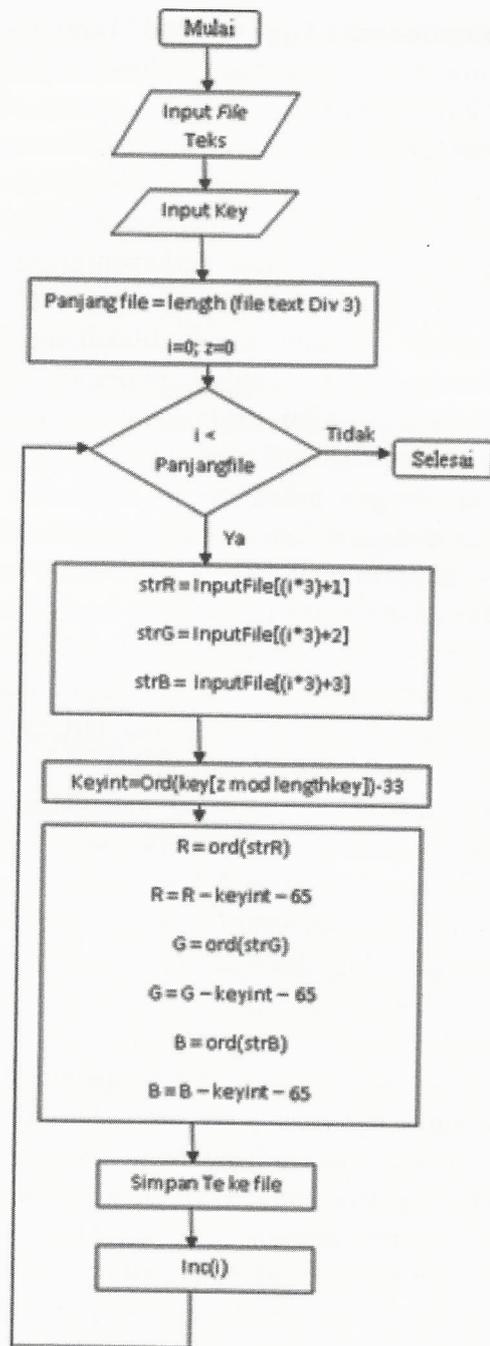
Garis besar alur program yang dibuat dapat dilihat seperti gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 2: Diagram Alir Data Proses Enkripsi

Pada proses enkripsi kita mengubah setiap *pixel* dari sebuah file citra menjadi sebuah karakter dan diacak dengan *key* tertentu sampai keseluruhan *pixel* telah di konversi lalu disimpan ke dalam sebuah file. Pada tahapan ini dilakukan konversi yang semula file citra menjadi file teks yang telah teracak.

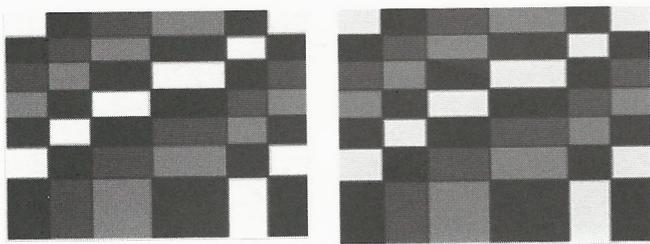
Pada proses dekripsi merupakan proses kebalikan dari enkripsi yaitu proses pengembalian file yang telah di acak sebelumnya menjadi file citra kembali sesuai dengan persamaan (3).



Gambar 3: Diagram Alir Data Proses Dekripsi

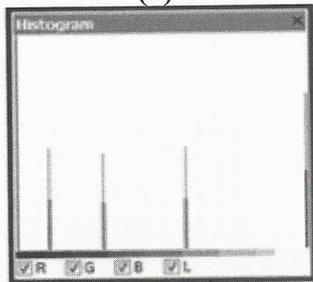
### 3. Hasil dan Pembahasan

Berikut ini merupakan perbandingan antara *file* asli dengan *file* yang telah dienkripsi lalu didekripsi seperti yang terlihat pada Gambar 4, 5, 6 dan 7.

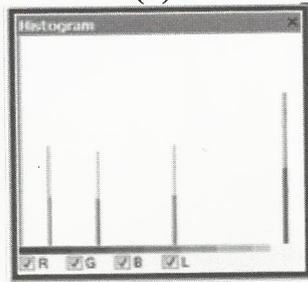


(a)

(b)



(c)



(d)

```

capur kotak2.txt - Notepad
File Edit Format View Help
]]pppRRR888***AAANNNSS5000SS5&&NNaaCC))***AAAN%
5&&SS5000SS5&&NNpaarCC8))9**mAA4%3$50003$5&&]Nnp
aarCC8))9**mAA4%3$50003$5&&N]NapaRC)8)**9**mAA4%3
3$50003$5&&N]NapaRC)8)**9**mAA4%3$50003$5&&N]aapC
CR))8**9AAm%4$33000$3&&N]aapCCR))8**9AAm%4$3$50
0033355]]pppRRR888999mm44433300033355]]pppRRR8
88999mm444333000$5&&NNaaCC))***AAANNNSS5000$
5&&NNaaCC))***AAANNNSS5000$5&&NNaaCC))***AAANNNSS
5000$5&&NNaaCC))***AAANNNSS5000$33355]]pppRRR888999m
mm44433300033355]]pppRRR888999mm44433300033355
55]]pppRRR888999mm44433300033355]]pppRRR888999m
mm444333000$5&&NNaaCC))***AAANNNSS5000$5&&NNaaCC
))9**mAA4%3$50003$5&&]NnpaarCC8))9**mAA4
%3$50003$5&&]NaaRC)8)**9**mAA4%3$50003$5&&N]Na
pacRC)8)**9**mAA4%3$50003$5&&N]aapCCR))8**9AAm%4$
$3000$3&&N]aapCCR))8**9AAm%4$33000$3355]]ppp
RRR888999mm44433300033355]]pppRRR888999mm4443330
0033355NNaaCC))***AAANNNSS5000$5&&NNaaCC))
)**AAANNNSS5000$5&&NNaaCC))***AAANNNSS5000$
5&&NNaaCC))***AAANNNSS5000$5&&]]pppRRR8889
999mm44433300033355]]pppRRR888999mm444333000$5&&
&&NNaaCC))***AAANNNSS5000$5&&NNaaCC))***m
AA4%3$50003$5&&]NnpaarCC8))9**mAA4%3$50003$5&&]
NnpaarCC))9**mAA4%3$50003$5&&N]NapaRC)8)**9**mAA4
4%3$50003$5&&N]NaaCCR))8**9AAm%4$33000$3&&N]a
apCCR))8**9AAm%4$33000$3&&N]pppRRR888999mm4443
3300033355]]pppRRR888999mm44433300033355]]ppp
CC))***AAANNNSS5000$5&&NNaaCC))***AAANNNSS50
00$5&&NNaaCC))***AAANNNSS5000$5&&NNaaCC))
)**AAANNNSS5000$5&&NNaaRRR888999mm4443330003
3355]]pppRRR888999mm44433300033&&NNaaCC))
    
```

(e)

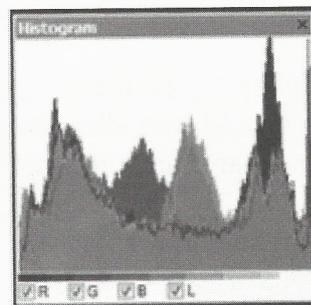
Proses enkripsi untuk citra dengan distribusi warna heterogen akan menghasilkan *chipper text* dengan distribusi huruf yang heterogen juga. Sebagai contoh enkripsi untuk citra pada Gambar 4.a akan menghasilkan *chipper text* (potongan) seperti pada Gambar 4.e.

Gambar 4.a dan 4.b tidak dapat dibedakan antara *file* hasil (Gambar 4.b) dengan *file* awal (Gambar 4.a) secara kasat mata. Akan tetapi terdapat perbedaan yang cukup nyata pada tingkat kecerahan apabila kita memperhatikan histogram yang di tampilkan pada Gambar 4.c dan 4.d diakibatkan ketika *pixel* dibagi 16 hanya diambil bilangan bulatnya saja. Perbedaan tingkat kecerahan ini tidak merubah informasi gambar.

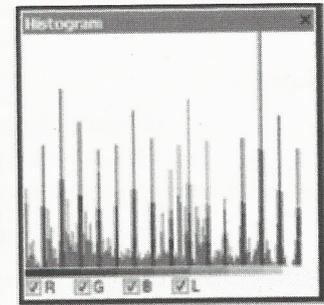


(a)

(b)



(c)



(d)

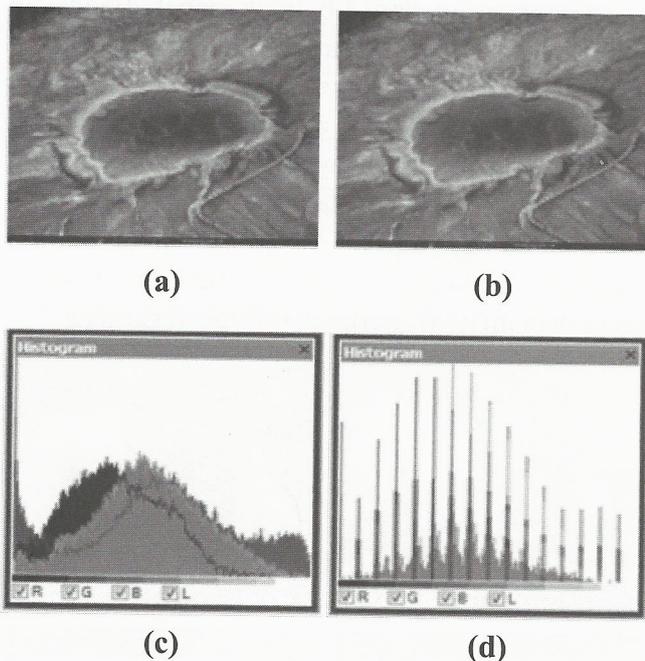
**Gambar 4:** File gambar kotak-kotak (a) gambar awal dengan ukuran *file*: 99,2 KB Dimensi: 204x166; (b) gambar setelah melalui proses enkripsi dan dekripsi ukuran *file*: 99,2 KB dimensi: 204x166 ukuran *chipper text*: 100 KB; (c) Histogram gambar *original*; (d) Histogram gambar hasil enkripsi dan dekripsi; (e) hasil enkripsi *file* gambar kotak-kotak

**Gambar 5:** File gambar foto orang (a) gambar awal dengan ukuran *file*: 100 kb, dimensi: 226x151; (b) gambar setelah melalui proses enkripsi dan dekripsi ukuran *file*: 100 kb, dimensi: 226x151, ukuran *chipper text*: 101 kb; (c) Histogram gambar *original*; (d) Histogram gambar hasil enkripsi dan dekripsi.

Pada gambar 5 menunjukkan hasil dekripsi untuk citra foto orang. Pada gambar 5.a dan 5.b terlihat gambar tidak mengalami perubahan kecuali pada gradasi warna langit hal ini menunjukkan

bahwa terdapat nilai kecerahan yang hilang pada file citra. Hilangnya nilai kecerahan ini terlihat jelas pada histogram yang ditunjukkan pada Gambar 5.c dan 5.d.

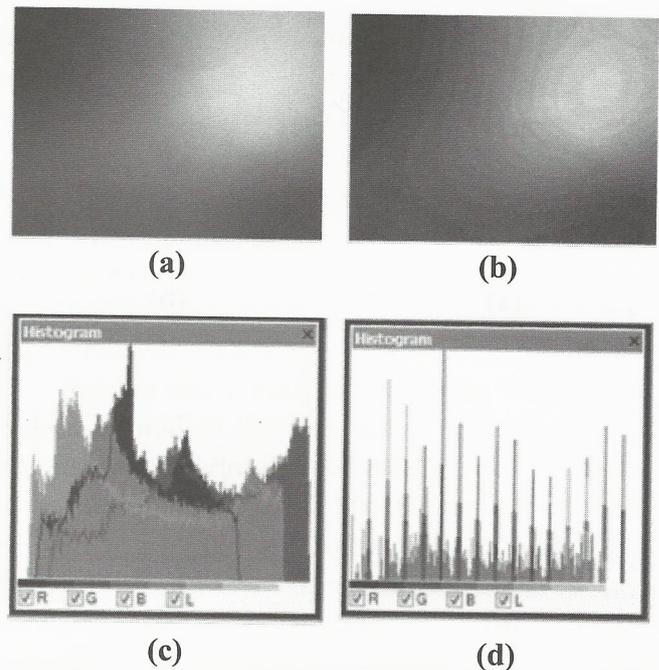
Hasil enkripsi dan dekripsi untuk gambar kawah dapat dilihat pada gambar 6.



**Gambar 6:** File gambar kawah (a) gambar awal dengan ukuran *file*: 49,9 kb, dimensi: 150x133; (b) gambar setelah melalui proses enkripsi dan dekripsi ukuran *file*: 49,9 kb, dimensi 150x133, ukuran *chipper text*: 50.4 kb; (c) Histogram gambar *original*; (d) Histogram gambar file hasil enkripsi dan dekripsi.

Pada gambar 6 tidak menunjukkan perubahan signifikan pada gambar dan data citra masih terlihat dengan baik. Secara kasat mata kita tidak bisa melihat perbedaan yang berarti.

Pada gambar 7 menunjukkan hasil enkripsi dan dekripsi untuk warna yang berdegradasi halus.



**Gambar 7:** File gambar *background* (a) gambar awal ukuran *file*: 49,9 kb, dimensi: 150x133; (b) gambar setelah melalui proses enkripsi dan ukuran *file*: 49,9 kb, dimensi: 150x133, ukuran *chipper text*: 50.4 kb; (c) Histogram gambar *original*; (d) Histogram gambar hasil enkripsi dan dekripsi.

Pada gambar 7 terdapat jelas perbedaan antara gambar 7.a dan 7.b dikarenakan perbedaan nilai antara *pixel* satu dengan *pixel* yang lain hanya sedikit sehingga terlihat pada beberapa area pada saat di dekripsi dari file *text* terdapat nilai yang hilang yang tidak bisa dikembalikan secara utuh walau masih dapat terlihat gambar aslinya.

#### 4. Kesimpulan

Perangkat lunak yang telah dibuat dapat melakukan enkripsi dan mengembalikannya kembali (dekripsi) dengan cukup baik tetapi terdapat kekurangan yaitu terdapat nilai yang hilang pada saat melakukan konversi dari nilai menjadi karakter ASCII (*lossless encryption*). Algoritma ini memiliki kelebihan yang

menyulitkan bagi orang-orang yang berusaha memecahkan kodenya (kriptanalis). Karena bagi kriptanalis berfikir ada kecenderungan bahwa *chipper text* yang dikirimkan merupakan pesan teks bukan merupakan file gambar. Maka hal ini akan cukup menyulitkan untuk memecahkan apa *plain text* sebenarnya.

##### 5. Daftar Pustaka

- [1] Munir, Rinaldi. 2004. *Pengolahan Citra Digital dengan Pendekatan Algoritmik*. Bandung: Informatika Bandung.
- [2] Tim Penyusun Kamus Pusat Pembinaan dan Pengembangan Bahasa. 1995. *Kamus Besar Bahasa Indonesia Edisi Kedua*. Jakarta: Balai Pustaka.
- [3] Munir, Rinaldi. 2007. *Kriptografi Visual (Visual Cryptography)*. (www.informatika.org/~rinaldi/Kriptografi/2007-2008/**KriptografiVisual.ppt**, diakses 24 September 2008).
- [4] Munir, Rinaldi. 2006 *Pengantar Kriptografi*. ([http://www.informatika.org/~rinaldi/Buku/Kriptografi/Bab-1\\_Pengantar%20Kriptografi.pdf](http://www.informatika.org/~rinaldi/Buku/Kriptografi/Bab-1_Pengantar%20Kriptografi.pdf), diakses 4 September 2008).
- [5] Mangunpraja, Dadan Ramdan. *Konversi Citra ke dalam Bentuk Teks Terenkripsi dengan Memanfaatkan Chipper Abjad Majemuk*. (<http://informatika.org/~rinaldi/Kriptografi/20072008/Makalah1/MakalahIF5054-2007-A-073.pdf>, diakses 10 September 2008).

# Fabrikasi dan Karakterisasi sensor Gas NO<sub>2</sub> Berbasis Serbuk WO<sub>3</sub> dengan Skala Nanometer

Lilis Retnaningsih

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI

Jl. Sangkuriang Bandung 40135

Telp. 022 2504660, 2504661 Fax. : 022 2504659

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

## Abstract

*Have been made NO<sub>2</sub> gas sensor fabrication based on WO<sub>3</sub> powders using thick film technology. Gas sensor are made consists of the heater and electrodes, heater layer is made of Silver Palladium (PdAg) paste while the electrode is made of gold (Au) paste. Sensitive layer of WO<sub>3</sub> powders made into a paste that is coated on the surface of the electrode with screen printing technique. Characterization of the heater showed a linear graph of the temperature rise, and characterization of WO<sub>3</sub> sensitive layer showed of the relationship changes in resistance to temperature rise.*

**Keywords :** *WO<sub>3</sub> powders, gas sensor NO<sub>2</sub>, Screen Printing, fabrication*

## Abstrak

*Telah dibuat fabrikasi sensor gas NO<sub>2</sub> berbasis serbuk WO<sub>3</sub> menggunakan teknologi film tebal. Sensor gas dibuat terdiri atas heater dan elektroda, lapisan heater dibuat dari pasta Palladium Perak (PdAg) sedangkan elektroda dari pasta Emas (Au). Lapisan sensitive serbuk WO<sub>3</sub> telah dibuat menjadi pasta yang dilapiskan di atas permukaan elektroda dengan teknik screen printing. Hasil karakterisasi pada heater menunjukkan grafik yang linier naik terhadap kenaikan suhu, dan karakterisasi terhadap lapisan sensitive WO<sub>3</sub> menunjukkan hasil yang linier naik terhadap hubungan perubahan resistansi terhadap kenaikan temperature. WO<sub>3</sub>.*

**Kata Kunci :** *Serbuk WO<sub>3</sub>, sensor gas NO<sub>2</sub>, Screen Printing, fabrikasi*

## 1. Pendahuluan

Perancangan dan fabrikasi suatu sensor gas dipengaruhi oleh bahan dan teknik yang dipilih [1]. Teknik fabrikasi yang telah umum digunakan adalah *screen printing* dan teknik MEMS [2], di mana substrat dan material pembuat komponennya berbeda satu sama lain. Namun untuk bahan sensitif suatu sensor gas bisa sama walaupun teknik pembuatannya berbeda.

Untuk fabrikasi sensor yang akan di buat kali ini menggunakan teknik screen printing, yang akan diaplikasikan untuk mendeteksi keberadaan gas NO<sub>2</sub>, telah digunakan bahan sensitif yang berasal dari bahan metal Oksida yaitu WO<sub>3</sub> di mana bahan WO<sub>3</sub> ini berupa serbuk yang telah diubah menjadi material yang berdimensi nanometer dan selanjutnya di larutkan untuk dibentuk

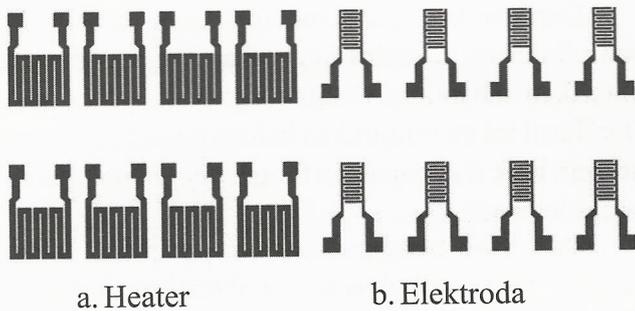
menjadi pasta.

## 2. Fabrikasi Sensor Gas No<sub>2</sub>

Untuk membentuk suatu layout sensor terlebih dahulu dilakukan perancangan terhadap sensor tersebut, yaitu meliputi bagian *heater* dan elektroda.

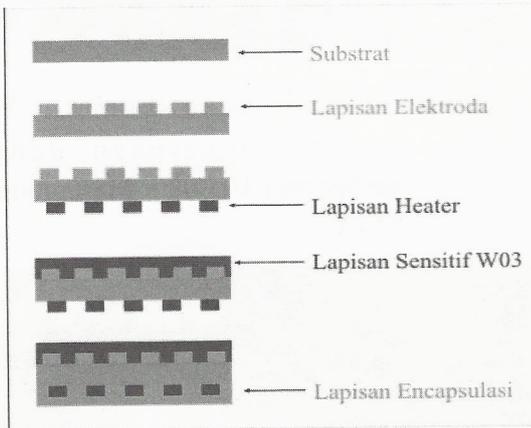
Heater berfungsi sebagai rangkaian yang akan diberi sumber panas, sehingga akan mentransfer panas ke bagian elektroda [3].

Untuk perancangan dan fabrikasi sensor gas NO<sub>2</sub> diatas substrat alumina menggunakan 2 sisi dari substrat tersebut. Hasil perancangan untuk *heater* dan Elektroda adalah seperti pada gambar 1 berikut.



Gambar 1 : Layout Heater dan Elektroda

Adapun struktur permukaan dari rancangan sensor yang akan dibuat dengan teknologi film tebal adalah seperti ditunjukkan pada gambar 2. Dimana kedua permukaan substrat digunakan, pada permukaan pertama di cetakkan komponen elektroda sedangkan permukaan yang kedua dicetakkan *heater*.

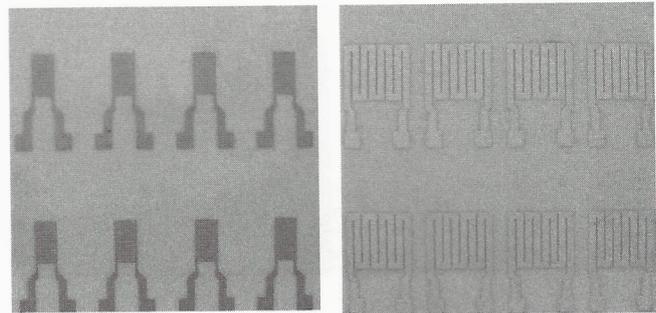


Gambar 2 : Struktur lapisan Permukaan Sensor dengan Teknologi Film Tebal

Bahan pasta untuk lapisan elektroda adalah Emas (Au), setelah dilakukan pencetakkan di atas Substrat Alumina kemudian dikeringkan dan dibakar pada suhu 850°C di dalam Furnace.

Bahan pasta untuk lapisan *heater* adalah Palladium Perak (PdAg), yang dicetakkan di bagian sisi belakang dari lapisan elektroda, setelah dilakukan pencetakkan kemudian dikeringkan dan dibakar pada suhu 850°C di dalam Furnace.

Adapun hasil fabrikasi sensor Gas tersebut adalah seperti pada gambar 3



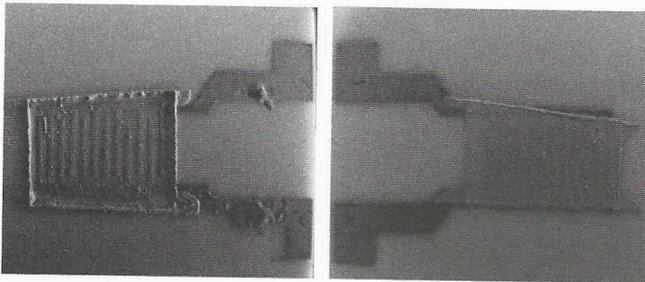
Gambar 3 : Hasil Fabrikasi dengan Teknik Film Tebal

### 3. Pelapisan Bahan Sensitif WO<sub>3</sub>,

Setelah fabrikasi *heater* dan elektroda, selanjutnya dilakukan pelapisan bahan sensitif WO<sub>3</sub>. Serbuk WO<sub>3</sub> yang telah digerus untuk menghasilkan butiran skala nanometer, penumbukan serbuk WO<sub>3</sub> dilakukan menggunakan alat Mortar yang bahannya tidak mencemari serbuk tersebut. Tahap yang pertama dengan lama 3 jam, kemudian 5 jam lalu yang terakhir adalah 10 jam. Dari masing2 tahap tersebut dilakukan karakterisasi terhadap ukuran butirannya, dengan menggunakan SEM dan hasilnya menunjukkan ukuran yang berbeda, semakin lama ukuran butirannya semakin kecil sampai tahap akhir yaitu selama 10 jam. kemudian diberi larutan Harderner ESL 449 sebagai pelarut dan membentuk suatu bahan pasta. Larutan WO<sub>3</sub> tersebut kemudian di lapiskan di atas permukaan elektroda menggunakan teknik screen printing dengan ketebalan tertentu.

Setelah terbentuk lapisan kemudian dikeringkan pada suhu ruangan selama 2 jam, lalu dikeringkan pada suhu 150°C 200°C. Kemudian dibiarkan pada suhu ruangan setelah itu diukur resistansinya, jika lapisan belum kering betul, maka hasil resistansinya besar dan tidak stabil sehingga pengeringan perlu diulang sampai mencapai kondisi stabil.

Adapun hasil pelapisan bahan WO<sub>3</sub> adalah

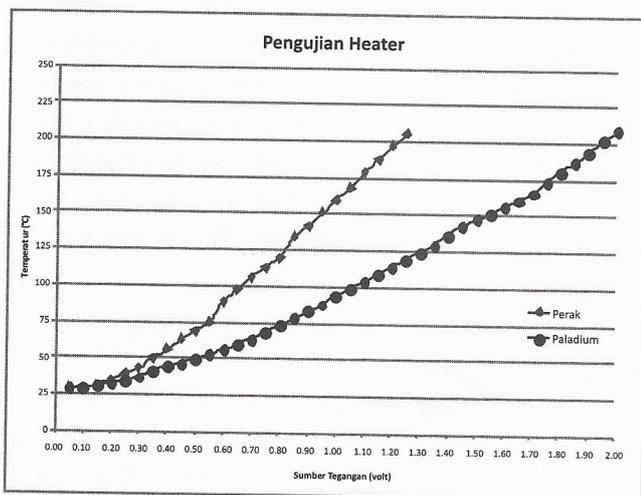


**Gambar 4 :** Sensor yang telah dilapisi Bahan Sensitif  $WO_3$

**4. Karakterisasi Sensor**

Dari hasil fabrikasi dan pelapisan bahan sensitif, kemudian hasilnya dikarakterisasi yaitu karakterisasi terhadap *Heater* dengan memberikan perubahan tegangan. Sedangkan karakterisasi terhadap lapisan sensitif  $WO_3$  yaitu menggunakan SEM untuk melihat butiran pada permukaannya dan karakteristik terhadap perubahan temperaturnya.

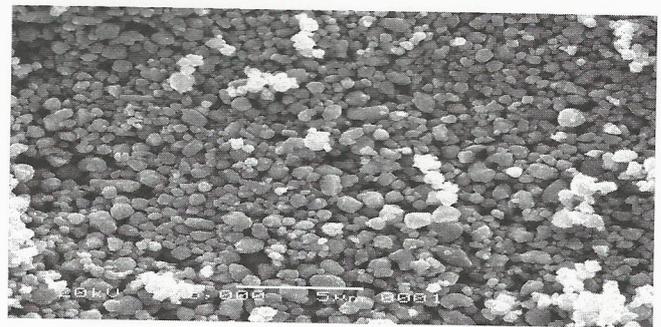
Hasil karakteristik terhadap heater adalah sebagai berikut pada gambar 5.



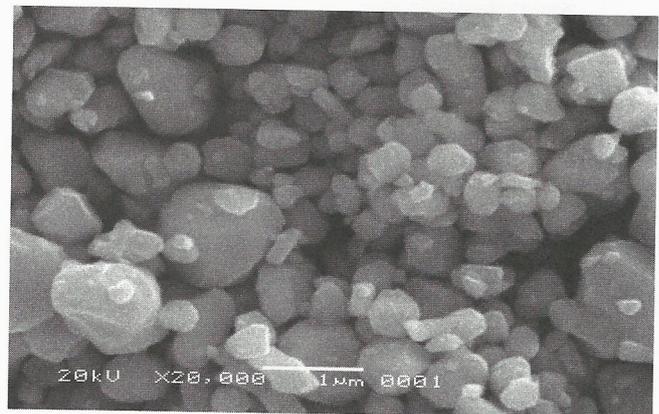
**Gambar 5 :** Hasil Karakteristik terhadap *Heater*

Dari gambar di atas menunjukkan hasil grafik yang linier yaitu bahwa kenaikan tegangan yang diberikan sebanding dengan kenaikan temperatur. Dari hasil ini menunjukkan bahwa heater berfungsi dengan baik dan dapat berfungsi penghantar panas pada elektroda.

Dari hasil penggerusan dan pelapisan bahan sensitif  $WO_3$ , dilakukan karakterisasi terhadap lapisannya menggunakan SEM untuk mengetahui permukaan dan butirannya seperti pada gambar 6 dan 7 di bawah ini.



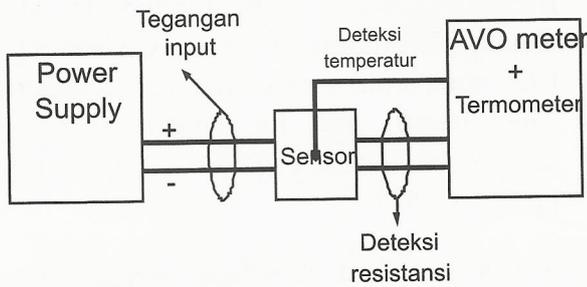
**Gambar 6 :** Permukaan butiran  $WO_3$  hasil penggerusan dengan perbesaran 10.000 x Menggunakan SEM



**Gambar 7 :** Permukaan lapisan sensitif  $WO_3$  dengan perbesaran 20.000 x Menggunakan SEM

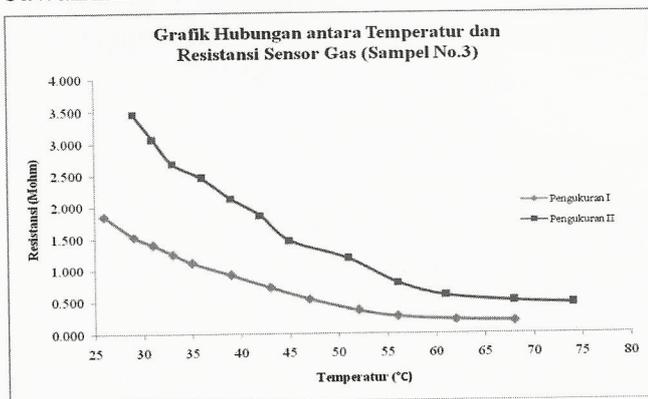
Dari hasil karakterisasi menggunakan SEM seperti pada gambar 6 di atas terlihat bahwa butiran serbuknya sudah mendekati skala 100 Nano meter. Sedang untuk WO<sub>3</sub> yang telah dibentuk menjadi pasta dan dilapiskan di permukaan sensor, hasil karakterisasinya seperti pada gambar 7.

Setelah nilai resistansi dihasilkan dari sensor yang telah dilapisi bahan sensitif, selanjutnya dikarakterisasi terhadap perubahan tegangan dan temperatur untuk melihat perubahan nilai resistansinya, dengan menggunakan susunan rangkaian peralatan sebagai berikut pada gambar 8.

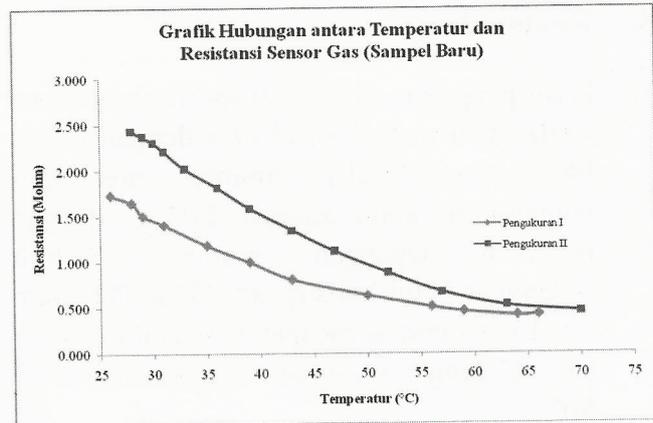


**Gambar 8 :** Rangkaian Pendeteksi Temperatur pada devais Sensor

Dari hasil pengukuran terhadap perubahan tegangan dan temperatur sensor maka dihasilkan perubahan resistansinya. Adapun grafik hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 9 dan 10 di bawah ini.



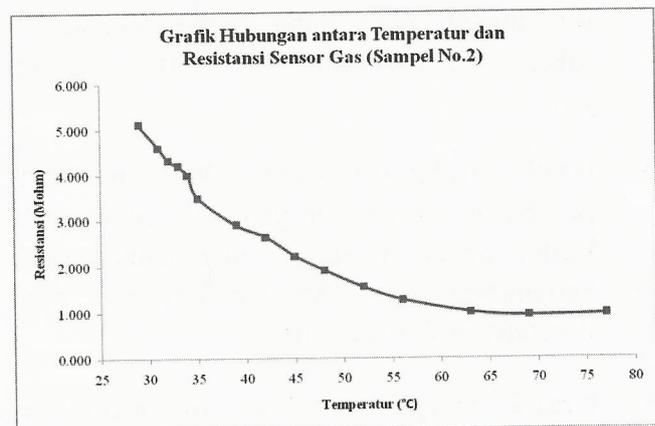
**Gambar 9 :** Grafik Hubungan Kenaikan Suhu terhadap Perubahan Resistansi pada 2 kali pengukuran



**Gambar 10 :** Grafik Hubungan Kenaikan Suhu terhadap Perubahan Resistansi

Pada hasil grafik diatas telah dilakukan pengukuran 2 kali , dari kedua hasilnya 2 menunjukkan perubahan yang linier dengan perubahan resistansinya yang hampir stabil pada daerah temperatur diatas 65°C, walaupun resistansi awal dari keduanya berbeda.

Demikian juga untuk sampel sensor yang lainnya menunjukkan nilai grafik yang linier dengan angka stabil di atas 65°C seperti pada gambar 11 di bawah ini.



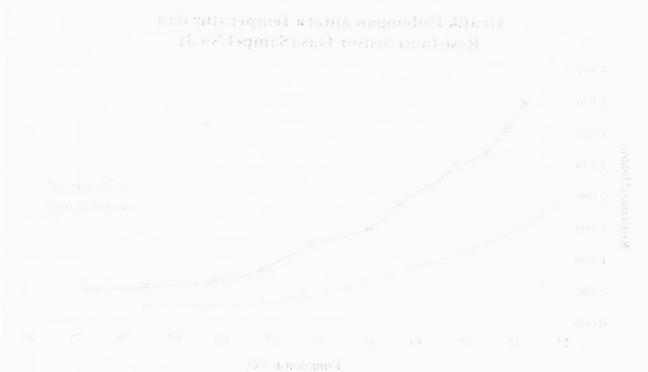
**Gambar 11 :** Grafik Hubungan Kenaikan Suhu terhadap Perubahan Resistansi

## 5. Kesimpulan

1. Hasil pengujian *device* sensor hasil fabrikasi adalah bahwa lapisan *Heater* dengan bahan basta Ag (Perak) mampu mencapai temperature kerja sampai 210° C dengan masukan tegangan searah 1,3 Volt sedangkan untuk bahan pasta PdAg (Paladium Perak) mampu mencapai temperature kerja 210° C dengan masukan tegangan searah 2 Volt.
2. Hasil Karakterisasi SEM pada serbuk WO<sub>3</sub> yang telah dilakukan penggerusan selama 10 jam menghasilkan butiran dengan morfologi yang lebih halus dari gambar dapat dilihat ukuran partikelnya mencapai 100 Nanometer.
3. Serbuk WO<sub>3</sub> dijadikan pasta dengan menambahkan larutan (binder 449 ESL) yang berfungsi untuk melarutkan serbuk menjadi pasta.
4. Pelapisan bahan sensitif WO<sub>3</sub> di permukaan elektroda sensor dilakukan secara manual, dengan ketebalan tertentu, kemudian dikeringkan pada suhu ruang setelah itu dikeringkan pada suhu 100°C 150°C selama 5 jam
5. Hasil karakterisasi pasta WO<sub>3</sub> terhadap perubahan temperatur yang diberikan pada heater adalah linier, yaitu kenaikan suhu berbanding lurus terhadap turunnya nilai resistansi lapisan sensitif Wo<sub>3</sub>.
6. Grafik yang dihasilkan menunjukkan perubahan yang linier dengan perubahan resistansinya yang hampir stabil pada daerah temperatur diatas 65°C, walaupun resistansi awal dari keduanya berbeda.

## 6. Daftar Pustaka

- [1]. Moseley, P. T., 'Thick-film semiconductor gas sensors', in *Thick Film Sensors*, ed. M. Prudenziati, Elsevier Science, Amsterdam, 1994, pp.289-311.
- [2]. M. Stankova, X. Vilanova, J. Calderer. "Nanograin WO<sub>3</sub> Thin Film As Active Layer for Resistive Type Gas Sensors" *Journal of Optoelectronics and Advanced Material* Vol.7, no. 3, June 2005.
- [3]. Barsan, N., Stetter, J. R., Findlay, Jr., M. & Gopel, W., 'High-performance gas sensing of CO: comparative tests for semiconducting (SnO<sub>2</sub>-based) and for amperometric gas sensors', *Analytical Chemistry*, vol. 71, 1999, pp. 2512 2517.
- [4]. A.Al Mohammad, "Synthesis, Separation and Electrical Properties of WO<sub>3</sub> Nanopowders Via Partial Pressure High energy Ball-Milling", *Nano-Materials Labs, Physics Departement Energy Commission of Syria, 2009.*



Gambar 9 : Grafik Hubungan Kenaikan Suhu terhadap Perubahan Resistansi pada 2 kali pengukuran

# Implementasi Sistem Instrumentasi dan Kendali Temperatur Nitridasi Plasma Menggunakan M-Series PLC

I Dewa Putu Hermida<sup>1)</sup>, Slamet Santosa<sup>2)</sup>, Tjipto Sujitno<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi - LIPI  
Jl. Cisititu 21/154D, Bandung-40135, Telp. (022) 2504661, Fax. (022) 2504659

<sup>2)</sup> Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan - BATAN  
Jl. Babarsari Yogyakarta-55281, Telp. (0274) 488435, Fax. (0274) 487824

## Abstract

*In a plasma nitriding equipment, a vacuum and DC high voltage applied on electrode system is used to form plasma, in which nitrogen positive ions are accelerated to impinge cathode/target/samples. Energetic nitrogen ions beam interaction with target/samples will generate a high heat of temperature, a higher energy, to produces a higher temperature of the target/samples. In a surface treatment using plasma nitriding, the temperature is one of important parameters influenced the quality of the result. Because of this, the temperature parameter should be controlled kept stable. The DC high voltage used to supply the electrode system used to form plasma is a 220-700 Volt step-up transformer, where in the primer side used a variac. The desired high voltage is controlled using motor stepper by tuning the variac based on the temperature data reading. K type thermocouples as a temperature sensor provided with voltage signal conditioning is placed inside the plasma reactor tube. Controlling of DC high voltage is done based on the feedback of temperature sensor using PID algorithm of M-Series PLC. Instrumentation and control system is provided with Human Machine Interface (HMI) for input of setting parameter and data reading of temperature. Software of controller is developed using TBasic Programming Language. From its implementation of controlling of nitridation plasma temperature can be done well. The inside temperature of reactor plasma tube can be kept according to the setting point.*

**Keywords:** Plasma Nitriding, Type K Thermocouple PLC M-Series, Tbasic

## Abstrak

*Pada peralatan nitridasi plasma, ruang hampa dan tegangan tinggi arus searah (DC) yang dikenakan pada sistim elektrode akan membangkitkan plasma, dengan ion positif nitrogen dipercepat menuju katode (sampel). Interaksi berkas ion nitrogen berenergi tinggi dengan target/sampel akan menghasilkan panas yang tinggi, semakin tinggi energi ion nitrogen, semakin tinggi panas yang dibangkitkan. Pada proses perlakuan permukaan menggunakan nitridasi plasma, temperatur merupakan parameter penting yang mempengaruhi kualitas hasil, sehingga untuk menghasilkan nitridasi yang baik, parameter temperatur harus dikendalikan dan dipertahankan stabil. Tegangan tinggi DC yang digunakan untuk catu daya tegangan elektrode pembangkit plasma adalah transformator step-up 220/700 Volt, yang pada sisi primernya digunakan variak. Besar tegangan tinggi DC diatur menggunakan stepper motor dengan memutar variak berdasarkan hasil pembacaan data temperatur. Sensor temperatur dipasang di dalam tabung plasma menggunakan termokopel tipe K yang dilengkapi rangkaian pengkondisi sinyal tegangan. Pengendalian tegangan tinggi DC dilakukan berdasarkan komponen umpan balik sensor temperatur menggunakan algoritma PID kit elektronika M-Series PLC. Sistim instrumentasi dan kendali dilengkapi dengan Human Machine Interface (HMI) untuk masukan data parameter penetapan (setting) dan pembacaan data temperatur. Perangkat lunak pengendali menggunakan bahasa pemrograman TBasic. Dari implementasi pengendalian temperatur nitridasi plasma dapat dilakukan dengan sangat baik, temperatur pada tabung plasma dapat dipertahankan sesuai dengan nilai penetapan.*

**Kata kunci:** Nitridasi Plasma, Termokopel tipe K, M-Series PLC, TBasic

## 1. Pendahuluan

Peralatan nitridasi plasma yang telah dikembangkan PTAPB-BATAN Yogya mempunyai spesifikasi diameter tabung plasma dari bahan stainless steels (SS) 32 cm, tinggi 40 cm, menggunakan pompa vakum jenis rotari merek Edwards E2M2 dengan kapasitas 2.8 m<sup>3</sup>/jam yang mampu menghampakan hingga  $1 \times 10^{-3}$  mbarr dan catu daya tegangan tinggi DC 2 kW [1]. Alat ini telah banyak digunakan untuk kegiatan penelitian dalam upaya meningkatkan kualitas permukaan terutama sifat-sifat mekanik suatu komponen mesin kendaraan bermotor, di antaranya adalah roda gigi, *cam shaft* pena piston, maupun ring piston [2].

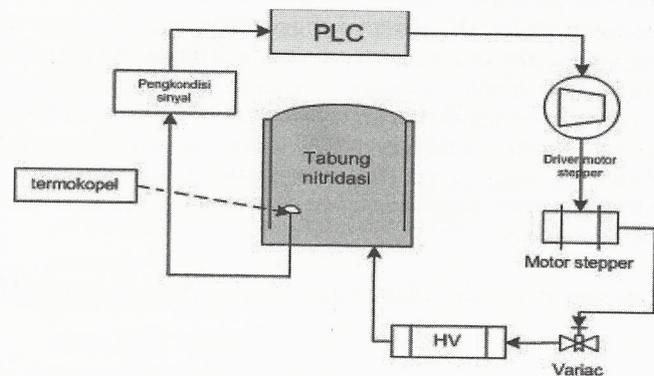
Implementasi perangkat keras sistem instrumentasi dan kendali temperatur nitridasi plasma menggunakan M-Series PLC [3,4] terdiri dari penyedia daya tegangan tinggi DC, akuisisi data temperatur, kendali tegangan tinggi DC dan beberapa komponen bantu, di antaranya *solid state relay* (SSR). Penyedia daya tegangan tinggi DC terdiri dari transformator *step-up* 220 700 V yang pada sisi primernya digunakan variak 0 220 V dan rangkaian penyearah gelombang penuh. Akuisisi data temperatur terdiri dari sensor termokopel tipe K, dengan rentang suhu -200 1250 °C dan tegangan keluaran (*Seebeck Voltage*) antara 5.97 50.63 mV, rangkaian pengkondisi sinyal tegangan AD-595 [5] dan penampil LCD yang terpasang pada HMI. Kendali tegangan tinggi DC terdiri dari kit elektronika M-Series PLC, papan kunci yang terpasang pada HMI, *stepper motor* dan rangkaian *driver* [6]. Perangkat lunak untuk akuisisi dan kendali temperatur digunakan program TBasic, yang merupakan program klien dari perangkat lunak Trilogi.

Sistem instrumentasi dan kendali temperatur nitridasi plasma bertujuan untuk mempertahankan kestabilan temperatur proses nitridasi dengan mengatur besar tegangan pada elektroda berdasarkan perubahan temperatur benda kerja,

yang didapat dengan sensor termokopel. Besar tegangan tinggi DC yang dipasangkan pada kedua kutub anoda-katoda bejana nitridasi akan menentukan temperatur benda kerja. Perubahan temperatur benda kerja dapat dibaca dengan akuisisi data temperatur. PLC akan mengirimkan sinyal kendali berupa pulsa digital untuk mengatur putaran *stepper motor* yang dipasang pada tuas pengatur putaran variak. *Stepper motor* berfungsi untuk mengatur tegangan keluaran dari variak yang digunakan sebagai catu daya tegangan tinggi DC, sehingga tegangan tinggi yang dihubungkan ke bejana nitridasi dapat dinaikkan atau diturunkan sesuai jumlah pulsa yang diberikan oleh PLC. Bagian akuisisi data akan mengirimkan sinyal *umpan balik* ke PLC yang mewakili data temperatur benda kerja. Sinyal *umpan balik* kemudian dibandingkan dengan *setpoint* sistem instrumentasi dan kendali yang diberikan untuk memperoleh nilai *error* yang akan dijadikan parameter kendali [7].

## 2. Perancangan Alat

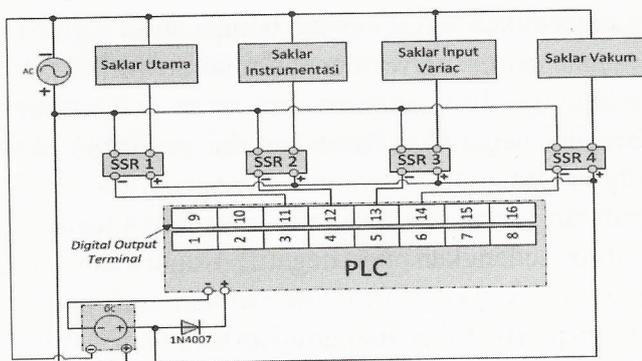
Perancangan perangkat keras sistem kendali terdiri dari bagian M-Series PLC, yang meliputi catu daya, masukan dan keluaran *digital/analog*, bagian tegangan tinggi DC, bagian akuisisi data dan bagian kendali tegangan tinggi DC yang terdiri dari *stepper motor* dan *driver*. Gambar 1 menunjukkan diagram blok sistem kendali temperatur nitridasi plasma.



Gambar 1 : Diagram blok sistem kendali temperatur

M-Series PLC memiliki 16 *digital input* dan 16 *digital output* yang dikonfigurasi untuk sistem instrumentasi dan kendali mesin nitridasi plasma. Selain itu PLC dilengkapi dengan 4 masukan ADC 10-bit (resolusi ADC dikonversi menjadi 12-bit dengan fungsi ADC pada TBasic), ADC#1 dan ADC#2 untuk menerima masukan sinyal *analog* 0 - 1 V serta ADC#3 dan ADC#4 untuk masukan *analog* 0 - 5 V. Dari 16 *digital output* terdapat 2 *channel* yang dikonfigurasi sebagai keluaran pulsa untuk mengatur putaran *stepper motor*. M-Series PLC memerlukan catu daya DC antara 12 - 24 V, dengan apabila digunakan catu daya 12 V DC, *jumper* J1-12 V harus terpasang, dan apabila catu daya di atas 18 V, *jumper* tersebut harus dilepas agar *voltage regulator* tidak mengalami *overheat*. Penambahan kapasitor elektrolit antara 470 - 1000  $\mu\text{F}$ , 50 V diperlukan untuk menekan tegangan yang tidak diinginkan dari tegangan AC. Pemasangan dioda di antara catu daya DC dan kapasitor adalah untuk mencegah arus balik. *Power supply* yang digunakan sebagai catu daya DC adalah tipe Omron S8VS-12024 dengan tegangan DC *output* 24 V, 5 Amp.

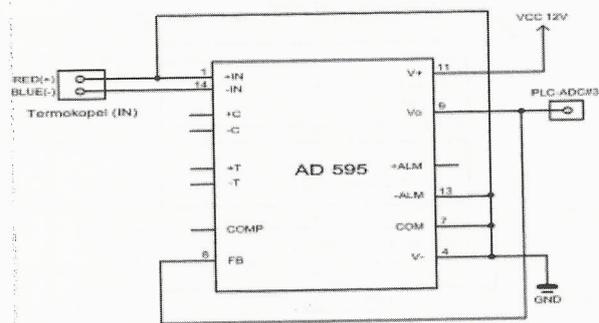
Komponen bantu SSR pada instrumentasi dan kendali nitridasi plasma antara lain untuk pengoperasian awal seperti pemutus (*switch*) sumber listrik utama, pemutus catu daya instrumentasi, pemutus catu daya variak dan pemutus catu daya sistem vakum, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 : Implementasi sistem bantu SSR.

Agar semua komponen bantu SSR dapat dioperasikan secara otomatis melalui perangkat lunak yang dibuat, hal tersebut dapat dilakukan dengan menginstalasi komponen SSR pada keluaran *digital* pada PLC dan mengoperasikannya melalui pemrograman tangga logika (*ladder logic*).

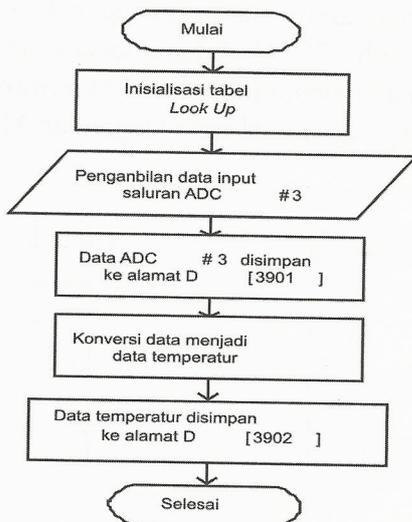
Akuisisi data berfungsi membaca dan menampilkan temperatur benda kerja pada proses nitridasi plasma, dengan temperatur digunakan sebagai parameter umpan balik untuk proses pengendalian catu daya tegangan tinggi DC. Akuisisi data terdiri dari dua bagian yaitu sensor termokopel dan rangkaian pengkondisi sinyal tegangan. Sensor termokopel diletakkan di dalam bejana, di antara dua elektroda untuk memantau perubahan temperatur benda kerja. Tegangan keluaran termokopel diolah oleh rangkaian pengkondisi sinyal, kemudian dihubungkan pada masukan analog ADC#3 pada PLC. Pada IC AD-595 telah dilakukan kalibrasi sehingga menghasilkan keluaran temperatur proporsional pada 10 mV/°C untuk memenuhi karakteristik transfer termokopel tipe K. Pada kalibrasi tersebut, laju perubahan tegangan termal terhadap koefisien *Seebeck* adalah 40.44  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , bersesuaian dengan penguatan (*gain*) 247.3 untuk mendapatkan keluaran suhu 10 mV/°C. Pada penguatan tersebut, dengan mengambil harga tegangan keluaran 250 mV pada suhu 25 °C, didapat kesalahan *offset* 11  $\mu\text{V}$ . Gambar 3 menunjukkan sensor termokopel dan rangkaian pengkondisi sinyal tegangan AD-595.



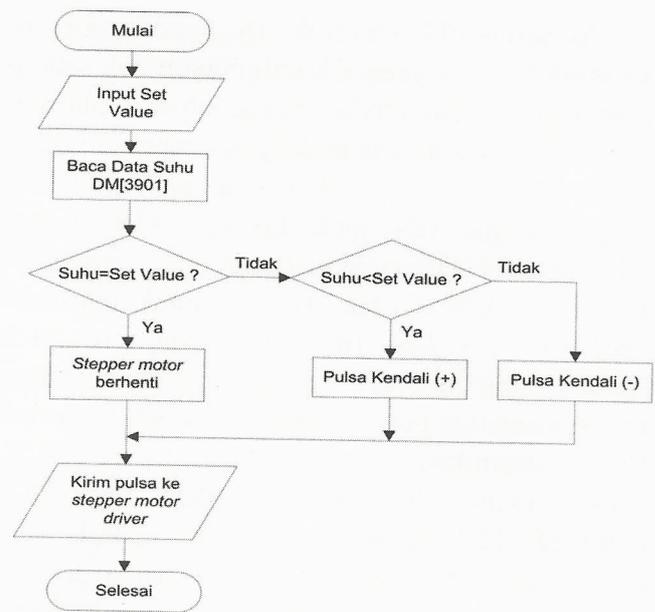
Gambar 3 : Termokopel dan pengkondisi sinyal AD-595.

Pemrograman akusisi data berfungsi untuk mengolah data masukan dari sensor termokopel. Keluaran sensor termokopel berupa tegangan yang telah diolah pada rangkaian pengkondisi sinyal menjadi tegangan antara 0 5 V sehingga dapat dibaca oleh ADC#3 pada PLC. Data ADC#3 masih berupa nilai konversi ADC 12-bit dengan nilai antara 0 4092, dibaca dan disimpan ke alamat DM[3901]. Selanjutnya data dikonversi menjadi besaran temperatur menggunakan *lookup table* yang telah dibuat, dan hasil konversi disimpan ke alamat DM[3902] untuk menentukan *error* yang akan digunakan sebagai dasar pengaturan penyedia daya tegangan tinggi DC serta untuk ditampilkan dan direkam ke dalam basis data menggunakan GUI. Diagram alir pemrograman akusisi data ditampilkan pada Gambar 4.

Kendali penyedia daya tegangan tinggi DC merupakan bagian utama dari sistem yang akan diimplementasi, berdasarkan umpan balik akusisi data temperatur benda kerja. Hasil pengolahan data dari akusisi data digunakan untuk menentukan sinyal kendalinya. Penentuan sinyal kendali berdasarkan pada perbedaan nilai umpan balik dan nilai penetapan (*setvalue*). Diagram alir pemrograman kendali penyedia daya tegangan tinggi DC ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4 : Diagram alir pemrograman akusisi data.



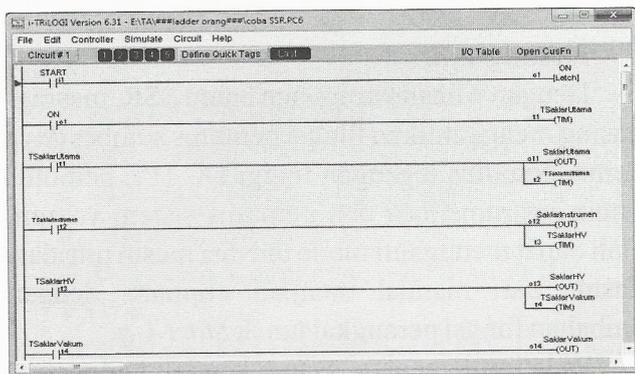
Gambar 5 : Diagram alir pemrograman kendali penyedia daya tegangan tinggi DC.

Mula-mula nilai penetapan temperatur nitridasi dapat ditentukan melalui masukan HMI sebelum sistem dioperasikan, yang kemudian disimpan pada alamat DM[3900]. Nilai tersebut kemudian akan dibandingkan dengan data hasil pengolahan akusisi data temperatur yang disimpan di alamat DM[3902]. Jika besar nilai temperatur terbaca sama dengan nilai temperatur penetapan, maka sistem tidak akan melakukan aksi untuk memutar *stepper motor*, tetapi ketika lebih kecil/di bawah nilai penetapan, maka PLC akan mengirimkan sinyal kendali berupa pulsa digital ke *stepper motor driver* dengan nilai positif(+), dan sebaliknya PLC akan mengirimkan pulsa digital bernilai negatif(-). Pulsa bernilai positif(+) akan digunakan untuk memutar *stepper motor* searah putaran jarum jam dan akan menaikkan tegangan variak, sedangkan pulsa negatif(-) digunakan untuk memutar *stepper motor* berlawanan arah putaran jarum jam dan akan menurunkan tegangan variak.

**3. Hasil dan Pembahasan**

Pengujian sistem instrumentasi dan kendali temperatur nitridasi plasma telah dilakukan untuk memastikan fungsi kerja sistem. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian komponen bantu operasi SSR, akuisisi data temperatur dan kendali sumber tegangan tinggi DC.

Terdapat 4 buah komponen bantu SSR dengan masing-masing menggantikan fungsi pemutus sumber daya utama, pemutus tegangan tinggi DC HV, pemutus sistem instrumentasi dan pemutus sistem vakum. Keempat SSR ini terhubung dengan saluran keluaran digital PLC T100MD1616+. Untuk mengujinya dilakukan menggunakan tangga logika (*ladder logic*) sederhana seperti ditampilkan Gambar 6.



**Gambar 6 :** Tangga logika komponen bantu SSR.

Hasil pengujian dapat dinyatakan baik, yaitu komponen bantu SSR dapat menggantikan pemutus dan lampu indikasi manual untuk melaksanakan proses *start-up* dan *shutdown* dari mesin nitridasi plasma secara otomatis. Catatan bahwa, perangkat lunak proses *shutdown* adalah kebalikan langkah proses *start-up*.

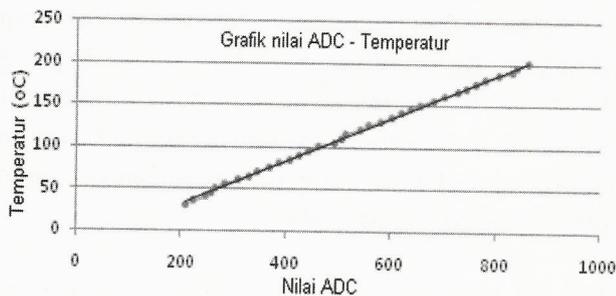
Pengujian rangkaian pengkondisi sinyal untuk mengolah tegangan keluaran dari sensor termokopel agar sesuai dengan masukan ADC PLC dilakukan dengan mencatat perubahan tegangan keluaran rangkaian pada setiap kenaikan temperatur. Penampil temperatur untuk pembacaan sensor termokopel digunakan *Autonics Instrument*

type TZ4ST dan penampil tegangan keluaran digunakan multimeter SANWA PC510 yang terkalibrasi. Pengujian dilakukan pada temperatur ruangan 27 °C dan diperoleh data tegangan keluaran rangkaian pengkondisi sinyal pada setiap kenaikan temperatur seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1 :** Data tegangan dan temperatur pengkondisi sinyal AD-595.

No	Teg (V)	Temp (°C)	No	Teg (V)	Temp (°C)
1.	0,225	30	21.	0,676	130
2.	0,245	35	22.	0,706	135
3.	0,270	40	23.	0,738	140
4.	0,280	45	24.	0,756	145
5.	0,310	50	25.	0,776	150
6.	0,329	55	26.	0,802	155
7.	0,357	60	27.	0,822	160
8.	0,383	65	28.	0,843	165
9.	0,400	70	29.	0,880	170
10.	0,422	75	30.	0,899	175
11.	0,452	80	31.	0,928	180
12.	0,477	85	32.	0,954	185
13.	0,498	90	33.	0,984	190
14.	0,519	95	34.	1,000	195
15.	0,545	100	35.	1,028	200
16.	0,573	105	36.	1,091	210
17.	0,595	110	37.	1,130	220
18.	0,606	115	38.	1,176	230
19.	0,630	120	39.	1,223	240
20.	0,655	125	40.	1,276	250

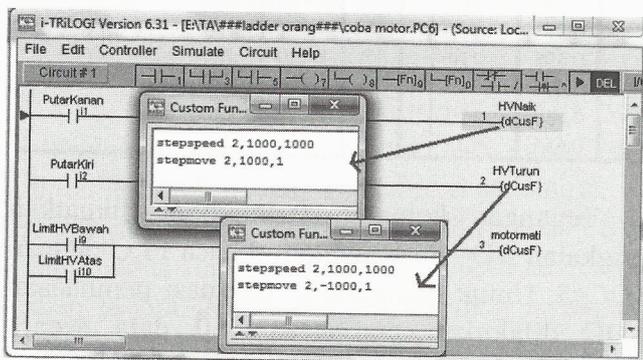
Tegangan keluaran termokopel dikuatkan rangkaian AD-595 kemudian dibaca PLC dengan *ADC#3*. Untuk mengurangi fluktuasi pembacaan ADC dilakukan pembacaan 10 data secara berurutan dan dihitung nilai rata-ratanya. Nilai ADC berkisar antara 0 sampai 4092, disimpan di *Data Memory (DM)* pada alamat 3901 dan ditampilkan di layar LCD dari HMI. Nilai ADC dicatat untuk setiap temperatur tertentu dan digunakan untuk menyusun *Look Up Table (LUT)*. LUT kemudian digunakan pada konversi tegangan termokopel menjadi temperatur terukur. Grafik nilai ADC terhadap temperatur ditunjukkan pada Gambar 7.



**Gambar 7 :** Grafik nilai ADC terhadap temperatur pada LUT

Catatan bahwa data ADC tersebut disimpan di dalam EEPROM dari M-Series PLC.

Pengujian kendali tegangan tinggi DC dilakukan dengan pengujian *stepper motor* sebagai aktuator dan pengujian melalui perangkat lunak secara keseluruhan. Pengujian *stepper motor* dilakukan dengan *ladder* yang berisi *function* untuk masing-masing putaran searah dan berlawanan arah jarum jam seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



**Gambar 8 :** Perangkat lunak dan tangga logika pengujian *stepper motor*.

Pengujian kendali sumber tegangan tinggi DC dilakukan ketika proses nitridasi berjalan. Setelah tahap persiapan proses dilakukan dan semua parameter yang disyaratkan untuk proses dipenuhi maka sistem akan mulai melakukan kendali otomatis untuk menjaga kestabilan parameter proses nitridasi. Perintah yang dituliskan adalah

untuk membaca suhu benda kerja melalui sistem akuisisi data. Suhu benda kerja digunakan sebagai umpan balik pada sistem kendali yang akan dibandingkan dengan nilai penetapan yang ditentukan di awal proses, dengan memutar *stepper motor* searah dan kebalikan arah putaran jarum jam:

*Stepspeed 2,1000,1000*

*Stepmove 2,500,16*

*Stepspeed 2,1000,1000*

*Stepmove 2,-500,16*

Jumlah *pulsa* yang diberikan berdasarkan dari pengujian putaran *stepper motor* yang telah dilakukan, yaitu sebesar 500 dengan tujuan agar penambahan tegangan tidak terlalu besar dan juga tidak terlalu kecil.

#### 4. Kesimpulan

Dengan 4 buah komponen bantu SSR, masing-masing menggantikan fungsi pemutus sumber daya utama, pemutus tegangan tinggi DC HV, pemutus sistem instrumentasi dan pemutus sistem vakum, telah dapat mengganti mode operasi mesin nitridasi plasma dari manual menjadi otomatis dengan tambahan fungsi perangkat lunak *Start-Up*.

Pada implementasi sistem kendali temperatur nitridasi plasma perlu dilakukan kalibrasi ulang dengan lebih teliti pada rangkaian pengkondisi sinyal dengan IC AD-595 untuk mengurangi laju perubahan tegangan termal pada pengukuran temperatur di atas 400 °C. Hal tersebut dimungkinkan karena kalibrasi pabrik pada rangkaian kompensasi titik suhu es (*ice point temperature*) dilakukan pada lingkungan temperatur yang berbeda.

Algoritma PID dari kit elektronika M-Series PLC tidak memungkinkan digunakan seperti apa adanya dikarenakan pengaturan tegangan tinggi DC menggunakan variak menyebabkan overshoot yang cukup tinggi. Untuk mengatasinya, secara perangkat lunak pada implementasinya dikombinasi dengan kendali on-off.

## 5. Daftar Pustaka

- [1] Suprpto, Tjipto Sujitno, "Kontruksi dan Karakterisasi Sistim Plasma LucutanPijjar Untuk Perlakuan Permukaan", *Proceedings 3rd Kentingan Physics Forum*, Physics Department Sebelas Maret University, Surakarta, September 24, 2005.
- [2] Sudjatmoko, dkk "Aplikasi Plasma Nitriding dan Plasma Sputtering Untuk Perlakuan Permukaan Komponen Mesin", *laporan teknik Sub Kegiatan*, PTAPB BATAN Yogyakarta, 2007 2008.
- [3] Trilogi Triangle Research, "*T100MD+ Super Programmable Controllers*", *User Manual*, Release 1.1, 2004.
- [4] Trilogi Triangle Research, "*LADDER + BASIC Internet Trilogi Programmer Reference*", Version 6.1, 2006.
- [5] Analog Devices, "*Monolithic Thermocouple Amplifiers with Cold Junction Compensation*", AD594/AD595 Data Sheet, www.analog.com, Inc., 1999.
- [6] RS Components, "*Industrial Stepper Motor and Stepper Motor Driver*", *Data Pack J*, Issued March 1997, Printed in USA.
- [7] Mohamed S. Zaky and Ehab M. Ismaeil, "Gain Scheduling Adaptive PI Control of Hybrid Stepper Motor Drives", *Proceedings of the 14th International Middle East Power Systems Conference (MEPCON'10)*, Cairo University, Egypt, December 19-21, 2010, Paper ID 160.

# Klasifikasi Citra Kanker Payudara dengan Menggunakan Algoritma *Fuzzy C Means*

Octa Heriana<sup>1,2)</sup>, Thomas Sri Widodo<sup>2)</sup>, Indah Soesanti<sup>2)</sup>, Maesadji Tjokronagoro<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI

Kampus LIPI Gd. 20 Lt. 4 Jl. Sangkuriang Bandung - INDONESIA

Telp. 022 2504660 Fax. 022 2504659 Email: octaheriana@ppet.lipi.go.id

<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

<sup>3)</sup>Fakultas Kedokteran, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

## Abstract

*Breast cancer was a disease with the condition of the breast tissue became abnormal due to the development of cancer cells in the breast area. One method of breast cancer nondestructive detection was through shooting the indicated breast cancer by using an infrared camera. The emission variations of infrared radiation on the image captured showed the level of cancer. The results of infrared camera imaging was called as thermograph image processed in computing for the classification of cancer in breast areas according to the characteristics of each image. The image feature extraction was obtained through the calculation of the fractal dimension of the image by using the box counting algorithm. Image classification process was done by using the Fuzzy C Means algorithm to the 12 initial image data to obtain the value of the parameter cluster centers in Fuzzy C Means, and the tested input image data was 8 image. The results of test showed that the Fuzzy C Means algorithm was very accurate to make the process of classification based on the cluster analysis.*

**Keywords:** image, thermograph, classification, Fuzzy C Means.

## Abstrak

*Kanker payudara adalah penyakit dengan kondisi sifat jaringan pada payudara tersebut menjadi abnormal yang disebabkan oleh perkembangan sel-sel kanker di daerah payudara. Salah satu metoda pendeteksian nondestruktif yang dilakukan adalah melalui pemotretan bagian payudara yang diindikasikan mengidap kanker dengan menggunakan kamera infra merah. Variasi pancaran radiasi infra merah pada citra hasil pemotretan menunjukkan tingkat/level kanker. Hasil pencitraan kamera infra merah yang disebut sebagai citra termografi diproses secara komputasi untuk proses pengklasifikasian kanker di daerah payudara berdasarkan ciri masing-masing citra. Ekstraksi ciri citra didapat melalui penghitungan dimensi fraktal citra dengan algoritma box counting. Proses klasifikasi citra dilakukan dengan menggunakan algoritma Fuzzy C Means terhadap 12 data citra awal untuk mendapatkan nilai parameter cluster center pada Fuzzy C Means. Data citra input yang diujikan untuk diklasifikasi sebanyak 8 buah citra. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma Fuzzy C Means sangat akurat untuk melakukan proses klasifikasi berdasarkan cluster.*

## 1. Pendahuluan

Salah satu aplikasi teknologi yang aman diterapkan untuk pendeteksian keberadaan kanker pada jaringan payudara adalah melalui pencitraan termal menggunakan kamera termografi. Penggunaan kamera termografi inframerah dalam prosedur *screening* payudara telah dilakukan selama bertahun-tahun untuk membantu proses diagnosis terhadap gangguan-gangguan yang terjadi dalam jaringan payudara. Jaringan payudara yang terjangkit kanker akan terdeteksi sebagai daerah yang lebih hangat daripada jaringan

sekitarnya yang normal [1].

Pengamatan hasil pencitraan termografi payudara ini dilakukan berdasarkan pada kondisi distribusi termal pada daerah sekitar payudara. Pencitraan infra merah untuk keperluan medis ini merupakan sebuah prosedur pendeteksian, perekaman, dan untuk keperluan menampilkan pola termal dari kondisi permukaan kulit pasien [2].

Variasi pola termal permukaan payudara hasil termografi dapat menunjukkan tingkat kanker pada payudara. Beberapa pola termal payudara hasil pencitraan diklasifikasi untuk mengetahui sejauh

mana tingkat kanker yang menjangkit. Suatu teknik yang dapat digunakan untuk proses klasifikasi dari suatu kelompok data dalam pengenalan pola adalah melalui pengamatan berdasarkan persamaan ciri atau suatu ukuran melalui analisis *cluster* [3].

Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasi tingkat kanker pada hasil pencitraan termografi payudara melalui pengklasifikasian ciri pola termal dengan algoritma *clustering Fuzzy C Means*.

**2. Tinjauan Pustaka Citra Termografi**

Citra termal dari pencitraan kamera inframerah merupakan hasil dari proses pencitraan distribusi pancaran radiasi panas permukaan objek ke dalam bentuk gambar termal. Teknik pengujian suatu objek dengan pencitraan termal merupakan suatu prosedur pengujian yang bersifat tak merusak (*non destructive testing*) dengan proses pendeteksian melalui pancaran radiasi obyek langsung pada medium udara [4].

Citra termal payudara yang dihasilkan oleh pencitraan kamera infra merah merepresentasikan bahwa kondisi aliran darah tidak lancar dan terjadi ketidakteraturan pembuluh darah asimetri yang berarti mengindikasikan bahwa jaringan tersebut dalam kondisi abnormal. Pembuluh darah dengan kondisi temperatur yang tinggi merepresentasikan bahwa aliran darah disekitar daerah tersebut berlebihan dan juga menunjukkan ciri-ciri karakteristik bahwa jaringan tersebut terkena kanker [5].

**Pengolahan Citra Awal**

Pada keumuman, ukuran suatu citra direpresentasikan sebagai matriks warna berukuran piksel. Piksel atau pel (*picture element*) adalah bagian terkecil dari suatu citra digital [6]. Pengolahan citra awal pada penelitian ini dilakukan melalui konversi citra berwarna RGB menjadi citra *grayscale* (keabuan), kemudian dilakukan konversi lagi menjadi citra biner.

Format citra berwarna RGB, *grayscale*, dan citra biner dijelaskan sebagai berikut [6]:

- Citra berwarna, yaitu citra berwarna dengan karakteristik warna berdasarkan pada persamaan (1) berikut ini:

$$I_R(x,y), I_G(x,y) \text{ dan } I_B(x,y) \quad (1)$$

- Citra *grayscale*, yaitu citra dengan karakteristik warna berdasarkan persamaan (2) berikut:

$$I(x,y) \in [0..255] \quad (2)$$

- Citra biner, yaitu citra dengan karakteristik warna berdasarkan pada persamaan (3) berikut ini:

$$I(x,y) \in \{0, 1\} \quad (3)$$

Konversi citra berwarna RGB ke citra *grayscale* adalah dengan cara memberikan nilai bobot yang berbeda-beda pada setiap komponen RGB, seperti berdasarkan persamaan (4) berikut ini:

$$Gray = (0.3 * r) + (0.5 * g) + (0.2 * b) \quad (4)$$

dengan:

- r : nilai intensitas warna merah
- g : nilai intensitas warna hijau
- b : nilai intensitas warna biru

Proses pengubahan citra *grayscale* menjadi citra biner adalah dengan memisahkan dua nilai antara objek dengan latarnya berdasarkan hasil perbandingan terhadap nilai *threshold* (nilai ambang). Nilai ambang yang digunakan adalah nilai di sekitar nilai minimum dan maksimum citra *grayscale*. Persamaan (5) menunjukkan pemisahan nilai intensitas citra *grayscale* berdasarkan nilai ambang yang telah ditentukan.

$$K_o = \begin{cases} 1, \text{ jika } K_i > \text{ nilai ambang dengan } (1 = \text{putih}) \\ 0, \text{ lainnya } \dots\dots\dots (5) \end{cases}$$

dengan:

Ko: nilai biner (0 atau 1) citra *output*  
 Ki: nilai intensitas keabuan citra *input*

**Ekstraksi Citra dengan Algoritma *Box Counting***

Fraktal berasal dari kata *fractus* (pecah), yaitu geometri yang dibangun oleh pengulangan dan perangkaian bentuk primitif geometri tersebut. Pada dasarnya fraktal merupakan geometri sederhana yang digandakan berulang kali dan digabungkan satu sama lain dalam skala yang beragam [5].

Teknik penghitungan dimensi fraktal dapat dilakukan dengan cara *box counting*. Algoritma *box counting* bekerja dengan cara membagi obyek menggunakan kotak-kotak (*boxes*) berukuran tertentu, kemudian menghitung berapa banyak *box* yang meliputi obyek seluruhnya. Adapun metode yang umum digunakan untuk perhitungan dimensi fraktal dengan *box counting* adalah seperti pada persamaan (6) berikut.

$$D = \frac{\log(N(s))}{\log(1/s)} \tag{4}$$

dengan:

- D* : dimensi fraktal
- N(s)* : jumlah cacah *box* untuk ukuran (*s*)
- s* : ukuran *box* atau faktor penskala

Secara lengkap, algoritma *box counting* dapat dituliskan sebagai berikut [5]:

- a. Menetapkan ukuran citra (ukuran *square*, misal: 64x64)
- b. Menetapkan jumlah iterasi pencacahan *boxes*/penempatan jumlah *box*
- c. Menetapkan *boxes*(1,2)=1, yaitu ukuran *box*/faktor penskala 1x1 atau 64x64 adalah 1 *box*
- d. Menghitung *boxes* (6,2) yaitu banyaknya *box* yang digunakan meliputi obyek ukuran 64x64 dengan ukuran *box* 1/64
- e. Membagi dua tiap-tiap sisi ukuran citra

sehingga citra menjadi 4 bagian untuk iterasi pertama, 16 bagian iterasi kedua, 64 bagian iterasi ketiga, 256 bagian iterasi keempat dan 1024 bagian iterasi kelima.

- f. *Scanning* tiap-tiap bagian tersebut untuk piksel obyek dan menghitung berapa banyak *box* yang meliputi obyek (yang memuat piksel 1) untuk setiap iterasi sampai semua iterasi selesai.

***Fuzzy C Means***

Metode *clustering Fuzzy C Means* bertujuan untuk mengelompokkan sejumlah objek yang disajikan berupa bentuk vektor kedalam jumlah *cluster* berdasarkan kesamaannya dengan pusat *cluster* yang diukur melalui fungsi jarak [8]. Pengelompokan dengan *clustering Fuzzy C Means* berprinsip meminimisasi fungsi objektif sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (7) berikut ini.

$$J_{FCM}(P, U, X, c, m) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^N (u_{ik})^m d_{ik}^2(x_k, p_i) \tag{7}$$

dengan penekanan subjek  $\sum_{i=1}^c u_{ik} = 1$  untuk  $\forall k \in \{1, \dots, N\}$ .

Keterangan: **P** dan **U** adalah dua variabel yang akan dicari kondisi optimalnya, untuk matriks **U** kondisi optimalnya berarti konvergensi keanggotaan kelompok dalam FCM. **X**, **c**, **m** adalah parameter *input* dari  $J_{FCM}$ , dimana:

- *c* adalah banyak *cluster* yang memenuhi **X** (jumlah *cluster* yang diinginkan  $2 \leq c < N$ ).
- $m \geq 1$  adalah tingkat ke-fuzzy-an dari hasil pengelompokan. Berdasarkan penelitian Klawonn, et al, nilai dari *m* yang sering dipakai dan dianggap yang paling halus adalah  $m=2$ .
- $u_{ik}$  adalah tingkat keanggotaan yang merupakan elemen dari matriks **U**.
- *N* jumlah observasi.
- $d_{ik}^2$  adalah jarak observasi yang dapat dirumuskan seperti pada persamaan (8) berikut:

$$d_{ik}^2(x_k, p_i) = \|x_k - p_i\|^2 = (x_k - p_i)^T (x_k - p_i) \dots\dots\dots (8)$$

- $x_k$  adalah vektor pengamatan
- $p_i$  adalah pusat *cluster*.

Kemudian diberikan optimasi parameter  $u_{ik}$  dan  $p_i$  dimana  $u_{ik}$  dan  $p_i$  diberikan pada persamaan (9) dan (10) berikut ini:

$$p_i = \frac{\sum_{k=1}^N u_{ik}^m x_k}{\sum_{k=1}^N u_{ik}^m} \dots\dots\dots (9)$$

$$u_{ik} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left(\frac{d_{ik}^2}{d_{jk}^2}\right)^{1/(m-1)}} \dots\dots\dots (10)$$

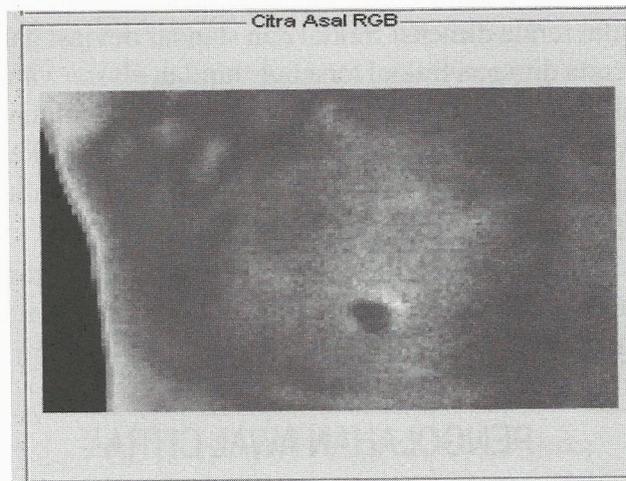
Secara umum, algoritma pengelompokan *Fuzzy C Means cluster* diberikan sebagai berikut:

- a. Menentukan  $c$  banyak *cluster* atau kelompok yang ingin dibuat.
- b. Menentukan tingkat ke-fuzzy-an hasil pengelompokan ( $m$ ).
- c. Menghitung fuzzy *cluster center* ( $P$ ) dengan persamaan (10)
- d. *Update* anggota matriks  $U$  dengan persamaan (11)
- e. Bandingkan nilai keanggotaan dalam matriks  $U$ , jika  $\|U^{(k+1)} - U^{(k)}\| < \epsilon$ , maka sudah konvergen dan iterasi dihentikan. Jika  $\|U^{(k+1)} - U^{(k)}\| \geq \epsilon$ , maka kembali ke langkah 3.

**3. Metode Penelitian**

Penelitian dilakukan dengan melakukan segmentasi pada citra termal payudara yang diduga terjangkit kanker. Citra yang diuji adalah citra termografi dengan format JPEG (*Joint Photograph*

*Expert Group*) berukuran 256x192 piksel, dalam ruang warna standar RGB. Jumlah data yang digunakan adalah 12 data citra awal untuk mendapatkan nilai parameter *cluster center* pada *Fuzzy C Means* dan 8 data citra *input* yang diujikan. Adapun contoh data citra yang digunakan seperti tertampil pada Gambar 1.



**Gambar 1:** Citra termografi RGB dengan format JPG.

Proses pengolahan citra pada penelitian ini secara garis besar dapat diuraikan menjadi tiga bagian utama sebagai berikut:

- a. Tahap pengolahan awal citra.
 

Pengolahan awal citra terdiri dari proses konversi citra dari format asal citra RGB ke dalam format *grayscale* (skala keabuan), proses pemotongan citra (*cropping*) dengan skala ukuran yang ditentukan, dan proses konversi citra ke dalam format biner (hitam putih) dengan penentuan *thresholding* pada interval tertentu.
- b. Ekstraksi ciri citra dengan metoda *box counting*.

Proses ekstraksi ciri citra dilakukan untuk mendapatkan vektor ciri masing-masing citra. Hasil ekstraksi ciri ini sebagai data yang akan digunakan kemudian untuk proses klasifikasi citra menjadi 3 kelompok atau kelas. Metoda yang digunakan untuk ekstraksi ciri citra adalah metoda

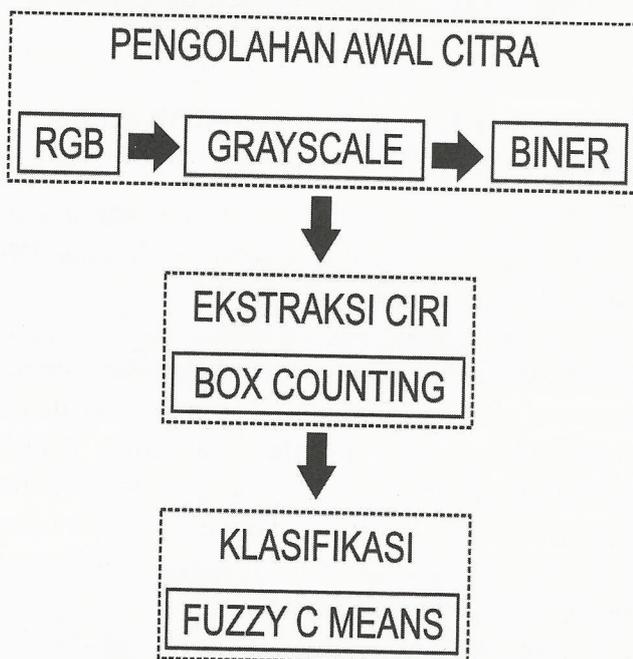
perhitungan dimensi fraktal dengan algoritma *box counting*.

c. Klasifikasi dengan *Fuzzy C Means*.

Sejumlah vektor ciri yang didapatkan dari proses ekstraksi ciri citra dikelompokkan ke dalam tiga kelompok melalui proses klasifikasi dengan algoritma *Fuzzy C Means (FCM)*.

Vektor pengamatan  $x_k$  pada perhitungan *Fuzzy C Means* adalah vektor dua kolom yang terdiri dari nilai rerata dimensi fraktal dan standar deviasi dari rerata dimensi fraktal tersebut. Jumlah *cluster* yang diinisialisasi adalah sebanyak 3 *cluster*, kemudian fungsi keanggotaan  $U$  yang digunakan merupakan data random berdasarkan nilai  $x_k$  dan jumlah *cluster*.

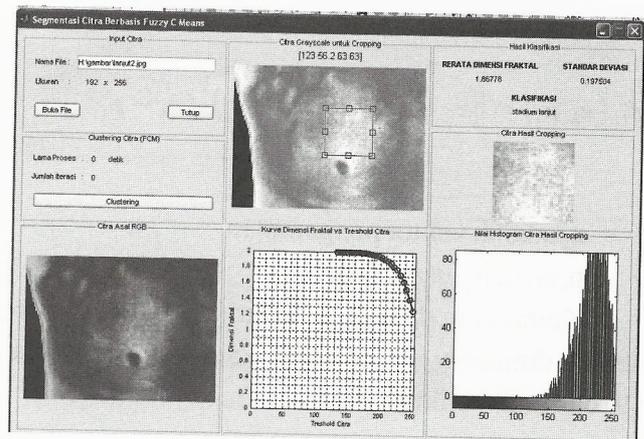
Gambar 2 berikut adalah bentuk blok diagram sistem dari keseluruhan proses komputasi yang dilakukan.



Gambar 2: Blok diagram sistem.

4. Hasil Dan Pembahasan

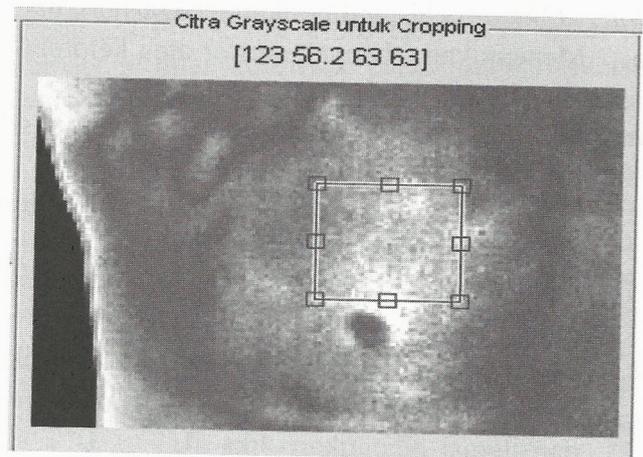
Hasil perancangan *software* klasifikasi tingkat kanker payudara tertampil pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3: Tampilan *software*.

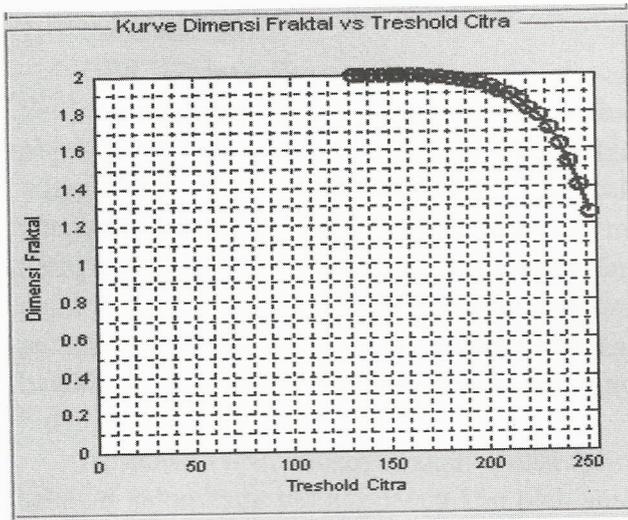
Informasi yang ditampilkan pada *software* terdiri dari; panel *input* citra, panel proses *clustering* dengan *Fuzzy C Means*, panel citra RGB, panel citra *grayscale*, panel kurva dimensi fraktal terhadap *thresholding* citra, panel citra hasil *cropping*, panel histogram citra hasil *cropping*, dan panel hasil klasifikasi.

Citra *grayscale* dipotong pada ukuran yang sudah ditentukan untuk membatasi *ROI (Region Of Interest)*. Penempatan *ROI* diarahkan pada daerah terang sekitar payudara yang tampak pada citra seperti tertampil pada Gambar 4 berikut.



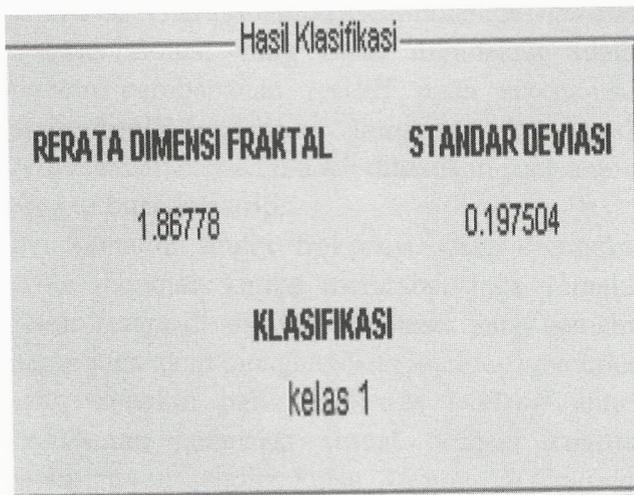
Gambar 4: Penempatan *ROI*.

Kurva pada Gambar 5 berikut adalah kurva untuk menampilkan karakteristik citra berdasarkan tingkat kecerahan *ROI* dari citra termografi. Kurva tersebut didapat dari hasil *plotting* dimensi fraktal terhadap *threshold* citra.



**Gambar 5:** Kurva dimensi fraktal terhadap *threshol* citra.

Klasifikasi dengan *Fuzzy C Means* didasarkan pada data hasil perhitungan standar deviasi dari dimensi-dimensi fraktal dari 12 data citra awal yang digunakan sebagai acuan perhitungan *cluster center*. Data *cluster center* ini digunakan kemudian untuk menentukan klasifikasi data citra termografi *input*. Gambar 6 berikut adalah hasil klasifikasi dari citra termografi *input*.



**Gambar 6:** Hasil klasifikasi citra.

Hasil pengujian dari 8 buah data citra *input* menunjukkan keberhasilan sebesar 87.5%. Data hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1:** Data hasil pengujian.

Citra	Indikasi	Pengujian	Tingkat Keberhasilan
1	Normal	Kelas 1	Berhasil
2	Normal	Kelas 1	Berhasil
3	Normal	Kelas 1	Berhasil
4	Dini	Kelas 2	Berhasil
5	Dini	Kelas 3	Tidak Berhasil
6	Lanjut	Kelas 3	Berhasil
7	Lanjut	Kelas 3	Berhasil
8	Lanjut	Kelas 3	Berhasil

**5. Kesimpulan**

Klasifikasi citra termografi kanker payudara menggunakan algoritma *Fuzzy C Means* bertujuan untuk mengklasifikasi citra termografi payudara yang terindikasi kanker yang dikelompokkan berdasarkan tiga tingkat, yakni; kelas 1 yang diinterpretasikan sebagai normal, kelas 2 (stadium dini), dan kelas 3 (stadium lanjut). Sebanyak 12 citra digunakan sebagai citra dasar untuk menentukan *cluster center*. Data *cluster center* tersebut merupakan data utama dalam perhitungan klasifikasi data citra *input*. Hasil pengujian terhadap 8 citra *input* menunjukkan tingkat keakuratan algoritma *Fuzzy C Means* dalam mengklasifikasi data citra termografi kanker payudara dinilai sangat baik, dengan tingkat keberhasilan sebesar 87.5%.

**6. Ucapan Terima Kasih**

Penulis sampaikan terima kasih kepada penerbit dan semua pihak terkait atas saran-saran, perbaikan dan dukungan sehingga dapat terselesaikannya tulisan ini.

**7. Daftar Pustaka**

[1] Amalu W. C., 2004, "Nondestructive Testing of the Human Breast: The Validity of Dynamic Stress Testing in Medical Infrared Breast Imaging," *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS San Francisco, CA, USA September 1-5, 2004*.  
 [2] Bronzino, J. D., "The Biomedical Engineering Handbook, Third Edition, Medical Devices and Systems", *CRC Press, 2006*.  
 [3] Hathaway R. J. and Bezdek J. C., 1988, "Recent

- Convergence Results for the Fuzzy C-Means Clustering Algorithms," *Journal of Classification* 5:237-247 (1988).
- [4] Ng. E.Y.-K., "A Review of Thermography as Promising Non-Invasive Detection Modality for Breast Tumor," *International Journal of Thermal Sciences* 48 (2009) 849859, 2009.
- [5] Ode W., "Evaluasi Feature Citra Termografi Kanker Payudara Dengan Metode Fraktal," *Tesis Program Studi Teknik Elektro Jurusan Ilmu-Ilmu Teknik Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta*, 2010.
- [6] Ramadijanti N., 2010, "Sistem Visual Manusia dan Pengolahan Citra Digital," <http://lecturer.eepis-its.edu/~nana/>, (diakses pada tanggal 10 Desember 2010).
- [7] Nurhayati O. D., Widodo T. S., Susanto A., Tjokronagoro M., 2010, "Ekstraksi Ciri Citra Termogram Payudara Berbasis Dimensi Fraktal," *Forum Teknik Vol. 33, No. 2, Mei 2010*.
- [8] N. Widyastuti, A. Hamzah, "Penggunaan Algoritma Genetika Dalam Peningkatan Kinerja Fuzzy Clustering Untuk Pengenalan Pola", *Berkala MIPA*, 17(2), Mei 2007.

# Pembangkit Chirp untuk Radar FM CW Berbasis DDS

**Purwoko Adhi**

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI  
Kampus LIPI Gd.20 Lt.4 Jl. Sangkuriang Bandung 40135 Indonesia  
Telp. +62 22 2504661 Fax. +62 22 2504659 Email: [purwoko@ppet.lipi.go.id](mailto:purwoko@ppet.lipi.go.id)

## Abstract

*This paper describes the use of direct digital synthesis (DDS) to generate chirp signals on a frequency modulated continuous wave (FM-CW) Radar. Chirp repetition period can be selected manually using jumper. The lower frequency, upper frequency, and the chirp repetition period are used to calculate the rising sweep ramp rate and the rising delta frequency tuning. Then the exact lower and upper frequencies are recalculated based on the possible register values and by introducing guard time. All parameters are programmed by putting the correct binary values to the DDS registers.*

**Keywords:** radar, chirp, DDS, FM-CW

## Abstrak

*Tulisan ini membahas penggunaan direct digital synthesis (DDS) untuk membangkitkan sinyal chirp pada radar dengan frequency modulated (FM) continuous wave (CW). Periode pengulangan chirp bisa dipilih secara manual menggunakan jumper. Frekuensi bawah, frekuensi atas, dan periode pengulangan chirp digunakan untuk menghitung kenaikan frekuensi dan seberapa sering kenaikan frekuensi. Kemudian frekuensi bawah dan frekuensi atas dihitung kembali berdasarkan nilai register yang mungkin dan dengan memasukkan guard time. Semua parameter diprogram dengan memasukkan nilai bilangan biner yang sesuai pada register-register DDS yang telah ditentukan.*

**Kata kunci:** radar, chirp, DDS, FM-CW

## 1. Pendahuluan

Berbeda dengan radar pulse yang memancarkan pulse-pulse frekuensi secara periodik, radar FM CW adalah radar generasi baru yang memancarkan sinyal secara terus menerus. Sebagai pengganti fungsi pulse, sinyal yang dipancarkan oleh radar FM CW dimodulasi dengan sebuah sinyal yang memiliki period ekuivalen dengan periode pulse.

Sinyal yang digunakan untuk memodulasi pada radar FM CW bisa berupa sinyal sinusoidal, segi tiga, gigi gergaji, atau bentuk lain. Sinyal yang dimodulasi bisa dibangkitkan dengan berbagai cara, di antaranya dengan menggunakan voltage controlled oscillator (VCO) yang diberi sinyal sinusoidal, segitiga, atau gigi gergaji sebagai input, dengan menggunakan DDS, atau dengan cara lain.

Dalam aplikasi radar pengawas pantai, telah dipilih sinyal gigi gergaji sebagai sinyal pemodulasi. Untuk alasan kemudahan dalam

pengendalian sinyal dibangkitkan menggunakan DDS. Output DDS berupa chirp yang berulang dengan periode yang sama dengan sweeptime ditambah guardtime.

Tulisan ini membahas tentang pembangkit chirp berbasis DDS untuk radar FM-CW. Tulisan diawali dengan pengenalan DDS, Chirp, dilanjutkan dengan pemrograman DDS dan pembahasan sinyal trigger, dan diakhiri dengan pengukuran dan kesimpulan.

## 2. Pengenalan DDS

DDS adalah sebuah teknik yang menggunakan blok-blok pengolahan data digital sebagai cara untuk membangkitkan sebuah sinyal output yang bisa diatur frekuensi dan fasanya berdasarkan pada sebuah clock referensi yang presisi dan memiliki frekuensi tetap. Dalam sebuah arsitektur DDS clock referensi dibagi dengan faktor skala yang telah diset sebelumnya dalam sebuah bilangan tuning biner yang bisa diprogram. Bilangan tuning

memiliki antara 24 dan 48 bit yang memungkinkan sebuah implementasi DDS untuk menghasilkan resolusi frekuensi tuning dari output yang lebih tinggi.

Produk-produk DDS masa kini yang relatif murah, berperforma tinggi, terintegrasi secara fungsi, dan dikemas dalam ukuran kecil segera menjadi alternatif untuk solusi sintesiser analog tradisional. Integrasi sebuah konverter D/A, yang berkecepatan dan berperforma tinggi, dan arsitektur DDS di atas sebuah chip tunggal (membentuk apa yang dikenal dengan solusi DDS lengkap) memungkinkan teknologi ini menjadikan beragam aplikasi yang lebih luas sebagai sasaran dan, dalam banyak kasus, menyediakan alternatif yang menarik untuk sintesiser PLL analog. Untuk banyak aplikasi, solusi DDS memiliki kelebihan khusus dari sintesiser frekuensi analog ekuivalen yang menggunakan rangkaian PLL.

Beberapa kelebihan DDS di antaranya. Resolusi tuning mikro Hertz dari frekuensi output dan kemampuan tuning fasa di bawah satu derajat, semua di bawah kontrol digital penuh. Hopping speed yang sangat tinggi pada frekuensi output tuning atau fasa. Arsitektur digital DDS tidak memerlukan manual tuning berkaitan dengan umur dan pergeseran suhu. Interface pengendalian digital dari DDS arsitektur mempermudah situasi di mana sistem bisa dikendalikan dari jarak jauh dan dioptimasi di bawah kendali prosesor. Dan ketika digunakan sebagai sebuah sintesiser kuadratur, DDS menghasilkan matching dan kontrol yang tak tertandingi dari output I dan Q.

Komponen DDS yang digunakan dalam tulisan ini adalah AD9956 dari Analog Devices. Komponen ini memiliki 3 mode operasi. Yang pertama dan yang juga merupakan mode operasi default adalah mode single-tone. Akumulator fasa bekerja pada frekuensi tetap, sesuai dengan bilangan tuning dari profile yang aktif. Demikian juga dengan offset fasanya yang tetap dan sesuai dengan bilangan offset fasa dari profile yang aktif. Divais ini memiliki 8 profile fasa/frekuensi yang

berbeda, masing-masing memiliki bilangan tuning frekuensi 48 bit dan bilangan offset fasa 14 bit. Profile dipilih dengan memberikan nilai digital pada pin-pin profile-select (PS2, PS1, dan PS0). Namun tidak dimungkinkan menggunakan fasa dari satu profile dan frekuensi dari profile lain.

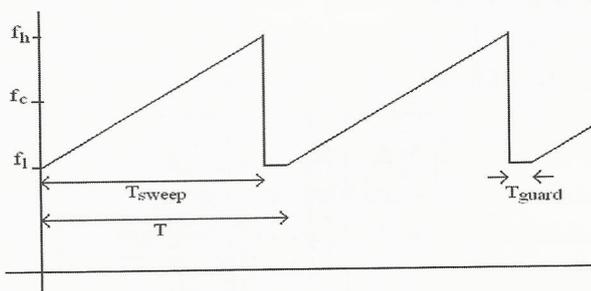
Yang kedua adalah mode linear sweep. Mode diaktifkan dengan memberikan nilai logik 1 pada bit linear sweep enable dari control register ( $CFR1<17>=1$ ) namun dengan tetap membiarkan 0 pada bit linear sweep no dwell ( $CFR1<16>=0$ ). Ketika komponen dalam mode linear sweep, akumulator frekuensi meningkatkan frekuensi output dari divais dari frekuensi bawah yang telah diprogram ke frekuensi atas atau sebaliknya. Frekuensi bawah diatur oleh bilangan tuning frekuensi dari Profile 0, dan frekuensi atas diatur oleh bilangan tuning frekuensi dari Profile 1.

Kombinasi logika dalam akumulator frekuensi mengharuskan nilai yang disimpan pada FTW0 selalu lebih rendah dari nilai yang disimpan dalam FTW1. Arah sweep dikendalikan oleh PS0. Logika 1 pada pin ini memerintahkan output untuk sweep ke FTW1. Logika 0 memerintahkan output untuk sweep ke FTW0.

Akumulator frekuensi membutuhkan 4 nilai, yang disimpan dalam register-register. Yang pertama adalah nilai kenaikan frekuensi yang menentukan berapa besar kenaikan frekuensi setiap kali frekuensi naik. Nilai ini disimpan dalam rising delta frequency tuning word (RDFTW). Yang kedua adalah seberapa sering frekuensi naik. Nilai ini disimpan dalam rising sweep ramp rate word (RSRR). Nilai RSRR menentukan berapa banyak siklus SYNC\_CLK yang harus dihitung oleh akumulator frekuensi dari kenaikan frekuensi ke kenaikan frekuensi berikutnya. Yang ketiga dan keempat adalah ekuivalen dari yang pertama dan kedua untuk arah yang berlawanan, yaitu falling delta frequency tuning word (FDFTW) dan falling sweep ramp rate (FSRR).

Mode operasi yang ketiga adalah mode linear sweep no dwell. Mode inilah yang digunakan tika

dalam aplikasi untuk radar pengawas pantai. Mode ini diaktifkan dengan memberikan logika 1 pada bit linear sweep enable dan bit linear sweep no dwell dari register control ( $CFR\langle 17:16 \rangle = 1$ ). Ketika komponen dalam mode ini, akumulator frekuensi menaikkan frekuensi output dari divais dari frekuensi bawah ke frekuensi atas. Pada saat frekuensi atas tercapai, akumulator langsung kembali ke frekuensi bawah, tanpa melihat apakah PS0 kembali ke 0 atau tidak. Mode ini hanya menggunakan RDFTW dan RSRR. Operasinya masih dikendalikan oleh pin PS0. Namun pin ini berfungsi sebagai trigger. Ketika transisi pada pin PS0 dari 0 ke 1 terdeteksi, komponen melakukan sweep penuh, tanpa melihat apakah pin PS0 kembali ke 0 atau tidak. Setelah sweep, selesai sweep lain bisa dilakukan dengan memberikan rising edge lain pada pin PS0. Ini berarti pin PS0 harus dikembalikan ke 0 sebelum sweep berikutnya.



Gambar 1. Representasi frekuensi-waktu dari chirp

Ad9956 memiliki 14 register yang bisa diakses, dibaca atau ditulis, melalui port interface serial. Mereka adalah Control Function Register 1 (CFR1), CFR2, Rising Delta Frequency Tuning Word (RDFTW), Falling Delta Frequency Tuning Word (FDFTW), Rising Sweep Ramp Rate (RSRR), Falling Sweep Ramp Rate (FSRR), Profile Control Register 0 (PCR0), PCR1, PCR2, PCR3, PCR4, PCR5, PCR6, dan PCR7. Untuk aplikasi radar FM-CW pengawas pantai register-register yang digunakan adalah CFR1, CFR2, RDFTW, RSRR, PCR0, dan PCR1.

### 3. Chirp

Sebuah chirp adalah sebuah sinyal yang memiliki frekuensi yang naik atau turun dengan waktu. Chirp bisa dihasilkan dengan memodulasi secara FM sebuah sinyal dengan sinyal gigi gergaji. Representasi frekuensi-waktu dari chirp yang ingin dibangkitkan dapat dilihat pada Gambar 1.

Perioda ( $T$ ), sweeptime ( $T_{\text{sweep}}$ ), dan guardtime ( $T_{\text{guard}}$ ) memiliki hubungan seperti pada Persamaan 1. Sedangkan frekuensi tengah ( $f_c$ ), frekuensi bawah ( $f_l$ ), dan frekuensi atas ( $f_h$ ) memiliki hubungan seperti pada Persamaan 2.

$$T = T_{\text{sweep}} + T_{\text{guard}} \quad (1)$$

$$f_c = \frac{f_l + f_h}{2} \quad (2)$$

Sinyal chirp dalam frequency-domain dapat ditulis dengan Persamaan 3,

$$f = \begin{cases} f_l + kt & \text{untuk } nT \leq t < nT + T_{\text{sweep}} \\ f_l & \text{untuk } nT + T_{\text{sweep}} \leq t < (n+1)T \end{cases} \quad (3)$$

di mana  $k$  adalah chirp rate.

Dengan demikian  $k$  dapat ditulis seperti pada Persamaan 4,

$$k = \frac{f_h - f_l}{T_{\text{sweep}}} = \frac{f_{rd}}{T_r} \quad (4)$$

di mana  $f_{rd}$  adalah kenaikan frekuensi setiap step dan  $T_r$  adalah periode step.

### 4. Pemrograman DDS

Frekuensi clock referensi yang digunakan adalah 394.24MHz. Frekuensi yang sama akan digunakan untuk system clock (SYSCLK). Untuk itu kita bypass RF-DIVIDER dengan memberi logika 1 pada bit RF Divider SYSCLK Mux ( $CFR2\langle 16 \rangle = 1$ ). Dengan demikian frekuensi synchronisation clock (SYNC\_CLK) adalah sebesar SYSCLK dibagi 4, atau sebesar 98.56MHz. Frekuensi ini bisa didapat pada pin output SYNC\_OUT.

Frekuensi sweep yang diinginkan adalah

sekitar 2MHz, atau sweeptime sekitar 0.5ms. Frekuensi terdekat yang didapat dengan cara membagi SYNC\_CLK dengan bilangan 2<sup>n</sup> adalah 1503.906Hz, di mana n=16. Berarti sweeptime sama dengan 0.665ms atau 65536 siklus SYNC\_CLK. Untuk meyakinkan bahwa akumulator frekuensi telah kembali ke frekuensi bawah, maka digunakan guardtime sebesar 4 siklus SYNC\_CLK, sehingga sweep dari frekuensi bawah ke frekuensi atas dilakukan selama 65532 siklus SYNC\_CLK.

Untuk mendapatkan frekuensi ekskursi sekitar 1.5MHz, nilai 1 dimasukkan pada RSRR. Nilai ini menghasilkan kenaikan frekuensi setiap T<sub>r</sub> = 0.010146104us, atau setiap satu siklus SYNC\_CLK. Kenaikan frekuensi yang dibutuhkan setiap kali adalah sekitar 22.8896Hz dan yang mendekati ini adalah f<sub>r</sub> = 23.49853516Hz yang bisa diperoleh dengan memberikan nilai 4 pada RDFTW. Nilai-nilai di atas akan menghasilkan frekuensi ekskursi sebesar 1.539906MHz untuk sweeptime yang telah ditentukan di atas. Tabel I menunjukkan nilai-nilai RSRR dan RDFTW untuk frekuensi ekskursi yang lain.

Tabel I. Nilai-nilai RSRR dan RDFTW

RSRR	RDFTW	Frekuensi ekskursi (MHz)
1	4	1.539906
1	8	3.079812
1	16	6.159624
1	32	12.319248
1	64	24.638496
1	128	49.276992

Dengan mengambil 160MHz sebagai frekuensi tengah maka frekuensi rendah dan frekuensi tinggi untuk masing-masing frekuensi ekskursi dapat dilihat pada Tabel II.

Tabel II. Frekuensi bawah dan frekuensi atas.

Frekuensi ekskursi (MHz)	Frekuensi bawah (MHz)	Frekuensi atas (MHz)
1.539906	159.230047	160.769953
3.079812	158.460094	161.539906
6.159624	156.920188	163.079812
12.319248	153.840376	166.159624
24.638496	147.680752	172.319248
49.276992	135.361504	184.638496

Frekuensi bawah dan frekuensi atas digunakan untuk menghitung FTW0 dan FTW1 dengan menggunakan Persamaan 5.

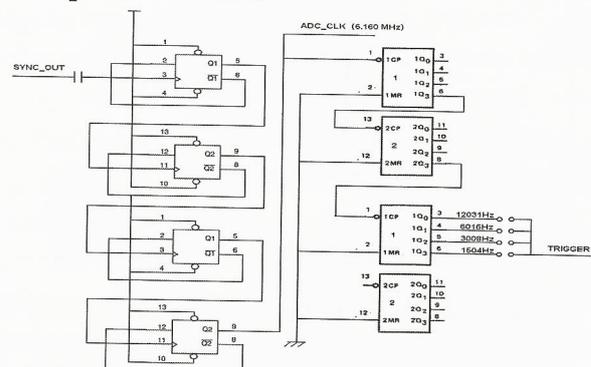
$$FTW = \frac{f}{f_s} 2^{48} \tag{5}$$

di mana f<sub>s</sub> adalah frekuensi clock referensi.

Selanjutnya FTW0 dan FTW1 ditulis bersama dengan POW0 dan POW1, yang dibiarkan 0, pada PCR0 dan PCR1.

### 5. Sinyal Trigger

Untuk menjaga koherensi, sinyal trigger dibangkitkan dengan membagi sinyal SYNC\_CLK yang bisa diperoleh pada pin SYNC\_OUT dari AD9956. Untuk meyakinkan bahwa pembagi bisa bekerja pada frekuensi SYNC\_CLK, untuk pembagi tahap awal digunakan komponen TTL tipe fast (F). Setelah didapat frekuensi yang lebih rendah, pada tahap berikutnya bisa digunakan tipe lain. Diagram skema rangkaian pembagi dapat dilihat pada Gambar 2.



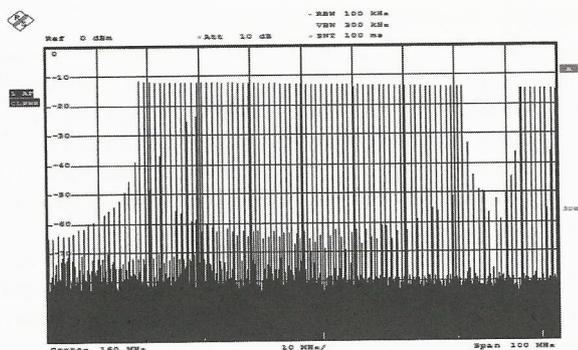
Gambar 2. Rangkaian pembagi untuk trigger.

Dalam rangkaian tersebut digunakan dua buah IC 74F74 yang masing-masing memiliki dua buah D-Flipflop yang difungsikan sebagai pembagi dua. Keempat D-Flipflop dirangkai membentuk pembagi 16. Sinyal output pada pin SYNC\_OUT sudah kompatibel dengan sinyal TTL, sehingga bisa dihubungkan ke clock dari D-Flipflop pertama melalui sebuah kapasitor. D-Flipflop terakhir menghasilkan sinyal dengan frekuensi 6.160MHz. Selanjutnya sinyal ini dibagi 256 menggunakan 2 buah counter 4 bit yang ada dalam sebuah IC

74HC393 dan difungsikan sebagai pembagi 16. Selanjutnya sebuah counter pada IC 74HC393 lain difungsikan sebagai pembagi 2, 4, 8, dan 16, di mana outputnya bisa diperoleh pada masing-masing dari 4 pin output. Keempat output memiliki frekuensi 12.031KHz, 6.016KHz, 3.008KHz, dan 1.504KHz yang bisa dipilih dengan jumper untuk input trigger DDS pada PS0.

## 6. Pengukuran

Sinyal output dari DDS dimonitor dengan sebuah spectrum analyzer. Contoh spektrum sinyal dengan frekuensi tengah 160MHz dan frekuensi ekskursi 64MHz yang dihasilkan oleh DDS dengan sinyal clock 394.24MHz dapat dilihat pada Gambar 3. Sinyal diambil dari output DDS tanpa melalui filter. Spectrum analyzer di-set pada frekuensi tengah 160MHz, span 100MHz, dan sweep time 100 milidetik. Terlihat sedikit penurunan level pada frekuensi atas dan image akibat efek aliasing pada frekuensi di atas 197.12MHz atau setengah frekuensi clock.



Gambar 3. Contoh spektrum sinyal output.

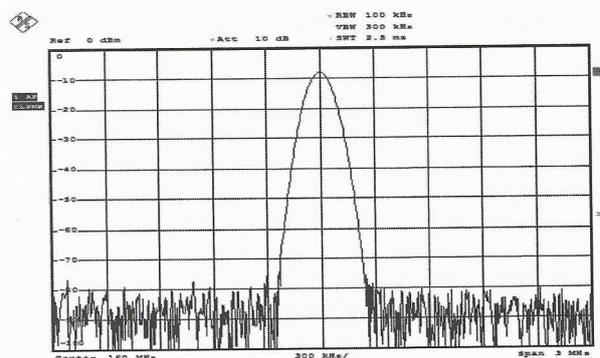
Untuk mengetahui kualitas sinyal yang dihasilkan pembangkit chirp, pembangkit chirp diprogram untuk membangkitkan sinyal dengan frekuensi tetap. DDS diprogram untuk menghasilkan sinyal dengan frekuensi 160MHz. Gambar 4 menunjukkan spektrum sinyal tersebut. Spectrum analyzer di-set dengan frekuensi tengah 160MHz dan span 3MHz. Bentuk spektrum menunjukkan bahwa sinyal yang dihasilkan cukup baik dan memenuhi syarat untuk digunakan pada

Radar FM-CW.

## 7. Kesimpulan

Sinyal yang dimodulasi secara FM dengan sebuah sinyal gigi gergaji menghasilkan chirp. Sinyal yang sama bisa dibangkitkan dengan menggunakan komponen DDS. Untuk membangkitkan sinyal tersebut, DDS diprogram untuk mode operasi linear sweep no dwell. Parameter yang dimasukkan adalah frekuensi bawah, frekuensi atas, kenaikan frekuensi, dan seberapa sering kenaikan frekuensi yang masing-masing dimasukkan dalam register PCR0, PCR1, RDFTW, dan RSRR. Pengulangan dibuat dengan memberikan trigger periodik pada pin PS0. Semua parameter disesuaikan dengan periode trigger yang ekuivalen dengan sweeptime.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pembangkit chirp telah bekerja dengan baik dan menghasilkan sinyal chirp cukup baik dan memenuhi syarat untuk digunakan pada Radar FM-CW.



Gambar 4. Sinyal output DDS pada frekuensi tetap 160MHz.

## Daftar Referensi

1. A Technical Tutorial on Digital Signal Synthesis, Analog Devices, 1999
2. Data Sheets of AD9956 (2.7 GHz DDS-Based AgileRF Synthesizer), Analog Devices, 2004
3. Mahafza, Bassem R., *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*, 2<sup>nd</sup> Edition, Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, 2005.
4. Miller, Gary M. and Beasley, Jeffrey S., *Modern Electronic Communication*, 7<sup>th</sup> Edition, Prentice Hall, 2002.

# Penggunaan Frekuensi Pembawa Koheren untuk Mempermudah Regenerasi Clock pada Sistem Komunikasi Data Bawah Air

Syamsu Ismail dan Eko Joni Pristianto

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

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

## Abstract

*Clock regeneration or recovery in data communication system has a very important role to extract the transmitted data correctly, especially for a synchronized digital transmission. Therefore, transmission signal coding is made to solve such problem. According to very low bit rate with long zero data state and high signal distortion due to underwater propagation, the recovery would be very difficult, so that a certain technique must be applied to regenerate the clock easily. In this paper will be discussed a simply technical method to regenerate the clock. The starting point of the method is from the sender, in this case, amplitude modulator uses carrier wave frequency coherent with the data rate in the system. It is done by generating clock pulses as a fraction of the carrier wave, with the dividing factor is integer. In addition to the coherency, modulation index of generated AM to supply underwater acoustic transducer is adjusted to be less than hundred percent. In the receiver side, the received signal is amplified by frequency selective amplifier for carrier wave signal only. The signal still contains other weak signal and noise. To find the clear clock pulses, the signal is used as reference after shaped to become square wave by level comparison technique and frequency division. The signal becomes a frequency reference. A Voltage Controlled Oscillator, where its phase and frequency automatically controlled by frequency reference will generate a phase locked wave with the frequency as same as frequency clock at the transmitter side.*

**Keywords :** Coherence, Clock Regeneration, underwater data communication.

## Abstrak

*Regenerasi atau mendapatkan kembali pulsa clock dalam Sistem Komunikasi Data, atau disingkat SKADA, memegang peranan yang sangat penting untuk mengekstraksi data terkirim secara benar, terutama untuk transmisi digital sinkron. Oleh karena itu, pengkodean sinyal transmisi, atau coding, dibuat untuk kebutuhan tersebut. Untuk SKADA bawah air, dengan kelajuan data sangat rendah pada status data nol yang panjang, dan distorsi yang tinggi karena propagasi bawah air, akan sangat sulit untuk meregenerasi sinyal clock, sehingga metode teknis tertentu harus digunakan untuk memudahkan regenerasi. Di dalam tulisan ini akan dibahas suatu metode teknis untuk meregenerasi sinyal clock dengan mudah. Metode ini diawali dari sistem pengirim, dalam hal ini modulator amplitudo yang menggunakan frekuensi gelombang pembawa dibuat koheren dengan laju data, yaitu dengan membangkitkan pulsa-pulsa clock sebagai pecahan dari sinyal pembawa, dengan besar pencacah merupakan kelipatan bilangan bulat. Di samping itu, indeks modulasi dari sinyal AM yang dibangkitkan untuk mencatu transduser akustik bawah air dibuat lebih kecil dari seratus persen. Di sisi penerima, sinyal AM tersebut diperkuat oleh suatu penguat ultra selektif frekuensi untuk mendapatkan hanya sinyal frekuensi pembawa. Sinyal tersebut masih mengandung sinyal lain yang lemah dan noise. Untuk mendapatkan pulsa-pulsa clock yang jernih, sinyal tersebut digunakan sebagai acuan setelah dibentuk menjadi gelombang segi empat dengan teknik komparasi level dan pembagi frekuensi. Sinyal tersebut menjadi frekuensi acuan. Suatu osilator yang frekuensi dan fasanya dikontrol secara otomatis oleh sinyal acuan membangkitkan gelombang fasa terkunci dengan frekuensi yang sama dengan frekuensi clock di sisi pemancar.*

**Katakunci :** Koherensi, Regenerasi Clock, Komunikasi Data Bawah Air.

## 1. Pendahuluan

Sistem Komunikasi Bawah Air, disingkat SKoBA, adalah sistem transmisi gelombang akustik yang menjadikan air sebagai medium propagasi. Gelombang akustik tersebut berisi informasi yang akan disampaikan kepada pihak

penerima[1]. Informasi tersebut dalam bentuk analog ataupun digital. Bentuk digital dapat pula data asinkron ataupun sinkron. Untuk Sistem Komunikasi Data, disingkat SKADA, bawah air bentuk data asinkron *non return to zero* lebih sulit diaplikasikan karena beberapa faktor, seperti

variasi redaman daya akustik yang diakibatkan oleh dinamika bawah air, *noise* lingkungan[2], reverberasi[3], dan sebagainya. Oleh karena itu, bentuk *return to zero* data sinkron atau asinkron dapat menjadi pilihan. Tidak seperti sistem asinkron menggunakan *time slot* awal data sebagai *start* dan diakhiri oleh data stop[4], untuk sistem komunikasi data sinkron digunakan bit-bit sinkronisasi. Untuk itu, maka diperlukan pulsa-pulsa *clock* di sisi pemancar, dan di sisi penerima harus ada regenerasi *clock*[4].

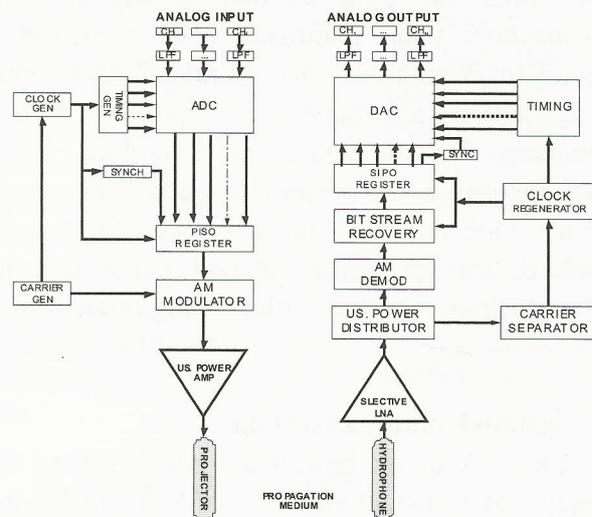
Frekuensi kerja sistem komunikasi bawah air, dengan getaran akustik, kebanyakan dari beberapa KHz sampai di sekitar 100 KHz. Pada frekuensi kerja serendah itu, maka data rate yang dapat diaplikasikan pada SKADA bawah air juga rendah. Untuk mengenali data yang sesuai dengan data dari pengirim, maka dibutuhkan *clock* yang koheren dengan *clock* pengirim. Koherensi antara *clock* penerima dengan pemancar didapat dengan mengirim “*clock*” secara kontinyu, yaitu menggunakan frekuensi pembawa merupakan kelipatan dari frekuensi *clock* pemancar. Selain itu indeks modulasi AM dibuat tidak 100%, yaitu masih ada beberapa persen residual sinyal pembawa ketika data sama dengan nol.

**2. Landasan Teori**

SKADA di bawah air, dengan amplitudo modulasi, terdiri dari pemroses data yang akan dikirim, carrier generator ( $f_c$ ), clock generator yang diturunkan dari  $f_c$ , modulator AM dan penguat daya ultrasonik pencatu transduser akustik di sisi pemancar. Sedangkan pada penerima, terdiri dari konversi akustik-listrik, penguat selektif derau rendah (selective LNA), demodulator, carrier separator, clock regenerator, dan pemroses data di penerima. Gambar 1 adalah diagram blok SKADA-AM bawah air[5,2].

Pada pemroses data pemancar, data masukan berupa sinyal analog yang berasal dari sinyal-sinyal sensor. Sinyal-sinyal sensor ini disebut sebagai *channel* data. Sinyal-sinyal analog tersebut

dikonversi menjadi sinyal digital dengan level TTL oleh rangkaian analog digital *converter* (ADC). ADC meletakkan tiap data sensor pada slot waktu tertentu, menentukan mode transmit, penentuan status data, dan sebagainya. Pada proses ini biasanya dilakukan pengkodean (*coding*) pada data-data tersebut, misal dengan menggunakan sistem *pulse code modulation* (PCM).



**Gambar 1:** Diagram blok SKADA-AM bawah air[5,2].

Untuk mempermudah proses pengiriman, data-data tersebut dikirim dalam format serial. Untuk mendapatkan format data serial, digunakan register geser *parallel in serial out* (PISO). Semua sistem dalam pemroses data dicatu oleh sebuah *clock* yang memiliki frekuensi sinkron, frekuensi *clock* ini diturunkan dari frekuensi *carrier generator*. Sinyal digital tersebut kemudian dicatukan pada modulator. Tipe modulator dalam aplikasi ini menggunakan modulator AM. Keluaran dari rangkaian modulator AM adalah sinyal termodulasi berdaya rendah. *Ultrasonic power amplifier* memperkuat daya ultrasonik dengan level yang sesuai untuk kebutuhan proyektor[5].

Getaran akustik termodulasi, yang membawa informasi, disebarkan di dalam air. Kemudian setelah berpropagasi, getaran tersebut sampai pada

suatu hidrofون di sisi penerima[5]. Sinyal termodulasi tersebut sudah mengalami pelemahan karena sebaran dan serapan oleh medium air juga distorsi[3]. Hidrofون mengkonfersi getaran akustik tersebut ke dalam getaran listrik. Getaran listrik yang masih lemah diperkuat oleh *selective LNA*. Kemudian sinyal AM tersebut dibagi menjadi dua jalur, jalur pertama ke bagian pemroses data dipenerima dan jalur ke dua ke bagian *clock regenerator*. Pada pemroses data di penerima dilakukan demodulasi dan ekstraksi data untuk mengeluarkan informasi yang dikirim dari sisi pemancar. Dalam proses ini dibutuhkan *clock* untuk mencatu semua sistem yang ada di dalamnya, sinyal *clock* ini harus terkunci (*locked*) dengan *clock* di sisi pemancar. Sinyal *clock* tersebut dibangkitkan kembali oleh rangkaian *clock regenerator*.

**2. Sistem Komunikasi Data**

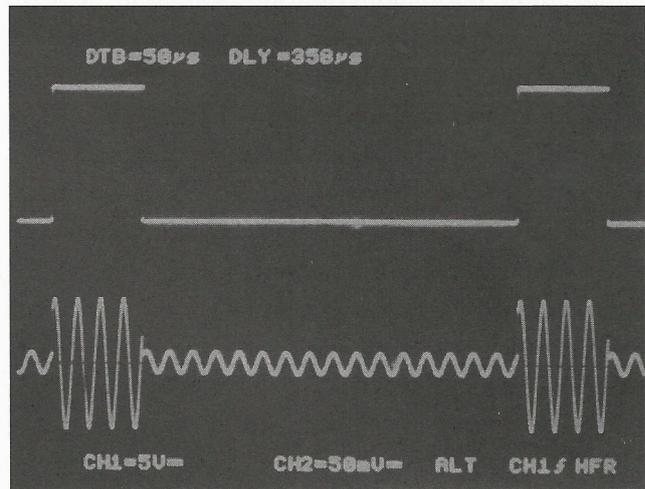
SKADA untuk bawah air pada aplikasi ini menggunakan sistem modulasi AM. Dalam hal ini, modulator amplitudo pada sisi pengirim menggunakan frekuensi gelombang pembawa dibuat koheren dengan laju data di dalam sistem, yaitu dengan membangkitkan pulsa-pulsa *clock* sebagai pecahan dari sinyal pembawa, dengan besar pecahan merupakan kelipatan bilangan bulat. Pulsa-pulsa *clock* ini dicacahkan dari *carrier generator* dengan pencacahan N, seperti ditunjukkan pada persamaan 1[6]:

$$f_{clock} = \frac{f_c}{N} \dots\dots\dots (1)$$

- Dimana:
- $f_{clock}$  = frekuensi clcok
  - $f_c$  = frekuensi pembawa
  - N = bilangan pembagi

Untuk memperoleh bentuk gelombang dan sinyal *clock* dengan *duty cycle* 50%, maka N harus bilangan genap. Di samping itu, indeks modulasi dari sinyal AM yang dibangkitkan untuk mencatu

transduser akustik bawah air dibuat tidak 100%, tetapi bernilai 90%. Sehingga, ketika data sama dengan nol masih terdapat 10% residual sinyal pembawa. Gambar 2 menunjukkan sinyal AM dengan  $m < 100\%$ .



**Gambar 2** : sinyal AM dengan  $m < 100\%$

Pada sisi penerima sinyal ini digunakan sebagai sinyal acuan dalam proses regenerasi *clock*. Besarnya indeks modulasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2[6]:

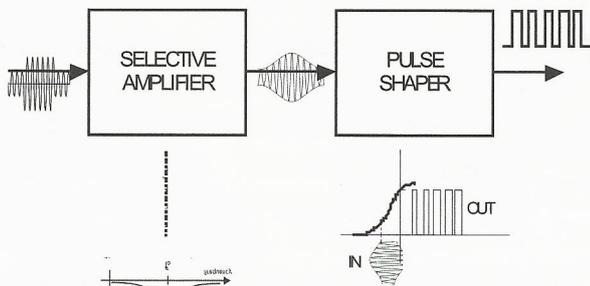
$$m = \frac{V_m}{V_c} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

- Dimana:
- M = indeks Modulasi
  - $V_m$  = amplitudo sinyal pemodulasi/informasi
  - $V_c$  = amplitudo sinyal pembawa/*carrier*

Di sisi penerima, sinyal AM tersebut diterima oleh hidrofون, kemudian diperkuat oleh penguat awal yang berupa penguat selektif dengan derau rendah (*selective LNA*). Setelah melewati penguat awal, sinyal AM ini akan dibagi oleh ultrasonic power distributor menjadi dua jalur, jalur pertama masuk ke bagian pemroses data di penerima, dan jalur kedua masuk ke bagian *clock regenerator*. Sebelum masuk ke pemroses data dipenerima, dilakukan proses demodulasi sinyal AM untuk

mendapatkan hanya sinyal data. Sinyal data dari AM demodulator akan diteruskan ke bit stream recovery untuk mendapatkan laju bit data yang sesuai dengan data yang dikirimkan. Data keluaran dari bit stream recovery masih memiliki format data serial, seperti yang dikirim dari sisi pemancar. Untuk mendapatkan format data paralel, digunakan register geser serial inparallel out (SIPO). Register ini juga mengeluarkan bit sinkronisasi untuk dicatukan ke digital analog converter (DAC). DAC akan mengekstraksi sinyal-sinyal data sehingga didapat channel-channel data seperti pada sisi pemancar. Semua sistem dalam pemroses data terima membutuhkan clock yang digunakan sebagai pewaktu dan pencacah. Untuk mendapatkan hasil ekstraksi data yang benar, clock yang digunakan harus benar-benar memiliki frekuensi yang sama dan terkunci dengan frekuensi clock pemancar. Sinyal clock ini dihasilkan oleh rangkaian clock regenerator.

Rangkaian pemisah gelombang pembawa, atau carrier separator terdiri dari rangkaian penguat sinyal selektif dengan lebar pita sekitar ±15Hz. Rangkaian tersebut bertujuan untuk mendapatkan sinyal informasi di dalam AM 90%. Sinyal keluaran dari penguat selektif dicatukan ke dalam rangkaian penguat dengan titik kerja mendekati daerah saturasi. Rangkaian ini disebut juga pembentuk pulsa atau shaper. Sinyal keluaran penguat ini berbentuk sinyal persegi yang hampir stabil. Gambar 3 menunjukkan diagram blok dari rangkaian pemisah gelombang pembawa.



**Gambar 3:** Diagram blok rangkaian pemisah gelombang pembawa

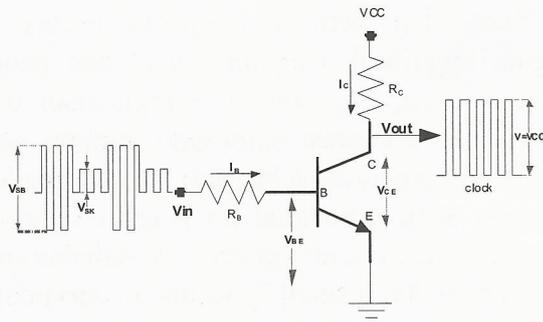
Rangkaian pembentuk pulsa terdiri dari penguat logaritmik (*log amplifier*) dan penguat sinyal saturasi. *Log amplifier* digunakan untuk memperoleh kompresi amplitudo, dimana sinyal yang lemah diperkuat lebih dari sinyal yang kuat. Sehingga dengan penguat ini jangkauan (*range*) dinamik, yaitu beda antara sinyal lemah dan sinyal kuat menjadi lebih kecil[7]. Keluaran dari penguat ini masih menghasilkan sinyal *clock* dengan nilai amplitudo yang tidak rata, sehingga dibutuhkan suatu penguat nonlinier yang berupa penguat sinyal saturasi. Penguat ini dapat dibuat dengan menggunakan prinsip kerja saklar transistor. Dimana transistor dikondisikan dalam dua kondisi, kondisi mati (*cut off*) dan jenuh (saturasi). Pada kondisi *cut off* nilai  $V_{BE}=0V$  maka  $I_B=0V$  dan  $I_C=0V$  sehingga tidak ada arus yang mengalir dari kolektor ke emitor ( $I_C = 0$ ) dan  $V_{CE} = V_{CC}$ , keadaan ini menyerupai saklar pada kondisi terbuka (*off*). Sedangkan kondisi saturasi didapat dengan mengatur  $V_{BE} \neq 0$  atau  $I_B > I_C/\beta$ , sehingga arus akan mengalir dari kolektor ke emitor dan  $V_{CE} = 0$ . Keadaan seperti ini menyerupai saklar dalam kondisi tertutup (*on*)[7]. Menentukan tahanan basis ( $R_B$ ) untuk memperoleh arus basis saturasi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 3[7]:

$$R_B = \frac{(V_{in} - V_{BE.SAT})}{I_{B.SAT}} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

- $R_B$  = tahanan depan basis
- $V_i$  = tegangan input
- $V_{BE.SAT}$  = tegangan basis-emitter saturasi
- $\beta$  = faktor penguatan transistor
- $I_{B.SAT}$  = arus basis saturasi

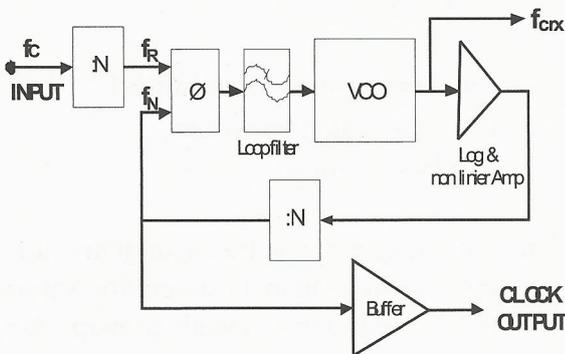
Sistem ini menggunakan transistor jenis silikon yang mempunyai tegangan basis-emitor saturasi ( $V_{BE.sat}) \approx 0,7 V$ . Gambar 4 adalah prinsip kerja saklar transistor sebagai penguat sinyal saturasi.



**Gambar 4:** Transistor sebagai penguat sinyal saturasi

Tegangan input transistor ( $V_{in}$ ) berasal dari sinyal pembawa. Sinyal ini masih terdiri dari sinyal dengan amplitudo besar ( $V_{SB}$ ) dan sinyal dengan amplitudo kecil ( $V_{SK}$ ). Pada saat  $V_{SB}$  atau  $V_{SK} = 0V$  maka nilai  $V_{BE} = 0V$ , kondisi ini menyebabkan transistor pada kondisi *cut off* sehingga nilai  $V_{output} = V_{CE} = VCC$ . Jika nilai  $V_{SK} \geq V_{BE.sat}$  maka transistor berada pada kondisi saturasi yang menyebabkan nilai  $V_{output} = 0V$ . Dengan proses diatas akan didapat sinyal *clock* dengan amplitudo yang rata dan hampir stabil, dimana besarnya amplitudo sinyal tersebut dapat disesuaikan dengan mengatur nilai  $VCC$ .

Rangkaian clock regenerator memperoleh sinyal masukan dari clock separator. Frekuensi clock di penerima harus sama dan seiring terkunci atau locked dengan frekuensi clock pemancar, sehingga pembagi frekuensi terhadap frekuensi pembawanya adalah  $N$ . Gambar 5 menunjukkan diagram blok clock regenerator untuk SKADA-AM bawah air.



**Gambar 5:** Diagram blok clock regenerator SKADA-AM bawah air.

Sinyal pembawa murni dengan frekuensi  $f_c$  dibentuk menjadi gelombang persegi empat. Rangkaian pembagi frekuensi dengan bilangan pembagi =  $N$  digunakan untuk mendapatkan sinyal yang lebih jernih, dari sini akan didapat frekuensi referensi ( $f_R$ ). Kemudian frekuensi  $f_R$  diumpankan ke rangkaian detektor fasa, untuk dibandingkan dengan frekuensi  $f_N$  dari voltage control oscillator (VCO). Jika frekuensi VCO sama dengan frekuensi gelombang pembawa, maka pembagi frekuensi untuk detektor fasa adalah  $N$ . Detektor fasa membandingkan fasa sinyal  $f_R$  dan  $f_N$ , pada kondisi awal  $f_R \neq f_N$  karena frekuensi dari  $VCO \neq f_c$ . Karena ada perbedaan frekuensi dan fasa antara  $f_R$  dan  $f_N$ , maka rangkaian detektor fasa akan menghasilkan tegangan error. Tegangan error berupa deretan pulsa kemudian dilewatkan ke rangkaian loop filter yang berupa low pass filter, yang selalu mengikuti setiap perubahan frekuensi carrier pemancar ( $f_c$ ). Selanjutnya tegangan DC ini digunakan untuk mengontrol frekuensi VCO sehingga rangkaian VCO beresilasi pada frekuensi yang sama dengan  $f_c$ , yaitu frekuensi carrier penerima ( $f_{cRX}$ ). Dalam keadaan ini beda fasa  $f_R$  dan  $f_{cRX}$  dibagi  $N$  atau  $f_N$  adalah  $90^\circ$ , keadaan ini disebut kondisi terkunci atau locked.

Sebelum dibandingkan dengan frekuensi referensi ( $f_R$ ), frekuensi output VCO ( $f_{cRX}$ ) dibagi dengan bilangan pembagi =  $N$ . Pada saat sistem dalam keadaan terkunci (locked), maka  $f_R = f_{cRX} / N$  atau dengan kata lain akan memenuhi persamaan 4[8]:

$$f_{cRX} = f_R \times N \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

- $f_{cRX}$  = frekuensi carrier penerima
- $f_R$  = frekuensi referensi
- $N$  = bilangan pembagi

Berdasarkan persamaan ini maka  $f_{cRX}$  akan mudah dibuat variabel dengan mengubah besarnya bilangan  $N$ , dimana  $N$  adalah bilangan bulat dan  $f_R$

adalah satuan terkecil dari perubahan  $f_{\text{CRX}}$ . Satuan terkecil ini sering disebut step. Proses di atas akan membangkitkan gelombang fasa terkunci dengan frekuensi yang sama dengan frekuensi clock di sisi pemancar. Di dalam clock regenerator pada gambar 4, VCO beresilasi pada frekuensi gelombang pembawa  $f_c$ , sedangkan frekuensi clock adalah  $f_{\text{CRX}}$  dibagi dengan faktor N. Keluaran pembagi frekuensi dicabangkan untuk detektor fasa dan clock output melalui rangkain buffer. Sinyal clock ini digunakan untuk mencatu sistem pada pemroses data di penerima, seperti bit stream recovery, SIPO register dan timing untuk DAC.

## 6. Kesimpulan

Dalam sistem komunikasi data sinkron, sinyal clock di sisi penerima harus locked dengan clock di sisi pemancar. Status locked untuk regenerasi clock dengan bit rendah seperti pada SkoBA, data sulit dicapai apabila menggunakan bit stream sebagai acuan. Dengan sinyal AM 90% yang menggunakan frekuensi pembawa yang koheren dengan bit stream sebagai sinyal pemodulasi, maka regenerasi clock dapat mengacu pada gelombang pembawa yang selalau ada, sehingga regenerasi menjadi lebih mudah.

## 7. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan pada rekan-rekan yang telah memberikan bantuan berupa koreksi dan diskusi untuk melengkapi dan menyelesaikan tulisan ini.

## 8. Daftar Pustaka

- [1] Ismail Syamsu, Deni Permana, Sistem Komunikasi Gelombang Akustik Dengan Memanfaatkan Bawah Air Sebagai Medium Propagasi, Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi, Vol. 9 No. 1, Jan-Jun 2009.
- [2] Ismail Syamsu, Litbang Sistem Kom. Bawah Air Menggunakan Gelombang Akustik Bawah Air, Laporan Penelitian PPET-LIPI Bandung : 2009-2010.
- [3] Fink G. Donald dan Donald Christian, Electronics Engineer Handbook, McGraw-Hill Book Company, New York: 1986.
- [4] Stallings William, Data and Computer Communications, Macmillan Publishing Company New York : 1991.
- [5] Ismail Syamsu, Deni Permana, Sistem Komunikasi Bawah Air Untuk Transmisi Data Dari Dasar Laut Atau Danau Ke Stasiun Terapung, Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi, Vol. 9 No. 2 (Edisi Khusus, Sept. 2009.
- [6] S. Wasito, Vademekum Elektronika Edisi ke Dua, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta: 1995.
- [7] <http://file.upi.edu/Direktori/E%20-%20FPTK/JUR.%20PEND.%20TEKNIK%20ELEKTRO/195912311985031%20-%20JAJA%20KUSTIJA/Modul%208-14%20%20sistem%20instrumentasi.pdf>, diakses tanggal 22 Maret 2011.
- [8] <http://id.wikipedia.org/wiki/PLL>, diakses tanggal 22 Maret 2011.

# Perancangan dan Simulasi Antena Rolled Dipole Array untuk Aplikasi Ground Penetrating Radar (GPR) dengan Footprint yang Dapat Berubah Menggunakan Metode Finite Difference Time Domain (FDTD)

Yuyu Wahyu<sup>[1]</sup>, Deni Permana<sup>[1]</sup>, Herry Gunawan S<sup>[2]</sup>, Heroe Wijanto<sup>[2]</sup>

<sup>[1]</sup> Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) LIPI, <sup>[2]</sup> Jurusan Teknik Telekomunikasi, IT Telkom, Bandung  
Kampus LIPI Gd. 20 Lt. 4 Jl. Sangkuriang Bandung (40135) - INDONESIA  
Telp. 022-2504661 Fax. 022-2504659  
e-mail : yuyu@ppet.lipi.go.id

## Abstract

*GPR (Ground Penetrating Radar) is detection system of objects buried beneath the soil surface to a certain depth. In most GPR systems, the antenna is very important. In GPR system, an each antenna only has a certain footprint. In the footprint area (spot) that can be scanned in a horizontal. To obtain optimal performance, shape and size of the footprint should be proportional to the object. If the footprint is too large compared to the object, then the ground clutter also increases. The Ground clutter is the signal that come out of the object reflecting the signal from the transmitter in order to obscure the description of the object. If this happens, the user must performan GPR advanced image processing in order to distinguish between targets with clutter. In other words, the more optimal depiction of the object can be obtained if the ground clutter to a minimum. Conversely, if the footprint is too small compared to the object, the object will be difficult to detect. With these considerations, the author tries to develop a GPR antenna system with multiple footprints. The antenna in this simulation is rolled-dipole antennas with resistive loading for impulse GPR applications. Resistive loading aims to suppress late-time ringing. Late-time ringing is an oscillation that followed pulses sent. These oscillations can obscure the signal reflected by the object, making it hard to do the detection. Antenna system that will simulate numbered 9 arranged pieces shaped diamonds. Antenna rationing election will determine the resulting footprint. This allows the operation of the GPR for a variety of footprint by using only a single antenna system. For purposes of analysis the author uses electromagnetic FDTD method (Finite-difference time-domain) with software for monitoring FDTD-3D the transmitted waveform at the broadside antenna in time domain and observing the resulting footprint. These methods include the selection for works on domain FDTD time, so for a wide range of frequencies, it can be solved with a single simulation.*

**Keywords :** GPR, footprint, ground clutter, image processing, FDTD.

## Abstrak

*GPR (Ground Penetrating Radar) merupakan sistem pendeteksian objek yang terkubur di bawah permukaan tanah hingga kedalaman tertentu. Dalam sistem GPR, umumnya setiap antena hanya memiliki footprint tertentu, dimana footprint merupakan daerah (spot) yang dapat discan pada bidang horizontal. Untuk mendapatkan performansi yang optimal, bentuk dan ukuran footprint harus sebanding dengan objek (target yang akan dideteksi). Jika footprint terlalu besar dibandingkan dengan objek, maka ground clutter juga ikut meningkat. Ground clutter merupakan benda-benda di luar objek yang ikut memantulkan sinyal dari transmitter sehingga dapat mengaburkan penggambaran dari objek. Jika hal ini terjadi, pengguna GPR harus melakukan image processing tingkat lanjut agar dapat membedakan antara target dengan clutter. Dengan kata lain penggambaran objek makin optimal jika ground clutter seminimal mungkin. Sebaliknya jika footprint terlalu kecil dibandingkan objek, maka objek akan sulit untuk dideteksi. Dengan pertimbangan tersebut, dilakukan penelitian untuk mengembangkan sistem antena GPR yang footprint nya dapat diubah - ubah. Antena simulasi menggunakan rolled-dipole dengan pembebanan resistif untuk aplikasi impulse GPR. Pembebanan resistif bertujuan untuk menekan late-time ringing. Late-time ringing merupakan osilasi yang mengikuti pulsa yang dikirimkan. Osilasi ini dapat mengaburkan sinyal yang dipantulkan oleh objek sehingga menyulitkan untuk dilakukan proses deteksi. Sistem antena yang akan disimulasikan berjumlah 9 buah yang disusun berbentuk wajik. Pemilihan pencatutan antena akan menentukan footprint yang dihasilkan. Hal tersebut memungkinkan pengoperasian GPR untuk berbagai footprint dengan menggunakan satu sistem antena saja. Untuk keperluan analisis elektromagnetik penulis menggunakan metode FDTD (finite-difference time-domain) dengan software FDTD-3D untuk mengamati bentuk gelombang yang ditransmisikan pada arah broadside antena dalam domain waktu dan mengamati footprint yang dihasilkan. Pemilihan metode ini diantaranya karena FDTD bekerja pada domain waktu, sehingga untuk suatu rentang frekuensi yang lebar dapat dipecahkan dengan sekali simulasi.*

**Kata kunci :** GPR, footprint, ground clutter, image processing, FDTD.

## 1. Pendahuluan

GPR (*Ground Penetrating Radar*) merupakan *device* yang berguna untuk proses pendeteksian objek yang terkubur di bawah permukaan tanah hingga kedalaman tertentu, tanpa perlu dilakukan penggalian tanah. Dengan GPR maka informasi mengenai keadaan di bawah permukaan tanah dapat dilakukan dengan cepat dan mudah. Contoh penggunaan GPR yaitu untuk mendeteksi kabel bawah tanah, fondasi bangunan, ranjau dan banyak bidang lainnya.

Aplikasi GPR menggunakan pulsa sempit sebagai gelombang yang dipancarkan oleh antena pengirim. Pulsa sempit ini dalam domain frekuensi akan mempunyai pita yang lebar. Untuk itu diperlukan suatu antena yang dapat mempertahankan kestabilan pola radiasi untuk pita frekuensi yang lebar. Hal tersebut merupakan hal yang melatarbelakangi penggunaan antena *ultra wideband* (UWB) pada aplikasi GPR.

Performansi GPR secara umum ditentukan oleh antenanya karena penggunaan impuls radar sangat ditentukan oleh kemampuan antena untuk meradiasikan impuls ke tanah dengan tingkat *loss* dan distorsi seminimal mungkin. Hal ini berarti antena GPR harus mampu meminimalkan *late-time ringing*. Solusi yang biasa digunakan adalah dengan pembebanan resistif pada antena dan menempelkan antena langsung ke tanah. Pembebanan resistif mudah dilakukan pada antena yang terbuat dari strip.

Semakin tinggi frekuensi yang digunakan maka redaman ketika merambat juga semakin besar. Tetapi di sisi lain frekuensi yang semakin tinggi juga akan menghasilkan kualitas pencitraan yang semakin baik. Jadi ada *tradeoff* antara kedalaman penetrasi sinyal dengan kualitas pencitraan itu sendiri. Pulsa *Monocycle Gaussian* dengan durasi 1,6 ns (frekuensi tengah 600 MHz) digunakan pada saat simulasi. Frekuensi ini cocok untuk aplikasi GPR resolusi menengah, yaitu digunakan untuk mendeteksi target dengan kedalaman kurang dari 1 m (contohnya ranjau dan

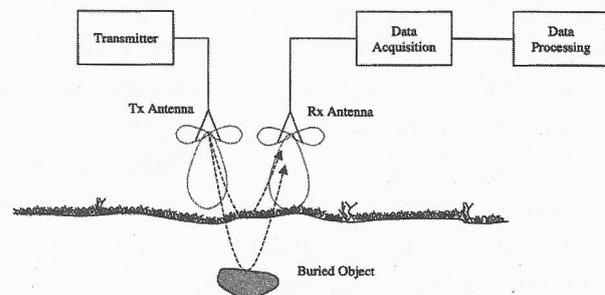
kabel).

Untuk menganalisa antena maka menggunakan pemodelan numerik dengan metode Finite-Difference Time-Domain (FDTD) dengan menggunakan software FDTD-3D. Metode ini dipilih dengan pertimbangan bahwa untuk melihat pengaruh properti dielektrik yang digunakan maka kita perlu melihat amplituda sinyal dalam domain waktu

## 2. Teori Dasar

Sistem GPR terdiri dari antena pengirim yang terhubung ke sumber eksitasi pulsa, antena penerima yang akan terhubung ke unit pengumpulan dan pengolahan data. Antena pengirim dan antena penerima merupakan antena yang identik agar antena penerima dapat menangkap sinyal yang digenerate oleh antena pengirim [1].

Berikut merupakan gambar blok diagram dari sistem GPR :



Gambar 1. Diagram Blok GPR

Untuk menghasilkan pendeteksian yang baik, suatu sistem GPR harus memenuhi empat persyaratan sebagai berikut:

1. Kopling radiasi elektromagnetik yang efisien ke dalam tanah
2. Penetrasi radiasi yang cukup ke dalam tanah dengan memperhatikan kedalaman dari target.
3. Mendapatkan sinyal hasil pantulan dari target dengan amplitudo yang cukup besar untuk proses pengolahan sinyal di penerima.
4. Bandwidth yang cukup pada sinyal yang di deteksi, yang selanjutnya akan berhubungan

dengan level noise dan resolusi yang diinginkan.

*Clutter* pada GPR dapat didefinisikan sebagai sinyal diterima yang bukan berasal dari pantulan target. *Clutter* akan menyulitkan pendeteksian target, karena perlu dilakukannya *image processing* tingkat lanjut untuk membedakan target dengan *clutter*, sehingga diusahakan *clutter* seminimal mungkin.

*Footprint* didefinisikan sebagai distribusi dari nilai puncak ke puncak (*peak-to-peak*) dari gelombang yang ditransmisikan pada bidang horizontal di bawah permukaan tanah, yang menunjukkan bentuk dan ukuran dari daerah yang di scan oleh antena [3]. Hal yang diinginkan ialah ukuran dan bentuk *footprint* antena sebanding dengan targetnya untuk meningkatkan performansi dari GPR. Jika *footprint* antena terlalu lebar, ini memungkinkan terjadinya peningkatan *ground clutter*. Dengan demikian, *footprint* yang optimal akan meningkatkan penggambaran data GPR karena *ground clutter* yang diperkecil. Sebaliknya, jika *footprint* antena terlalu kecil, ini akan menghasilkan bentuk hiperbola yang terlalu kecil dalam radar B-scan sehingga tidak memungkinkan untuk dilakukan pendeteksian target [2].

Metode *finite-element* dan *finite-difference* merupakan metode diskritisasi lokal yang digunakan untuk menghasilkan nilai numerik kuantitas medan yang memberikan karakteristik beberapa kondisi fisik dalam ruang waktu. Metode ini sudah banyak dikembangkan untuk kondisi fisik yang memiliki kuantitas medan yang memenuhi sistem persamaan diferensial parsial yang dalam beberapa kasus ditambahkan oleh kondisi pelengkap (*boundary condition, causality condition, compatibility relation, dan semacamnya*). Nilai numerik yang relevan dibangun di dalam domain tertentu yang dibatasi dalam ruang waktu sehingga disebut domain komputasi.

Metode FDTD merupakan metode yang paling populer dan paling banyak digunakan dalam simulasi elektromagnetik, karena beberapa

keunggulan sebagai berikut :

1. FDTD bekerja pada domain waktu sehingga sangat efektif digunakan pada sistem yang menggunakan pulsa gaussian sebagai sumber eksitasi. Dengan metode ini rentang frekuensi bisa dipecahkan dengan sekali simulasi. FDTD tepat untuk sistem dimana frekuensi resonannya tidak diketahui secara eksak.
2. FDTD memungkinkan pengguna untuk mendefinisikan sifat material pada semua titik di dalam daerah simulasi.
3. FDTD bekerja pada rentang frekuensi yang sangat lebar, berbagai kondisi medium, objek, dan respon lokasi.
4. Memiliki fleksibilitas yang tinggi.

Sedangkan kelemahan dari metode FDTD yaitu

1. FDTD hanya bisa bekerja pada domain waktu.
2. Memerlukan resource komputer yang handal.

Timbulnya *staircase* pada sel yee yang dapat mengurangi keakuratan simulasi. Definisi yang dikeluarkan oleh *Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)* pada tahun 1990, *ultra wideband* merupakan sistem dan sinyal yang *fractional-bandwidth*-nya  $\geq 25\%$ .

$$\text{Fractional Bandwidth} = \frac{2(f_H - f_L)}{(f_H + f_L)} \geq 25\% \dots\dots\dots (1)$$

*Late-time ringing*, yang mengindikasikan karakteristik alami pada antena *narrow-band*, umumnya disebabkan oleh *multiple reflection* antara ujung antena dan *feed point*. Teknik yang paling banyak digunakan untuk memperbesar bandwidth antena (sehingga memperkecil *late-time ringing*) adalah aplikasi pembebanan resistif, yang disebut *Wu-King profile* [6], dapat digunakan untuk menentukan distribusi pembebanan di sepanjang antena.

Berdasarkan teorema Wu-King, pembebanan resistif berkelanjutan dengan nilai yang bervariasi didefinisikan :

$$f(z) = \frac{4\pi}{\zeta_0 \Psi} z^i(z) \dots\dots\dots (2)$$

$$f(z) = \frac{2}{h - |z|} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

- $\zeta_0$  = impedansi gelombang ruang bebas
- $\Psi$  = parameter ekspansi arus  $I_x(x)$  max
- $z^i(z)$  = internal impedansi / panjang
- $h$  = panjang lengan wire bowtie
- $z$  = jarak di sepanjang *drivepoint*.

dari kedua fungsi tersebut diperoleh:

$$z^i(z) = \frac{15\Psi}{h} \frac{1}{1 - \frac{|z|}{h}} \dots\dots\dots (4)$$

$$R^i(z) = \frac{15\Psi}{h} \frac{1}{1 - \frac{|z|}{h}} \dots\dots\dots (5)$$

untuk  $z=0$  maka

$$R^i(0) = \frac{15\Psi}{h} \dots\dots\dots (6)$$

$R^i(0)$  Persamaan di atas merupakan resistansi persatuan panjang pada *drivepoint*, sehingga diperoleh

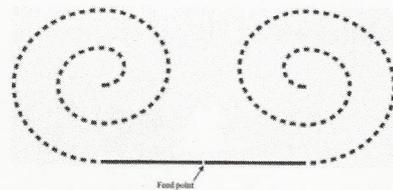
$$R^i(z) = \frac{R^i(0)}{1 - \frac{|z|}{h}} \dots\dots\dots (7)$$

Kerugian utama diterapkannya pembebanan resistif adalah bahwa pembebanan resistif ini menurunkan efisiensi radiasi sampai 23% bahkan bisa lebih rendah.

### 3. Perencanaan Sistem

Dalam penelitian ini, proses perancangan suatu sistem antenna GPR yang dapat menghasilkan beberapa *footprint* sehingga mendapatkan hasil pendeteksian yang optimum, digunakan sembilan

buah antenna yang identik. Selanjutnya, konfigurasi pencatuan antenna yang berbeda akan menghasilkan *footprint* yang berbeda. Dalam proses penyusunan antenna perlu diperhatikan jarak antar *feedpoint* antenna agar didapatkan suatu sistem antenna adaptif terhadap *footprint* yang optimal. Pada antenna GPR, pulsa yang dibangkitkan adalah pulsa monocycle dengan durasi 1.6 ns dan cocok untuk GPR dengan resolusi menengah.



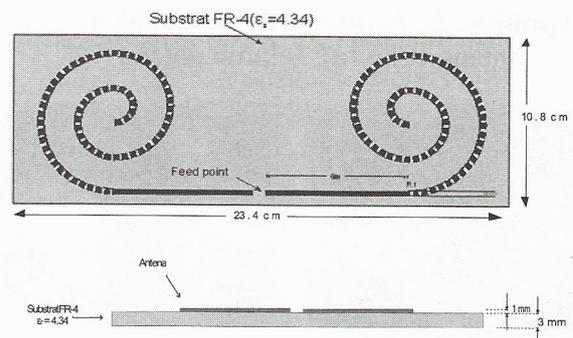
**Gambar 2.** Geometri antenna rolled-dipole

Panjang lengan dipole ( $l$ ):

$$2l = \frac{c_{subt}}{2f_c} \text{ dimana } c_{subt} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ maka}$$

$$l = \frac{c}{4\sqrt{\epsilon_r} f_c}$$

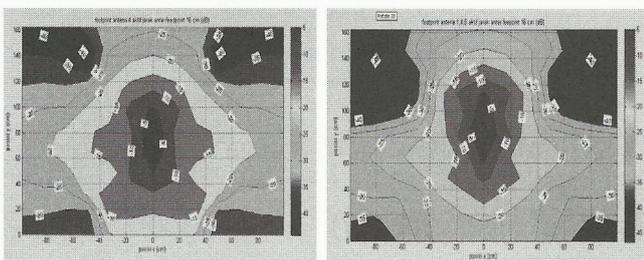
Dengan memasukkan nilai  $m/s$ ,  $f_c=600$  MHz, dan  $\epsilon_r = 4.34$  (dengan asumsi bahan substrat menggunakan FR-4). Maka didapat nilai sekitar 6 cm. Gambar desain antenna lebih detail dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



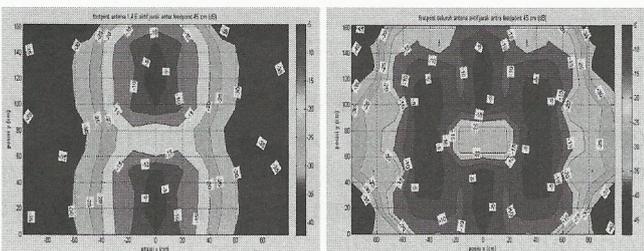
**Gambar 3.** Desain geometri antenna rolled-dipole (a) tampak depan, (b) tampak bawah

Dalam penelitian ini digunakan metode FDTD sebagai alat untuk analisis secara teoritis. Pada aplikasinya digunakan software FDTD-3D yang merupakan paket *three dimensional finite-difference time-domain* untuk menghitung medan elektromagnetik, yang ditulis dengan menggunakan bahasa C++. Paket ini digunakan untuk aplikasi yang umum tetapi memiliki beberapa kemampuan yang dikhususkan untuk aplikasi GPR.

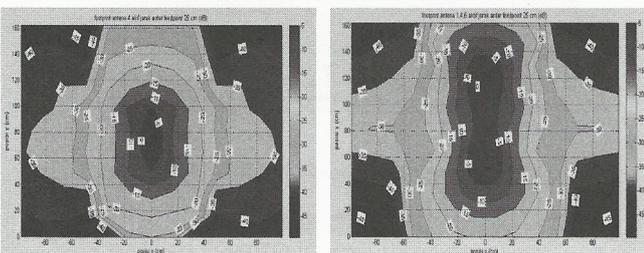
4. Pengukuran dan Hasil Simulasi



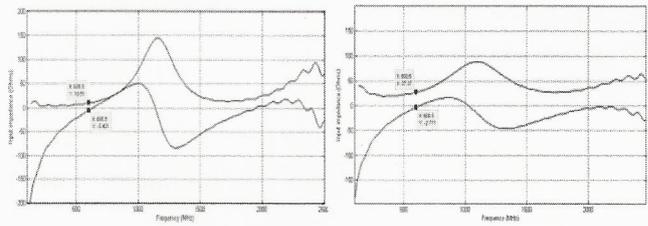
(a) (b)  
**Gambar 4.** Footprint dengan jarak 16 cm, antenna 4 (a), antenna 1,4,6 (b).



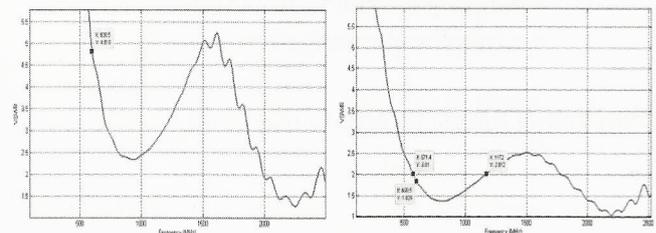
(a) (b)  
**Gambar 5.** Footprint dengan jarak 45 cm, antenna 1,4,6 (a), seluruh antenna (b).



(a) (b)  
**Gambar 6.** Footprint dengan jarak 25 cm, antenna 4 (a), antenna 1,4,6 (b).



**Gambar 7.** Impedansi input antenna, antenna dipole tanpa pembebanan resistif pada medium pasir kering (a), antenna *rolled-dipole* pada medium pasir kering (b)



**Gambar 8.** VSWR antenna dipole tanpa resistif pada medium pasir kering (a), antenna *rolled-dipole* (b)

Dari gambar 7. (a) dan (b) didapatkan nilai impedansi input antenna dipole tanpa pembebanan resistif adalah sebesar 10.51-j5.4 ohm dan nilai impedansi input antenna *rolled-dipole* adalah sebesar 27.37- j2.771 ohm. Dari nilai tersebut didapatkan nilai koefisien pantul untuk antenna dipole tanpa pembebanan resistif adalah sebesar 0.65. Dengan mengambil nilai VSWR maksimum 2, maka nilai maksimum koefisien pantul yang ditoleransi adalah sebesar 0.33. Apabila dibandingkan dengan nilai batas toleransi, maka nilai koefisien pantul pada antenna dipole tanpa pembebanan adalah sebesar 0.65, sehingga daya yang dipantulkan cukup besar dan dapat merusak perangkat seperti generator pulsa. Dari nilai impedansi input antenna *rolled-dipole* akan didapatkan nilai koefisien pantul sebesar 0.29. Nilai koefisien pantul tersebut masih dalam batas toleransi sehingga antenna dapat digunakan tanpa merusak perangkat sebelumnya.

Dari gambar 8. (a) dan gambar 8. (b) dapat diperhatikan nilai VSWR pada antenna dipole tanpa pembebanan resistif dan pada antenna *rolled-dipole*. Nilai VSWR antenna dipole tanpa pembebanan

resistif pada frekuensi 600 MHz sebesar 4.8 dan rentang frekuensi kerja 1986 MHz - 2431 MHz, sehingga antena tersebut tidak layak digunakan untuk transmisi pulsa dengan frekuensi tengah 600 MHz [5]. Dari sisi bandwidth, antena tersebut memiliki bandwidth sebesar 445 MHz. Sesuai persamaan (1) didapatkan nilai *fractional bandwidth* sebesar 0.2 sehingga tidak termasuk antena *ultra wideband* sebagai syarat untuk aplikasi *impulse* GPR. Dari gambar 8. (b) dapat diperhatikan nilai VSWR pada frekuensi 600 MHz adalah sebesar 1.835. Hal ini membuktikan bahwa antena *rolled-dipole* tersebut dapat mentransmisikan pulsa dengan frekuensi tengah sebesar 600 MHz dengan rentang frekuensi kerja 571.4 MHz - 1172 MHz. Dari sisi bandwidth, antena tersebut memiliki bandwidth sebesar 600.6 MHz dan *fractional bandwidth* sebesar 0.68, sehingga sudah tergolong antena *ultra wide band* dan mendukung aplikasi *impulse* GPR [4].

## 5. Kesimpulan

Setelah melakukan proses perancangan dan simulasi susunan antena GPR yang dapat menghasilkan beberapa *footprint*, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Antena *rolled-dipole* yang disimulasikan terbukti dapat mentransmisikan pulsa dengan frekuensi tengah 600 MHz dan merupakan antena *ultra wide band* dengan *fractional bandwidth* sebesar 0.68 pada VSWR maksimum sebesar 2 dan impedansi input sebesar 27.37-j2.771 ohm.
2. Pembebanan resistif yang diterapkan disepanjang lengan antena terbukti dapat menekan *late-time-ringing* sehingga efek *masking* pada objek yang dideteksi dapat dihindari.
3. Antena *rolled dipole array* dapat menghasilkan beberapa *footprint* yang berbeda sesuai elemen antena yang dicatu.
4. Jarak terbaik antar *feedpoint* antena terdekat pada antena *rolled-dipole array* dengan frekuensi 600 MHz adalah sebesar 25 cm atau sekitar setengah dari panjang gelombang.

Diperlukan software yang lebih handal dari FDTD-3D dalam pendefinisian geometri antena dan penggunaan komputer dengan spesifikasi yang tinggi untuk mempercepat simulasi antena.

## Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Program Kompetitif LIPI tahun anggaran 2008. Dalam kesempatan ini kami sampaikan ucapan terima kasih atas kesempatan yang diberikan untuk mempublikasikan hasil penelitian ini.

## 6. Daftar Pustaka

- [1]. D.J.Daniels, *Ground Penetrating Radar 2<sup>nd</sup> edition*, The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom.
- [2]. A.A. Lestari, *Antennas For Improved Ground Penetrating Radar: Modeling, Tools, Analysis And Design*, Ph.D. Dissertation, ISBN 90-76928-05-3, Delft University of Technology, The Netherlands, 2003.
- [3]. A. A. Lestari, A. G. Yarovoy, and L. P. Ligthart, "Numerical and experimental analysis of circular-end wire bow-tie antennas over a lossy ground," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 52, no. 1, pp. 2635, Jan.2004.
- [4]. A.A. Lestari, A.G. Yarovoy, L. P. Ligthart, *Adaptation Capabilities of a Wire Bow-Tie Antenna for GPR*, Delft University of Technology, The Netherlands.
- [5]. T.T.Wu, R.W.P.King, "The cylindrical antenna with non reflecting resistive loading", *IEE Trans.Antennas Propagat.*, vol.AP-13, no.5, pp.369-373, May 1965.
- [6]. J.G.Maloney, G.S.Smith, "A study of transient radiation from the Wu-King resistive monopole-FDTD analysis and experimental measurements", *IEEE Trans.Antennas Propagat.*, vol.41, no.5, pp.668-679, May 1993.

# Perancangan *Microstrip Branch Line Coupler* dengan T-Junction untuk *Mobile WiMAX* pada Frekuensi 2,3 GHz

Gunawan Wibisono dan Indah Riyanti

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Kampus Baru UI Depok, 16424, INDONESIA

Email: gunawan@ee.ui.ac.id

## Abstract

*Mobile WiMAX system in Indonesia operates at 2,3 GHz frequency by using Time Division Duplex (TDD) technology. In TDD, the transmitter and the receiver use the same single frequency band. In TDD, the important that must be considered is the separation between the transmitted signals with the received signals. The function of the coupler in RF WiMAX is to separate the transmitted signal to the received signal. At the branch line coupler there are two equal output values with the phase difference of 90°. The phase difference is used as the separator between the transmitter and the receiver. In this paper, a microstrip branch line coupler with a T-junction will be designed which is operated at 2,3 GHz frequency with two equal output values of -3dB and 90° phase differences. In this paper the length and width for each impedance line of the microstrip branch line coupler using FR4 substrate with a dielectric constant of 4,6 and a thickness of 1,6 mm are calculated. It is shown from the results that the microstrip branch line coupler operates at 2,300 GHz, the output port on port 2 is 2,754 dB and at port 3 is 3,298 dB, phase shift between the two output is 90,038°, the return loss is -30,689 dB, the isolation is -31,185 dB, the VSWR is 1,060, and the bandwidth is 200 MHz.*

**Keywords :** *Time Division Duplex, RF WiMAX, branch line coupler, microstrip branch line coupler, FR4*

## Abstrak

*Sistem Mobile WiMAX di Indonesia direncanakan bekerja pada frekuensi 2,3 GHz dengan menggunakan teknologi Time Division Duplex (TDD). Pada TDD, transmitter dan receiver menggunakan satu pita frekuensi yang sama. Hal yang harus diperhatikan pada TDD adalah pemisahan antara sinyal yang ditransmisikan dengan sinyal yang diterima. Fungsi coupler pada RF WiMAX dirancang sebagai pemisah sinyal yang ditransmisikan dengan yang diterima. Pada branch line coupler terdapat dua output yang bernilai sama besar dengan beda fasa sebesar 90°. Perbedaan fasa inilah yang digunakan sebagai pemisah antara transmitter dengan receiver. Pada penelitian ini dirancang microstrip branch line coupler dengan T-junction yang bekerja pada frekuensi 2,3 GHz dengan nilai kedua output sebesar 3dB dan beda fasa 90°. Tahapan yang dilakukan adalah merancang panjang dan lebar untuk setiap saluran impedansi pada microstrip branch line coupler dengan menggunakan substrat FR4 yang memiliki konstanta dielektrik sebesar 4,6 dengan ketebalan 1,6 mm. Dari hasil perancangan didapat frekuensi kerja dari microstrip branch line coupler adalah 2,300 GHz, output port pada port 2 adalah 2,754dB dan pada port 3 adalah 3,298, beda fasa kedua output sebesar 90,038°, besarnya return loss adalah -30,689 dB, isolasi sebesar -31,185 dB, VSWR sebesar 1,060, dan bandwidth sebesar 200MHz.*

**Kata kunci :** *Time Division Duplex, RF WiMAX, branch line coupler, microstrip branch line coupler, Fr4*

## 1. Pendahuluan

Permintaan pada suatu sistem global yang mendukung layanan multimedia interaktif seperti *teleconference, video streaming, wireless internet* telah mendorong lahirnya teknologi *Broadband Wireless Acces* (BWA) terbaru yaitu *WiMAX* yang dibangun berdasarkan standar *Institute of Electrical and Electronics Engineering* (IEEE) 802.16. *WiMAX* adalah teknologi *wireless broadband* yang sangat cocok untuk komunikasi

data karena mempunyai *bandwidth* yang lebar, *bit rate* yang besar dan cakupan area yang jauh. Saat ini teknologi *WiMAX* telah dikembangkan menjadi teknologi untuk komunikasi bergerak yang dinamakan *Mobile WiMAX*. Sistem *Mobile WiMAX* di Indonesia direncanakan bekerja pada frekuensi 2.3 GHz dengan menggunakan teknologi *Time Division Duplex* (TDD). *Transmitter* dan *receiver* pada RF *WiMAX* menggunakan frekuensi band yang sama atau *single carrier frequency*.

Antena yang digunakan pada WiMAX dapat digunakan sebagai *transmitter* maupun *receiver* [1-3]. Sehingga satu antenna dapat digunakan baik menerima atau mengirimkan sinyal. Properti penting pada *RF-front end* atau antena yang digunakan dalam suatu sistem dengan *single carrier frequency* adalah kemampuannya untuk memisahkan antara sinyal yang ditransmisikan dengan sinyal yang dikirimkan. Pada [2], *circulator* digunakan untuk mengisolasi sinyal yang ditransmisikan dengan sinyal yang diterima. Pada [4] disebutkan bahwa antena yang mengirimkan dan menerima gelombang dengan berbeda polarisasi adalah pilihan yang tepat untuk mendapatkan pemisah *transmitter* dan *receiver* pada kasus *single carrier frequency*. Pada [4] digunakan 3- dB *hybrid circuit* atau disebut *branch line coupler* sebagai pemisah antara *transmitter* dan *receiver*. Pada penelitian ini akan dibuat *microstrip branch line coupler* untuk aplikasi *mobile WiMAX* yang bekerja pada frekuensi 2.3 GHz. *Branch line coupler* ini pada RF WiMAX berguna sebagai pemisah antara *transmitter* dengan *receiver*. Dengan *branch line coupler*, *transmitter* dan *receiver* dipisahkan oleh perbedaan fasa antara keduanya. Jumlah *branch* pada penelitian ini adalah dua *branch*, dan pada rangkaian *branch line coupler* ditambahkan rangkaian *T-junction* yang berguna sebagai kompensasi *discontinuity* yang terjadi pada *microstrip*. Pada [5] disebutkan bahwa *T-junction* adalah komponen penting dalam mendesain *microstrip*.

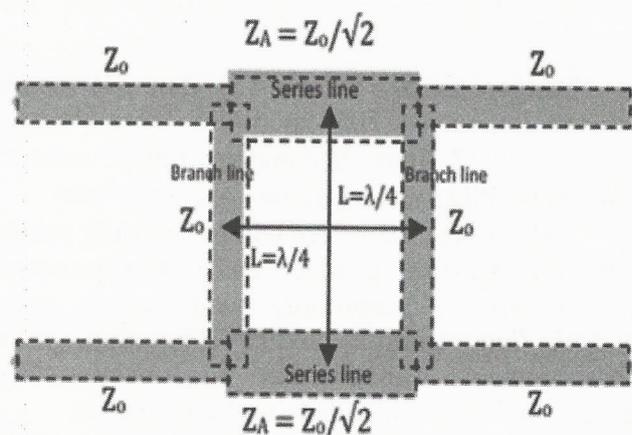
## 2. Perancangan Mikrostrip Branchline Coupler

Pada penelitian ini, jenis *coupler* yang akan dirancang adalah 3 dB *branch line coupler* yang merupakan salah satu jenis dari *hybrid coupler* untuk aplikasi pada CPE WiMAX. *Branch line coupler* memiliki empat *port*. *Port 1* adalah *input port*, *port 2* dan *3* adalah *output port*, dan *port 4* adalah *isolated port*. Properti dasar dari *branch line coupler* adalah membagi power *input* pada salah

satu *port* menjadi dua *output* yang sama besar dengan beda fasa +90° atau -90°. Perbedaan fasa kedua *output* inilah yang digunakan sebagai pemisah antara sinyal yang ditransmisikan dengan sinyal yang diterima.

Dalam merancang suatu *microstrip*, perlu ditentukan dulu jenis substrat yang digunakan, dimana pada penelitian ini substrat yang digunakan adalah FR4 (evoksi) yang memiliki konstanta dielektrik bahan  $r = 4,6$ . Ketebalan substrat yang akan dirancang adalah 1,6 mm.

Gambar 1 menunjukkan rancangan awal dari *microstrip branch line coupler*.



Gambar 1 : Rancangan *microstrip line coupler*

Besarnya saluran impedansi untuk  $Z_0$  adalah  $50\Omega$  dan untuk  $Z_0/\sqrt{2}$  adalah  $35\Omega$ . Selanjutnya saluran impedansi ini diubah kedalam satuan panjang dan lebar. Dimensi *length* ( $L$ ) pada *coupler* pada *branch line* dan *series line* biasanya dipilih  $1/4$  dari desain *wavelength*-nya atau disebut *quarter wavelength* ( $L = \lambda/4$ ), ditunjukkan seperti pada Gambar 1.

*Quarter wavelength* dapat dicari dengan menggunakan

$$\lambda_g = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r} f} \tag{1}$$

$$L = \frac{\lambda_g}{4} \tag{2}$$

Dengan menggunakan (1) dan (2) didapat besarnya *quarter wavelength* adalah 15,2 mm. *Quarter wavelength* ini menunjukkan panjang pada saluran impedansi untuk 50 Ω dan 35 Ω ( $L_{50\Omega}$  dan  $L_{35\Omega}$ ) atau  $L_{50\Omega} = L_{35\Omega} = L$ .

Untuk menghitung lebar dari masing-masing karakteristik impedansi ( $W_{50\Omega}$  dan  $W_{35\Omega}$ ) dapat dicari dengan persamaan :

$$\frac{W}{d} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \tag{3}$$

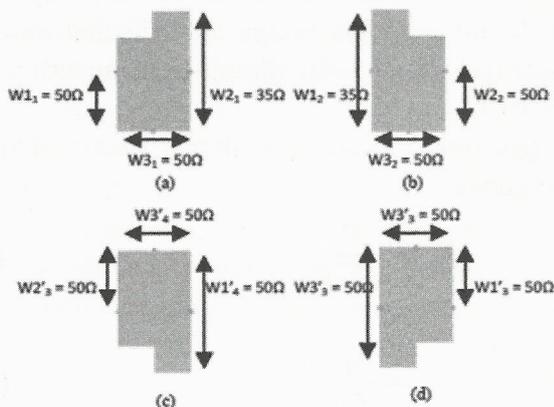
dimana besarnya A sesuai persamaan :

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left\{ 0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right\} \tag{4}$$

Dengan menggunakan (3) dan (4) untuk saluran impedansi 50Ω memiliki lebar ( $W_{50\Omega}$ ) sebesar 2,952 mm Sedangkan untuk saluran impedansi 35Ω memiliki lebar ( $W_{35\Omega}$ ) 5.14 mm.

Pada desain *microstrip* komponen yang paling penting adalah penambahan kompensasi *discontinuity*. *Discontinuity* yang terjadi pada *branch line coupler* adalah T-junction, yaitu persimpangan dimana dua transmission line dengan beda saluran impedansi digabungkan.

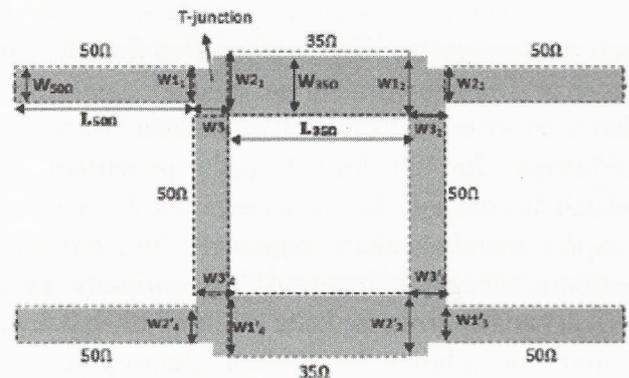
Pada penelitian ini *T-junction* diletakkan pada persimpangan antara saluran impedansi 50Ω dan 35Ω. Pada Gambar 1. Dapat dilihat ada empat persimpangan antara saluran impedansi 50Ω dan 35Ω, sehingga ada empat jenis *T-junction* yang digunakan. Gambar 2. Menunjukkan empat geometri *T-junction* yang digunakan pada penelitian ini.



**Gambar 2 :** Geometri dari *T-junction* yang digunakan. (a). *T-junction* dengan  $W_{1_1} = 50\Omega$ ,  $W_{2_1} = 35\Omega$ ,  $W_{3_1} = 50\Omega$ . (b). *T-junction* dengan  $W_{1_2} = 35\Omega$ ,  $W_{2_2} = 50\Omega$ ,  $W_{3_2} = 50\Omega$ . (c). *T-junction* dengan  $W_{1'_4} = 35\Omega$ ,  $W_{2'_4} = 50\Omega$ ,  $W_{3'_4} = 50\Omega$ . (d). *T-junction* dengan  $W_{1'_3} = 50\Omega$ ,  $W_{2'_3} = 35\Omega$ ,  $W_{3'_3} = 50\Omega$ .

Rangkaian ekivalen untuk *T-junction discontinuity* yang ditambahkan pada rangkaian *microstrip branch line coupler* ditunjukkan oleh Gambar 2. Besarnya lebar ( $W_1$ ,  $W_2$ , dan  $W_3$ ) Tjunction pada Gambar 2. dapat dicari dengan menggunakan (3) dan (4). Besarnya lebar untuk 50Ω adalah 2,952 mm dan untuk 35Ω adalah 5,14 mm. Selanjutnya *T-junction* ini diletakkan pada persimpangan antara dua saluran impedansi pada *branch line coupler* yaitu antara 50 Ω line dengan 35 Ω line.

Gambar 3. menunjukkan rangkaian *microstrip branch line coupler* dengan penambahan T-junction.



**Gambar 3 :** Rangkaian *microstrip branch line coupler* dengan *T-junction*

Rancangan final desain *microstrip branch line coupler* memiliki parameter fisik untuk masing-masing saluran impedansi dan *T-junction* yaitu :

50Ω Line :  $W_{50\Omega} : 2,952$  mm

$L_{50\Omega} : 16,34$  mm

35Ω Line :  $W_{35\Omega} : 5,14$  mm

$L_{50\Omega} : 15,2$  mm

*T-junction* : {  $W_{1_1} : 2,952$  mm;  $W_{2_1} : 5,14$  mm;

$W3_1 : 2,952 \text{ mm}$  }  $\{ W1_2 : 5,14 \text{ mm}; W2_2 : 2,952 \text{ mm};$   
 $W3_2 : 2,952 \text{ mm}$  }  $\{ W1'_3 : 2,952 \text{ mm}; W2'_3 : 5,14$   
 $\text{mm}; W3'_3 : 2,952 \text{ mm}$  } {  $W1'_4 : 5,14 \text{ mm};$   
 $W2'_4 : 2,952 \text{ mm}; W3'_4 : 2,952 \text{ mm}$  }

Selanjutnya rancangan *microstrip branch line coupler* dengan parameter fisik tersebut disimulasikan dengan bantuan *software Advanced Design System*.

### 3. Hasil Simulasi dan Analisa Mikrostrip Branchline Coupler

#### 3.1 Simulasi Dengan Substrat Fr4

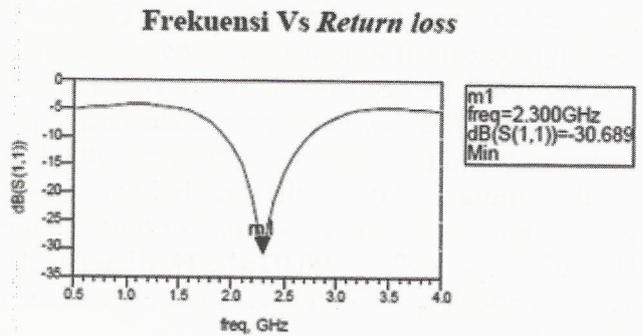
Pada simulasi ini ada beberapa parameter yang dilihat untuk mengetahui apakah *microstrip branch line coupler* yang dibuat sudah sesuai dengan yang diinginkan. Parameter tersebut adalah:

- a. Frekuensi kerja: 2,3 Ghz
- b. Output Port :
  - i. Through Port (port 2) : - 3 dB
  - ii. Coupled Port (port 3) : - 3 dB
  - iii. Beda Fasa Keduanya : +90° atau -90°
- c. VSWR : 1 2
- d. Return loss (S11) dan Isolasi (S14) : lebih baik dari 20 dB
- e. Bandwidth : 100 Mhz

#### A. Frekuensi kerja

Frekuensi kerja menunjukkan *microstrip branch line coupler* bekerja pada frekuensi berapa. Parameter yang digunakan untuk melihat frekuensi kerja dari *microstrip branch line coupler* adalah S11 (Return loss).

Dari hasil plot grafik, titik terendah dan tercuram dari plot S11 menunjukkan frekuensi kerja dari *coupler*. Gambar 4. menunjukkan hasil simulasi *return loss* dari *microstrip branch line coupler*. Dari hasil simulasi didapat frekuensi kerja adalah 2,300 GHz. Hasil yang didapat sudah memenuhi target yang diharapkan.

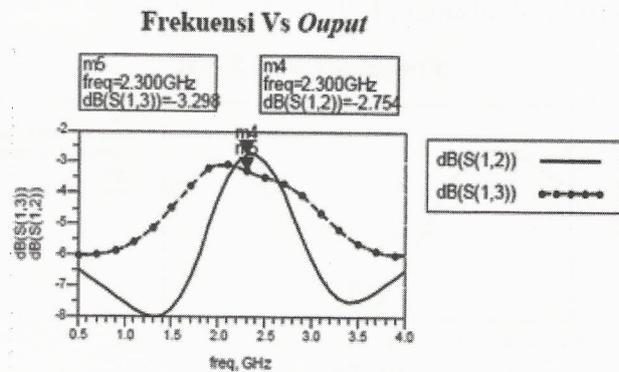


Gambar 4 : Hasil simulasi Return Loss

#### B. Output Port

Through Port dan Coupled Port bernilai 3 dB. Output port dari *branch line coupler* ditunjukkan oleh parameter S12 dan S13. Karena yang dirancang adalah *branch line coupler*, besarnya nilai yang diinginkan untuk kedua output ini adalah sama besar yaitu 3dB, dimana 3dB ini menunjukkan kedua output bernilai setengah dari power input.

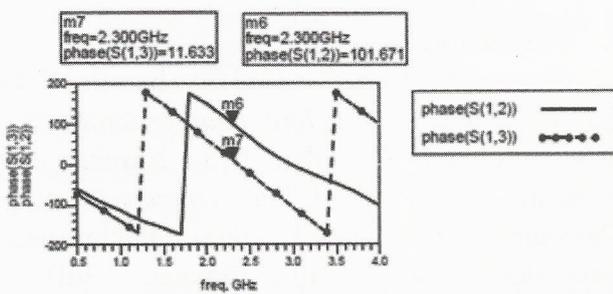
Besarnya output dilihat dari frekuensi kerja *microstrip branch line coupler* yaitu pada 2,300 GHz. Dari hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 5. dapat dilihat bahwa besarnya output pada port 2 (S12) adalah -2,754 dB dan output pada port 3 (S13) adalah -3,298 dB. Sedangkan secara teori pada *branch line coupler* besarnya kedua outputnya bernilai sama besar yaitu 3dB Adanya pembulatan nilai pada perhitungan dimensi dari *microstrip* dan penambahan *T-junction* menyebabkan kedua output tidak tepat -3 dB.



Gambar 5 : Hasil simulasi output port

Kedua *Output* berbeda fasa 90°. Gambar 6. menunjukkan hasil simulasi *microstrip branch line coupler* untuk perbedaan fasa antara kedua *output*. Pada *branch line coupler*, perbedaan fasa antara kedua *output* adalah sebesar +90° atau -90°. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa bahwa perbedaan fasa antara kedua *output* adalah (101,671° - 11,633° = 90,038°). Hasil ini sudah sangat mendekati dengan hasil yang ingin dicapai yaitu ±90°.

Frekuensi Vs Fasa Output

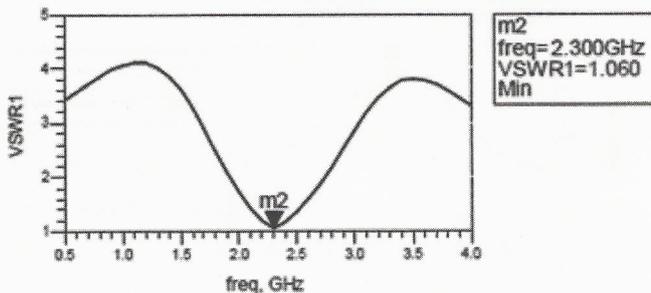


Gambar 6 : Hasil simulasi fasa output

C. Voltage Standing Wave Ratio

Ketika merancang suatu rangkaian yang bekerja pada frekuensi tinggi, maka perlu diperhatikan suatu parameter yang dinamakan *Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)* yang berhubungan dengan kualitas dari sinyal yang diperoleh oleh beban. Pada frekuensi tinggi, jika rangkaian tersebut tidak memiliki nilai VSWR yang bagus atau idealnya adalah bernilai 1, maka akan terjadi gelombang pantul yang seharusnya gelombang tersebut diterima oleh beban. Secara teori, seharusnya nilai dari VSWR yang dihasilkan bernilai ideal antara 1-2.

Frekuensi Vs VSWR



Gambar 7 : Hasil simulasi VSWR

Dari hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 7. dapat dilihat bahwa hasil VSWR adalah 1,060 pada frekuensi 2,300 GHz. Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi ini pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu nilai standar VSWR yang diijinkan untuk fabrikasi adalah  $VSWR \leq 2$ . Sehingga hasil simulasi VSWR untuk *microstrip branch line coupler* yang dirancang sudah bagus.

Besarnya koefisien refleksi pada *branch line coupler* dapat dicari dengan menggunakan:

$$\Gamma_{IN} = \frac{\Gamma_e + \Gamma_o}{2} \tag{5}$$

Dari hasil perhitungan didapat  $\Gamma_e = 0,036$  dan  $\Gamma_o = 0,01309$ . Sehingga besarnya  $\Gamma_{in} = 0,0245$ . Dan dengan menggunakan (6) didapat VSWR yaitu :

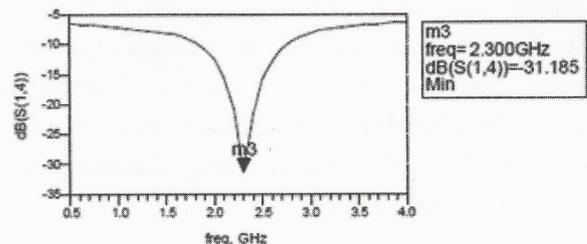
$$S = \frac{|\tilde{V}|_{max}}{|\tilde{V}|_{min}} = \frac{1 + |\Gamma_{IN}|}{1 - |\Gamma_{IN}|} \tag{6}$$

Didapat besarnya VSWR adalah 1,050. Ternyata hasil VSWR menggunakan perhitungan manual dengan hasil simulasi tidak berbeda jauh. Perbedaannya hanya kecil sekali. Hasil manual adalah 1,050 sedangkan hasil simulasi 1,060.

D. Return loss (S11) dan Isolation (S14)

*Return loss* adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return loss* digambarkan sebagai peningkatan amplitudo dari gelombang yang direfleksikan ( $V_o^-$ ) dibanding dengan gelombang yang dikirim ( $V_o^+$ ).

Frekuensi Vs Isolation



Gambar 8 : Hasil simulasi isolation

Gambar 8. menunjukkan hasil simulasi dari *return loss* yaitu sebesar -30,689 dB. Pada *branch line coupler*, nilai *return loss* yang baik adalah di bawah -20 dB. Sehingga dari hasil simulasi nilai *return loss* pada microstrip *branch line coupler* yang dirancang sudah baik. Besarnya *return loss* dapat dihitung dengan menggunakan :

$$Return Loss (RL) = 20 \log_{10} | \Gamma_{IN} | \quad (7)$$

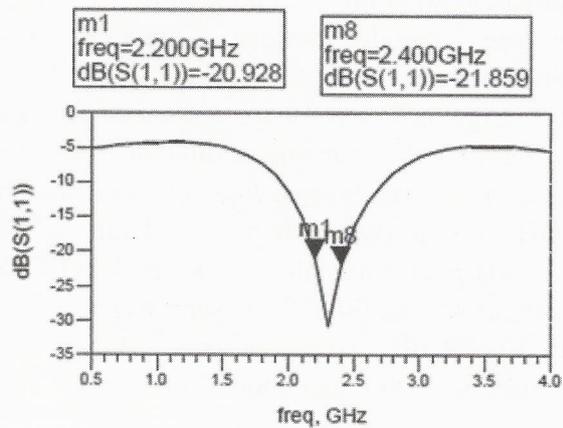
Besarnya *return loss* hasil simulasi adalah sebesar -30,689 dB dan dengan menggunakan perhitungan manual adalah -32,22 dB. Terdapat perbedaan 2 dB antara hasil perhitungan manual dengan simulasi. Hal ini menunjukkan pada simulasi terdapat daya yang direfleksikan kembali ke sumber.

Isolasi dapat didefinisikan sebagai perbedaan pada sinyal level dalam dB antara *input port* dan *isolated port*. Isolation juga dapat didefinisikan sebagai hubungan antara dua *output port*. Isolasi harus sebaik mungkin, agar tidak ada power pada *port 1* yang keluar ke *port 4* dan power pada *port 2* keluar ke *port 3*. Dari hasil simulasi besarnya Isolasi adalah -31,185 dB. Hasil ini sudah cukup baik karena pada *branch line coupler*, *isolation* yang baik adalah lebih kecil dari -20 dB.

**E. Bandwidth**

*Bandwidth* dari *branch line coupler* dapat dilihat dari Gambar 9. yaitu dengan menarik garis di 20 dB pada respon (S11)[10]. Besarnya kurang lebih adalah 200 MHz. Hasil ini sudah sangat mencukupi untuk kebutuhan *bandwidth* pada WiMAX yaitu sebesar 100 MHz.

**Frekuensi Vs Return loss untuk melihat bandwidth**



**Gambar 9 :** Hasil simulasi *return loss* untuk *bandwidth*

**3.2 Perbandingan Dimensi Microstrip Branch line coupler Menggunakan Substrat Lain**

Dengan melihat (1) untuk persamaan wavelength dan (2) untuk persamaan *quarter wavelength* dapat dilihat bahwa dimensi dari *microstrip branch line coupler* dipengaruhi oleh jenis substrat yang digunakan. Dari (1), terlihat bahwa konstanta dielektrik dari substrat yang digunakan ( $\epsilon_r$ ) berbanding terbalik dengan wavelength ( $\lambda_g$ ). Semakin besar konstanta dielektrik yang digunakan, semakin kecil dimensi dari *microstrip*. Begitu pula sebaliknya semakin kecil konstanta dielektrik yang digunakan, semakin besar dimensi dari *microstrip*.

**Tabel 1 :** Perbandingan dimensi *microstrip branch line coupler* dengan menggunakan substrat yang berbeda

No	Substrat	$\epsilon_r$	$W_{50\Omega}$	$L_{50\Omega}$	$W_{15\Omega}$	$L_{15\Omega}$
1	Di-clad 522	2,6	4,5 mm	20,225 mm	7,74 mm	20,225 mm
2	FR4	4,6	2,952 mm	15,2 mm	5,14 mm	15,2 mm
3	Alumina	9,8	1,572 mm	10,5 mm	2,976 mm	10,5 mm

#### 4. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dirancang *microstrip branch line coupler* dengan *T-junction* yang didesain untuk bekerja pada frekuensi 2,3 GHz dengan menggunakan *software Advanced Design System*. Dari hasil perancangan didapat frekuensi kerja dari *microstrip branch line coupler* adalah 2,300 GHz, *output port* pada *port 2* adalah 2,754 dB dan pada *port 3* adalah 3,298 dB, beda fasa kedua *output* sebesar  $90,038^\circ$ , besarnya *return loss* adalah -30,689 dB, isolasi sebesar -31,185 dB, VSWR sebesar 1,060, dan bandwidth sebesar 200 Mhz.

Dari hasil perancangan yang didapat, *microstrip branch line coupler* yang dirancang sudah baik karena sudah mendekati spesifikasi-spesifikasi yang diharapkan. Dimensi dari *microstrip branch line coupler* dipengaruhi oleh jenis substrat yang digunakan. Konstanta dielektrik dari substrat yang digunakan ( $\epsilon_r$ ) berbanding terbalik dengan *wavelength* ( $\lambda_g$ ) yang mempengaruhi dimensi dari *microstrip*.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Balvinder Bisla, Roger Eline, Luiz M. Franca-Neto, "RF System and Circuit Challenges for WiMAX." Intel Communication Group, Intel Corporation.
- [2] Teng Zhao, Jianyo Zhou, Jianfeng Zhai, "Design of a High Performance Compact RF Transceiver for WiMAX Acces Points." IEEE.2009.
- [3] Jun-Wen Zhang, Chang-Tao Wang. "RFTransceiver of WiMAX Base Station for 802.16d." Jushri Technilogies, Inc. IEEE. 2008.
- [4] Lukas W. Mayer, Arpad L. Scholtz. "Circularly Polarized Patch Antenna with High Tx/Rx-Separation." Vienna University of Techonology.IEEE.2009.
- [5] Murshed Alam, Donald Eastman, Jason Mcgraw, Wai Tung. "The Barnch-Line Couple."

# Simulasi dan Pengukuran Patch Array Mikrostrip Antenna

Mashury Wahab, Yuyu Wahyu, Purwoko Adhi dan Daday Ruhiyat  
Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi  
Kampus LIPI Gd. 20 Lt. 4, Jl. Sangkuriang Bandung INDONESIA  
Telp. 022 2504660 Fax. 022 2504659  
mashury@ppet.lipi.go.id

## Abstract

*Design of patch microstrip antenna is presented in this paper. There are 8 patches in each module. These modules will be combined to form an array of 8 modules. Thus, there are 64 patches in total. The simulation results will be compared with the measurement of vertical and horizontal radiation patterns. The differences will be analysed. The measurement results show that there is a small discrepancy between the simulated and measurement results, .i.e., about 0.2 degree difference for the beamwidth.*

**Keywords:** design, patch array, microstrip, measurement, radiation pattern, horizontal, vertical.

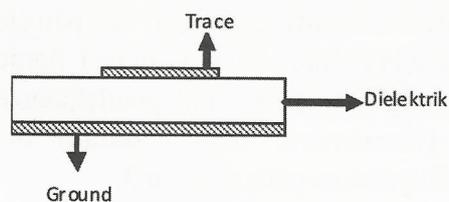
## Abstrak

*Perancangan modul antena mikrostrip yang berupa patch array disampaikan dalam makalah ini. Terdapat 8 patches dalam setiap modul. Modul-modul ini dikombinasikan membentuk satu array yang terdiri dari 8 modul. Jadi ada total 64 patches. Hasil simulasi ini akan dibandingkan dengan hasil pengukuran pola radiasi horizontal dan vertikal dari antena. Perbedaan-perbedaan yang terjadi di-analisa. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa hanya sedikit perbedaan antara hasil simulasi dengan pengukuran di laboratorium dan di lapangan (~0,2 derajat untuk lebar berkas antenanya).*

**Kata Kunci:** perancangan, patch array, mikrostrip, pengukuran, pola radiasi, horizontal, vertikal.

## 1. Pendahuluan

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang berbentuk papan (board) tipis dan mampu bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi [1-5]. Secara fisik antena ini terlihat sederhana karena hanya berupa lempengan semacam PCB yang cukup dikenal dalam dunia elektronika. Antena mikrostrip dibuat dengan menggunakan sebuah substrat yang mempunyai tiga buah lapisan struktur sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1 berikut ini:



**Gambar 1:** Struktur substrat.

Pada gambar 1, lapisan-lapisan pada substrat adalah:

- a. Trace  
Merupakan lapisan teratas dari substrat, lapisan ini biasanya terbuat dari konduktor. Pada lapisan ini akan dibentuk menjadi suatu bentuk tertentu untuk mendapatkan suatu pola radiasi seperti yang diinginkan.
- b. Dielektrik  
Bagian tengah dari substrat, pada lapisan ini digunakan bahan dielektrik.
- c. Ground  
Lapisan paling bawah dari substrat. Seperti pada lapisan trace lapisan ini juga digunakan bahan konduktor.

Pola-pola pada lapisan mikrostrip yang digambarkan/plot biasa disebut *patch*. Untuk

mempermudah dalam proses analisis dan prediksi dari kinerja antena mikrostrip, *patch* yang dibuat memiliki bentuk geometris sederhana, misalkan lingkaran, persegi panjang, segitiga atau bentuk lainnya [1-5]. Kelebihan antena mikrostrip [1-5]:

- Mempunyai penampang yang tipis
- Ukuran yang ringan
- Mudah dalam pembuatannya
- Dapat diintegrasikan langsung
- Dapat dibuat untuk dual atau triple frekuensi

Kekurangan antena mikrostrip [1-5]:

- Efisiensi yang rendah
- Bandwidth yang sempit
- Kecilnya alat mengakibatkan perlu ketelitian yang tinggi dalam perancangan

Dalam penelitian ini kami melakukan rancang bangun antena patch yang berbasis mikrostrip untuk aplikasi pada Radar FM-CW milik PPET-LIPI. Pelaksanaan penelitian dimulai dengan penentuan spesifikasi, desain, simulasi, implementasi, dan pengukuran di dalam EMC (electromagnetic compatibility) chamber dan juga dilapangan (*outdoor*). Kemudian, hasil simulasi menggunakan perangkat lunak perancangan akan dibandingkan dengan hasil pengukuran.

## 2. Spesifikasi Antena

Dalam penelitian ini, spesifikasi antena yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

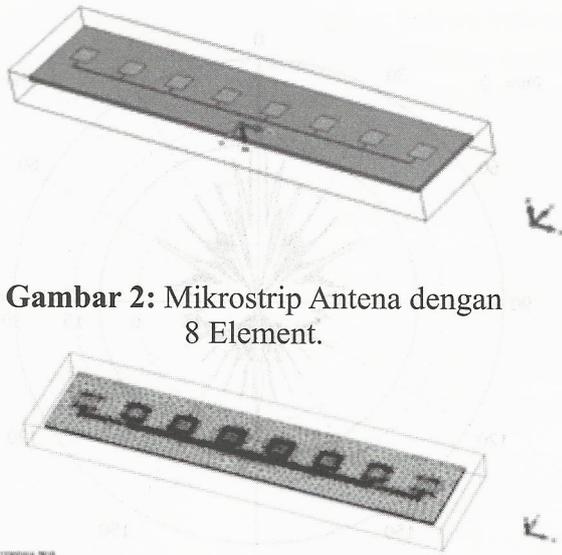
- Mikrostrip patch arrays antenna dengan rectangular patch elements.
- Antenna dengan *flares* untuk mengurangi *vertical beamwidth*.
- Sistem modular.
- Dua set antennas untuk memancarkan dan menerima.
- Horizontal beamwidth:  $\sim 0.6$ .
- Vertical beamwidth: 12.
- Polarization: horizontal.
- Antenna harus memiliki ukuran kecil dan ringan.

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah [6-9]:

- Studi pustaka dan pengkajian tentang jenis antena, bentuk, kinerja dan spesifikasi antena yang sudah ada (eksperimen dan di-industri).
- Penentuan spesifikasi dari antena.
- Pembuatan desain dari antena dengan pola patch tertentu untuk aplikasi pada mikrostrip dengan bahan substrat *Rogers*.
- Melakukan simulasi dan verifikasi desain menggunakan perangkat lunak CST (computer simulation technology) untuk masing-masing modul antena dan juga untuk seluruh delapan modul.
- Melakukan implementasi desain pada substrat.
- Melakukan pemasangan modul-modul antena pada sistem Radar.
- Melakukan pengujian dan pengukuran didalam EMC chamber untuk pola radiasi vertikal dan dilapangan untuk pola radiasi horisontal karena ketentuan jarak pengukuran yang harus minimal  $\sim 150$  meter.
- Membandingkan dan menganalisis perbedaan antara hasil simulasi dan pengukuran.

## 3. Simulasi

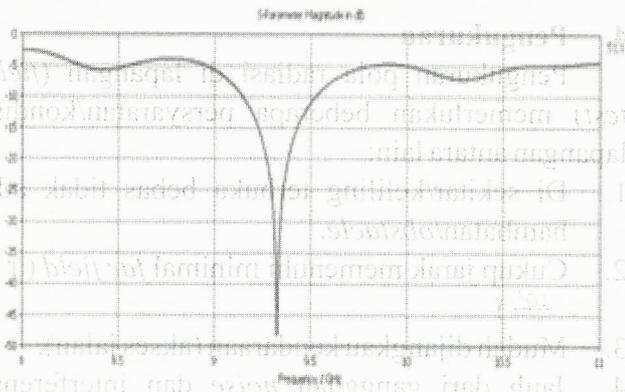
Pada bab ini kami memaparkan tentang hasil simulasi yang telah dilakukan untuk satu modul antena dan juga untuk keseluruhan delapan modul menggunakan perangkat lunak CST Studio Suite [9]. Parameter yang disajikan adalah berupa S11, gain antena pada situasi *farfield*, dan juga pola radiasi pada *farfield*. Gambar 2 menyatakan desain satu modul antena yang terdiri dari delapan element *patches* yang berbentuk kotak (*square*). Sementara pola-pola yang digunakan untuk pendekatan dalam simulasi (tetrahedral mesh) dalam domain frekuensi dinyatakan pada gambar 3.



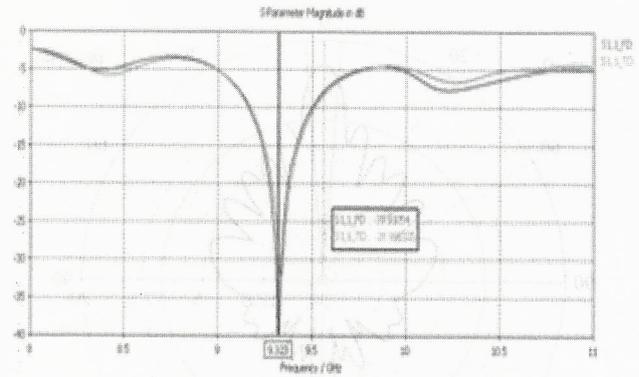
**Gambar 2:** Mikrostrip Antena dengan 8 Element.

**Gambar 3:** Simulasi dengan tetrahedral mesh dan frequency solver.

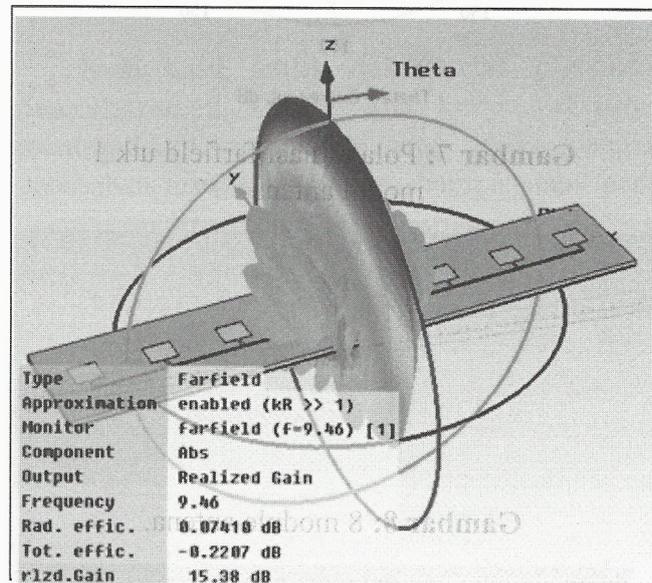
Hasil simulasi untuk parameter S11 (*return loss*) dinyatakan pada gambar 4. Perhatian ditujukan untuk daerah frekuensi kerja 9,37 GHz - 9,43 GHz. Berdasarkan simulasi, ternyata daerah frekuensi tengahnya dengan kinerja optimum adalah pada sekitar 9,36 GHz (bukan 9,4 GHz seperti yang diharapkan). Pada gambar 4, S11 mencapai nilai minimum pada -48 dB pada frekuensi 9,36 GHz. Perbandingan simulasi menggunakan domain waktu (transient solver) dan domain frekuensi (frequency solver) disampaikan pada gambar 5, dimana keduanya memiliki kinerja yang hampir sama tetapi proses simulasi dalam domain waktu jauh lebih cepat.



**Gambar 4:** Hasil simulasi return loss S11.

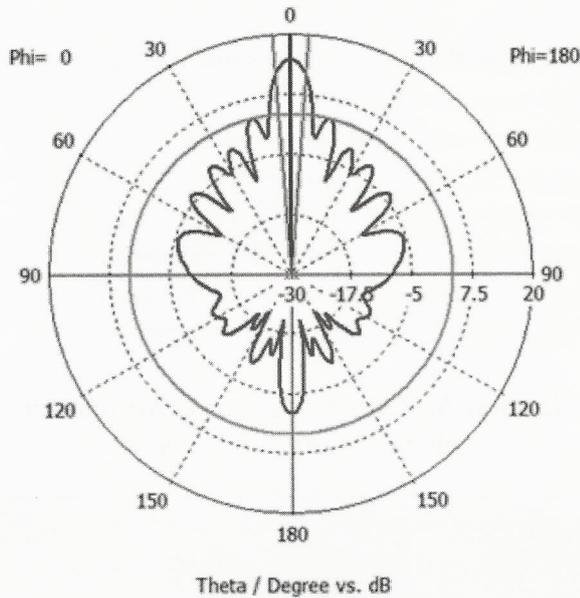


**Gambar 5:** Perbandingan S11 dari transient solver dan frequency solver.

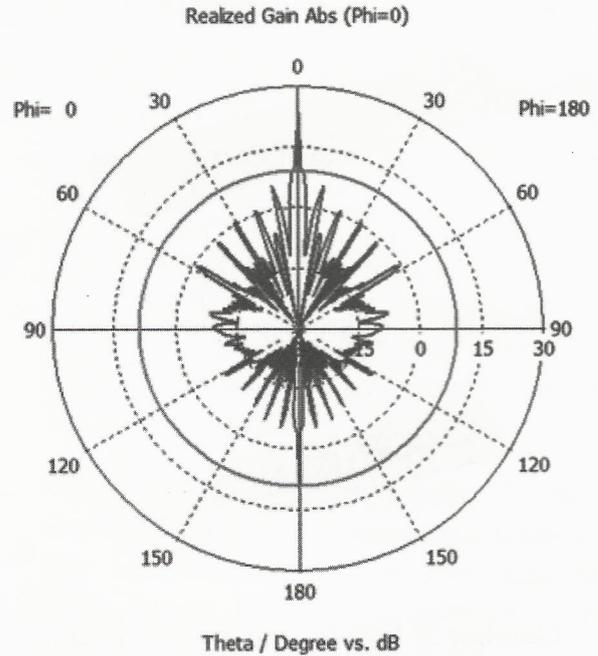


**Gambar 6:** Simulasi farfield pada 9.46 Ghz.

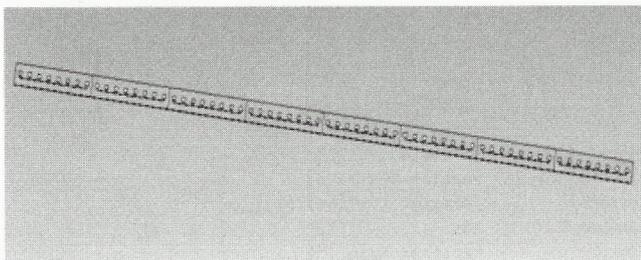
Gambar 6 menyatakan simulasi tiga dimensi (3D) medan jauh (farfield) dari satu modul antena, dimana diperoleh nilai penguatan (gain) antena sebesar 15.38 dB. Pola radiasi antena dipresentasikan pada gambar 7, dimana diperoleh lebar berkas (beamwidth) sebesar 2,5 derajat dan perbedaan *main lobe* dengan 1<sup>st</sup> *side lobes* sekitar 10 dB.



Gambar 7: Pola radiasi farfield utk 1 modul antenna.

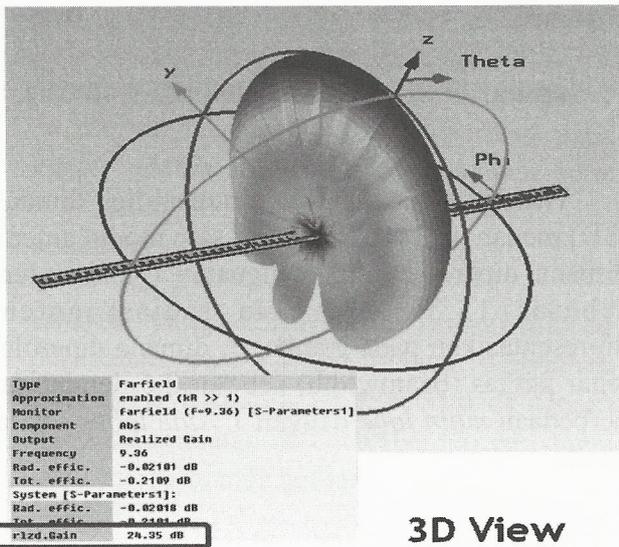


Gambar 10: Pola radiasi u/ 8 modul (f=9.36 Ghz).



Gambar 8: 8 module antenna.

Desain antenna keseluruhan yang terdiri dari 8 modul antenna dengan total jumlah patch 64 buah disampaikan pada gambar 8. Hasil simulasi 3D untuk 8 modul antenna dipresentasikan pada gambar 9, dimana diperoleh nilai penguatan (gain) antenna sekitar 24 dB dengan berkas antenna yang lebih terfokus. Pola radiasi 8 modul antenna ini dinyatakan pada Gambar 10, dimana lebar berkas (beamwidth) menjadi sekitar 1 derajat dan perbedaan main lobe dengan 1<sup>st</sup> side lobes sekitar 20 dB.



Gambar 9: Simulasi farfield pada 9.36 Ghz.

#### 4. Pengukuran

Pengukuran pola radiasi di lapangan (*field test*) memerlukan beberapa persyaratan/kondisi lapangan antara lain:

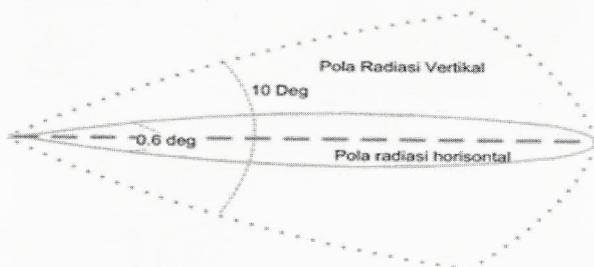
1. Di sekitar/keliling terbuka bebas tidak ada hambatan/*obstacle*.
2. Cukup jarak memenuhi minimal *far field* ( $r > \frac{2D^2}{\lambda}$ )
3. Mudah dijangkau kendaraan (akses jalan).
4. Jauh dari gangguan *noise* dan interferensi antara lain *High Voltage Power Line*, lintasan

microwave dsb.

Peralatan yang dibutuhkan :

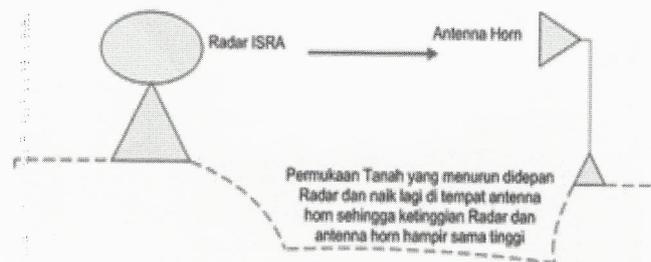
- *Spectrum Analyzer.*
- *Power Meter.*
- *Power supply.*
- *Horn Antenna.*
- *LNA 9.4 Ghz.*
- *Power Amplifier (9.4 Ghz).*
- *Antenna Switch.*
- *Kamera Video.*
- *Kamera Foto.*
- *Aksesoris : Perkabelan, konektor dll.*

Antena Radar memiliki pola radiasi (*antenna radiation pattern*) horizontal dan vertikal, sebagaimana diperlihatkan pada gambar 11 berikut:



**Gambar 11:** Pola Radiasi Horisontal (H-plane) dan Vertikal (E-plane).

Pengukuran pola radiasi horizontal antenna harus dilakukan diluar lapangan dikarenakan perhitungan jarak medan jauh (*far field*) =  $2D^2/\lambda$ , dimana D adalah panjang antenna dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang. Untuk Radar ISRA dengan  $D = 156$  cm dan  $\lambda = 3.19$  cm maka daerah medan-jauh dimulai pada jarak perkiraan 152 m. Jadi, tidak dimungkinkan diukur didalam laboratorium dengan jarak kurang dari 152 m antara Radar ISRA (sebagai pemancar) dan antenna horn (sebagai penerima). Selain itu perlu diperhatikan bahwa dalam pengukuran pola radiasi ini diperlukan pemilihan lokasi dengan ground refleksi dan gangguan lingkungan yang minimal, sebagaimana terlihat pada gambar 12 berikut:



**Gambar 12:** Kontour lokasi pengukuran pola radiasi horizontal antenna di lapangan.

Pengukuran dilaksanakan menggunakan antenna wifi dan *boosternya* pada sisi Radar dan remote untuk mengirimkan posisi sudut ke komputer disisi remote yang juga merekam hasil penerimaan antenna horn yang telah dikonversi ke data digital, seperti ditunjukkan pada gambar 13 dan 14. Pengukuran ini sangat cepat (< 2 jam) dan sudah dapat melihat hasilnya secara langsung setelah datanya dikonversi ke format Excel (.xls).

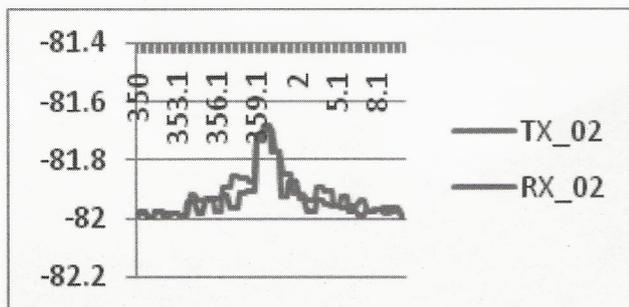


**Gambar 13:** Radar ISRA dengan Wifi booster mengarah ke sisi remote.



**Gambar 14:** Komputer pada sisi remote menerima data posisi sudut motor dan level pancaran antenna Radar

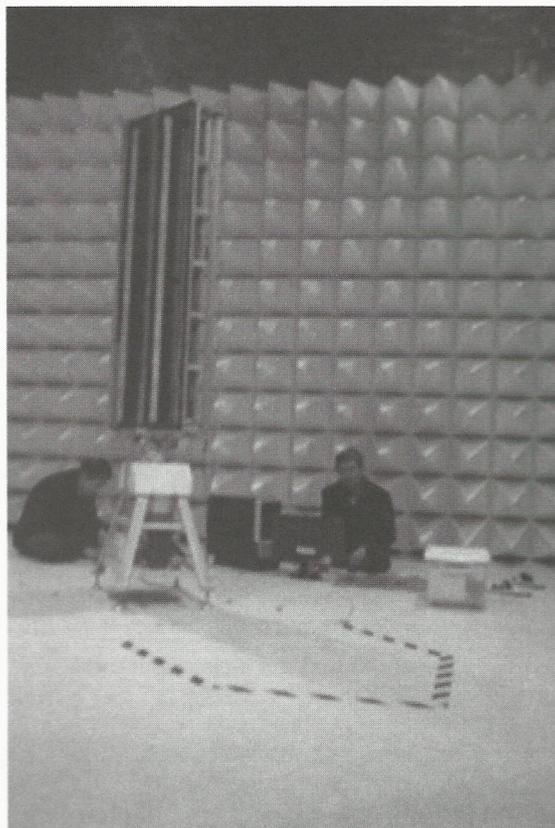
Hasil pengukuran pola radiasi diplot menggunakan program MS Excel. Contoh hasil plot diperlihatkan pada gambar 15 berikut:



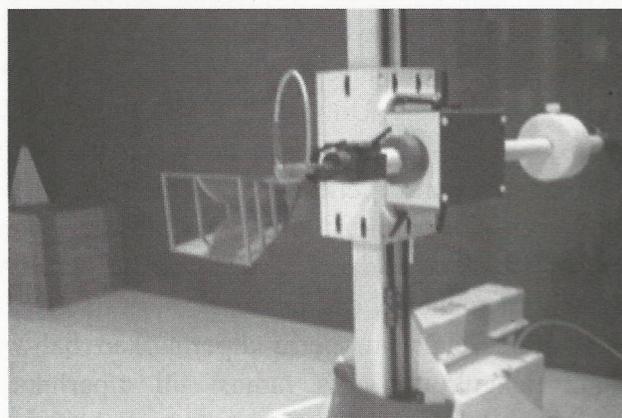
**Gambar 15:** Perbandingan pola radiasi antenna TX dan RX.

Pengukuran pola radiasi vertikal dari antenna dilakukan didalam ruang EMC chamber. Hal ini dikarenakan medan vertikal E (E-plane) dapat diukur menggunakan medan dekat (near field). Untuk pengukuran pola radiasi vertikal ini digunakan fasilitas EMC Chamber di Pusat Penelitian Sistem Mutu dan Teknologi Pengujian LIPI (P2SMTP-LIPI) di komplek Puspipstek Serpong. Didalam EMC chamber ini, sudah tersedia rotator untuk memutar system antenna, sebuah dudukan antenna/horn yang dapat bergerak turun naik, lantai dan dinding sekitarnya sudah

dilindungi dengan bahan absorber yang menyerap pancaran gelombang elektromagnetik (EM). gambar-gambar 16 dan 17 berikut memperlihatkan suasana pengukuran di EMC chamber di P2SMTP-LIPI Serpong.

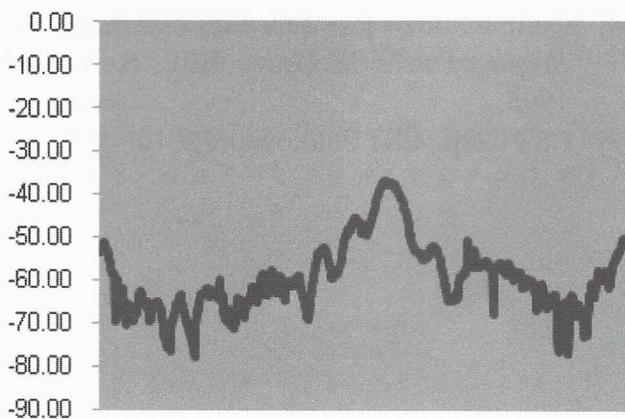


**Gambar 16:** Penempatan Radar ISRA dengan posisi berdiri diatas rotator.

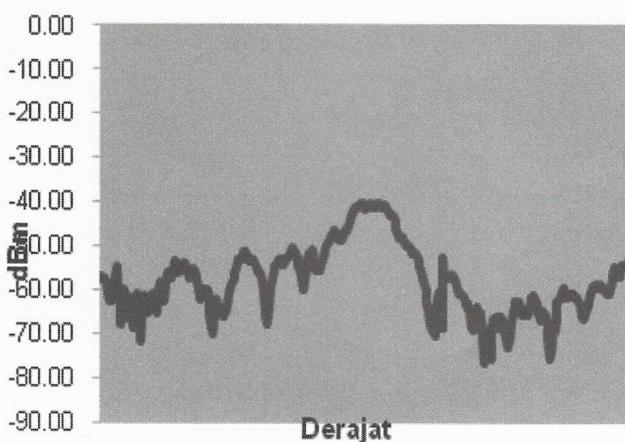


**Gambar 17:** Penempatan antenna horn pada dudukan yang bisa turun naik.

Gambar-gambar 17 dan 18 berikut memperlihatkan hasil pengukuran pola radiasi vertikal dari antenna RX dan TX dimana terjadi perbedaan sedikit antara lebar berkas vertikal (*E-plane*) yang ditentukan dari spesifikasi yaitu 10 derajat sementara hasil pengukuran sekitar 12 derajat. Akan tetapi hal ini berarti Radar ISRA dapat mendeteksi sudut elevasi yang lebih besar (diukur dari permukaan air laut) sehingga obyek yang ada dipermukaan air sampai beberapa puluh meter diatas permukaan air dapat dideteksi oleh Radar.



**Gambar 18:** Contoh pola radiasi vertikal antenna RX hasil pengukuran didalam EMC chamber.



**Gambar 19:** Contoh pola radiasi vertikal antenna TX hasil pengukuran didalam EMC chamber.

## 5. Diskusi

Pola radiasi horisontal dari antenna RX dan TX bertumpang tindih (*overlap*) dan lebar berkasnya (*beamwidth*) sekitar 0,8 derajat. Pola radiasi yang *overlap* menunjukkan bahwa pancaran dari antenna TX akan diterima kembali oleh antenna RX setelah mengenai target. Hal ini sangat penting karena kemampuan Radar mendeteksi obyek dengan baik ditentukan oleh intensitas pantulan sinyal yang diterima dari target (*reflectivity*). Perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran untuk pola radiasi vertikal memperlihatkan bahwa terjadi sedikit perbedaan antara *beamwidth* yang ditentukan yaitu 0,6 derajat pada spesifikasi dan desain dengan hasil pengukuran yaitu 0,8 derajat. Hal ini dapat terjadi karena kemungkinan pengaturan modul-modul antenna kurang presisi, pembuatan PCB antenna yang juga kurang presisi, kabel dari 1-8 *divider/combiner*, pengaruh *reflektor* dan *absorber*.

Hasil pengukuran dari pola radiasi vertikal dari antenna RX dan TX memperlihatkan bahwa terjadi perbedaan sedikit antara lebar berkas vertikal (*E-plane*) yang ditentukan dari spesifikasi yaitu 10 derajat sementara hasil pengukuran sekitar 12 derajat. Akan tetapi hal ini berarti Radar ISRA dapat mendeteksi sudut elevasi yang lebih besar (diukur dari permukaan air laut) sehingga obyek yang ada dipermukaan air sampai beberapa puluh meter diatas permukaan air dapat dideteksi oleh Radar.

## 6. Kesimpulan

Telah dipresentasikan perancangan modul *patch array* antenna mikrostrip. Hasil perancangan ini di simulasikan untuk dibandingkan dengan hasil pengukuran pola radiasi horisontal dan vertikal dari antenna. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa hanya sedikit terjadi perbedaan antara hasil simulasi dengan pengukuran di laboratorium dan di lapangan.

## 7. Ucapan Terimakasih

Kami tim peneliti mengucapkan terimakasih pada pendanaan penelitian dari kegiatan Kompetitif LIPI dan Insentif Kemenristek. Terimakasih juga kepada P2SMTP LIPI untuk penggunaan fasilitas pengukuran EMC Chamber. Fasilitas dan bantuan dari masyarakat sekitar tempat pengukuran juga sangat kami hargai.

## 8. Daftar Referensi

- [1] Balanis, Constantine A., *Antenna Theory: Analysis and Design*, New York : Harper & Row Publisher Inc, 1982.
- [2] Jeon, J. Seong, Design of Wideband Patch Antennas for PCS and IMT-2000 service, *Microwave Journal*.
- [3] JR. James dan PS Hall, *Handbook of Microstrip antenna*, Peter Peregrinus Ltd, London, 1989
- [4] R. Q. Lee and K. F. Lee, "Experimental study of the low-layer electromagnetically coupled rectangular patch antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 38, pp. 1298-1302, Aug. 1990.
- [5] S. Egashira and E. Nishiyama, "Stacked microstrip antenna with wide bandwidth and high gain", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 44, no. 11, Nov. 1996, pp. 1533-1534.
- [6] Judawisastra, Herman, *Antena dan Propagasi*, Handbook Kuliah, Penerbit ITB, 2002.
- [7] Sainati, Robert A, "CAD of Microstrip Antennas for Wireless Applications", Artech House Inc., London, 1996.
- [8] Collins, Robert E., "*Antennas and Radiowave Propagation*", McGraw Hill, New York, 1995.
- [9] CST Corp., CST Studio Suite 2010.

# Sistem Pendeteksian Kondisi Mesin Sepeda Motor 4-Langkah Berdasarkan Suara Menggunakan *Support Vector Machine (SVM)*

Hesti Susilawati, Ari Fadli, Winda Astuti dan Nangim Ulinnuha  
Teknik Elektro Universitas Jendral Soedirman Purwokerto  
Ph 0281 6596801  
E-mail : hesti\_s@yahoo.co.id

## Abstract

*Early detection process of motorcycle engine condition is an important matter especially for common user motorcycle. The detection can be used to estimate motorcycle engine condition (normal or damage). In this research, 4-stroke motorcycle engine damage detection system is built based on voice using Support Vector Machine (SVM) multi class. The proposed system, a motorcycle engine voice is recorded and then cultivated to produce feature shaped coefficient Linear Predictive Coding (LPC). The extracted Coefficient LPC from this motorcycle engine voice then become an input for SVM. Furthermore, SVM will determine motorcycle engine condition. The system is meant to detect three engine conditions. They are normal engine, engine with chain damage, and engine with ignition problem. The proposed system show that motorcycle engine condition detection system based on voice uses SVM has an accuracy of 100%.*

**Keywords:** *Damage motorcycle, engine voice, SVM, LPC*

## Abstrak

*Proses pendeteksian dini terhadap kondisi kerusakan pada sepeda motor menjadi hal yang penting terutama bagi pengguna yang awam akan sepeda motor. Pendeteksian ini dapat digunakan untuk memperkirakan jenis kerusakan, seberapa besar pengaruh kerusakan terhadap kelangsungan sepeda motor, jangka waktu sepeda motor tersebut dapat bertahan dengan kerusakan itu dan perkiraan biaya yang dikeluarkan seandainya kita ingin memperbaiki kerusakan tersebut. Pada penelitian kali ini dibangun sistem pendeteksian kerusakan sepeda motor berbasis suara menggunakan Support Vector Machine (SVM) multi kelas. Pada sistem ini, suara mesin sepeda motor akan direkam dan kemudian diolah menggunakan feature extraction Linear Predictive Coding (LPC). Koefisien LPC yang diekstrak dari suara mesin sepeda motor ini kemudian menjadi masukan untuk SVM. Selanjutnya SVM akan menentukan kondisi mesin sepeda motor. Sistem pendeteksian kondisi mesin berbasis SVM ini dimaksudkan untuk mendeteksi tiga kondisi mesin yakni kondisi normal, kerusakan rantai keteng (chain) dan kerusakan pada sistem pengapian. Penerapan sistem yang diusulkan menunjukkan bahwa sistem pendeteksian kondisi mesin sepeda motor berbasis suara menggunakan SVM mempunyai akurasi yang bagus yakni 100%.*

**Kata kunci:** *kerusakan sepeda motor, suara mesin, SVM, LPC*

## 1. Pendahuluan

Sepeda motor merupakan produk dari teknologi otomotif yang paling banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia. Tetapi sebagian besar penggunaannya awam akan mesin sepeda motor. Sehingga apabila sepeda motor mereka mengalami masalah atau gangguan, hal yang dilakukannya adalah membawanya ke bengkel. Salah satu teknik yang biasa digunakan oleh seorang teknisi untuk mendeteksi kerusakan sepeda motor adalah dengan mendengarkan suara yang dihasilkan mesin sepeda motor. Suara mesin yang mengalami kerusakan

akan mempunyai karakteristik berbeda-beda tergantung dari jenis kerusakan. Tetapi hasil dari teknik tersebut sangat subyektif tergantung kemampuan dari teknisi.

Dari pengalaman tersebut dapat dibuat suatu program yang mampu melakukan deteksi kerusakan mesin sepeda motor berdasarkan suara yang dihasilkan. Pengguna sepeda motor yang awam akan mesin sepeda motor dapat melakukan deteksi dini terhadap keadaan mesin sepeda motor mereka tanpa perlu membawanya ke bengkel.

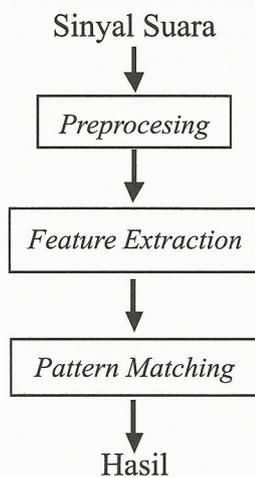
Pada sistem ini, suara mesin sepeda motor

akan direkam dan kemudian diolah menggunakan *feature extraction Linear Predictive Coding (LPC)*. Koefisien LPC yang diekstrak dari suara mesin sepeda motor ini kemudian menjadi masukan untuk SVM. Selanjutnya SVM akan menentukan kondisi mesin sepeda motor. Sistem pendeteksian kondisi mesin berbasis SVM ini dimaksudkan untuk mendeteksi tiga kondisi mesin yakni kondisi normal, kerusakan rantai keteng (*cham chain*) dan kerusakan pada sistem pengapian.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Support Vector Machine (SVM)*. *Support Vector Machine* adalah suatu metode *learning machine* yang bekerja atas prinsip *Structural Risk Minimization (SRM)* dengan tujuan menemukan *hyperplane* terbaik yang memisahkan dua buah kelas pada ruang masukan.

**2. Sistem Pengidentifikasi Suara**

Model dari sistem pengidentifikasi suara diilustrasikan pada Gambar 1, yang terdiri dari *preprocessing, feature extraction, pattern matching*.



**Gambar 1 :** Model sistem pengidentifikasi suara.

**2.1. Preprocessing**

Sinyal suara mesin suara motor direkam dengan *microphone* selama 60 detik dengan menggunakan *sound recorder*. Perekaman dilakukan dengan sedikit *noise*. Spesifikasi

perekaman diambil pada frekuensi 8 MHz, 16 bit, mono. Sinyal suara yang didapat akan dipotong secara manual dengan bantuan *software Cool Edit 2000*. Sinyal suara dipotong secara manual tiap 0.03 detik. Setiap sinyal suara dipotong 20 titik pemotongan yang selanjutnya akan diolah di *Feature Extraction* dan *Patern Matching*.

**2.2. Feature Extraction**

Setelah setiap rekaman dipotong menjadi 20 bagian kemudian Sinyal suara tersebut di *extract* kedalam *Linear Predictive Coding (LPC)*. *Linear Predictive Coding (LPC)* adalah metode prediksi sebuah sampel dasar dari sinyal suara .Didalam proses ekstraksi *Linear Predictive Coding (LPC)* dibagi menjadi beberapa tahap:

**2.2.1.Preemphasis**

Proses *preemphasis* dilakukan terhadap sinyal inputan untuk memperkecil daerah perubahan sinyal. Sinyal suara motor dilewatkan pada suatu filter digital yang berfungsi untuk meratakan spektral sinyal. Filter digital yang sering dipakai adalah :

$$H(z) = 1 + \tilde{a}z^{-1}, \quad 0,9 \leq \tilde{a} \leq 1 \quad (1)$$

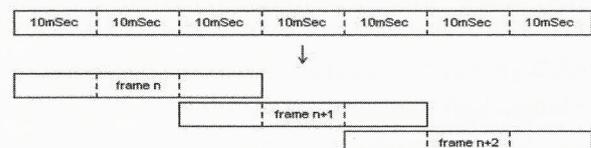
Keluaran *preemphasis* dapat didefinisikan sebagai :

$$\tilde{s}(n) = s(n) + \tilde{a}s(n-1) \quad (2)$$

Hasil keluaran dari proses *preemphasis* ini kemudian dibentuk menjadi beberapa frame pada proses *frame blocking*.

**2.2.1.Block to Frame**

Sinyal suara dibagi kedalam *frame-frame*, misalkan setiap frame 30 ms dengan *overlap* pada 20 ms.



**Gambar 2 :** *Frame Blocking*.

2.2.1. *Windowing*

Windowing dilakukan pada setiap frame yang didapat dari frame blocking, teknik windowing yang digunakan pada percobaan kali ini adalah *Hamming Window* dengan persamaan:

$$w(n) = 0,54 - 0,46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), 0 \leq n \leq N-1 \quad (3)$$

Sedangkan hasil dari proses *windowing* tersebut adalah sinyal:

$$\tilde{x}_1(n) = x_1(n) \cdot w(n), 0 \leq n \leq N-1 \quad (4)$$

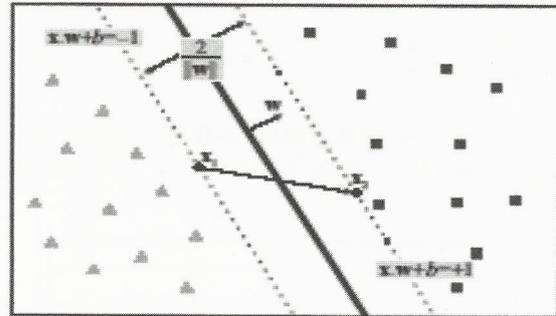
2.2.1. *Spectral Analysis*

*Linear Predictive Coding* (LPC) analisis dengan pendekatan *autocorrelation* dan algoritma *Levins-Durbin*.

2.1. *Pattern Matching*

*Support vector machine* merupakan salah satu metode *pattern recognition* yang dikembangkan oleh Boser, Guyon, Vapnik, dan pertama kali dipresentasikan pada tahun 1992 di *Annual Workshop on Computational Learning Theory*. *Support vector machine* merupakan metode *learning machine* yang bekerja atas prinsip *Structural Risk Minimization* (SRM) dengan tujuan menemukan *hyperplane* terbaik yang memisahkan dua buah *class* pada *input space*[1]. Metode ini secara matematika lebih sederhana dan mampu menghindari masalah *over-fitting* [2]. Berbeda dengan *neural network* yang berusaha mencari *hyperplane* pemisah antar *class*, SVM berusaha menemukan *hyperplane* yang terbaik pada *input space*. Prinsip dasar SVM adalah pemetaan data pelatihan non-linear kedalam ruang kerja yang berdimensi tinggi dengan mempergunakan konsep kernel fungsi [3]. Dalam SVM terdapat 3 aspek utama, yaitu *discrimination* (optimal) *hyperplane*, optimisasi melalui *Largrange multipliers* dan fungsi kernel. Dua aspek pertama merupakan klasifikasi data secara linear dapat dipisahkan dengan asumsi tidak terdapat data yang miss-klasifikasi, aspek ketiga lebih berhubungan dengan klasifikasi data yang tidak dapat dipisahkan (*non-separable*) sehingga terdapat data yang misklasifikasi. Gambar 3 menunjukkan pemisahan

data secara linear (*linearly-separable*) dengan tidak terdapat data yang salah penempatan (*misclassification data*).



Gambar 3 : SVM dengan pemisahan data secara linier.

Dalam pemisahan data secara linear, pelatihan SVM selalu mencari penyelesaian dengan optimisasi yang global dan menghindari *over-fitting*, sehingga memiliki kemampuan untuk berkerja dengan jumlah data yang besar. Pada pemisahan data secara linier terdapat *hyperplane* pemisah dengan fungsi sebagai berikut:

$$w \bullet x + b = 0 \quad w \in R^N, b \in R \quad (5)$$

Untuk optimisasi linear, sebuah *hyperplane* di dibuat untuk memisahkan dua kelas dengan persamaan:

$$y_i(w \bullet x + b) \geq 1, i = 1, \dots, N \quad (6)$$

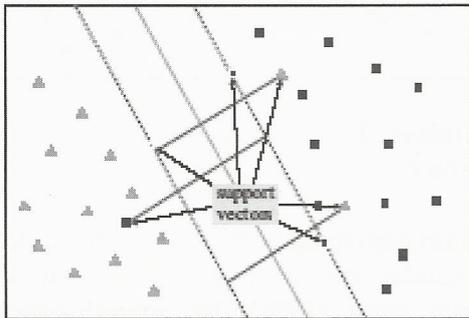
Dengan meminimisasi  $\|w\|$  dengan batasan (*constrain*) di atas, dalam pendekatannya SVM selalu mencari pemisah *hyperplane* yang unik. Di mana  $\|w\|$  merupakan *normal Euclidean* dari  $w$ , dan jarak antara *hyperplane* dengan poin data terdekat dari setiap kelas adalah  $1/\|w\|$ . Dengan memperkenalkan *Lagrange multiplier*  $\alpha_i$ , prosedur pelatihan SVM dengan penyelesaian *convex quadratic problem* (QP). Penyelesaian ini akan menghasilkan optimisasi yang lebih global, yang memiliki properti sebagai berikut:

$$w = \sum_i^N \alpha_i y_i x_i \quad (7)$$

Pada saat  $i$  tidak sama dengan nol (*zero*),  $x_i$  merupakan *support vectors*. Pada pelatihan SVM, keputusan dapat dibuat dengan membandingkan setiap data  $x$  dengan  $\{x_i\}$ , dimana  $i \in SV$ ;

$$y = \text{sign} \left( \sum_{i \in SV} \alpha_i y_i (x_i \bullet x^T) + b \right) \quad (8)$$

Umunya situasi yang sering terjadi adalah kasus pemisahan data yang tidak linear, seperti pada gambar 4.



Gambar 4 : SVMs dengan pemisah data yang tidak linear.

Pada sebuah pemisahan data yang tidak linear, SVM akan memetakan input vektor  $x$  pada ruang input ke dalam ruang dimensi yang lebih tinggi, di mana data dipetakan fungsi kernel. Terdapat 4 jenis fungsi kernel yang sering digunakan untuk klasifikasi data, seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

Table 1. Formulasi untuk fungsi kernel.

Kernel	$K(x, x_i)$
Linear	$x^T \cdot x_i$
Polynomial	$(x^T \cdot x_i + 1)^d$
Gaussian RBF	$\exp(-\ x-x_i\ ^2/2\sigma^2)$

Pemilihan fungsi kernel tergantung pada karakteristik data, pemilihan ini digunakan untuk mencapai hasil klasifikasi yang optimal.

### 2.1. SVM Multi-class

Pada dasarnya SVM hanya mampu menangani klasifikasi dua kelas, tetapi akhir-akhir ini telah dikembangkan SVM dengan *multi-class*. Terdapat dua metode dasar pada sistem *multiclass*, yaitu *One-against-all (one vs all)* atau lebih sering

disebut OVA dan juga *One-against-one (one vs one)* atau lebih dikenal dengan OVO.

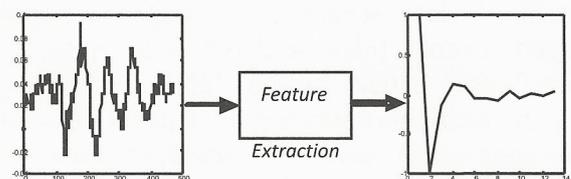
Semisal terdapat tiga data A, B, dan C, jika menggunakan OVA maka untuk mengidentifikasi kelas A maka data A akan dibandingkan dengan B dan C, begitu juga ketika mengidentifikasi kelas B dan C. Ketika menggunakan metode OVO, masing-masing data akan dibandingkan satu persatu yaitu membandingkan AB, BC, dan CA.

### 3. Model dan Implementasi Sistem

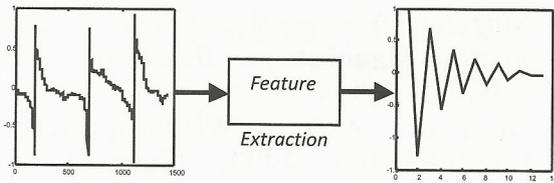
Model sistem pendeteksian kondisi mesin sepeda motor 4-langkah yang diajukan ditunjukkan pada Gambar 5. Mikrofon digunakan untuk merekam suara mesin sepeda motor kemudian disimpan pada komputer dengan format berekstensi \*.wav, resolusi 16 bit, frekuensi *sampling* 8 MHz, dan dengan kanal mono. Kemudian algoritma *feature extraction* dan algoritma *SVMs-based multi-class classification* diimplementasikan menggunakan MATLAB.



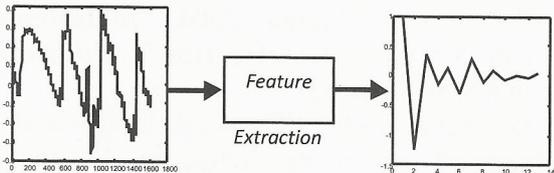
Sistem pendeteksian ini dibangun dengan mengambil 18 *sample* suara mesin sepeda motor 4-langkah buatan Honda tahun keluaran di atas tahun 2000 dengan waktu perekaman adalah enam puluh detik untuk setiap motor. *Sample* suara yang diambil adalah *sample* suara mesin motor normal, suara mesin motor dengan kerusakan rantai keteng (*cham chain*), dan suara mesin dengan kerusakan pada sistem pengapian. Dengan perincian 3 data data pelatihan dan 15 data pengujian. Hasil perekaman akan dipotong dengan rentang waktu 0.03 detik dan diambil dua puluh data masing-masing *sample* suara sebagai data yang akan diproses. Kemudian dilanjutkan ke tahap *feature extraction*. Gambar 3, 4, dan 5 menunjukkan sinyal suara sepeda motor hasil ekstraksi oleh LPC.



Gambar 6 : Sinyal suara sepeda motor normal.



Gambar 7 : Sinyal suara sepeda motor rusak rantai keteng.



Gambar 8 : Sinyal suara sepeda motor rusak pengapian.

Tahap berikutnya adalah tahap pelatihan, pada tahap ini data dari tiga buah sepeda motor yaitu sepeda motor dengan mesin normal, rusak rantai keteng, dan rusak sistem pengapian digunakan sebagai data pelatihan dan metode yang digunakan pada algoritma *SVMs-based multi-class classification* ini adalah metode *one-against-one* dengan menggunakan kernel linear.

Selanjutnya dilakukan tahap pengujian yaitu menguji 15 *sample* suara mesin motor yang teridentifikasi sebagai berikut; motor kondisi normal sebanyak 8 motor, motor kondisi rusak pada pengapian sebanyak 6 motor, dan motor kondisi rusak rantai keteng (*cham chain*) sebanyak 1 motor. Tetapi sebelum menguji kelima belas data tersebut, dilakukan pengujian terhadap data yang telah dilatih terlebih dahulu.

4. Hasil dan Analisis Pengujian Sistem

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian untuk ketiga kondisi mesin sepeda motor. Pelatihan dilakukan untuk setiap data *training* yaitu pelatihan untuk kondisi normal, kondisi rusak rantai keteng, dan kondisi rusak sistem pengapian dengan menggunakan kernel linear. Waktu pelatihan pada masing-masing data pelatihan cukup bagus yaitu untuk data kondisi mesin normal sebesar 0,9 detik, data kondisi rusak rantai keteng sebesar 0,1 detik dan untuk data kondisi rusak sistem pengapian memiliki waktu pelatihan 0,1 detik.

Tabel 2. Hasil pelatihan dan pengujian.

Klasifikasi Kondisi Mesin Sepeda Motor	Waktu pelatihan (s)	Akurasi pengklasifikasian (%)	
		Pelatihan	Pengujian
Normal	0,9	100	100
Rusak rantai keteng	0,1	100	100
Rusak Pengapian	0,1	100	100

Pada tahap pengujian sistem pendeteksi yang dibangun yaitu menggunakan metode *one-against-one*, untuk data pelatihan mampu diklasifikasikan sesuai kondisinya sebesar 100%. Dan untuk pengujian data yang diuji, sepeda motor normal dapat dideteksi 100%, sepeda motor rusak rantai keteng dapat dideteksi 100%, dan sepeda motor rusak pada sistem pengapian dapat dideteksi 100%. Hasil ini dapat diperoleh karena SVM mengklasifikasikan data yang diuji berdasarkan hasil *error* perbandingan terkecil yang diperoleh.

Dengan menggunakan algoritma *future extaction LPC*, algoritma SVM pengklasifikasian multi-kelas *one-against-one*, dan dengan menggunakan kernel linear, sistem yang dibangun telah mampu mendeteksi tiga kondisi mesin sepeda motor 4-langkah berdasarkan suara mesin yaitu kondisi normal, kondisi rusak rantai keteng (*cham chain*), dan kondisi rusak sistem pengapian, dengan jumlah motor sebanyak 18 motor.

Hasil yang diperoleh tetap sama dengan pengujian dilakukan berulang kali, karena SVM memiliki sifat tegar (*robust*). Walaupun data yang diujikan belum terlalu banyak, sistem ini dapat dikatakan memiliki akurasi yang bagus untuk mendeteksi kondisi mesin sepeda motor 4-langkah berdasarkan suara.

5. Kesimpulan dan Saran

Penggunaan metode LPC yang dipadukan dengan *SVMs-based multi-class classification* dengan metode OVO dapat digunakan sebagai sistem pendeteksi kondisi mesin sepeda motor berdasarkan suara dengan akurasi yang bagus yaitu dapat mencapai 100%. Untuk meningkatkan performansi dari sistem, dapat digunakan kernel

*polynomial* atau kernel *Gaussian* RBF pada algoritma SVM multi-kelas dan juga memberbanyak data pengujian.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] Nugroho A.S., 2003, "Bioinformatika dan pattern recognition", <http://ilmukomputer.com>, diakses pada 20 Juli 2008.
- [2] Bannet.P.Kristin. C.Campbell, 2000, "Support Vector Machines: Hype or Hallelujah?". *SIGKDD exploration. Vol. 2.*
- [3] N.Cristianini, T.J.Shawe, 2000, "An introduction to Support Vector Machine and other kernel-based learning methods", *Cambridge University Press. Research. Keveney, Matt.2000, Four Stroke Engine.* <http://www.keveney.com/otto>, diakses pada 7 Agustus 2008.
- [4] D.O'Shaughnessy, 1998, "Linier Predictive Coding", *IEEE Potentials.*
- [5] Nugroho A.S., 2003, "Bioinformatika dan pattern recognition", <http://ilmukomputer.com>, diakses pada 20 Juli 2008.
- [6] Nugroho, A.S. 2008. "Pengantar Support Vector Machine", *Bandung: Institut Teknologi Telkom.*
- [7] Nugroho, A.S, ; Witarto, A.B.; & Handoko,Dwi. 2003. "Support Vector Machine : Teori dan Aplikasinya dalam Bioinformatika", <http://ilmukomputer.com>, diakses pada 20 Juli 2008.
- [8] R.Rifkin, A.Klautau, 2004, "In Defense of one-Vs-All classification", *Journal of machine learning.*
- [9] U. Krebel, 1999, "Pairwise classification and support vector machines, in Advances in Kernel Methods -Support Vector Learning", *B. Schölkopf, C.J.C.Burges, and A.J. Smola, Eds. Cambridge, MA: MIT Press, pp.255-268.*
- [10] Upperman, Gina.2004. "Linear Predictive Coding in Voice Conversation", *US.*

# Studi Perakitan dan Pengujian Karakteristik I-V Sel Surya Berbasis *Dye-Sensitized* (DSSC) dalam Rangkaian Seri yang

## Terhubung Secara Eksternal

Jojo Hidayat, Lia Muliani, Natalita M.N

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI

Kampus LIPI Gd.20 Lt.4 Jl. Sangkuriang Bandung 40135 Indonesia

Telp. +62 22 2504661 Fax. +62 22 2504659 Email : jojohidayat@ppet.lipi.go.id

### Abstract

*The increasing energy demand has been motivating the scientists to discover various forms of alternative energy, such as solar cells. A dye sensitized solar cell (DSSC) is a new type of solar cell which operates based on photoelectrochemistry mechanism. This type of cell are currently still under intensive investigations. This paper aims to fabricate and analyze the performance of DSSC by conducting current-voltage measurement using multimeter on a solar cell while illuminated by an artificial lamp with an intensity of  $5\text{mW/cm}^2$ . By employing resistive loads ranged from  $0.5\text{ohm}$  to  $400\text{kohm}$ , the output parameters obtained are:  $V_{oc} = 6.28\text{V}$  and  $I_{sc} = 3\text{mA}$ . The measurements were performed every once a week to analyze the long term stability of the cells. The results show that the DSSC cells were degraded over time, thus, further studies are required to overcome such a problem.*

**Keywords:** *dye-sensitized solar cell, external series connection, solar module, I-V characteristic.*

### Abstrak

*Kebutuhan energi yang terus meningkat mendorong para ahli mencari energi alternatif seperti sel surya. Sel surya berbasis dye bekerja berdasarkan mekanisme proses fotoelektrokimia atau dikenal dengan sebutan DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell) dimana performa kestabilannya masih dalam tahap pengembangan. Study ini dimaksudkan untuk merakit dan menguji performa rangkaian sel surya DSSC dengan melakukan pengukuran karakteristik hubungan output arus dan tegangan (kurva I-V) menggunakan multi meter disinari lampu dengan intensitas  $5\text{mW/cm}^2$ , menghasilkan output  $V_{oc} = 6.28\text{V}$ ,  $I_{sc} = 3\text{mA}$  dengan beban mulai dari  $0.5\text{ Ohm}$  sampai  $400\text{ kOhm}$ . Pengukuran dilakukan seminggu sekali untuk mengetahui performa rangkaian dye solar sel tersebut. Hasil pengujian menunjukkan performa rangkaian sel surya DSSC mengalami penurunan. Diperlukan studi lanjutan untuk mengatasi hal ini.*

**Kata Kunci :** *Sel surya dye-sensitized, rangkaian seri eksternal, modul surya, karakteristik I-V.*

## 1. Pendahuluan

Saat ini kebutuhan energi semakin meningkat, sedangkan sumber energi yang ada sekarang seperti minyak bumi persediaannya semakin berkurang. Untuk itu para peneliti mencari sumber energi alternatif lain, salah satunya adalah energi matahari. Sel surya bekerja menggunakan energi matahari dengan mengkonversi secara langsung radiasi matahari menjadi listrik. Ada beberapa jenis

sel surya yang telah dikembangkan seperti sel surya silikon kristal, thin film, sel surya berbahan organik, dan lain sebagainya. Sel surya yang banyak digunakan sekarang ini adalah sel surya berbasis silikon yang merupakan hasil dari perkembangan pesat teknologi semikonduktor. Walaupun sel surya sekarang didominasi oleh bahan silikon, namun mahal biaya produksi silikon membuat biaya produksinya lebih mahal

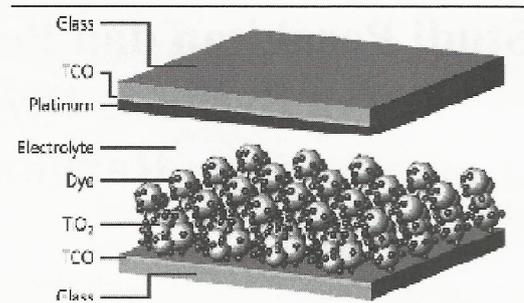
daripada sumber energi fosil. Selain itu kekurangan dari sel surya silikon adalah penggunaan bahan kimia berbahaya pada proses fabrikasinya.

Seiring dengan perkembangan nanoteknologi, penelitian sel surya generasi baru terus dilakukan. *Dye-sensitized solar cell* (DSSC) adalah sel surya yang bekerja melalui mekanisme *fotoelektrokimia*, dimana proses absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye* dan proses separasi muatan oleh bahan inorganik semikonduktor. DSSC merupakan salah satu kandidat potensial sel surya generasi mendatang, karena tidak memerlukan material dengan kemurnian tinggi sehingga biaya proses produksinya yang relatif rendah.

Penelitian sel surya DSSC telah dan terus dilakukan di PPET dengan teknik *screen printing*. Teknik perakitan untuk mengabungkan sel surya dipelajari. Studi ini dimaksudkan untuk menguji performa rangkaian seri sel surya berbasis pewarna (*dye*), khususnya mempelajari faktor apa saja yang dibutuhkan untuk meningkatkan performa kestabilan sel surya tersebut lebih lanjut.

## 2. Sel Surya Berbasis *Dye-Sensitized* (DSSC)

Sel surya ini dibentuk dari empat lapisan, yaitu semikonduktor nanokristal sebagai fotoelektroda, pewarna sebagai *dye sensitized*, larutan elektrolit dan *counter electrode*. Gambar 1 menunjukkan struktur sederhana dari DSSC. Fotoelektroda adalah lapisan semikonduktor porous yang dideposisikan pada anoda transparan dari bahan *transparent conducting oxide* (TCO). Molekul-molekul *dye* ditambahkan pada permukaan semikonduktor porous yang berfungsi untuk menyerap cahaya yang datang. Untuk membangkitkan tegangan diberikan larutan elektrolit berupa pasangan redoks  $I/I_3^-$  dan lapisan konduktor sebagai *counter electrode* (biasanya lapisan platinum) [1-3]. Semikonduktor berbandgap lebar yang sering digunakan adalah titanium dioksida ( $TiO_2$ ).

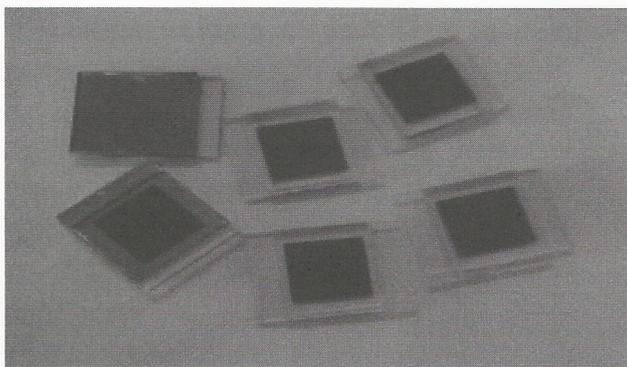


**Gambar 1** : Struktur sederhana dari DSSC [1].

## 3. Fabrikasi Sel Surya

Pada penelitian ini sel surya DSSC dibuat dengan teknik *screen printing* menggunakan  $TiO_2$  sebagai fotoelektrodanya. Proses awal yang dilakukan adalah deposisi pasta  $TiO_2$  pada substrat TCO untuk membuat fotoelektroda. Deposisi tersebut dilakukan melalui dua kali proses *printing*. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan ketebalan lapisan  $TiO_2$  yang optimal [4]. Pengerinan dilakukan dalam oven bersuhu  $100^\circ C$  selama kurang lebih 10 menit. Proses *annealing* dilakukan menggunakan *conveyor furnace* bersuhu  $450^\circ C$  selama kurang lebih 15 menit. Selanjutnya sampel diwarnai menggunakan *dye* Ru(N719) selama 24 jam.

Tahap selanjutnya adalah pembuatan elektroda platina yang dilakukan melalui teknik *sputtering*. Setelah itu kedua elektroda (elektroda Pt dan  $TiO_2$ ) disatukan secara bersusun menggunakan material Surlyn-50. Tahap berikutnya adalah penyuntikan elektrolit EL-141 melalui lubang udara lapisan Surlyn. Lubang bekas penyuntikan tadi kemudian ditutup menggunakan *silicon rubber* dengan tujuan untuk mencegah kebocoran elektrolit. Hasil prototipe sel surya ini bisa dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 : Prototipe sel surya DSSC.

4. Karakterisasi Sel Surya

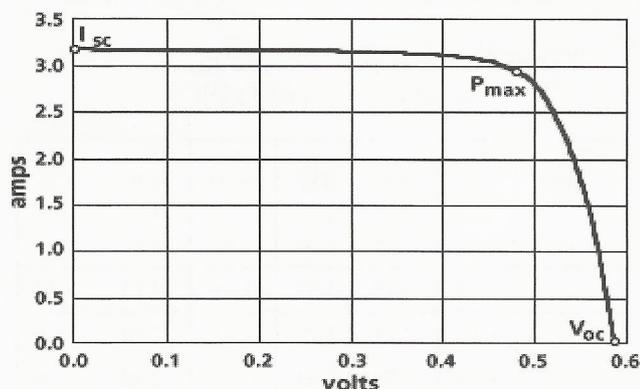
Dalam pengukuran sebuah komponen sel surya, karakteristik yang diperlukan adalah Kurva I-V atau hubungan arus dan tegangan, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 3.

Efisiensi ( $\eta$ ) merupakan salah satu karakteristik listrik dari sebuah sel surya yang didefinisikan sebagai perbandingan daya keluaran maksimum, ( $P_m$ ) dan daya masuk yang berasal dari cahaya matahari yang datang, ( $P_{in}$ ). Persamaan efisiensi dari sel surya adalah :

$$\eta = P_m / P_{in} \quad (1)$$

Fill Factor adalah ratio daya keluaran maksimum ( $P_m$ ) terhadap produk arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) dengan tegangan hubung terbuka ( $V_{oc}$ ).

$$FF = P_m / V_{oc} \times I_{sc} \quad (2)$$



Gambar 3 : Kurva hubungan Arus dan tegangan sebuah silikon sel surya.

dimana :

$I_{sc}$  = Arus hubung singkat, dilihat pada saat tegangan  $V=0$

$V_{oc}$  = Tegangan hubung terbuka dilihat pada saat arus sama dengan nol ( $I=0$ ).

Parameter *Fill factor* digunakan untuk melihat penyimpangan yang terjadi dari karakteristik I-V sebuah sel terhadap sel yang ideal. Penyimpangan yang terjadi ini diakibatkan pengaruh resistansi seri dan resistansi paralel.

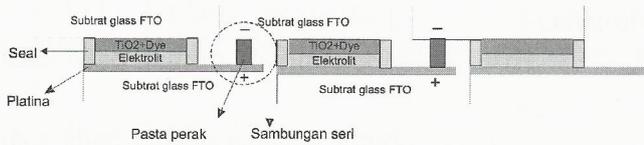
5. Pembuatan Rangkaian Sel Surya

5.1. Perakitan

Umumnya ada dua teknik penggabungan sel surya, yaitu penggabungan secara eksternal seperti sel surya berbasis kristal silikon. Penggabungan jenis ini dilakukan setelah sebuah sel silikon sudah menjadi sel baru kemudian di rakit menjadi modul, baik itu penggabungan seri maupun paralel sesuai kebutuhan. Cara yang kedua adalah penggabungan secara internal. Contoh penggabungan ini kita dapat temukan pada sel berbasis *thin film*.

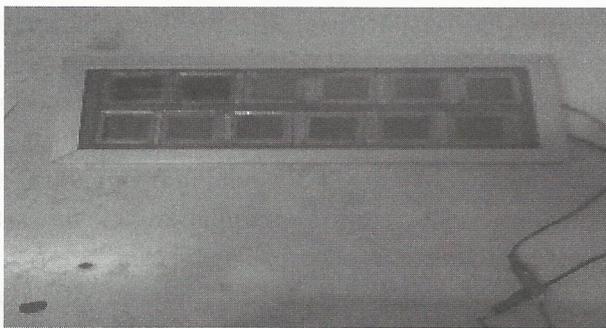
Pada sel surya jenis DSSC, karena sifat dan strukturnya yang unik maka pada umumnya penggabungannya dilakukan secara seri dan internal. Ada tiga tipe penggabungan sel surya DSSC secara internal, yaitu menggunakan metode interkoneksi tipe W, tipe Z, dan tipe Monolitihic [5].

Dalam penelitian ini kami mencoba merangkai sel DSSC secara eksternal sebagaimana modul sel surya konvensional berbahan silikon. Hal ini dikarenakan proses pembuatan modul yang terkoneksi secara internal membutuhkan tahapan proses fabrikasi yang berbeda dibanding pembuatan sel secara individual. Modul sel surya yang kami buat pada penelitian ini merupakan rangkaian seri dari sel-sel yang telah difabrikasi secara individual seperti ditunjukkan dalam gambar 4.



**Gambar 4 :** Penggabungan sel secara seri.

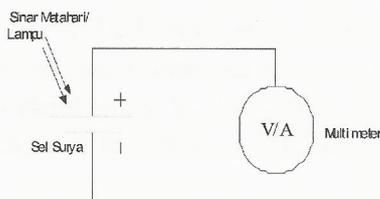
Penggabungan sel secara seri dilakukan dengan cara menghubungkan kutub positif (yaitu bagian counter elektroda yang dilapisi platina) dengan kutub negatif (yang dilapisi dengan TiO<sub>2</sub> melalui proses *screen printing*) seperti pada gambar 4. Kontak dibuat menggunakan pasta perak atau timah. Penggabungan dilakukan secara berurut sebanyak 12 sel sehingga menghasilkan rangkaian seri dengan tegangan 6.26 V dan arus 3 mA, seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



**Gambar 5 :** Rangkaian modul sel surya DSSC.

**5.2. Pengujian sel surya DSSC**

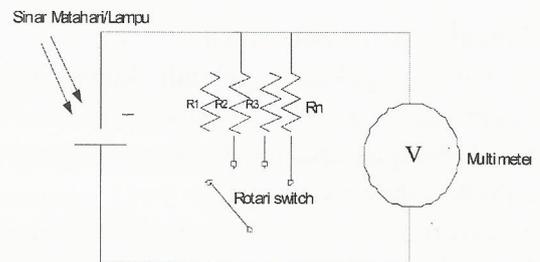
Agar cahaya yang diserap oleh sel stabil, maka pengukuran dilakukan dalam ruangan (*indoor*) menggunakan Sun Simulator sebagai sumber cahaya lampu pengganti matahari. Lampu yang digunakan adalah lampu berdaya 500 W dengan intensitas 5 mW/cm<sup>2</sup>. Skema rangkaian pengukuran ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6 :** Skema rangkaian pengukuran  $V_{OC}$  dan  $I_{SC}$ .

**Pengukuran dilakukan dengan 2 cara, yaitu:**

- Pengukuran langsung tanpa beban/resistor untuk mengetahui tegangan maksimum atau tegangan sirkuit terbuka ( $V_{OC}$ ) dan arus maksimum atau arus sirkuit pendek ( $I_{SC}$ ).
- Pengukuran menggunakan beban atau resistor yang di rangkai dalam *rotary switch* secara bergantian. Interval pembebanan diatur mulai dari 0.5  $\Omega$  sampai 4 k $\Omega$ . Skema rangkaian ditunjukkan pada Gambar 7.



**Gambar 7 :** Skema rangkaian dengan beban.

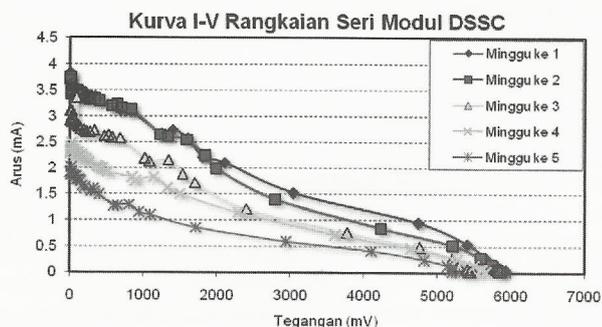
**6. Hasil dan Analisa**

Hasil pengukuran karakteristik Sel surya berbasis Dye diperoleh yang ditunjukkan pada tabel 1. Karakterisasi pengujian dilakukan untuk mengetahui performa rangkaian modul sel surya jenis terhadap waktu. Pengukuran daya dilakukan melalui karakterisasi I-V yang dilakukan beberapa kali dengan interval seminggu sekali. Data hasil pengukuran pada tabel 1 menunjukkan bahwa performa modul DSSC mengalami penurunan.

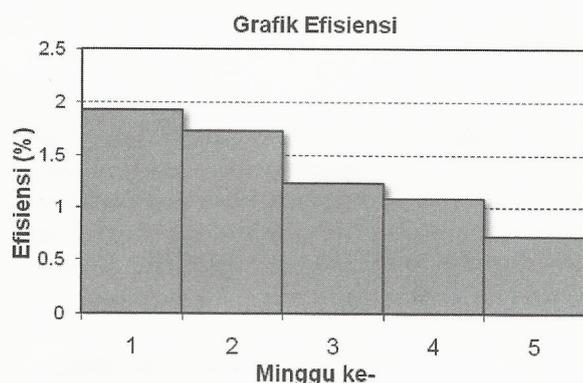
**Tabel 1 :** Hasil pengukuran karakteristik modul sel surya DSSC.

Minggu ke-	$V_{oc}$ (V)	$I_{sc}$ (mA)	$V_m$ (V)	$I_m$ (mA)	$P_{max}$ mW/cm <sup>2</sup>	$\eta$ (%)
1	6.28	3.60	3.04	1.52	4.62	1.92
2	6.14	3.49	1.84	2.24	4.13	1.72
3	6.00	2.84	1.70	1.70	2.89	1.22
4	5.75	2.05	3.61	0.72	2.60	1.08
5	5.67	2.05	2.94	0.59	1.73	0.72

Hal ini diindikasikan oleh perubahan signifikan pada kurva I-V (gambar 8), penurunan daya maksimum yang terukur serta efisiensi setiap kali dilakukan pengukuran secara berkala (gambar 9).



**Gambar 8 :** Grafik hasil pengukuran I-V modul surya DSSC secara berkala.



**Gambar 9 :** Grafik hubungan nilai efisiensi modul surya DSSC terhadap waktu.

Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa performa rangkaian sel surya DSSC belum stabil terhadap waktu. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor kemungkinan diantaranya :

- Kemungkinan adanya degradasi sifat kimia dari elektrolit akibat pengaruh dari kondisi lingkungan pada saat pengukuran. Kemungkinan terjadinya hal ini relatif kecil karena penyimpanan modul sel surya DSSC kami dilakukan bukan pada suhu ekstrim, melainkan pada suhu ruang. Sedangkan kondisi pengukuran selalu dijaga konstan setiap kali pengukuran. Faktor perubahan internal pada komposisi kimia relatif sulit

untuk dibuktikan sehingga diperlukan studi lebih lanjut untuk membuktikan kemungkinan ini.

- Adanya kebocoran elektrolit. Probabilitas terjadinya hal ini lebih besar daripada kemungkinan-kemungkinan sebelumnya, sebab dapat diamati secara visual. Faktor ini mengindikasikan bahwa material *sealing* yang digunakan pada modul kami, yaitu *silicon rubber*, kurang berfungsi dengan baik untuk jangka panjang. Oleh sebab itu, dibutuhkan alternatif material lain yang lebih handal untuk mengatasi problem kebocoran elektrolit, khususnya material yang tahan untuk diproses pada suhu tinggi dan relatif lama. Salah satu kandidat jenis material yang kemungkinan memenuhi persyaratan tersebut adalah *glass frit* [2],[6].
- Kemungkinan kualitas kontak antar sel yang kurang bagus. Salah satu faktor yang bisa menjadi penyebab hal ini adalah larutan elektrolit yang bocor.

## 7. Kesimpulan

Pengujian performa karakterisasi rangkaian sel surya pewarna (*dye*) tersensitisasi telah dilakukan. Berdasarkan hasil pengukuran performa karakterisasi diketahui bahwa performa rangkaian *dye* sel surya terus menurun setiap kali pengukuran yang dilakukan seminggu sekali. Diketahui penurunan tersebut dikarenakan bocornya larutan elektrolit dan kurangnya kontak antar sel untuk itu diperlukan penelitian lanjutan.

## 8. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PPET-LIPI yang telah mendukung dan memfasilitasi kegiatan ini melalui program DIPA Tematik 2011.

## 9. Daftar Pustaka

- [1] M. Gratzel, "Dye-Sensitized Solar Cells", *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Review* 4, 2003, hal. 145-153.
- [2] R. Sastrawan, *Photovoltaic modules of dye solar cells*, *Disertasi University of Freiburg*,

2006.

- [3] J. Halme, *Dye sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells : technical review and preeliminary test, Master Thesis of Helsinki University of Technology, 2002.*
- [4] L. Muliani, Y. Taryana, J. Hidayat, "Pembuatan sel surya TiO<sub>2</sub> dye-sensitized menggunakan metoda screen printing", *Jurnal Elektronika*, vol. 10, no. 1, 2010, hal. 126-131.
- [5] G. E. Tulloch. "Light and energy - dye solar cells for the 21st century", *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. **164**, **2004**, hal. 209-219.
- [6] N.M. Nursam, L. Muliani, J. Hidayat, "Sel surya dye-sensitized TiO<sub>2</sub>: Fabrikasi dan analisa material elektrolit", *Jurnal Elektronika*, vol. 11, no. 1, 2011, hal. 72-77.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Pada volume 11 Nomer 2 tahun 2011, Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi mengundang Mitra Bestari untuk berpartisipasi dalam penelaahan naskah yang masuk ke redaksi pelaksana. Partisipasi dari luar Dewan Editor ini diperlukan untuk menjamin bahwa naskah yang akan diterbitkan ditelaah oleh para ahli dalam bidang yang bersangkutan.

Mitra Bestari yang turut berpartisipasi dalam edisi ini adalah :

---

---

No. Nama	Jabatan dan Instansi
1. DR. Ir. Andrian Andaya Lestari	Peneliti Bidang Antena, Propagasi Elektromagnetik dan Radar di IRCTR TU Delft dan BPPT

---

Untuk itu, kami pengelola Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya dan kami berharap bahwa kerja sama dan partisipasinya dapat berlanjut di waktu yang akan datang.

**INDEKS ELEKTRONIKA DAN TELEKOMUNIKASI****Volume 11 No. 1 Januari - Juni 2011****No. 2 Juli - Desember 2011****A. INDEKS PENGARANG****No. 1, Januari - Juni 2011**

Deni Permana dan Syamsu Ismail	54
Goib Wiranto, Grace A Mambu, Slamet Widodo dan Widhya Budiawan	60
I Dewa Putu Hermida dan Djohar Syamsi	17
Liarto dan Sri Hardiati	12
Lilis Retnaningsih	32
Natalita M. Nusam, Lia Muliani dan Jojo Hidayat	72
Octa Heriana dan Arief Nur Rahman	66
Purwoko Adhi	37
Sri Hardiati, Hana Arisesa, Arief Nur Rahman, Mashury Wahab dan Pamungkas Daud	25
Syamsu Ismail, Deni Permana K, dan Eko Joni Pristianto	42
Tony Kristiantoro, Nanang Sudradjat dan Yaya Sulaeman	1
Yaya Sulaeman, Asep Yudi H dan Purwoko Adhi	6
Yuyu Wahyu, Asep Yudi H dan Elbert Yamaku	47

**No. 2, Juli - Desember 2011**

Arief Nur Rahman dan Octa Heriana	91
Folin Oktafiani dan Achmad Munir	79
Gunawan Wibisono dan Indah Riyanti	134
Hesti Susilawati, Ari Fadli, Winda Astuti dan Nangim Ulinnuha	149
I Dewa Putu Hermida, Slamet Santosa dan Tjipto Sujitno	103
Jojo Hidayat, Lia Muliani dan Natalita M.N	155
Lilis Retnaningsih	98
Mashury Wahab, Yuyu Wahyu, Purwoko Adhi dan Daday Ruhiyat	141
Octa Heriana, Thomas Sri Widodo, Indah Soesanti dan Maesadji Tjokronagoro	110
Purwoko Adhi	117
Syamsu Ismail dan Eko Joni Pristianto	122
Taufiqurrachman dan Deni Permana	85
Yuyu Wahyu, Deni Permana, Herry Gunawan S dan Heroe Wijanto	128

## B. INDEKS JUDUL MAKALAH

Aplikasi Elemen Piezoelektrik untuk Pengukuran Getaran	1	Analisa Numerik Pengaruh Bentuk Patch Antena Cetak Monopol terhadap Efisiensinya untuk Radar Tomografi 3-Dimensi Penembus Permukaan	79
Dielectric Resonance Oscillator (DRO) 8,65 GHz untuk Sistim Komunikasi RADAR	6	Analisis Penyandian dan Penguraian Dengan Teknik Reed-Solomon Code (15, 11)	85
Investigasi Lapisan Penopang Bawah Permukaan pada Konstruksi Bangunan Menggunakan GPR	12	Enkripsi Citra Menjadi Bentuk Teks Untuk Keamanan File	91
Pemanfaatan Teknologi Telemetri untuk Meningkatkan Produksi Tambak Udang Melalui Pemantauan Kualitas Air Tambak Secara. On-Line	17	Fabrikasi dan Karakterisasi sensor Gas NO <sub>2</sub> Berbasis Serbuk WO <sub>3</sub> dengan Skala Nanometer	98
Penerapan Performace LNA GaAs PHEMT MMIC pada Sistem Radar Maritim FMCW	25	Implementasi Sistem Instrumentasi dan Kendali Temperatur Nitridasi Plasma Menggunakan M-Series PLC	103
Pengaruh Kelembaban pada Lapisan Tipis ZnO Sebagai Bahan Sensitif Sensor Gas Nf13	32	Klasifikasi Citra Kanker Payudara dengan Menggunakan Algoritma Fuzzy C Means	110
Pengendali Motor dan Pembaca Sudut Antena Radar	37	Pembangkit Chirp untuk Radar FM CW Berbasis DDS	117
Pengukuran Pola Radiasi Transduser Akustik Bawah Air untuk Aplikasi Diver Tracking	42	Penggunaan Frekuensi Pembawa Koheren untuk Mempermudah Regenerasi Clock pada Sistem Komunikasi Data Bawah Air	122
Perancangan dan Realisasi Antena Biquad Dualband pada Frekuensi 2,3GHz - 2,4GHz dan 3,3GHz 3,4GHz	47	Perancangan dan Simulasi Antena Rolled Dipole Array untuk Aplikasi Ground Penetrating Radar (GPR) dengan Footprint yang Dapat Berubah Menggunakan Metode Finite Difference Time Domain (FDTD)	128
Perancangan dan Realisasi Uninterruptible Power Supply (UPS) sebagai Daya Cadangan pada Peralatan Penguat Suara dan Penerangan	54	Perancangan Microstrip Branch Line Coupler dengan T-Junction untuk Mobile WiMAX pada Frekuensi 2,3 GHz	134
Rancang Bangun Struktur Mikrodivais di Silikon untuk Aplikasi Sensor Gas Berbasis Semikonduktor Metal Oksida	60		

Segmentasi Berbasis Warna pada Citra Termografi Kanker Payudara Menggunakan Ruang Warna $L^*a^*b^*$ .	66	Simulasi dan Pengukuran Patch Array Mikrostrip Antenna	149
Sel Surya Dyes- Sensitized TiO <sub>2</sub> : Fabrikasi dan Analisa Material Elektrolit	72	Sistem Pendeteksian Kondisi Mesin Sepeda Motor 4-Langkah Berdasarkan Studi Perakitan dan Pengujian Karakteristik I-V Sel Surya Berbasis Dye-Sensitized (DSSC) dalam Rangkaian Seri yang Terhubung Secara Eksternal	155

### C. INDEKS KATA KUNCI

Citra, termografi, segmentasi, ruang warna, $L^*a^*b^*$ .	66	antena monopol, efisiensi antena, radar penembus permukaan, return loss, VSWR	79
GPR, generator pulsa, pulsa monocycle, transformasi hilbert	12	Citra, pengamanan, konversi, enkripsi	91
Jaringan GSM, on-line monitoring, remote kontrol	17	Citra, termografi, klasifikasi, Fuzzy Cmeans.	110
Kelembaban, temperatur, lapisan tipis, ZnO, sensor gas	32	GPR, footprint, ground clutter, image processing, FDTD.	128
LNA, MMIC, radar maritim	25	Penyandian, Penguraian, Reed-Solomon Code, Binary Symmetric Channel (BSC), Parity Check	85
Mikrodivias, proses lift-off, sputtering, elektroda, heater, sensor gas, metal oksida	60	Serbuk WO <sub>3</sub> . sensor gas NO <sub>2</sub> ., Screen Printing fabrikasi	98
Osilator, dielektrik, kestabilan frekuensi, derau fasa, faktor kualitas	6	Nitridasi Plasma, Termokopel tipe K, M-Series PLC, Tbasic	103
Piezoelektrik, sensor getar	1	radar, chirp, DDS, FM-CW	117
Pengukuran pola radiasi projektor, hidrofona, medan jauh, diver tracking	42	Koherensi, Regenerasi Clock, Komunikasi Data Bawah Air.	122
Radar, motor, sudut, bearing, modbus	37	Time Division Duplex, RF WiMAX, branch line coupler, microstrip	134
Sel surya, dye-sensitized, elektrolit, elektroda fotoaktif.	72	branch line coupler, FR4	
Uninterruptible power supply, inverter, saklar elektromekanikal, baterai, mengambang	54	perancangan, patch array, mikrostrip, pengukuran, pola radiasi, horisontal, vertikal.	141
WiMAX, Wi-Fi, VSWR, gain	47	Kerusakan sepeda motor, suara mesin, SVM, LPC	149
		Sel surya dye-sensitized, rangkaian seri eksternal, modul surya, karakteristik I-V.	155

## D. KEYWORDS INDEKS

GPR, pulse generator, monocycle pulse, hilberts transformation	12	Coherence, Clock Regeneration, underwater data communication.	122
GSM network, on-line monitoring, remote control	17	Design, patch array, microstrip, measurement, radiation pattern, horisontal, vertical.	141
Humidity, temperature, ZnO thin oksida, gas sensor	32	Damage motorcycle, engine voice, SVM, LPC	149
Image, thermography, segmentation, color space, L*a*b.	30	Dye-sensitized solar cell, external series connection, solar module, I-V characteristic	155
LNA, MMIC, maritim radar	25	Encoder, Decoder, Reed-Solomon Code, Binary Symmetric Channel (BSC), Parity Check	85
Measurement radiation pattern, hudrophone, far field, diver tracking	42	GPR, footprint, ground clutter, image processing, FDTD	128
Microdevices, lift-off proses, sputtering, elektroda, heater, sensor gas, metal oksida	60	Image, security, conversion, encrypted	91
Oscillator, dielectric, frequency stability, phase noise, quality factor	6	Image, thermograph, classification, Fuzzy C Means.	110
Piezoelektrik, vibration sensor	1	Monopole antenna, efficiency antenna, surface penetrating radar, return loss, VSWR	79
Radar, motor, angle, bearing, modbus	37	Plasma Nitriding, Type K Thermocouple PLC M-Series, Tbasic	103
Solar cell, dye-sensitized, eelectrolyte, photoactive electrode.	72	Radar, chirp, DDS, FM-CW	117
Uninterruptible, power supply, interver, electromechanical switches, battery, floating	54	Time Division Duplex, RF WiMAX, branch line coupler, microstrip branch line coupler, Fr4	134
WiMAX, Wi-Fi, VSWR, gain	47	Wo3 powders, gas sensor NO2, Screen Printing, fabrication	98



## Aturan Penulisan Jurnal Elektronika 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 Redaksi.
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, metoda penelitian, hasil dan pembahasan, kesimpulan, ucapan trimakasih 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**], instansi, 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 dibawahnya. 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 dalam 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 dibawahnya 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, Charles. A, "Handbook of Thick Film Hybrid Microelectronic", *McGraw-Hill*, New York, 1974.
14. Makalah maksimal 6 halaman , termasuk gambar dan table.

Redaksi Pelaksana



JURNAL  
**ELEKTRONIKA dan TELEKOMUNIKASI**

PUSAT PENELITIAN ELEKTRONIKA DAN TELEKOMUNIKASI - LIPI

Jl. Sangkuriang Bandung 40135\_Telp. (022) 2504660/1; Fax. (022) 2504659

[Http://www.ppet.lipi.go.id](http://www.ppet.lipi.go.id), E-mail : [Info@ppet.lipi.go.id](mailto:Info@ppet.lipi.go.id)