

JURNAL

ISSN 1411-8289

Elektronika dan Telekomunikasi

VOLUME 11, NOMOR 1

Januari - Juni 2011

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



LIPI

PUSAT PENELITIAN ELEKTRONIKA DAN TELEKOMUNIKASI
LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA

J. El. Kom	Vol. 11	No. 1	Hal. 1 - 77	Bandung Januari - Juni 2011	ISSN 1411-8289
------------	---------	-------	-------------	--------------------------------	-------------------

JURNAL Elektronika dan Telekomunikasi

SUSUNAN REDAKSI

- Pelindung / Penasehat** : **Deputi Bidang IPTLIPI**
- Penanggung Jawab** : Kepala PPET-LIPI
- Dewan Redaksi** : Prof. Dr. Masbah R.T. Siregar
Prof. Eko Raharjo
Prof. AB. Suksmono
Dr. Ir. Adit Kurniawan, M. Eng
Dr. Goib Wiranto
Dr. Mashury Wahab, M. Eng
Dr. Purwoko Adhi, DEA
Dr. Ir. Yuyu Wahyu, MT
Dr. Edy Supriyanto, S.Si. M.Si
- Redaksi Pelaksana
Ketua** :
: Kepala Sub Bagian Jasa dan Informasi
- Anggota** : Lilis Retnaningsih, S.Si
Iqbal Syamsu, MT
Arief Nur Rahman, S.Si
Taufiqurrachman, 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

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

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
1. Aplikasi Elemen Piezoelektrik untuk Pengukuran Getaran (Tony Kristiantoro, Nanang Sudradjat dan Yaya Sulaeman)	1 - 5
2. Dielectric Resonance Oscillator (DRO) 8,65 GHz untuk Sistem Komunikasi RADAR (Yaya Sulaeman, Asep Yudi H dan Purwoko Adhi)	6 - 11
3. Investigasi Lapisan Penopang Bawah Permukaan pada Konstruksi Bangunan Menggunakan GPR (Liarto dan Sri Hardiati)	12 - 16
4. Pemanfaatan Teknologi Telemetry untuk Meningkatkan Produksi Tambak Udang Melalui Pemantauan Kualitas Air Tambak Secara On-Line (IDewa Putu Hermida dan Djohar Syamsi)	17 - 24
5. Penerapan Performance LNA GaAs PHEMT MMIC pada Sistem Radar Maritim FMCW (Sri Hardiati, Hana Arisesa, Arief Nur Rahman, Mashury Wahab dan Pamungkas Daud)	25 - 31
6. Pengaruh Kelembaban pada Lapisan Tipis ZnO Sebagai Bahan Sensitif Sensor Gas NH ₃ (Lilis Retnaningsih)	32 - 36
7. Pengendali Motor dan Pembaca Sudut Antena Radar (Purwoko Adhi)	37 - 41
8. Pengukuran Pola Radiasi Transduser Akustik Bawah Air untuk Aplikasi Diver Tracking (Syamsu Ismail, Deni Permana K, dan Eko Joni Pristianto)	42 - 46
9. Perancangan dan Realisasi Antena Biquad Dualband pada Frekuensi 2,3GHz - 2,4GHz dan 3,3GHz 3,4GHz (Yuyu Wahyu, Asep Yudi H dan Elbert Yamaku)	47 - 53
10. Perancangan dan Realisasi Uninterruptible Power Supply (UPS) sebagai Daya Cadangan pada Peralatan Penguat Suara dan Penerangan (Deni Permana dan Syamsu Ismail)	54 - 59
11. Rancang Bangun Struktur Mikrodivais di Silikon untuk Aplikasi Sensor Gas Berbasis Semikonduktor Metal Oksida (Goib Wiranto, Grace A Mambu, Slamet Widodo dan Widhya Budiawan)	60 - 65

12. Segmentasi Berbasis Warna pada Citra Termografi Kanker Payudara
Menggunakan Ruang Warna $L^*a^*b^*$ 66 - 71
(Octa Heriana dan Arief Nur Rahman)
13. Sel Surya Dyes-Sensitized TiO₂: Fabrikasi dan Analisa Material Elektrolit 72 - 77
(Natalita M. Nusam, Lia Muliani dan Jojo Hidayat)

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.

Pada penerbitan Volume 11 Nomor 1 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

Aplikasi Elemen Piezoelektrik untuk Pengukuran Getaran

Tony Kristiantoro, Nanang Sudradjat dan Yaya Sulaeman

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi

Jl. Sangkuriang, Komplek LIPI gd. 20 lt. 4 Bandung 40135

Ph. 022 2504661, Fax. 022 2504659

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

Abstract

Research for element of piezoelektrik LDT0 application at the measurement of vibration was done. LDT0 piezoelektrik was used as a vibration sensor at source jolt in the form of DC motor. This process was made the amount of payloads between two plate of piezoelektrik alternately changes according to physical treatment applied. Changes of payload piezoelektrik caused changing of tension which was read by signal conditioning circuit and processed then presented as vibration frequency. The result obtained a prototype of electronic peripheral for measuring vibration with frequency between 29 Hz up to 68 Hz on 3.75 volt up to 5.5 volt.

Keywords: Piezoelektrik, Vibration Sensor

Abstrak

Telah dilakukan penelitian aplikasi elemen piezoelektrik untuk pengukuran getaran. LDT0 piezoelektrik digunakan sebagai sensor getaran dan motor DC digunakan untuk simulasi sumber getaran. Getaran yang timbul pada motor DC akan menyebabkan perubahan jumlah muatan di antara dua lempeng piezoelektrik sesuai dengan perlakuan fisik yang diterapkan. Perubahan muatan ini menyebabkan perubahan tegangan yang dibaca oleh rangkaian pengkondisi sinyal dan diolah kemudian ditampilkan sebagai frekuensi getaran. Frekuensi kerja sistem adalah 29 Hz sampai dengan 68 Hz, yaitu pada tegangan motor 3.75 volt sampai dengan 5.5 volt.

Kata kunci: Piezoelektrik, sensor getaran

1. Pendahuluan

Efek getaran banyak ditemukan dalam realita kehidupan manusia, misalnya getaran seismik yang disebabkan karena faktor gravitasi bumi, getaran yang disebabkan oleh motor ac maupun motor dc, travo, mesin-mesin industri, getaran yang disebabkan oleh denyut jantung manusia dan lain-lain.

Piezoelektrik adalah jenis material, yang jika di deformasi (ditekan atau ditekuk) akan menghasilkan tegangan. Contoh piezoelektrik misalnya kristal kuarsa. Bila tekanan mekanik diberikan pada sebuah kristal kuarsa, timbul tegangan pada kristal itu yang besarnya sebanding

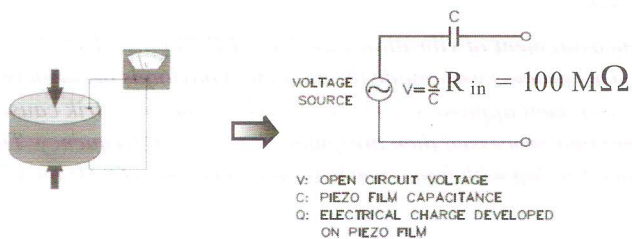
dengan tekanan, sebaliknya bila diberikan tegangan pada permukaan kristal, maka kristal akan berubah bentuk yang besarnya sebanding dengan tegangan tadi. Semua kristal yang memiliki sifat seperti ini disebut piezoelektrik. Bila pada kristal diberikan tegangan bolak balik, maka akan menyebabkan kristal bergetar pada frekuensi naturalnya.

Karena frekuensi ini besarnya sangat stabil maka piezo electric dipakai untuk menstabilkan frekuensi osilator[1]. Piezoelektrik memiliki karakteristik bila gaya dan regangan mengenainya maka akan mengeluarkan muatan-muatan listrik. Pengukuran sinyal listrik keluaran komponen elektronik piezoelektrik biasanya menemukan

kendala yang besar, kendala ini disebabkan karena sinyal keluaran piezoelektrik sangat kecil dan rentan terjadi interferensi. Oleh karena itu dibutuhkan rangkaian yang dapat membaca sinyal keluaran piezoelektrik.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengaplikasikan LDT0 sebagai sensor getaran dalam pembuatan perangkat elektronik, LDT0 adalah komponen elektronik yang memiliki elemen piezoelektrik diantara dua kepingnya[2].

Rangkaian ekivalen komponen piezoelektrik dapat dilihat pada gambar 1.

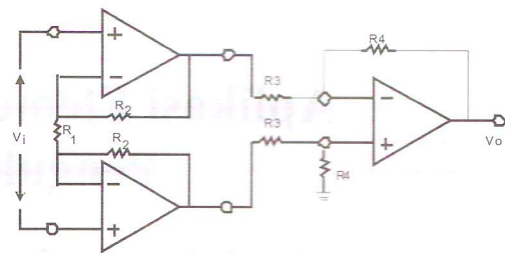


Gambar 1 : Rangkaian ekivalen piezoelektrik

Prinsip kerja elemen piezoelektrik menyerupai kapasitor, yaitu menyimpan muatan listrik sebesar nilai kapasitansi bahan piezo, dimana jumlah muatan yang dikandungnya berubah-ubah sebanding dengan perubahan tekanan yang diterimanya. Perubahan muatan listrik per kapasitansi elemen piezo menyebabkan perubahan tegangan pada komponen piezoelektrik. Komponen piezoelektrik memiliki tahanan dalam (R_{in}) yang besar yaitu 100 MW.

Perubahan muatan yang terjadi pada elemen piezoelektrik memiliki nilai sangat kecil sehingga dibutuhkan rangkaian pengkondisi sinyal yang stabil dan tahan terhadap sinyal interferensi. Untuk memenuhi kebutuhan ini maka diperlukan rangkaian penguat instrumentasi.

Rangkaian umum penguat instrumentasi[3], dapat dilihat pada gambar 2.

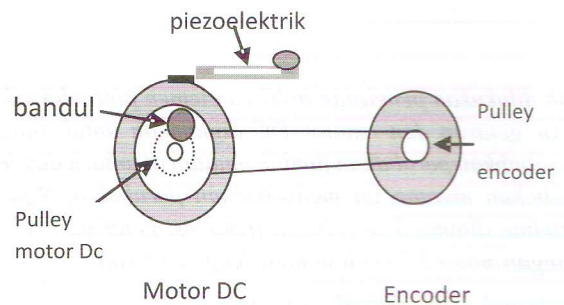


Gambar 2 : Rangkaian penguat instrumentasi

Penguatan dapat dibuat variable dengan memakai potensio R_1 , harga resistor harus dijaga untuk meminimalkan adanya *DC offset*. Pemakaian penguat pertama dan kedua yang terdapat pada IC yang sama dapat mengurangi ketidakseimbangan yang terjadi pada sisi masukan.

2. Eksperimen

Eksperimen dimulai dengan membuat sumber getaran seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 : Simulasi sumber getaran

Eksperimen dilakukan dengan membuat sumber getaran menggunakan motor dc dimana pada porosnya diberi pemberat/bandul, sumber getaran ini akan dibandingkan dengan encoder maka keduanya dibuat pulley dimana pulley motor dc adalah 8.06 mm dan pulley encoder adalah 6,01 mm, kemudian komponen piezoelektrik digunakan sebagai sensor getaran.

Agar dihasilkan pengukuran frekuensi yang benar maka nilai pembacaan pengukuran getaran dibandingkan dengan pembacaan alat ukur yang lain (encoder). Perbandingan ini bernilai benar apabila diameter pulley motor dc sama dengan

diameter pulley encoder. Apabila kedua pulley tidak memiliki diameter yang sama maka terlebih dahulu dicari nilai perbandingannya [4]:

$$\frac{\text{pulley motor}}{\text{pulley encoder}} = n \tag{1}$$

Nilai frekuensi normalisasi :

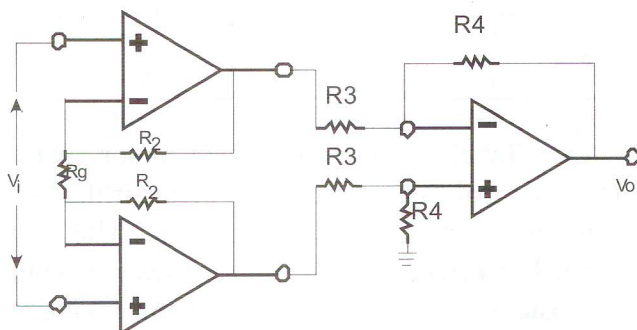
$$F = \text{frekuensi terukur} \times n \tag{2}$$

Pengukuran frekuensi getaran dilakukan dengan memvariasikan sumber tegangan motor DC, berakibat perubahan kecepatan putar pulley motor DC. Getaran ini diindera oleh sensor piezoelektrik.

Pengukuran level sinyal getaran dilakukan dengan memvariasikan berat bandul yang berakibat pada perubahan simpangan getaran. Simpangan getaran ini dibaca sebagai level sinyal getaran. Sinyal keluaran piezoelektrik dibaca oleh penguat instrumentasi yang terdapat pada rangkaian pengkondisi sinyal.

Pada eksperimen, penguat instrumentasi yang digunakan adalah AD620AN dimana di dalam satu komponen terdapat tiga penguat[5]. Agar menjadi penguat instrumentasi yang lengkap, komponen ini memerlukan sebuah resistor luar yaitu Rg.

Rangkaian dalam penguat instrumentasi AD620AN ditampilkan pada gambar 4.

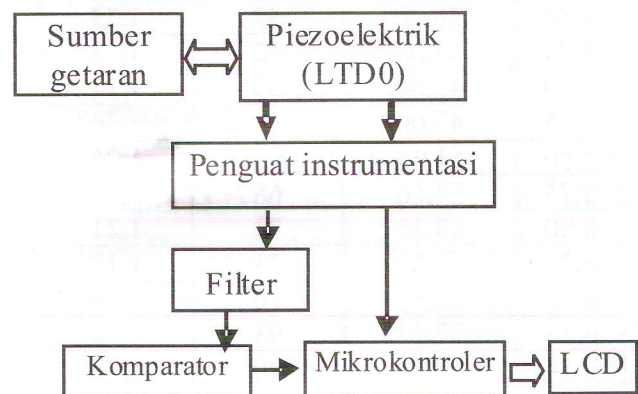


Gambar 4 : Rangkaian Dalam Penguat Instrumentasi AD620AN

Rg sebagai pengganti R1 akan menentukan kemampuan rangkaian penguat instrumentasi sebagai rangkaian pembaca sinyal sensor piezoelektrik.

Nilai Rg adalah 100 MW sama dengan nilai tahanan dalam komponen piezoelektrik, dimaksudkan supaya tidak terjadi efek pembebanan pada rangkaian penguat instrumentasi karena sinyal keluaran dari komponen piezoelektrik sangat kecil. Apabila nilai Rg terlalu kecil maka penguat instrumentasi sebagai rangkaian pengkondisi sinyal pembacaan piezoelektrik akan membebani sensor piezoelektrik yang berakibat sinyal sensor tidak dapat dibaca.

Eksperimen pengukuran di dalam laboratorium dengan mengikuti alur pengukuran seperti pada gambar 5.



Gambar 5 : Eksperimen Pengukuran

Perubahan muatan listrik menjadi perubahan tegangan merupakan sinyal keluaran piezoelektrik yang lalu dibaca oleh rangkaian penguat instrumentasi.

Agar bisa terbaca frekuensinya maka sinyal keluaran penguat instrumentasi dimasukan ke komparator. Komparator adalah rangkaian yang digunakan untuk mengubah sinyal sinus dari sensor piezoelektrik menjadi sinyal dengan level TTL agar bisa terbaca frekuensinya oleh mikrokontroler. Level sinyal getar diperoleh dengan mengolah sinyal sinus penguat instrumentasi.

3. Hasil dan Analisa

Prototipe sumber getaran diukur frekuensi dan level sinyal getaran oleh rangkaian elektronik pengukur getaran. Hasil pengukuran frekuensi, ditampilkan seperti pada tabel 1.

Tabel 1 : Data pengukuran frekuensi getaran

Teg. (V)	Freq. Piezo (Hz)	Freq. Encoder (Hz)	F.Enc./ F. Piezo
2.75	46,33	11	0,23
3.00	31,66	15	0,47
3.25	43,00	23	0,53
3.50	23,00	29	1,26
3.75	26,66	32	1,20
4.00	28,66	38	1,32
4.25	31,00	42	1,35
4.50	36,66	49	1,33
4.75	39,00	52	1,33
5.00	43,00	55	1,27
5.25	47,00	64	1,36
5.50	51,33	65	1,26
5.75	54,66	68	1,24
6.00	59,33	72	1,21
6.25	62,00	73	1,17
6.50	65,33	76	1,16
6.75	77,33	93	1,20
7.14	78,33	96	1,22

Data pengukuran frekuensi diperoleh dengan melakukan perubahan terhadap tegangan motor DC sebagai simulasi sumber getaran. Variasi tegangan ini mengakibatkan perubahan frekuensi sinyal getaran.

Pada tabel 1 terlihat ada perbedaan nilai frekuensi hasil pengukuran piezoelektrik dengan frekuensi sumber getaran yang terukur oleh encoder. Perbedaan antara frekuensi piezoelektrik dan frekuensi yang terukur oleh encoder disebabkan oleh perbedaan diameter pulley motor dengan pulley encoder. Pulley encoder adalah 6.01 mm dan puley motor adalah 8.06 mm. Perbandingan antara puley motor dan pulley encoder merujuk pada persamaan (1) diperoleh $n = 1.3$.

Motor DC diberi tegangan 3.5 volt, normalisasi frekuensi diperoleh dengan merujuk persamaan (2):

$$F = 23 \times 1.3$$

$$= 29.9 \text{ Hz}$$

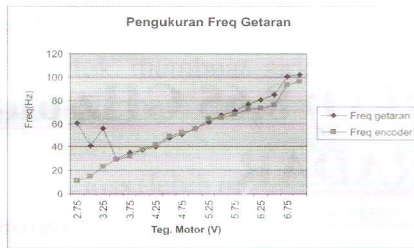
Demikian juga untuk pembacaan data pengukuran yang lain sehingga frekuensi setelah dinormalisasi ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2 : frekuensi hasil normalisasi

Teg. Motor (Volt)	Frekuensi Normalisasi (Hz)	Frekuensi Encoder (Hz)
2.75	60,23	11
3.00	41,16	15
3.25	55,90	23
3.50	29,90	29
3.75	34,66	32
4.00	37,26	38
4.25	40,30	42
4.50	47,66	49
4.75	50,70	52
5.00	55,90	55
5.25	61,10	64
5.50	66,73	65
5.75	71,06	68
6.00	77,13	72
6.25	80,60	73
6.50	84,93	76
6.75	100,53	93
7.14	101,83	96

Dari Tabel 2, variasi tegangan motor antara 2.75 V sampai dengan 3.25 V memperlihatkan pengukuran frekuensi tidak linier. Hal ini dikarenakan ketika motor diberi tegangan tersebut maka sistem sumber getaran tidak stabil sehingga pembacaan piezoelektrik sebagai sensor getaran tidak stabil.

Linearitas pengukuran frekuensi sinyal getaran diperlihatkan pada gambar 6.

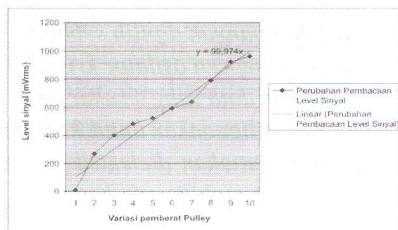


Gambar 6 : Linearitas Pengukuran Frekuensi

Pemberian tegangan pada motor antara 2.75 V sampai dengan 3.25 V dan 5.75 V sampai dengan 7.14 V menjadikan system bekerja tidak stabil, sumber getar bergetar tidak beraturan, menyebabkan pembacaan sensor piezoelektrik menjadi tidak benar. Pemberian variasi tegangan antara 3.75 V sampai dengan 5.5 V membuat sistem bekerja stabil, sehingga pengukuran rentang frekuensi 29 Hz sampai dengan 68 Hz memiliki linearitas yang baik.

Pengukuran level sinyal getaran diperoleh dengan melakukan variasi terhadap pemberat/ bandul pada pulley motor DC. Perubahan pemberat ini akan menyebabkan perubahan simpangan pada piezoelektrik. Perubahan simpangan inilah yang menyebabkan perubahan level sinyal getaran.

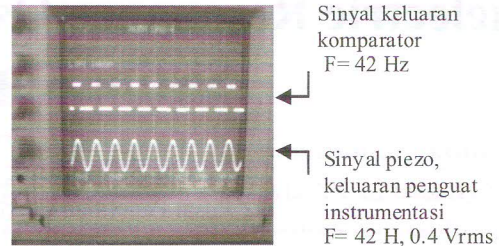
Linearitas pengukuran sinyal getaran ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7 : Linearitas Pengukuran Sinyal Getaran.

Dari gambar 7 terlihat linearitas tidak seragam, hal ini disebabkan pemilihan pemberat/ bandul yang tidak seragam. Dari pengukuran sudah terlihat bahwa perubahan pemberat menyebabkan perubahan level sinyal getaran yaitu semakin berat bandul maka simpangan getar semakin besar sehingga level sinyal getaran semakin besar.

Sinyal getaran hasil pengukuran ditampilkan pada Gambar 8:



Gambar 8 : Sinyal Output Penguat Instrumentasi Dan Komparator

Sinyal keluaran sensor piezoelektrik adalah sinyal sinus murni tanpa sinyal interferensi atau noise, hal ini memperlihatkan bahwa rangkaian pengkondisi sinyal yang menggunakan penguat instrumentasi AD620AN adalah rangkaian yang tepat digunakan untuk membaca sinyal keluaran piezoelektrik sebagai sensor getaran.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil mengaplikasikan piezoelektrik LDT0 pada pengukuran getaran dimana besaran yang terukur adalah frekuensi dan level sinyal getaran.

Frekuensi kerja sistem adalah 29 Hz sampai dengan 68 Hz, yaitu pada tegangan motor 3.75 volt sampai dengan 5.5 volt.

5. Daftar Pustaka

1. Watiasih, Richa. 2008. Penerapan LVDT sebagai sensor Getaran pendeteksi ketidakrapatan berbasis data getaran pada kompresor *Polinema 7* (2).
2. Measurement specialisties, inc, <http://www.msiusa.com> & <http://www.meas-spec.com>, diakses tanggal 20 Mei 2009.
3. Frederick W, Hughes.1990. *Panduan Op – Amp*. Elex Media Koputindo, Jakarta
4. Sekolah Tinggi Elektronika dan Informatika. 2006. *Sistem Mekanik*. ITB. Bandung.
5. Analog devices, inc, <http://www.analog.com>, diakses tanggal 20 Mei 2009.

Dielectric Resonance Oscillator (DRO) 8,65 GHz untuk Sistem Komunikasi RADAR

¹Yaya Sulaeman, ²Asep Yudi H, ³Purwoko Adhi

^{1,2,3}Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) LIPI
Komplek LIPI Gd. 20 Jl. Sangkuriang Bandung 40135

Telp/fx : 022-2504660/2504659

Email: ¹yaya@ppet.lipi.go.id, ²asep@ppet.lipi.go.id, ³purwoko@ppet.lipi.go.id

Abstract

Dielectric Resonator Oscillators (DRO) are used widely in today's electronic warfare, missile, radar and communication systems. They find use both in military and commercial applications. The DRO are characterized by low phase noise, compact size, frequency stability with temperature, ease of integration, simple construction and the ability to withstand harsh environments. These characteristics make DRO a natural choice both for fundamental oscillators and as the sources for oscillators that are phase-locked to reference frequencies, such as crystal oscillators. This paper summarizes design techniques for DRO and the voltage-tuning DRO (VT-DRO), and presents measured data for them including phase noise, frequency stability and pulsing characteristics. The research of high frequency oscillator module which can be used for radar communications system which operate in X band is reported. This microwave oscillator module is applied using dielectric resonating oscillator (DR). The measurement characteristics such as Bandwidth (BW), Power output (P), frequency oscillation (F), frequency stability.

Keywords : oscillator, dielectric, frequency stability, phase noise, quality factor

Abstrak

Osilator Resonansi Dielektrik (DRO) mulai digunakan secara luas dalam perkembangan elektronik, rudal, radar dan sistem komunikasi. Penggunaan DRO untuk aplikasi militer dan komersial. Keunggulan DRO ditunjukkan pada fase noise yang rendah, ukurannya yang sederhana, frekuensinya stabil terhadap suhu, kemudahan dalam integrasi, konstruksi sederhana dan kemampuan untuk diaplikasi pada komunikasi RADAR. Karakteristik ini membuat DRO banyak dipilih sebagai dasar untuk osilator dan sebagai sumber referensi frekuensi osilator untuk penguncian pada fasenya, seperti osilator kristal. Makalah ini merangkum teknik desain DRO dan pengaturan tegangan DRO (VT-DRO), dan menyajikan data yang terukur pada bising fase, stabilitas karakteristik frekuensi. Pada penelitian modul osilator frekuensi tinggi ini dapat digunakan untuk komunikasi sistem radar yang dapat bekerja pada daerah X_band. Modul Osilator microwave ini menggunakan dielektrik resonansi (DR). Pengukuran meliputi besaran-besaran lebar pita (BW), output daya (P), frekuensi osilasi (F), stabilitas frekuensi.

Kata kunci : osilator, dielektrik, kestabilan frekuensi, derau fasa, faktor kualitas

1. Pendahuluan

Radar merupakan sistem komunikasi yang sangat menunjang untuk pertahanan dan keamanan negara kita. Secara ekonomis, jika kita melakukan pengadaan perangkat sistem komunikasi Radar sangat mahal sekali. Dengan adanya penelitian dan realisasi pembuatan komponen penunjang komunikasi RADAR yaitu DRO ini, maka dapat menambah kekuatan pada sektor pertahanan dan

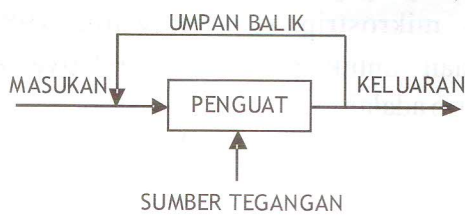
keamanan NKRI.

DRO merupakan Dielectric Resonance Oscillator sebuah teknologi LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) dimana lapisan multi-proses keramik yang cocok dengan biaya rendah, kinerja RF tinggi untuk kebutuhan aplikasi perangkat elektronika seperti : microwave, Radar, Optik dan lain-lain yang memerlukan osilator frekuensi tinggi.

Proses LTCC hampir sama dengan yang digunakan untuk membuat sirkuit konvensional multi-layer menggunakan bahan laminasi seperti FR4, LTCC memiliki beberapa keuntungan:

- Dielectric loss (lebih rendah dari $\tan\delta$);
- Memiliki sifat dielektrik lebih baik (ϵ_r , $\tan\delta$ dan ketebalan);
- Hal ini juga cocok untuk menghasilkan modul dalam bentuk paket SMT yang murah, termasuk BGA topologi;
- Dimungkinkan untuk terintegrasi dengan komponen lain, seperti transistor, resistor dan kapasitor.

Prinsip dasar perancangan Osilator meliputi komponen umpan balik, rangkaian resonansi, penguat, sumber tegangan dan keluaran.



Gambar 1 : Blok Diagram Rangkaian Osilator.

Teknik perancangan resonator dielektrik (DR) adalah menggunakan komponen rangkaian komponen umpan balik. Sebuah Gaas FET atau transistor bipolar Si-dipilih sebagai bagian dari rangkaian perangkat aktif untuk osilator DRO. Si-Transistor bipolar umumnya dipilih sebagai penguat yang memiliki karakteristik penguat sinyal yang sangat rendah, sedangkan FET GaAs diperlukan sebagai menguatkan frekuensi tinggi. Sebuah DRO dengan DR sebagai rangkaian elemen umpan balik dapat dirancang dengan menggunakan komponen aktif yang mampu beresonansi pada frekuensi resonansi, dan menggunakan sinyal kecil parameter-S sebagai perancangannya. Penambahan rangkaian umpan balik untuk memastikan bahwa faktor stabilitas komponen aktif tetap terjaga pada kondisi saturasinya.

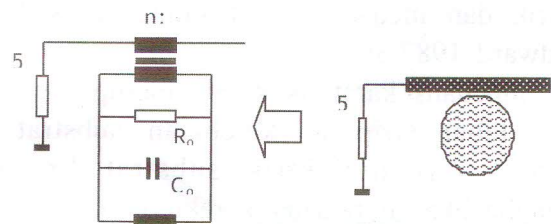
Komponen resonansi harus memiliki variasi maksimum resonansi yang memiliki faktor kualitas tinggi (Q).

2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian membuat komponen penunjang Komunikasi RADAR khususnya DRO dimana kompoen ini merupakan jantung dari sistem yang saat ini masih ketergantungan dengan buatan luar negeri.

3. Metode Penelitian

Sebuah komponen *stub* terbuka (dengan impedansi 50 ohm) sebagai sumber terminasi dari FET, berfungsi sebagai elemen umpan balik. Dengan menyesuaikan panjang *stub* dielektrik umpan balik, maka ditentukan besaran karakteristik impedansi sehingga dihasilkan frekuensi yang diinginkan (6-15 GHz).



Gambar 2 : Konfigurasi Dielektrik Resonansi Dalam Sebuah DRO.

Dielektrik resonansi memiliki Q (factor kualitas) tinggi maka nilai R_0 sangat tinggi (biasanya puluhan k Ω) dan *phase noise* osilator yang dihasilkan rendah. Resonansi reaktansi dari L_0 dan C_0 adalah sama dan berlawanan fasa, serta sirkuit setara dengan resonator dielektrik R_0 yang bernilai tinggi. Frekuensi resonansi diberikan oleh persamaan 1.

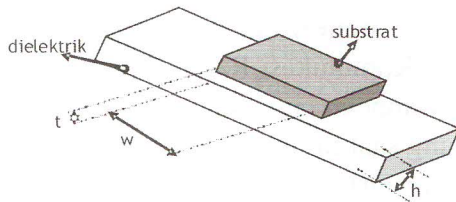
Persamaan 1.
$$F_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_o.C_o}}$$

Dimana L_o = Induktansi, C_o Capasitansi

Saluran mikrostrip terdiri dari jalur-jalur konduktor berbentuk strip dan lapisan *ground*

plane diantaranya memiliki bahan dielektrik.

Lebar strip konduktor adalah w , ketebalan lapisan konduktor adalah t , dan ketebalan bahan dielektrik sebagai bahan substrat adalah h , di tunjukan pada gambar 3.



Gambar 3 : Struktur Mikrostrip

Pada relisasinya dalam sebuah gelombang mikro, nilai h berkisar 0,1 sampai 2 mm dan w antara 1 sampai 30 μm . Struktur mikrostrip terbuka ini peka terhadap interferensi dari luar sehingga pemakaiannya banyak digunakan. Energi gelombang yang merambat pada lapisan konduktor akan mendekati pola mode rambatan TEM (medan listrik dan medan magnet saling tegak lurus). (Edward, 1987:36).

Impedansi karateristik yang merupakan fungsi dari lebar strip w , ketebalan substrat dan permitifitas dielektrik substrat E_r , akan menghasilkan impedansi karakteristik saluran Z_o dari persamaan di bawah ini. (Edward, 1987:45).

Untuk strip sempit ($\frac{w}{h} < 1$)

$$Z_o = \frac{1199}{\sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \left[\ln \left[\frac{4h}{w} + \sqrt{16 \left(\frac{h}{w} \right)^2 + 2} \right] - \frac{\epsilon_r - 1}{2(\epsilon_r + 1)} \left\{ \ln \left(\frac{\pi}{2} \right) + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \left(\frac{4}{\pi} \right) \right\} \right]$$

Perhitungan w/h penting dalam perancangan rangkaian, karena sangat menentukan bentuk dan dimensi yang tepat dari jalur mikrostrip. Apabila nilai impedansi karekteristik Z_o dan E_r telah diketahui, maka dimensi saluran mikrostrip dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut : (Edward, 1987 : 44).

Impedansi karaktristik tinggi pada strip yang sempit $\{Z_o > (44 - 2\epsilon_r)\}$:

$$\frac{w}{h} = \left(\frac{\exp H}{8} - \frac{1}{4 \cdot \exp H} \right)^{-1}$$

Dimana :

$$H = \frac{Z_o \sqrt{2(\epsilon_r + 1)}}{119,9} + \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left(\ln \left(\frac{\pi}{2} \right) + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \left(\frac{4}{\pi} \right) \right)$$

Impedansi karektristik rendah pada strip yang lebar $\{Z_o < (44 - 2\epsilon_r)\}$:

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ (d-1) - \ln(2d-1) \right\} + \frac{\epsilon_r - 1}{\pi \epsilon_r} \left\{ \ln(d-1) + 0,293 - \left(\frac{0,517}{\epsilon_r} \right) \right\}$$

Dimana :

$$d = \frac{59,95\pi^2}{Z_o \sqrt{\epsilon_r}}$$

Sedangkan untuk panjang gelombang yang merambat pada saluran mikrostrip untuk suatu nilai permitifitas efektif dan frekuensi kerja tertentu adalah tergantung fungsi kuadran perbandingan panjang gelombang yang merambat di udara (λ_o) dengan panjang gelombang yang merambat pada saluran mikrostrip (λ_g). (Edward, 1981:41). Persamaan untuk permitifitas relative efektif mikrostrip adalah :

$$\epsilon_{eff} = \left(\frac{\lambda_o}{\lambda_g} \right)^2$$

Dimana : $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

Jadi panjang gelombang yang merambat pada saluran mikrostrip adalah :

$$\lambda_g = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \text{ meter}$$

Atau :

$$\lambda_g = \frac{300}{F \sqrt{\epsilon_{eff}}} \text{ mm, F dalam GHz}$$

3.2. Resonansi Dilektrik dan Penguat

Gelombang elektromagnetik pada lapisan antara dielektrik dan udara dalam elemen, akan menghasilkan konsentrasi energi resonator dan harus berdekatan. Dielektrik ini, biasanya berupa senyawa barium dan titanium oksida (BaTi_4O_9) dengan dielektrik konstan (ϵ_r) sebesar 38. Diameter (D) resonator dapat diperoleh pendekatan berdasarkan rumus di bawah ini :

$$D = \frac{C}{F_r \cdot \sqrt{\epsilon_r}}$$

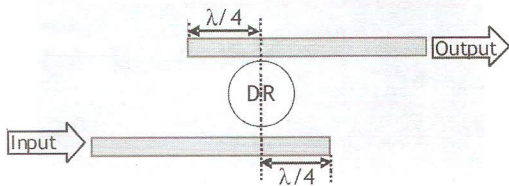
Dimana :

F_r = merupakan frekuensi pada saat resonansi

C = merupakan cepat rambat cahaya $3 \cdot 10^8$

Penentuan diameter bahan dielektrik harus menghasilkan osilasi dimulai sekitar 200 MHz, sehingga pengaturan frekuensi tanpa tuning sekrup atau penutup.

Dari hasil perhitungan mikrostrip dan resonansi dielektrik, maka dapat di hasilkan suatu konfigurasi transmisi untuk rangkaian osilasi terhadap bahan dielektrik. Sehingga dihasilkan suatu resonansi sesuai dengan kebutuhan. Konfigurasi tersebut ditunjukkan pada gambar gambar di bawah ini :



Gambar 4 : Konfigurasi Resonansi Bahan Dielektrik Terhadap Jalur Mikrostrip

Generasi ke-4 yang terjadi dipasaran semikonduktor diskrit, penguat yang mulai banyak dipergunakan adalah dari bahan GaAs FETs serta penggunaan B6HF teknologi planar. Karena dapat menghasilkan frekuensi sekitar 26 GHz.

Kriteria penentuan penguat yang harus diperhatikan dalam pembuatan osilator adalah sebagai berikut :

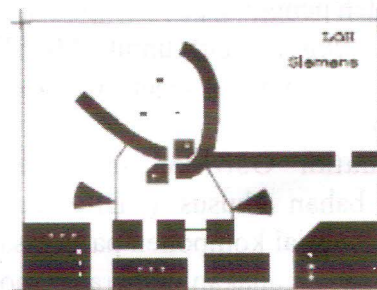
- Memilih penguat berdasarkan kisaran tegangan dan arus. Hal ini sangat menentukan operasi dari osilator dalam pemakaian tegangan dan arus serta daya keluaran (level).
- Frekuensi *cut off* penguat, harus memiliki frekuensi kerja sebesar dua kalinya dari frekuensi kerja yang diinginkan. Karena sangat berpengaruh pada tingkat kebisingan osilator.

- Parameter S, yang mengindikasikan karakteristik sinyal kecil. Karena memiliki sensitifitas tinggi dalam manghasilkan sinyal osilasi.
- Kompresi P -1dB, menentukan nilai perkiraan daya keluaran dari hasil penguatan osilasi dielektrik.

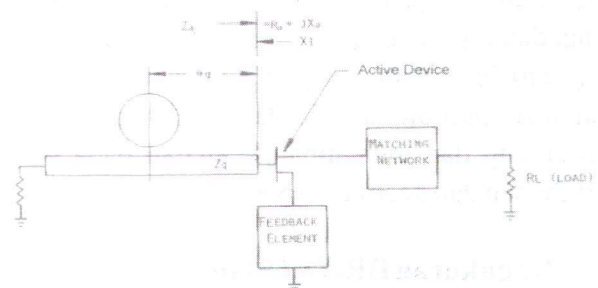
3.3 Layout PCB

Pembuatan *layout* PCB dilakukan untuk membuat rencana pemasangan komponen elektronika. PCB dbuat sesuai dengan diameter bahan dielektrik yang digunakan dan berdasrakan hasil perhitungan jalur mikrostrip transmisi. Langkah pembuatan *layout* PCB meliputi pembuatan gambar rangkaian, penentuan *foot print* komponen, pembuatan jalur mikrostrip, pengaturan tataletak komponen dan pemasangan konektor.

Gambar di bawah merupakan hasil perancangan *layout* PCB untuk DRO 9,75 GHz.



Gambar 5 : Rancangan Layout PCB Untuk DRO 9,65GHz



Gambar 6 : Rangkaian DRO Dengan Umpan Balik Seri.

4. Realisasi DRO 8,65 GHz

Penentuan jarak resonansi dielektrik diatur sedemikian rupa sehingga reaktansi yang masuk pada input transistor adalah negatif (Z_a). Karakteristik impedansi saluran transmisi output (Z_g), memiliki impedansi 50 ohms.

Panjang dan pendek *stub* dielektrik pada umpan balik menghasilkan perubahan reaktansi dan perubahan frekuensi. Jika *stub* umpan balik semakin pendek akan menghasilkan induksi resistansi negatif semakin besar.

Resistansi yang negatif dihasilkan oleh pajangnya dielektrik *stub*, umpan balik kurang dari 25 derajat yang akan diambil sebagai bahan toleransi pergeseran frekuensi *stub* umpan balik sampai 45 derajat.

Osilator diperlukan sebagai frekuensi referensi untuk Mixer Radar dan juga referensi Mixer pada IF sistim Radar.

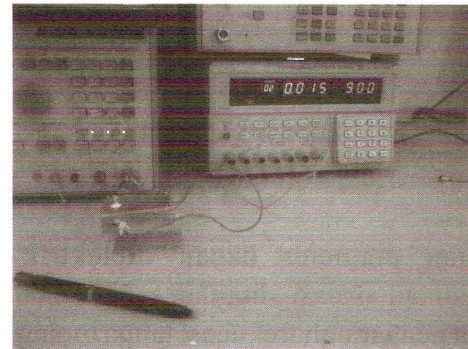
DRO memiliki nilai ilmiah dalam hal, material komponen, stabilitas, dimensi dan ditunjang oleh penggunaan komponen aktif SMD (*small mounting device*) untuk MOSFET serta komponen pasif lainnya, seperti resistor, kapasitor dan induktor.

Pembuatan Osilator ini, memerlukan komponen bahan khusus (DR) dan tertentu. Keperluan material komponen pasif bisa di dapat, karena sudah digunakan beberapa modul pada Radar ISRA di di PPET-LIPI.

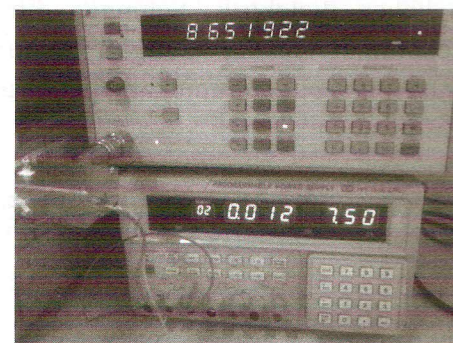
Radar merupakan sistem komunikasi yang sangat menunjang untuk pertahanan dan keamanan negara kita. Secara ekonomis, jika kita melakukan pengadaan perangkat sistem komunikasi Radar sangat mahal sekali. Dengan adanya penelitian dan realisasi pembuatan Radar ini, maka dapat menunjang dan menambah kekuatan pada sektor pertahanan dan keamanan NKRI.

5. Pengukuran DRO 8,65 Ghz

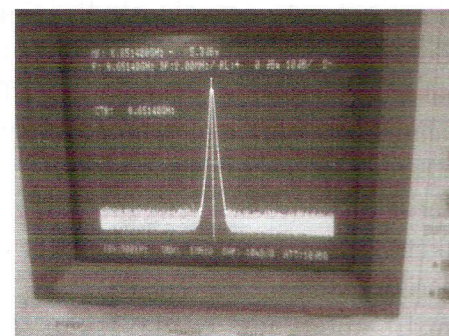
Set up pengukuran rangkaian oscillator diperlihatkan pada gambar 7 sampai gambar 9 dibawah ini :



Gambar 7 : Set Up Pengukuran DRO



Gambar 8 : Keluaran Frekuensi DRO



Gambar 9 : Spectrum Frekuensi DRO

Peralatan yg digunakan untuk pengukuran DRO adalah : Microwave, frekuensi counter, Programmable Power Supply dan Spektrum analyzer. Tabel 1 memperlihatkan unjuk kerja DRO terhadap tegangan.

Tabel 1 : Tegangan VS Frekuensi DRO

No	Tegangan VDC	Frekuensi GHz	Arus (mA)
1	7	8,651,793	11
2	7,05	8,651,814	11
3	7,1	8,651,828	11
4	7,15	8,651,841	11
5	7,2	8,651,856	11
6	7,25	8,651,865	11
7	7,3	8,651,875	11
8	7,5	8,651,922	12
9	8	8,652,029	12
10	8,5	8,652,117	14
11	9	8,652,203	15
12	10	8,652,293	17

6. Kesimpulan

Telah dihasilkan prototipe DRO pada ; - Range frekuensi DRO 8.651 GHz s/d 8.652 GHz dengan catuan tegangan antara 7 Volt DC hingga 10 Volt DC, dengan arus berkisar 11 mA s/d 17 mA. Tuning dapat juga dilakukan dengan mekanikal tuning, dalam hal ini tuning di posisikan pada frekuensi 8.65 Ghz. Daya keluaran oscillator 7 dBm.

7. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada PPET-LIPI yg telah membiayai Penelitian DIKTI 2011 dengan dengan judul DRO untuk komunikasi RADAR, kepada seluruh staff sub.bid sarana Telekomunikasi dan kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini.

8. Daftar Pustaka

- [1] Pamungkas Daud, Mashury Wahab, "Osilator Dielektrik (DRO) untuk Komunikasi Sistem Satelit", Jurnal Elektronika no.1 Volume 5, tahun 2005.
- [2] Trantech, "A Designer's guide to Microwave Dielectric Ceramics", 1998
- [3] Kayfez. D and Guillon, P, "Dielectric Resonator", Vector Fields, Oxford Mississippi, 2000.
- [4] Gentili, Christian, "Microwave Amplifiers and Oscillators", 1998.
- [5] T.C Edward, "Fundamental for Microstrips Design", John Wiley Sons, New York 1987.
- [6] Vendelin, George D., "Design of Amplifiers and Oscillator by the S-parameter method", 1981.
- [7] "Microwave Harmonica" untuk simulasi dan perancangan dari design microwave device, 1998.
- [8] Chen, S. et ai, "A Unified Design of Dielectric Resonator Oscillator for Telecommunication Systems," IEEE-MTTSDigest, 1986.

Investigasi Lapisan Penopang Bawah Permukaan pada Konstruksi Bangunan Menggunakan *GPR*

Liarto^(1,2), Sri Hardiati⁽³⁾

1) Universitas Nasional

Jl. Sawo Manila, Pejaten-Pasar Minggu, Jakarta Selatan 12510, Telp.(021) 7802713

2) Radar & Communication Systems

Segitiga Emas Bussines Park, Jl. Prof. Dr. Satrio KAV 6 Jakarta Selatan 12940, Tlp. (021) 57951132

3) Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) LIPI

Kampus LIPI Bandung, Jl. Sangkuriang Bandung 40135, Telp. (022) 2504660

Email: Liarto@solusi247.com

Abstract

Subsurface investigation by using Ground Penetrating Radar (GPR), one of non-destructive detection methods of subsurface objects, is appropriate to be used in studying subsurface objects with no damage to the objects or change in surrounding environmental conditions. This research investigates layers supporting concrete roads and is aimed at determining the quality of the layers of a collapsed concrete road by using 5ns GPR pulses (f_c : 200MHz). It is conducted by measuring the thickness of supporting layers below the surface and analyzing the physical condition of the layers. The thickness of the supporting layers can be obtained by having Hilbert transformation on the GPR data processing. Meanwhile, the analysis of the physical condition of the layers is conducted by identifying the existence of cavities and measuring the water contents which determine the level of strength of the supporting layers. From the research, the thickness and physical condition of the supporting layers of the concrete road can be obtained.

Keywords: GPR, Pulse Generator, Monocycle Pulse, Hilbert Transformation.

Abstrak

Investigasi objek bawah permukaan menggunakan Ground Penetrating Radar (GPR) termasuk metode deteksi objek bawah permukaan yang bersifat non destruktif (tidak merusak). Oleh karena itu metode tersebut tepat digunakan untuk investigasi objek bawah permukaan dengan ketentuan tidak merusak objek ataupun merubah kondisi lingkungan sekitar. Pada penelitian ini dilakukan investigasi terhadap lapisan-lapisan penopang bangunan (jalan beton), dengan tujuan mengetahui kualitas lapisan-lapisan penopang jalan beton yang mengalami runtuh menggunakan GPR pulsa 5ns (f_c :200MHz). Investigasi lapisan-lapisan penopang konstruksi bangunan dilakukan dengan pengukuran terhadap tebal lapisan-lapisan penopang bawah permukaan dan analisa kondisi fisik dari lapisan-lapisan. Ukuran tebal lapisan-lapisan penopang dapat diperoleh dengan melakukan transformasi Hilbert terhadap processing data GPR. Sedangkan untuk analisa kondisi fisik lapisan-lapisan dilakukan identifikasi terhadap adanya rongga-rongga dan mengukur kandungan air yang menentukan tingkat kekuatan lapisan-lapisan penopang. Dari hasil penelitian yang dilakukan, investigasi terhadap lapisan-lapisan bawah permukaan dapat dilakukan dengan GPR, ketebalan dan kondisi fisik lapisan-lapisan penopang jalan beton dapat diketahui.

Kata Kunci: GPR, Generator Pulsa, Pulsa monocycle, Transformasi Hilbert.

1. Pendahuluan

GPR termasuk dalam jenis radar nonkonvensional, hal ini dikarenakan jenis radar tersebut digunakan untuk deteksi objek di bawah permukaan bukan untuk target permukaan atau target terbang seperti fungsi radar pada umumnya. Beberapa kelebihan dari teknologi *GPR* adalah:

1. Tidak merusak objek dan lingkungan sekitar yang dilakukan investigasi, karena pengambilan data objek pada teknologi *GPR* adalah dengan memanfaatkan pancaran sinyal elektromagnetik
2. Dalam operasionalnya tidak membutuhkan banyak perlengkapan pendukung
3. Tidak membutuhkan daya listrik yang besar

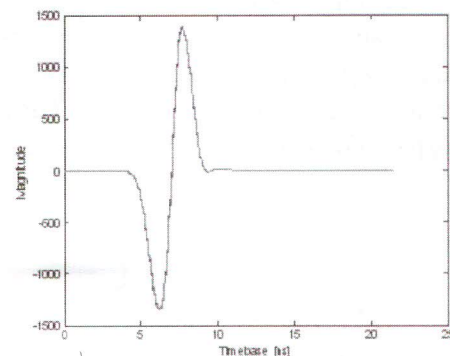
4. Pengambilan data objek investigasi tidak membutuhkan waktu yang lama
5. Biaya operasionalnya murah

Investigasi objek bawah permukaan yang sering dilakukan menggunakan teknologi *GPR*, diantaranya adalah untuk keperluan: pencarian situs-situs purbakala, deteksi ranjau darat, pemetaan bahan-bahan tambang permukaan dangkal dan uji kelayakan dari konstruksi bangunan. Investigasi bawah permukaan juga sering dilakukan, bila dokumentasi penanaman utilitas bawah permukaan tidak ada atau tidak dilakukan dengan baik. Sehingga perlu pemetaan ulang menggunakan *GPR* bila akan dilakukan pembangunan utilitas baru pada lokasi yang sama. Pada penelitian ini dilakukan investigasi lapisan - lapisan penopang jalan raya beton menggunakan *GPR* pulsa, dengan tujuan mengetahui kondisi lapisan-lapisan penopang konstruksi jalan raya beton yang mengalami runtuh. Resolusi (tingkat sensitifitas) deteksi terhadap target pada *GPR* pulsa ditentukan oleh tinggi rendahnya frekwensi tengah (f_c) yang berbanding terbalik dengan kemampuan penetrasinya, dimana semakin tinggi f_c maka akan semakin tinggi resolusinya dan akan semakin dangkal kemampuan daya tembus dari *GPR*. Penggunaan generator pulsa dengan beberapa f_c sering dilakukan agar diperoleh data gabungan, sehingga diperoleh resolusi tinggi dengan tetap mempertahankan kemampuan penetrasinya. Dikarenakan objek investigasi pada penelitian ini adalah lapisan-lapisan penopang jalan beton yang memiliki ketebalan lapisan > 20cm, maka digunakan generator pulsa yang memiliki f_c : 200MHz. Data investigasi yang diperoleh *GPR* dapat dilakukan pemrosesan lebih lanjut, sehingga mudah diinterpretasikan. Dimana tampilan prosesi akhir dari data *GPR* dapat berupa *A-scan* (1D), *B-scan* (2 D) atau *C-scan* (3D).

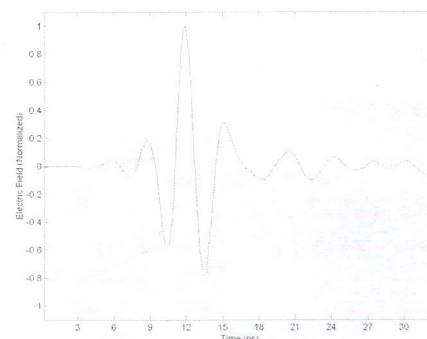
2. Sistem *GPR*

Berdasar sinyal pancar dan modulasi yang dilakukan, teknologi *GPR* dapat dikelompokkan menjadi: pulsa, *step frequency* dan *single frequency* [1]. Dari beberapa teknologi tersebut, masing-masing memiliki kelemahan dan kelebihan, sehingga diperlukan pemilihan teknologi *GPR* yang tepat untuk tahap aplikasinya. Pada penelitian ini digunakan *GPR* pulsa (f_c : 200MHz), dimana memiliki kelebihan dalam kesederhanaan pemrosesan data, akan tetapi pada

desain *hardware* menjadi lebih kompleks. Pada sistem *GPR* pulsa, pulsa *monocycle* dibangkitkan oleh generator pulsa yang selanjutnya dipancarkan melalui antenna transmit. Kualitas sistem antenna memiliki peran penting pada sistem ini, dimana antenna harus dapat menjaga bentuk pulsa pancar *monocycle* dan memiliki kesetabilan response terhadap perubahan lingkungan medan dekat. Dengan pertimbangan faktor tersebut di atas, maka antenna yang umum digunakan pada sistem *GPR* adalah jenis *horn* dan *dipole*. Pada penelitian ini digunakan antenna *shielded role dipole*, yang memiliki kelebihan dalam penekanan terhadap *ringing* (kerusakan pulsa *monocycle*) dan antenna memiliki kesetabilan *response* terhadap perubahan lingkungan medan dekat [2-5]. Sebagai contoh, pulsa *monocycle* dari generator pulsa ditampilkan pada Gambar 2.1(tanpa *ringing*). Sedangkan pada Gambar 2.2 adalah pulsa *monocycle* yang sudah dilewatkan melalui antenna *dipole* dengan material *absorber* peredam *ringing* (terdapat sedikit *ringing*) [2].



Gambar 2.1 : Bentuk Pulsa Transmisi 0.8 ns (f_c : 1 GHz.) Pada Validasi Generator Pulsa *GPR*



Gambar 2.2 : Bentuk pulsa transmisi 5 ns (f_c : 200 MHz.) pada antenna *dipole* dibebani R material *absorber*.

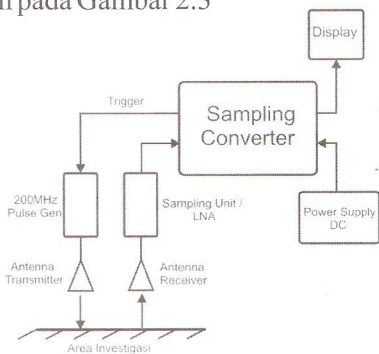
Pulsa pancar *monocycle* dalam perjalanannya mengalami rugi-rugi (*losis*), baik dari dalam sistem Radio Frekwensi (RF) ataupun dari *losis* propagasi. *Losis* total sistem *GPR* dapat dihitung dengan Persamaan 1:

$$L_t = L_e + L_m + L_{t1} + L_{t2} + L_s + L_a + L_{sc} \dots\dots\dots(1)$$

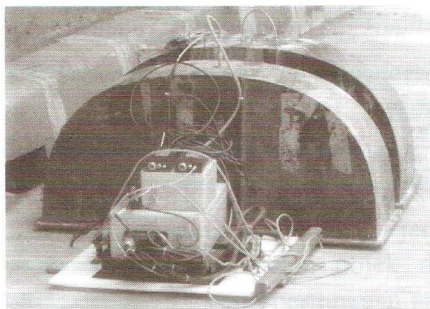
Dimana:

- L_e = *Losis* dari efisiensi antenna (dB)
- L_m = *Losis* dari *mismatch* antenna (dB)
- L_{t1} = *Losis* dari transmisi udara ke material (sistem transmit, dB)
- L_{t2} = *Losis* transmisi dari material ke udara (sistem *receive*, dB)
- L_s = *Losis* pancaran antenna (dB)
- L_a = *Losis* dari atenuasi material (dB)
- L_{sc} = *Losis* dari target (dB)

Pulsa kembali (*echo*) diterima oleh antenna *receiver* yang selanjutnya dikuatkan oleh *sampling unit (LNA)*. Sinyal *echo* yang telah dikuatkan selanjutnya dilakukan pemrosesan pada *sampling converter* sehingga diperoleh data *output* yang berupa *A-scan* dan *B-scan*. Blok diagram secara umum dari sistem *GPR* pulsa ditampilkan pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 : Blok Diagram dari Sistem *GPR* Pulsa.



Gambar 2.4 Realisasi sistem *GPR* pulsa dengan antenna *shielded role dipole* (f_c : 200MHz).

Dalam investigasi (*scanning*) menggunakan sistem *GPR* dapat dilakukan dengan kondisi sistem antenna mengambang di atas permukaan tanah, atau sistem antenna menempel pada permukaan tanah. Untuk sistem antenna mengambang di atas permukaan tanah memiliki kelebihan pada kesetabilan pergerakan *scanning*, namun memiliki kerugian karena banyaknya refleksi elektromagnetik pada transisi udara ke permukaan tanah. Dan pada penelitian ini, *scanning* dilakukan dengan kondisi sistem antenna menempel pada permukaan tanah dengan tujuan mengurangi refleksi dari transisi udara ke tanah, sehingga objek dapat lebih teranalisa dengan baik. Realisasi dari sistem *GPR* pulsa ditampilkan pada Gambar 2.4, sistem tersebut memiliki tiga generator pulsa *monocycle*, f_c : 200MHz, 600MHz dan 1GHz. Akan tetapi pada penelitian ini hanya digunakan generator pulsa dengan f_c : 200MHz, karena objek deteksinya adalah lapisan – lapisan penopang (memiliki dimensi cukup tebal). Tingkat penetrasi sistem *GPR* juga ditentukan oleh nilai permitivitas *relative* material (ϵ_r) dari objek observasi, dimana semakin tinggi nilai ϵ_r , maka akan semakin lemah daya tembusnya. Data nilai-nilai ϵ_r dari berbagai material dapat dilihat pada [1].

3. Investigasi Menggunakan Sistem *GPR*.

Pada penelitian ini dilakukan investigasi menggunakan teknologi *GPR* yang bertujuan untuk melakukan verifikasi lapisan-lapisan penopang konstruksi jalan beton (Jl. RE Martadinata) yang mengalami runtuh. *Scanning* dilakukan pada sisi sejajar dengan sisi jalan yang mengalami runtuh (Gambar 3.1).



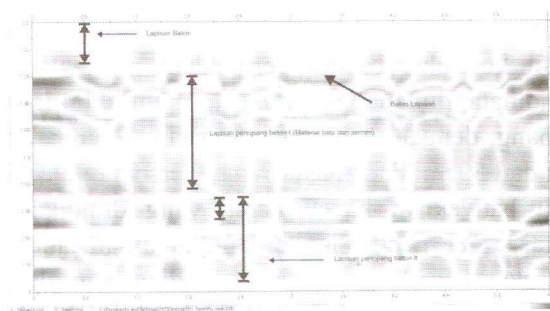
Gambar 3.1 : Lokasi *Scanning GPR* (Jl. RE Martadinata) Jakarta Utara

Pada sisi jalan tersebut dicurigai banyak faktor yang menyebabkan jalan beton mengalami runtuh. *Scanning* dilakukan pada arah melintang dan membujur jalan beton, dengan panjang lintasan 5m dan kedalaman 3m. Pengambilan data pada arah membujur bertujuan untuk memperoleh data ketebalan dari masing-masing lapisan. Sedangkan pengambilan data arah melintang bertujuan untuk memperoleh data perubahan tingkat kebasahan (kandungan air laut) dari lapisan- lapisan penopang jalan beton.

Pada penelitian ini ditentukan nilai ϵ_r : 9, karena lapisan penopang jalan beton adalah lapisan yang tersusun dari bahan campuran semen. Sehingga memiliki nilai ϵ_r mendekati 9 [1]. Agar investigasi bawah permukaan dapat memperoleh data ketebalan lapisan – lapisan penopang jalan beton dan kondisi fisik bawah permukaan, maka dilakukan pemrosesan data *GPR*. Teknik umum yang sering dilakukan pada pemrosesan data *GPR* adalah, *low-pass filter*, *high-pass filter* dan Transformasi fungsi Hilbert. *Lowpass filter* digunakan untuk menghilangkan komponen frekwensi tinggi ($>f_c$) dari sinyal *echo* pulsa *monocycle* sehingga hasil *B-scan* hanya menampilkan objek dengan dimensi maksimum. Sedangkan untuk *high-pass filter* bertujuan menghilangkan komponen frekwensi rendah ($<f_c$) dari pulsa *monocycle*, sehingga *B-scan* hanya menampilkan objek yang memiliki dimensi minimum. Sedangkan transformasi menggunakan fungsi Hilbert bertujuan untuk menghilangkan *pole* (pengkutuban dari pulsa *monocycle*), sehingga transisi antar lapisan dapat ditemukan. Karena transisi antar lapisan dapat ditemukan maka ketebalan laisan-lapisan penopang dapat terukur. Investigasi tingkat kebasahan dan keberadaan rongga-rongga dari lapisan-lapisan penopang konstruksi jalan beton dilakukan dengan membedakan tingkat redaman sinyal dari masing-masing lapisan. Dimana lapisan yang memiliki tingkat kebasahan tinggi atau berongga, maka akan memiliki tingkat redaman yang besar. Hal dikarenakan air laut memiliki nilai permitifitas relative cukup tinggi, yaitu ϵ_r : 84 [1].

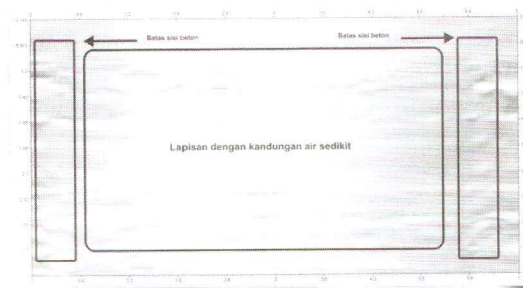
4. Hasil dan Analisa

Hasil *scanning GPR* ditampilkan dalam bentuk dua dimensi (*B-scan*), dimana sumbu x adalah panjang lintasan *scan*, dan sumbu y adalah kedalaman area *scan*.

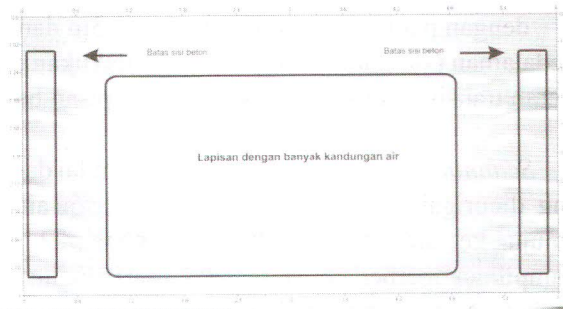


Gambar 4.1 : Hasil *scanning GPR* pulsa 5ns (f_c :200MHz) dengan panjang lintasan (sumbu x) 5m, kedalaman (sumbu y) 3m dan dilakukan Transformasi fungsi Hilbert.

Tampilan hasil *scanning* dapat berupa hiperbola (objek berupa metal) dan transisi antar lapisan diindikasikan dengan adanya pola garis (setelah dilakukan transformasi Hilbert) yang memisahkan antar lapisan.



(a)

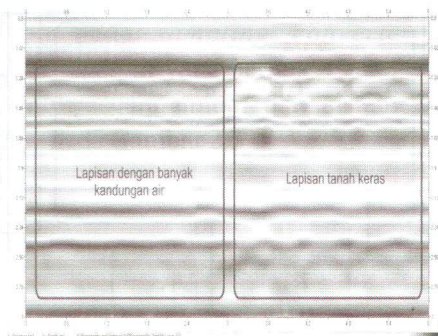


(b)

Gambar 4.2 : Hasil *scanning GPR* pulsa 5ns (f_c : 200MHz) dengan panjang lintasan (sumbu x) 5m dan kedalaman (sumbu y) 3m a) lapisan tanah keras (sedikit kandungan air) b) lapisan tanah basah.

Pada Gambar 4.1 ditampilkan transisi lapisan-lapisan konstruksi bawah permukaan dari jalan RE Martadinata, dimana jalan tersebut memiliki 4 lapisan penopang, dengan tebal masing-masing 25cm, 75cm, 25cm dan 50cm. Pada hasil *B-scan* tersebut juga dapat dilihat banyaknya kawat beton yang diindikasikan sebagai target metal. Tingkat kandungan air laut pada konstruksi bawah permukaan diindikasikan dengan tingkat intensitas sinyal *GPR*. Pada Gambar 4.2a adalah hasil *scanning GPR* yang menunjukkan salah satu sisi jalan RE Martadinata dengan sedikit kandungan air laut. Dan pada Gambar 4.2b adalah tampilan dari hasil *scanning GPR* dari jalan RE Martadinata dengan banyak kandungan air laut.

Konstruksi bawah permukaan yang memiliki banyak kandungan air ditandai dengan menurunnya intensitas sinyal *GPR*. Dan apabila pada hasil *B-scan* lapisan-lapisan bawah permukaan sudah tidak dapat ditampilkan sama sekali, maka diindikasikan terdapat rongga yang berisi air pada lapisan bawah permukaan.



Gambar 4.3 : *Scanning GPR* pulsa 5ns (f_c :200MHz) dengan panjang lintasan (sumbu x) 5m dan kedalaman (sumbu y) 3m. *Scanning* dilakukan pada daerah transisi (lapisan kering menuju lapisan basah).

Scanning arah melintang dilakukan mulai dari area yang dicurigai memiliki banyak kandungan air laut, menuju ke area kering. Pada Gambar 4.3 dapat ditampilkan perbedaan intensitas dari kedua area tersebut. Untuk lapisan kering diperoleh intensitas sinyal cukup tinggi, sedangkan pada lapisan konstruksi basah memiliki intensitas yang lebih rendah. Pada *scanning* melintang tersebut juga tidak ditemukan indikasi adanya rongga-rongga bawah permukaan yang terisi oleh air.

5. Kesimpulan

1. Sistem *GPR* dapat digunakan untuk melakukan verifikasi ketebalan lapisan-lapisan bawah permukaan penopang konstruksi bangunan.
2. Dengan teknologi *GPR* investigasi kondisi fisik dari berbagai struktur dibawah permukaan tanah dapat dilakukan, sehingga kekuatan atau kelayakan suatu konstruksi bangunan dapat ditentukan.

Daftar Referensi

- [1] D.J Daniels "Surface Penetrating Radar" The Institution of Electrical Engineers House Six Hills Way
- [2] Liarto, A.A. Lestari, Endon Bharata" *Pengukuran Late-Time-Ringing Antenna Menggunakan Sistem Impulse GPR*". Prosiding Seminar Radar Nasional, 18-April-2007, Jakarta
- [3] E. Bharata, A.A.Lestari, Andriyan B Suksmono, T.P. Soetikno, D.Yulian, Liarto, A.G.Yarovoy, L.P. Ligthart," *Fasilitas Pengujian Antena GPR di ITB*". Prosiding Seminar Radar Nasional 2007, 18-April-2007, Jakarta
- [4] Andaya Lestari, Deni Yulian, Lili Liarto, Endon Barata, Andriyan Suksmono, Alexander Yarovoy, Leo Ligthart." *A Rolled Dipole Antenna for UWB Pulse Transmission*". Prosiding International Symposium on Antennas and Propagation 2007, August 20 – 24/ 2007, Nigata Japan
- [5] A.A. Lestari, D. Yulian, Liarto, A.B. Suksmono, E. Bharata, A.G. Yarovoy and L.P. Ligthart. "Theoretical and Experimental Analysis of a Rolled - Dipole Antenna for Low-Resolution GPR". International Conference on Ultra-Wideband (ICUWB 2007) Singapore

Pemanfaatan Teknologi Telemetri untuk Meningkatkan Produksi Tambak Udang Melalui Pemantauan Kualitas Air Tambak Secara On-Line

^[*] I Dewa Putu Hermida, ^[**] Djohar Syamsi

^[*]Pusat Penelitian Elektronika Dan Telekomunikasi - LIPI

^[**]Pusat Penelitian Informatika – LIPI

Kampus LIPI Sangkuriang, Gd 20, Jl. Cisit 21/154D, Bandung -40135

Email : putu@ppet.lipi.go.id

Email : djohar@informatika.lipi.go.id

Abstract

To improve the quality and production of shrimp quality and quantity of water needed in accordance with the conditions set. Problems arise because it is not easy to maintain the quality and quantity of water in the pool. Currently to maintain the quality and quantity of pond water is still done the traditional way, namely by placing officers / guards on duty round the water wheel and adjust the height of water level in each pond embankment. This issue of research activities carried out to find pool pond automation system able to maintain the quality and quantity of pond water. The purpose of this activity is to build a control system and monitoring the quality and quantity of pond water pond, whereas target activity is the application of control systems and monitors the quality and quantity of pond water. Expected by using this system can enhance agricultural products amounting to approximately between 20% to 30%.

Keywords: GSM network, on-line monitoring, remote control..

Abstrak

Untuk meningkatkan kualitas dan hasil produksi tambak udang diperlukan kualitas dan kuantitas air yang sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan. Permasalahan timbul karena bukan hal mudah untuk menjaga kualitas dan kuantitas air di kolam tambak. Saat ini untuk menjaga kualitas dan kuantitas air tambak masih dilakukan dengan cara-cara tradisional, yaitu dengan menempatkan seorang petugas/penjaga yang bertugas mengatur putaran kincir air dan level ketinggian air di setiap kolam tambak. Dari permasalahan tersebut kegiatan penelitian dilakukan untuk mencari sistem otomatisasi kolam tambak yang mampu menjaga kualitas dan kuantitas air tambak. Tujuan kegiatan ini adalah membangun sistem kontrol dan monitoring kualitas dan kuantitas kolam air tambak, sedangkan sasaran kegiatan adalah aplikasi sistem kontrol dan pemantau kualitas dan kuantitas air tambak. Diharapkan dengan adanya penggunaan sistem ini dapat meningkatkan produk tambak sebesar lebih kurang antara 20% sampai 30%.

Kata Kunci: jaringan GSM, On-line monitoring, remote kontrol.

1. Pendahuluan

Salah satu bidang usaha yang saat ini banyak dilakukan orang diberbagai daerah adalah bidang perikanan melalui kolam-kolam tambak. Usaha ini dirasakan menguntungkan dan berpotensi untuk menjadi komoditi export ke luar negeri.

Sudah banyak keberhasilan yang dicapai oleh petani tambak, tetapi banyak pula yang gagal panen akibat hasil produksi yang menurun. Kegagalan



Gambar 1 : Contoh lokasi sebuah tambak.

tersebut diakibatkan oleh berbagai penyakit yang menyerang udang/ikan, serta kualitas air tambak yang buruk. [1] Dari beberapa literatur disebutkan bahwa penyakit yang menghinggapi udang itu menurut Dr. Sukenda, ahli mikrobiologi dari Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor (FKIP IPB) disebabkan oleh penurunan kualitas air dan kerusakan sedimen. Penurunan kualitas air dan kerusakan sedimen itu terjadi akibat tingginya kandungan bahan nitrogen anorganik, senyawa organik karbon, dan sulfida. Penumpukan senyawa kimia itu berasal dari sisa pakan, kotoran udang, serta pemupukan jangka panjang. Kondisi itu mempengaruhi kandungan senyawa amoniak, nitrit, nitrat, hidrogen sulfida, dan senyawa karbon yang bersifat toksik pada sistem tambak udang.

Agar kualitas air selalu terjaga, maka selain diperlukan cara dan metode yang benar tentang pemeliharaan/penyiapan kolam tambak udang/ikan, tentunya diperlukan pula perangkat untuk memantau kualitas air pada kolam tambak. Standart kondisi air yang sangat diperlukan untuk tambak udang adalah sebagai berikut :

1. Air :
 - Salinitas $\approx 15-25\%$.
 - Kedalaman ≤ 1 (satu) meter.
 - Pergantian air.
 - Suhu $\approx 20-30^{\circ}\text{C}$.
 - Tidak mengandung bahan pencemar.
 - Kecerahan air $\approx 25-30$ cm.
2. Oksigen terlarut > 2.0 mg/l (optimalnya 4.0 mg/l).
3. pH $\approx 7.5-8.5$
4. Amonia (NH_3) 0.1 mg/l (max).

Tujuan utama kegiatan ini adalah membangun model sistem kontrol dan monitoring kolam air tambak, sedangkan sasaran kegiatan adalah aplikasi sistem kontrol dan pemantau kualitas dan kuantitas air tambak udang

2. Permasalahan

Kualitas dan kuantitas air yang sesuai dengan

persyaratan pemeliharaan udang merupakan salah satu kunci keberhasilan dalam budidaya tambak udang.

Tabr 1. Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Air pada Budidaya Penggemukan Kepiting Bakau Sejenis PKL

Parameter	Lokasi												
	Petak 1		Petak 2		Petak 3		Petak 4		Petak 5		Petak 6		Tandon
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	
Salinitas	25.2	28.6	24.8	28.4	-	28.5	25.3	28.2	25.4	28.8	25.4	28.8	
pH air			6.5	6.6									
pH tanah			6.4	7									6.6
DO	6.75	6.27	2.60	2.30	-	3.59	4.80	4.52	4.0	4.68	6.3	3.33	
Suhu	32.5	29.3	32.3	29.1	-	29.0	32.5	29.2	32.4	29.2	32.3	28.9	
DHL	39.2	44.1	38.7	43.3	-	41.8	39.3	44.2	39.5	44.3	39.4	44.4	
Kecerahan (cm)	48		38		31		31		33		25		33
Kekeruhan (ntu)													15
Amoniak													2.13
Nitrat													0.024
Nitrit													0.019
TSS (mg/l)													128
TDS (mg/l)													33.306

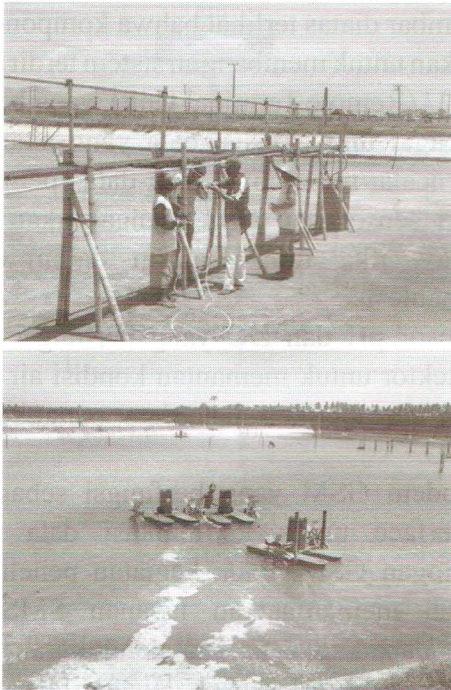
Sumber data: Endang, Hari PKL 2009
 cat. a dan b : 5000g
 *Tidak diukur karena ukuran teknik lapangan

Gambar 2 : Contoh Tabel Kualitas air yang disarankan.

Untuk menjaga kualitas dan kuantitas air kolam tambak, tentunya diperlukan pemantauan yang kontinu dan tindakan yang cepat untuk memperbaiki kondisi air jika diindikasikan kualitas/kuantitas air tambak dalam kondisi menurun. Mengingat akan hal tersebut dan kondisi area tambak yang luas dan jauh dari perkampungan, maka tentunya diperlukan suatu sistem remote kontrol dan monitoring yang handal dan akurat.

Tujuan pembangunan/pemasangan sistem remote kontrol dan monitoring ini dimaksudkan sebagai upaya untuk :

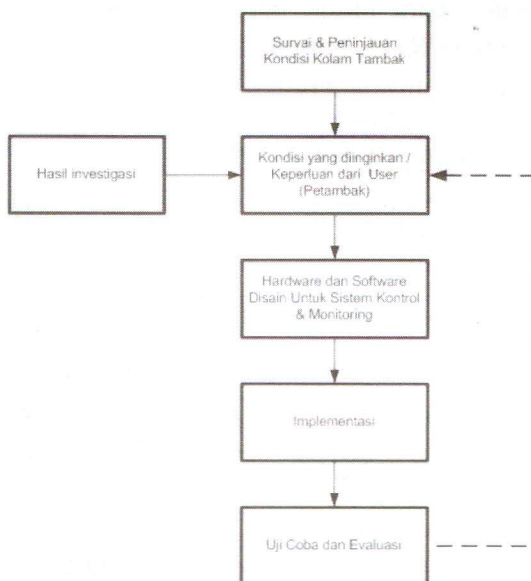
1. Melakukan pemantauan terhadap kualitas/kuantitas (pH, DO, dan level ketinggian air) air tambak secara terus-menerus selama 24 jam sehari.
2. Mencatat data-data pengukuran dan menyimpannya pada memory.
3. Mengirimkan alarm dalam bentuk SMS ke operator/user, jika salah satu parameter pemantauan berada dibawah ambang batas yang telah ditentukan.
4. Memutar kincir air secara otomatis, jika terdeteksi penurunan kadar oksigen pada kolam air tambak.



Gambar 3 : Contoh penempatan kincir air.

3. Metodologi Penelitian

Pada kegiatan ini metodologi yang digunakan adalah sebagaimana gambar blok diagram dibawah ini :



Gambar 4 : Metodologi Penelitian.

- Langkah pertama yang dilakukan adalah, dengan terlebih dahulu mengenal pola-pola dalam membangun kolam tambak, kondisi yang ideal untuk kolam pemeliharaan serta permasalahan yang dihadapi oleh para petani tambak. Semua data dan informasi ini didapatkan dengan cara survei dan studi literatur.
- Setelah memperoleh data dan informasi tentang kondisi dan permasalahan, maka dilanjutkan dengan diskusi dengan para petambak tentang kondisi-kondisi yang diinginkan dari sistem kontrol & monitoring kualitas/kuantitas air tambak. Hal ini sangat penting dilakukan, karena setiap daerah mempunyai pola yang spesifik, tergantung pada kondisi masyarakat dilokasi tambak dan kondisi geografi dari lokasi tambak.
- Langkah selanjutnya adalah melakukan disain terhadap keseluruhan sistem kontrol dan monitoring air tambak, yang meliputi disain hardware dan software.
- Setelah tahapan disain sistem telah selesai, maka tahapan berikutnya adalah implementasi dari sistem, dan pemasangan di lokasi kolam tambak.
- Agar sistem dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah direncanakan, maka perlu dilakukan evaluasi kinerja sistem, yaitu dengan cara uji coba sistem.

4. Disain Sistem Remote Kontrol dan Monitoring

Pada kegiatan penelitian ini, spesifikasi dari sistem kontrol & monitoring yang dibangun adalah sebagai berikut :

- o Sistem harus mampu memantau parameter kualitas air, antara lain : kadar pH air tambak, dan kondisi DO (Dissolved Oxygen) air tambak secara kontinue.
- o Mencatat setiap hasil pengukuran sensor pada internal memory (kapasitas 1 GB).
- o Mengontrol kincir air secara otomatis, sesuai

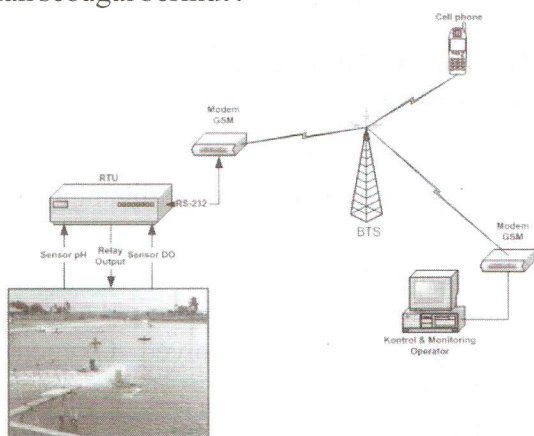
dengan kondisi DO pada air tambak.

- o Mampu memberikan data-data pengukuran pada user/operator secara remote.
- o Mengirim alarm pada operator, jika terdapat parameter yang mempunyai nilai dibawah batas ambang.

Mengingat bahwa sistem ini harus dapat memberikan data-data pengukuran dan alarm secara remote, maka diperlukan media komunikasi yang sesuai atau mudah didapatkan dilokasi kolam tambak. Untuk itu penggunaan/pemanfaatan jaringan GSM menjadi pilihan yang tepat untuk media komunikasi data dari sistem ini. Pemilihan jaringan GSM sebagai media untuk komunikasi data didasarkan atas pertimbangan :

- Kondisi infrastruktur jaringan GSM sudah sangat bagus, dan menjangkau daerah-daerah terpencil.
- Sangat mudah untuk memulai mendapatkan akses GSM.
- Banyak tersedia perangkat/device berbasis GSM dan harganya relatif murah.
- Setiap operator GSM telah menyediakan berbagai layanan komunikasi (SMS, dial up, GPRS).
- Biaya operasional relatif murah.

Disain dari sistem kontrol dan monitoring adalah sebagai berikut :



Gambar 5 : Disain sistem kontrol & monitoring secara keseluruhan.

Dari gambar diatas terlihat bahwa komponen yang diperlukan untuk membangun sistem terdiri dari :

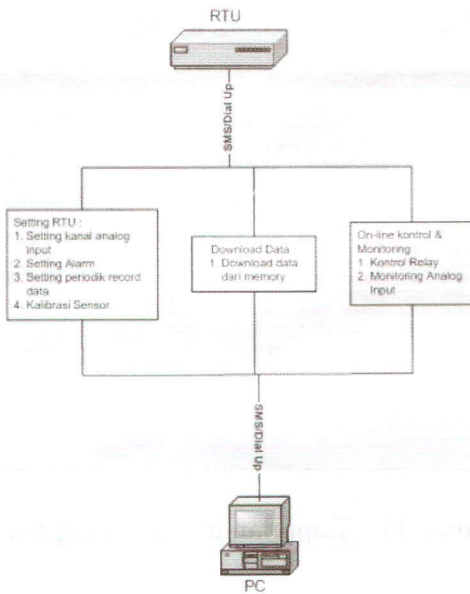
1. RTU (Remote Terminal Unit), yang berfungsi sebagai unit akuisisi data yang akan selalu mencatat/me-record data-data pengukuran dari sensor dan akan mengaktifkan sebuah relay, jika fungsi alarm dalam kondisi "enable".
2. Sensor pH dan DO yang berfungsi sebagai detektor untuk memantau kondisi air tambak dan memberikan data-data pengukuran ke RTU.
3. Modem GSM yang berfungsi sebagai unit interface untuk komunikasi data melalui jaringan GSM. Pada kegiatan penelitian ini telah memanfaatkan layanan SMS untuk mendapatkan data-data pengukuran, setting RTU, kalibrasi sensor, layanan alarm, serta perintah/command ke RTU.
4. PC yang berfungsi untuk menjalankan program aplikasi Remote Akses RTU. Agar PC dapat berkomunikasi dengan RTU, maka perlu dilakukan metode komunikasi data yang sesuai dengan media komunikasi data yang dipergunakan (GSM). Untuk sistem ini kami akan memanfaatkan metode dial up sebagai suatu cara untuk berkomunikasi antara PC dengan RTU. Fungsi dari perangkat lunak ini antara lain adalah :
 - Melakukan setting secara remote terhadap RTU
 - Melakukan down load data dari RTU
 - Melakukan monitoring secara on-line

5. Metode Komunikasi Data RTU

Dari gambar dibawah ini terlihat, bahwa untuk melakukan hubungan ke RTU, atau akses ke RTU dapat dilakukan melalui layanan SMS dan dial up (data call).

Secara umum metode komunikasi data dari sistem dapat digambarkan sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan data-data pengukuran terbaru, maka dapat dilakukan melalui



Gambar 6 : Pola komunikasi data

layanan SMS baik melalui mobile phone maupun PC yang diperlengkapi dengan modem GSM dan aplikasi perangkat lunak Remote RTU. Beberapa contoh perintah melalui SMS antara lain :

SMS	Keterangan
CH1	Meminta data dari kanal 1
MCH6	Minta 10 data terakhir dari kanal 6
INFO P	Informasi pulsa
INFO M	Informasi kondisi RTU

2. Download data dari internal memory RTU hanya dapat dilakukan melalui dial up.

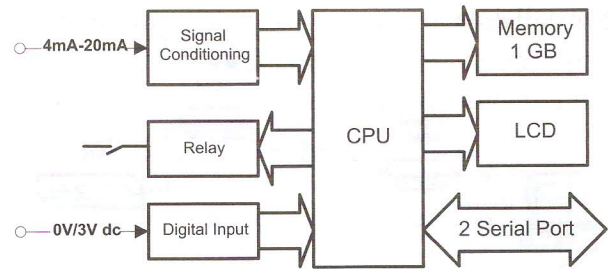
5. RTU (Remote Terminal Unit)

RTU merupakan komponen utama pada sebuah sistem monitoring dan kontrol. Pada kegiatan ini RTU yang dibangun berbasis mikrokontroller Atmega 128. Spesifikasi RTU yang dibangun adalah sebagai berikut :

- CPU : Atmega 128, dengan RTOS
- AI : 4mA-20mA, Digital Input
- DO : 4 Relay

- Memory : 1 Gb
- LCD display : 4x20
- Port output : 2 serial port
- Komunikasi Data : GSM (SMS & Dial up)

Blok diagram dari RTU adalah sebagai berikut :



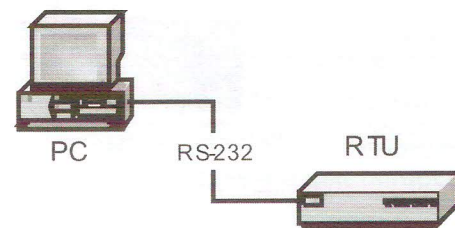
Gambar 7 : Disain RTU

Gambar diatas memperlihatkan konfigurasi dari RTU yang dibangun. Agar RTU tersebut mampu untuk melaksanakan semua perintah user, maka pada RTU tersebut perlu ditanamkan sebuah perangkat lunak yang berfungsi mengatur semua aktivitas RTU. Perangkat lunak ini berisi :

- o OS (Operating System)
- o Setting dan kalibrasi RTU
- o Aplikasi untuk Download data
- o Aplikasi untuk on-line Monitoring dan Kontrol Relay

5.1. Pembuatan Program Remote Akses RTU.

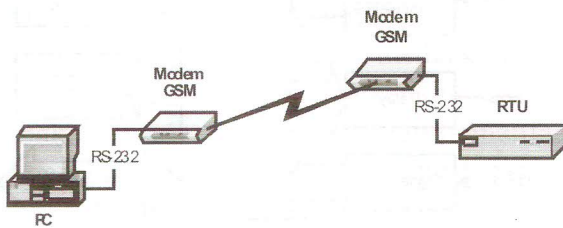
Pada sistem monitoring yang dibangun ini dimungkinkan sebuah PC dapat berkomunikasi dengan RTU melalui port serial (RS-232) dengan kecepatan 9600 bps.



Gambar 8 : Metode komunikasi data secara off-line.

Hubungan atau komunikasi antara PC dengan RTU dapat dilakukan secara offline, yaitu melalui kabel, maupun secara remote/on-line menggunakan jaringan GSM sebagai media komunikasi data.

Agar PC dapat terhubung ke RTU, diperlukan sebuah interface yaitu berupa perangkat lunak yang ter-install didalam PC.



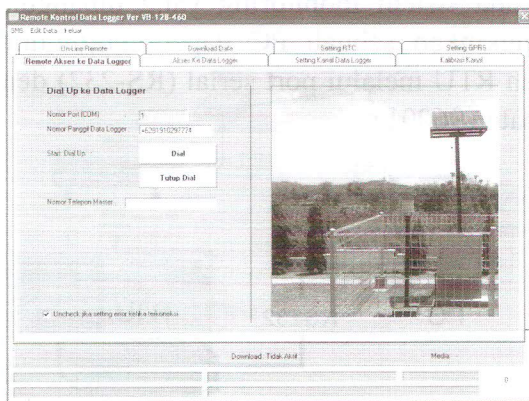
Gambar 9 : Metode komunikasi data secara remote/on-line.

Fungsi utama yang terdapat didalam software ini adalah :

- Setting : kanal, jenis input, interval record data, alarm range, daftar alarm tujuan (SMS).
- Kalibrasi sensor
- Kontrol dan monitoring I/O dan Relay

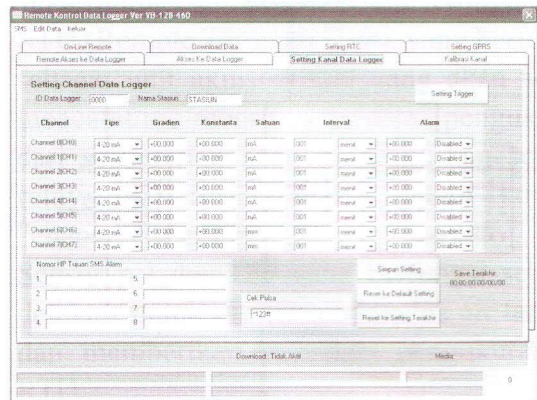
Beberapa tampilan dari program aplikasi ini adalah sebagai berikut :

- Tampilan menu untuk memulai komunikasi data



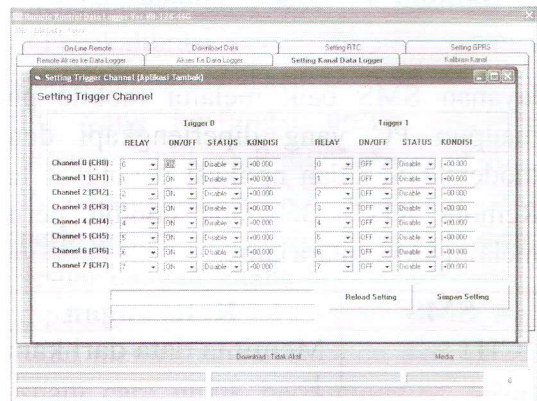
Gambar 10 : Tampilan untuk memulai komunikasi data.

- Tampilan menu setting kanal



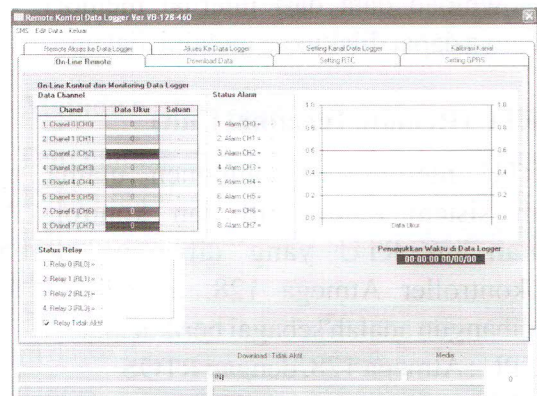
Gambar 11 : Tampilan menu Setting Kanal.

- Tampilan menu setting relay



Gambar 12 : Tampilan menu setting relay.

- Tampilan menu monitoring I/O dan Relay



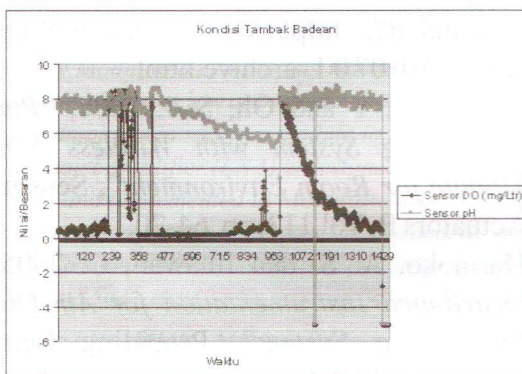
Gambar 13 : Tampilan menu monitoring.

6. Uji Coba Sistem

Pada kegiatan ini telah dilakukan berbagai uji coba untuk melihat kehandalan dan kestabilan sistem secara keseluruhan. Uji coba meliputi :

- o Kemampuan monitoring
- o Kemampuan kontrol
- o Pengiriman Alarm

Untuk uji coba kontrol dan monitoring, maka didapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 14 : Tabel Monitoring

Grafik diatas menunjukkan bahwa sistem sensor kualitas air telah bekerja dengan sempurna dan akurat dengan mengirimkan data yang diinginkan dan diperlukan serta dibutuhkan oleh user (Pemilik tambak, Supervisi, Teknisi dan Administrasi).

Jika nilai/besaran DO kurang dari 4 mg/liter, maka *data logger* akan mengaktifkan relay sehingga dapat menggerakkan secara serentak kincir-kincir air di dalam tambak. Dengan bekerjanya kincir, maka kandungan oksigen dalam air tambak akan meningkat, dan apabila telah mencapai nilai 7 mg/liter seperti terukur oleh sensor, maka relay akan off secara otomatis sehingga akan menghentikan aktivitas kincir.

7. Analisa Sistem Kontrol & Monitoring Tambak

Dari hasil kegiatan uji coba sistem secara keseluruhan, maka dapat dicatat beberapa hal

sebagai bagian dari analisa sistem, yaitu :

- o Sistem secara keseluruhan telah dapat bekerja sesuai dengan disain dan spesifikasi yang telah direncanakan.
- o Agar sistem tetap dalam kondisi stabil, maka perlu dijaga kualitas dari power suplay yang diperlukan (12V/2A dc).
- o Agar diperoleh data-data pengukuran yang akurat, maka beberapa hal untuk penempatan dan pemilihan sensor perlu diperhatikan, antara lain :
 - Sensor hendaknya bersifat submersible dan mempunyai spesifikasi untuk ditempatkan pada kondisi air laut (kadar garam tinggi).
 - Sensor hendaknya dilindungi dengan cara khusus agar tidak terganggu oleh kerang atau binatang lain.
 - Sensor hendaknya mempunyai output yang sesuai dengan spesifikasi data logger (4mA-20mA).
- o Seluruh hardware yang mengandung komponen elektronika (misal : data logger) hendaknya mempunyai tempat yang terlindungi, sehingga tidak terpengaruh dari kondisi cuaca disekitar lokasi tambak.
- o Untuk komunikasi data perlu dilakukan pengukuran terhadap kekuatan sinyal GSM di sekitar tambak.
- o Sistem kontrol dan monitoring tambak ini, mampu memanfaatkan beberapa metode pengiriman data, antara lain : dengan metode SMS, dial up, dan GPRS. Pada aplikasi ini mengingat sinyal GPRS yang ada disekitar area tambak kurang bagus, maka mode SMS saja yang diaktifkan.
- o Beberapa kehandalan sistem kontrol dan m Kesalahan pembacaan sensor hanya 0,3 .
 - Flow rate data sebesar 1 detik.
 - Data logger masih dapat beroperasi pada suhu 70°C.

8. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil kegiatan ini adalah:

1. Kadar oksigen pada kolam air lebih stabil dan terjaga, karena kincir air memutar pada waktu yang tepat.
2. Efisiensi penggunaan daya listrik untuk kincir air, karena kincir air hanya memutar pada saat kadar oksigen berada pada batas ambang.
3. Pengurangan biaya operasional untuk penggunaan tenaga operator kolam tambak.

Dari dampak penggunaan sistem ini, maka akibat yang paling dirasakan adalah peningkatan kualitas dan produksi tambak (sebesar 20% sampai 30%), serta penurunan biaya produksi (khususnya untuk penggunaan tenaga listrik).

8. Saran

Saran ini kami tujukan pada pengguna sistem, yaitu:

- Hendaknya posisi data logger sedekat mungkin dengan sensor, jika terpaksa berjauhan, maka hendaknya pada output

sensor ditambahkan penguat.

- Tegangan listrik yang digunakan sebagai power supply, hendaknya stabil sehingga kinerja data logger dapat maksimal.
- Perlindungan terhadap data logger dan sensor dari pengaruh lingkungan yang dapat mengganggu kinerja sistem secara keseluruhan.

9. Daftar Pustaka.

1. Biasakah Produksi Tambak Udang Meningkatkan?, http://emterengganu.blogspot.com/2010/07/01_archive.html
2. Chung, W.-Y and Oh, S.-J. 2006, "Remote Monitoring System with Wireless Sensors Module for Room Environment", Sensor and Actuators B, Vol.113, pp. 64-70.
3. Harmoko, A. S. dan Imawan, C. 2005, "A Distributed Instrumentation for Air Quality Monitoring System", Prosiding Seminar Nasional MIPA, Universitas Indonesia, pp.J2D09.
4. Tsujita, et. al. 2005, "Gas Sensor Network for Air-Pollution Monitoring", Sensor and Actuators B, Vol. 110, pp.304-311.

Penerapan *Performance* LNA GaAs PHEMT MMIC pada Sistem Radar Maritim FMCW

Sri Hardiati, Hana Arisesa, Arief Nur Rahman, Mashury Wahab, Pamungkas Daud

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) – LIPI
Kampus LIPI Gd. 20 Lt. 4 Jl. Sangkuriang Bandung (40135) - INDONESIA
Telp. 022-2504661 Fax. 022-2504659
Email : ash_egt@yahoo.com

Abstract

Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) Maritime Radar Systems which are operating in X band frequency require high gain amplifier, as low as possible noise figure (NF) and electrically compatible component models to other radar system. It require a amplifier in receiver module to strengthen weak echo signals by minimizing noise compared to signal received. 9.4 GHz low noise amplifier (LNA) is designed using gallium arsenide (GaAs) Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor (PHEMT) and implemented in Monolithic Microwave Integrated Circuit (MMIC) which is potentially estimated to be used in radar receiver to obtain high gain, high linearity and low noise figure to ensure optimum sensitivity of radar. This paper conducted a simulation modelling the two stage GaAs PHEMT MMIC LNA. The result is 38.58 dB gain, 2.05 dB noise figure, 1 of VSWR and 50 Ω impedance that can be used for Maritime Radar Systems.

Keywords : LNA, MMIC, Maritim Radar

Abstrak

Sistem Radar Maritim FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) yang beroperasi dalam frekuensi X band, memerlukan amplifier dengan Gain tinggi, Noise Figure (NF) serendah mungkin dan secara elektrik model komponen kompatibel dengan komponen radar lain dalam satu sistem. Sistem Radar penerima memerlukan amplifier yang bertujuan untuk memperkuat sinyal echo yang lemah dengan meminimalkan jumlah noise terhadap sinyal yang diterima. Low Noise Amplifier (LNA) 9,4 GHz didesain dengan menggunakan Gallium Arsenide (GaAs) Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor (PHEMT) dan diimplementasikan dalam Monolithic Microwave Integrated Circuit (MMIC) yang diestimasikan berpotensi digunakan di ujung depan Radar penerima, dengan tujuan untuk memperoleh gain tinggi, linearity tinggi dan Noise Figure rendah untuk menjamin sensitivitas radar optimum. Dalam makalah ini dilakukan simulasi pemodelan LNA 2 stage, tipe GaAs PHEMT MMIC yang menghasilkan performance LNA dengan nilai Gain 38,58 dB, Noise Figure 2,05 dB, VSWR: 1 dan impedansi 50 Ω , yang dapat dimanfaatkan untuk Sistem Radar maritim

Kata Kunci : LNA, MMIC, Radar Maritim

1. Pendahuluan

Radar maritim FMCW digunakan untuk mengukur jarak, kecepatan dari suatu target. Salah satu bagian yang terpenting dalam sistem radar FMCW untuk meningkatkan kinerja (*performance*) sistem radar adalah *Low Noise Amplifier* (LNA) yang dirakit pada bagian penerima dari sistem radar. Energi sinyal yang dipancarkan oleh sistem radar ke arah target, akan direfleksikan oleh obyek dan diterima oleh Radar melalui antena penerima. Sinyal yang diterima

merupakan sinyal yang lemah dan tergabung dengan noise dan *interference* sekitarnya.

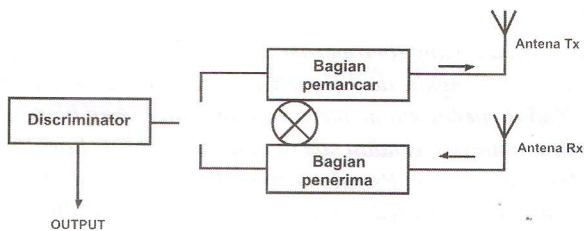
LNA merupakan suatu komponen berfungsi untuk memperkuat sinyal-sinyal yang lemah tanpa menambah gangguan lain, sehingga akan mempertahankan *Signal to Noise Ratio (SNR)* dari sistem^[1]. Untuk memenuhi keperluan tersebut, maka desain LNA GaAs dengan menggunakan *Monolithic High-Electron mobility Transistor (HEMT)* yang diimplementasikan pada MMIC secara relatif memiliki Noise Figure yang rendah,

input VSWR yang bagus, linieritas tinggi, secara elektrik kompatibel terhadap komponen radar lain dalam satu sistem dan juga memiliki gain tinggi yang sangat penting untuk memaksimalkan SNR.

Dalam makalah ini akan dibahas secara simulasi dengan menggunakan perangkat lunak mengenai *performance* LNA GaAS PHEMT model 2-stage yang bekerja pada frekuensi 9,4 GHz, yang akan diterapkan pada Radar Maritim FMCW dengan tujuan untuk meningkatkan *performance* sistem radar.

2. Diskripsi

Sistem radar FMCW memiliki keunggulan power radiasi rendah dan secara relatif terdiri dari rangkaian elektronik sederhana serta komponennya mampu untuk integrasi dalam sistem tersebut. Blok diagram dasar sistem Radar FMCW dengan antenna penerima dan pemancar secara terpisah dapat ditunjukkan pada gambar 1



Gambar 1: Blok diagram sistem Radar FMCW

Sinyal yang dipancarkan oleh Radar, akan direfleksikan target yang dikenal dengan sinyal *echo* radar dan diterima oleh Radar melalui antenna penerima. *Echo* Radar cukup kompleks, biasanya berisi noise ditambah dengan *echo* dari gelombang permukaan laut.

Jika radar dalam lingkungan bebas noise, maka sumber noise eksternal tidak ada yang tergabung dengan sinyal *echo*. Maka salah satu dari batas *performance* radar penerima adalah internal noise yang dibangkitkan dalam rangkaian penerima. Power Noise ini dinyatakan dengan persamaan : 1^[2]

$$PowerNoiseThermal = kTB \text{ (watt)} \tag{1}$$

k : Konstante Boltzman .(1.38 10⁻²³ J/(KHz).

T : Temperatur dari rangkaian (K).

B : Bandwidth (Hz).

Power noise dalam receiver secara praktis lebih besar dari *thermal noise*. Pengukuran noise yang berasal dari sumber eksternal dari receiver terhadap receiver ideal dinamakan *Noise Figure (NF)* dan dinyatakan sebagai berikut :^[2]

$$NF = \frac{\text{Noise dari Receiver tidak ideal}}{\text{Noise dari Receiver pada Temp } T_0}$$

Dapat ditulis dengan persamaan^[2] :2

$$NF = \frac{N_{out}}{kT_0 B G_a} = \frac{S_{in} / N_{in}}{S_{out} / N_{out}} \tag{2}$$

N_{in} : Input noise dalam Receiver ideal

N_{out} : power noise output total dari rangkaian

G_a : Gain yang tersedia. Gain adalah perbandingan sinyal keluar (S_{out}) terhadap sinyal input (S_{in}).

Persamaan : 2, ini menunjukkan bahwa NF dapat diinterpretasikan sebagai ukuran penurunan dari *Signal to Noise Ratio (S/N)* yang melewati penerima (*Receiver*).

Sinyal *echo* yang diterima oleh Antena penerima Radar memiliki power (daya) sebagai hasil dari *power density* dikalikan effective area A_e dari antenna penerima. maka power sinyal yang diterima oleh Radar penerima dapat dinyatakan^[2] :3

$$P_r = \frac{P_t \cdot G \cdot A_e \sigma}{(4\pi)^2 R^4} \tag{3}$$

Jangkauan maksimum Radar adalah jarak yang melampaui target yang tidak dapat dideteksi. Hal ini terjadi ketika power sinyal yang diterima P_r sama dengan sinyal terdeteksi minimal (S_{min}), maka

$S_{min} = P_r$. Jadi jangkauan maksimum Radar (R_{max}) dapat dinyatakan dalam persamaan^[2]: 4

$$R_{max}^4 = \frac{P_t G A_e \sigma}{(4\pi)^2 S_{min}} \quad (4)$$

Jika antenna yang digunakan dalam sistem Radar untuk antena pemancar dan antenna penerima sama, dengan teori antena maka akan memberikan gain antena pemancar (G) dan A_e area efektif dari antenna penerima. Dan bila Sinyal terdeteksi minimum dari sistem Radar (S_{min}) adalah nilai S_{in} yang mana sesuai dengan (S/N) deteksi minimum pada output, maka dalam persamaan sistem Radar Sinyal deteksi minimum digantikan dengan Signal to Noise Ratio terdeteksi minimum $(S/N)_{min}$, maka Jangkauan Radar dapat dinyatakan dalam persamaan^[2] : 5

$$R_{max}^4 = \frac{P_t G A_e \sigma}{(4\pi)^2 k T_0 B (NF) (S/N)_{min}} \quad (5)$$

P_t : Power (Daya) yang ditransmisikan (W).

G : gain Antena.

A_e : Aperture efektif antenna (m^2).

σ : Radar Cross Section (RCS) dari target, m^2

NF : Noise Figure.

R : Jangkauan Radar maksimum (m)

Dalam desain *receiver*, *Noise Figure* dan karakteristik Gain LNA yang ditempatkan pada ujung penerima merupakan penentu *Noise Figure* keseluruhan dari sistem receiver. LNA merupakan komponen yang pertama dari radar penerima yang menerima echo Radar dari antenna penerima. Untuk itu diperlukan LNA yang mempunyai *performance* tinggi yang akan memberikan keandalan cara pengelolaan noise di dalam sistem.

LNA sangat penting untuk mengekstrasi sinyal dari noise dalam sistem. Untuk pengendalian noise, LNA mempunyai *performance* tinggi untuk memberikan sistem pengelolaan noise dalam suatu sistem. Transistor GaAS PHEMT dalam struktur

MMIC memiliki *linearity* yang bagus dengan bentuk Third order intercept point (IP_3) yang tinggi. Penggunaan MMIC yang mudah diinstalasi dan memiliki *performance* tinggi mempunyai dampak meningkatkan pengoperasian frekuensi dan komponen cukup kuat dalam pengoperasian di lingkungan yang keras untuk darat, laut maupun udara.

Dalam desain LNA ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan untuk memenuhi kriteria yang dapat diimplementasikan dalam sistem radar sesuai fungsi yang dikehendaki, yaitu :

a. *Noise Figure (NF)*

Derau atau Noise merupakan persoalan yang signifikan dalam menentukan *performance* LNA. Perlu diketahui suatu sistem tidak mungkin bebas dari noise baik noise didalam sistem LNA sendiri maupun noise yang berasal dari luar sistem. Pengaruh noise terhadap suatu sistem dapat dilihat dari nilai noise yang dinyatakan dalam nilai *Noise Figure (NF)* dan dinyatakan dalam satuan decibel (dB). NF ini diharapkan sekecil mungkin untuk menekan noise yang ada dalam sistem.

Noise Figure dinyatakan dalam persamaan 6:

$$NF = 10 \log \left[\frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} \right] dB \quad (6)$$

SNR_{in} : Signal to Noise Ratio pada input.

SNR_{out} : Signal to Noise Ratio pada output.

Untuk sistem yang menggunakan model bertingkat, maka perhitungan NF dapat dinyatakan¹ dengan persamaan 7^{[1][2]}

$$NF = NF_1 + \frac{NF_2 - 1}{G_1} + \dots + \frac{NF_k - 1}{G_1 G_2 \dots G_k} \quad (7)$$

NF_1, NF_2, \dots, NF_k : Noise Figure pada masing-masing tingkat.

G_1, G_2, \dots, G_k : Gain pada masing-masing tingkat.

b. Penyesuaian Impedansi

Penyesuaian Impedansi mempunyai peran penting dalam desain sistem yang bekerja pada level frekuensi radio, ini bertujuan untuk memaksimalkan transfer daya dari sumber ke beban. Metode yang dapat diterapkan untuk membuat sistem penyesuaian (*Matching Network*), diantaranya menggunakan L match, T match, π match, LC match, π -T match.

c. Stabilitas

Kestabilan LNA perlu dilakukan agar desain LNA dapat berfungsi dengan baik, artinya tidak terjadi osilasi pada frekuensi kerja yang diinginkan. Kestabilan sistem dinyatakan dalam nilai faktor kestabilan yaitu K dan Δ yang dinyatakan dalam persamaan $8^{[3,4]}$.

$$K = \frac{1 + |\Delta|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2|S_{12}| |S_{21}|} \quad (8)$$

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{21}S_{12}$$

S_{11} : Koefisien refleksi input.

S_{22} : Koefisien refleksi output.

S_{12} : Penguatan transmisi balik.

S_{21} : Penguatan transmisi maju.

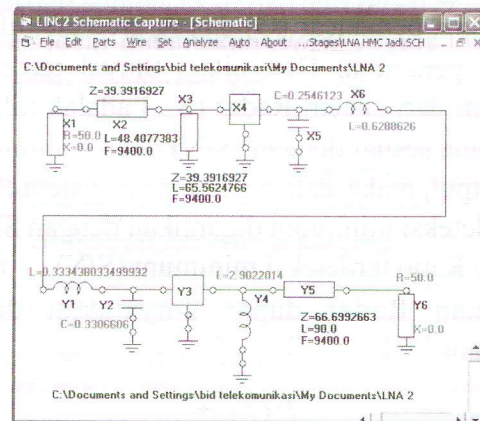
Untuk mendapatkan sistem stabil tanpa syarat, maka $k > 1$ dan $\Delta < 1$.

3. Desain dan Performance LNA

Dalam desain LNA ini input dan output LNA mempunyai impedansi 50 Ω , hal ini dipilih agar LNA dapat sesuai dengan impedansi Antena Radar dan komponen lain dalam sistem Radar Maritim FMCW.

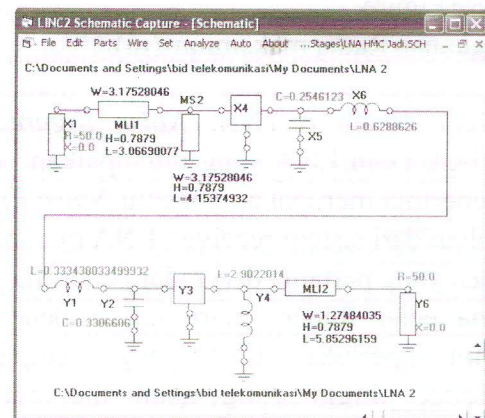
Rangkaian LNA didesain dengan menggunakan Jenis transistor yang cocok untuk keperluan sistem radar yang beroperasi pada frekuensi tinggi yaitu frekuensi X band, dimana frekuensi center sebesar f_c : 9,4 GHz. Untuk

keperluan sistem radar tersebut, maka digunakan transistor Ga As PHMET dengan tipe HMC516LC5 yang mempunyai Gain :20 dB, Noise Figure : 2 dB dan mempunyai *Third-order Intercept Point* (IP3): 25 dBm dan Compression Point 1 dB (P_{1dB}) dan di desain dengan model rangkaian LNA 2 stage yang ditunjukkan pada gambar 2.



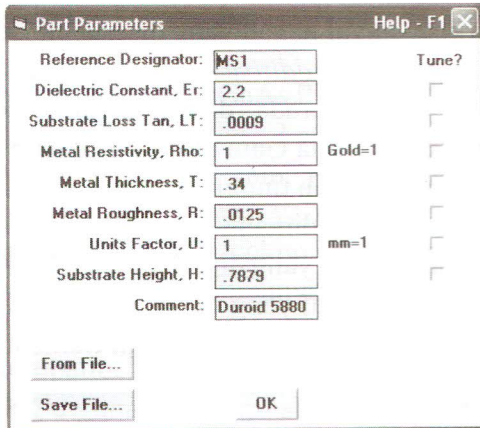
Gambar 2 : Rangkaian LNA 2 stage.

Gambar rangkaian yang terlihat dalam gambar 2, terdapat induktor dimana Nilai induktor (L) diubah dalam bentuk mikrostrip dengan ukuran seperti yang terlihat dalam gambar 3.



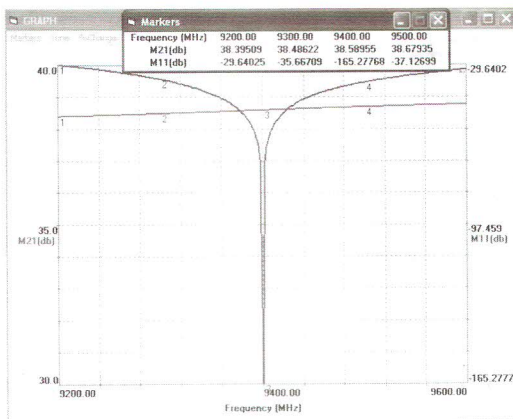
Gambar 3 : LNA 2 stage dengan *microstrip*.

Bahan PCB yang digunakan pembuatan LNA 2 stage adalah duroid 5880 yang mempunyai spesifikasi seperti pada gambar 4.



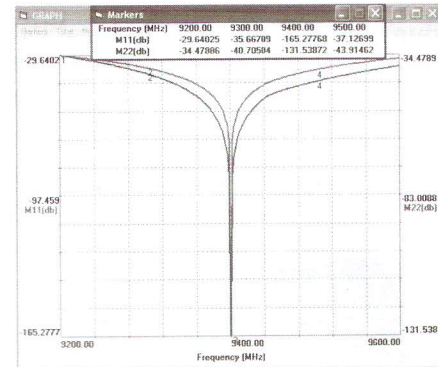
Gambar 4 : Parameter Bahan PCB.

Dengan menggunakan perangkat lunak, desain rangkaian LNA 2 stage yang diimplementasikan pada PCB dan bahan PCB duroid yang digunakan memiliki nilai parameter seperti pada gambar 4. Hasil simulasi dari *performance* LNA memperoleh nilai Respon Gain (S_{21}) dan koefisien input reflection (S_{11}) ditunjukkan dalam gambar 4. Adapun hasil yang diperoleh pada frekuensi 9,4 GHz, menunjukkan Gain sebesar 38,589 dB.



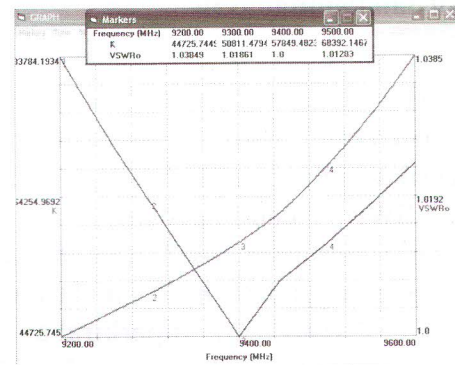
Gambar 5 : Respon Gain (S_{21}) dan input koefisien refleksi(S_{11})

Hasil simulasi Koefisien refleksi input (S_{11}) dan Koefisien refleksi output (S_{22}) ditunjukkan pada gambar 6



Gambar 6 : koefisien refleksi input $|S_{11}|$ dan output $|S_{22}|$

Hasil VSWR diperoleh seperti yang terlihat dalam gambar 7, dimana pada frekuensi: 9,4 GHz memperoleh nilai VSWR sebesar 1.



Gambar 7 : Nilai VSWR.

Dan nilai parameter dari hasil simulasi LNA 2-stage, secara keseluruhan dapat dilihat dalam gambar 8.

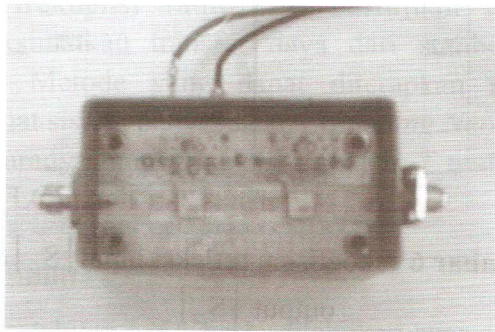
Freq (MHz)	M11 (db)	P11	M22 (db)	P22	SWRin	SWRout
9200.00	38.39509	62.1921	-29.64025	47.26367	68.1324	1.015
9300.00	38.48622	62.1921	-35.66709	47.26367	68.1324	1.015
9400.00	38.58955	62.1921	-165.27768	47.26367	68.1324	1.015
9500.00	38.67935	62.1921	-37.12639	47.26367	68.1324	1.015

Freq (MHz)	M21 (db)	P21	M12 (db)	P12	K Stability	Delta
9200.00	38.58955	22.5272	-118.2914	15.5413	52.31172	0.00
9300.00	38.67935	22.5272	-118.2914	15.5413	52.31172	0.00
9400.00	38.77271	22.5272	-118.2914	15.5413	52.31172	0.00
9500.00	38.87078	22.5272	-118.2914	15.5413	52.31172	0.00

Freq (MHz)	DLY	MSG (db)	Rin	Xin	Rout	Xout
9200.00	0.4231	88.0	51.2099	2.8992	50.7142	-1.6269
9300.00	0.4234	88.3	51.0512	2.1195	50.5957	-1.2048
9400.00	0.4207	88.6	50.7043	1.3878	50.3295	-0.8852
9500.00	0.4212	88.91	50.3535	0.6815	50.16	-0.4034

Gambar 8 : Nilai parameter-parameter LNA-2 stage hasil simulasi

Adapun bentuk fisik LNA dari realisasi desain rangkaian LNA 2-stage GaAs PHEMT dapat ditunjukkan dalam gambar 9



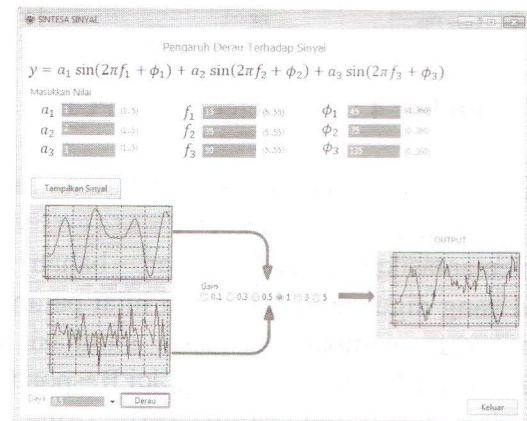
Gambar 9 : Realisasi Desain Rangkaian LNA 2-stage.

4. Hasil dan Pembahasan

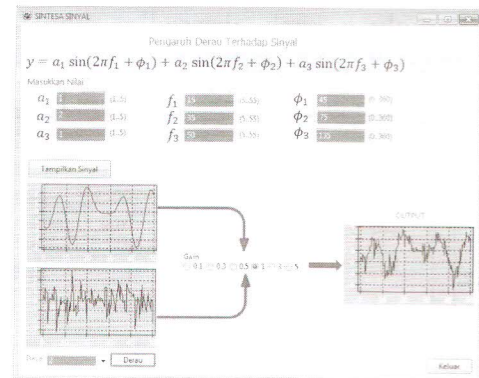
Dari Hasil simulasi LNA 2 stage Ga As PHEMT MMIC yang dapat dilihat dari Gambar 5,6 dan 7, maka Performance LNA dapat diperoleh sebagai berikut : nilai Gain 38,58 dB, Noise Figure 2,05 dB, VSWR: 1 dan impedansi 50 Ω. Dilihat dari gambar 5, terlihat LNA 2-stage ini memiliki linearitas yang tinggi. Dari hasil simulasi tersebut, maka LNA 2-stage ini diperkirakan dapat diterapkan dalam sistem radar maritim FMCW.

Ilustrasi dari fungsi LNA dalam menerima sinyal yang terganggu dengan noise, dibahas secara simulasi dengan menggunakan suatu perangkat lunak. Secara simulasi kemampuan LNA dalam

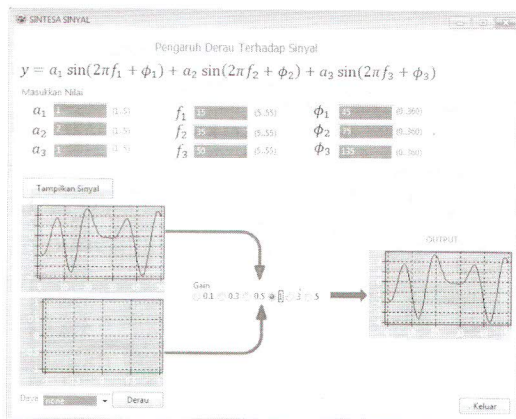
memperkuat sinyal lemah yang disertai noise alam yang dinamakan *Additive white gaussian Noise (AWGN)* yang berada dilingkungan sekitar, menunjukkan apabila Gain dari LNA cukup tinggi dan level sinyal lebih tinggi dari level sinyal noise yang terganggu,, dimana sinyal noise sangat rendah, maka sinyal yang diperkuat oleh LNA akan menghasilkan Sinyal yang bagus dan sinyal noise seakan-akan tidak ada. (dapat dilihat Gambar 11).



Gambar 11 : sinyal input tanpa dikuatkan (gain 1) terkena derau dengan 0.5



Gambar 12 : Sinyal input tanpa dikuatkan ((gain 1) dengan daya noise lebih besar dikuatkan



Gambar 10 : Gambar Sinyal input yang tidak terkena derau dan tidak dikuatkan (gain 1)

5. Kesimpulan

LNA dalam sistem desain Radar Penerima ditempatkan di ujung depan Radar penerima dan dianjurkan mempunyai Noise Figure yang rendah, hal ini disebabkan Noise Figure LNA menentukan

Noise Figure keseluruhan dari bagian penerima Radar.

Dengan teknologi GaAs PHMET MMIC yang didesain dengan model *2-stage*, maka secara simulasi memperoleh gain yang cukup tinggi, dengan Noise figure yang rendah, serta mendapatkan VSWR cukup bagus sebesar 1. Komponen tersebut mempunyai bentuk fisik yang kecil dan diharapkan memperoleh hasil komponen yang kompatibel secara elektrik dengan komponen lain yang digunakan dalam sistem radar, sehingga diperkirakan LNA tersebut dapat diterapkan untuk sistem radar maritim FMCW.

Daftar Refrensi

- [1] Ramana, V., Imam Kawsar, Muhammad. "Low Noise Amplifier for Radio Telescope at 1.42GHz", School of Information Science, Computer and Electrical Engineering, Halmstad University, 2007.
 - [2] Merrill L. Skolnik "Introduction to Radar Systems", Mc Graw-Hill, International Edition, Third Edition 2001.
 - [3] Gonzales, Guillermo, "Microwave Transistor Amplifier – Analysis and Design" Second Edition, Prentice Hall, New Jersey, 1997.
 - [4] Samuel Y. Liao "Microwave Circuit Analysis And Amplifier Design" Prentice Hall 1987
 - [5] Chang, Kai, "Rf and Microwave Wireless Systems", John Wiley & Sons, Inc, 2000.
 - [6] Gilmore, P., Les Besser, "Practical RF Circuit Design for Modern Wireless Systems", Volume II, Artech House, 2003.
 - [7] I.D Robertson and S. Lucyszyn, "RFIC and MMIC design and Technology", Institution of Electrical Engineer
-

Pengaruh Kelembaban pada Lapisan Tipis ZnO Sebagai Bahan Sensitif Sensor Gas NH₃

Lilis Retnaningsih

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI

Jl. Sangkuriang Komp LIPI Bandung

Tlp/Fax : (022) 2504660, (022) 2504659

Email : retna@ppet.lipi.go.id

Abstract

In this paper will be describe the effect humidity and temperature of NH₃ thin oxide for the application of ZnO gas sensor. NH₃ gas sensor consist of a heater, a couple of electrode and a sensitive material sensor based on ZnO the making of ZnO tin oxide sensitif layer has been done using sputtering technology. The influence of the heated to the sensor for 10 menit to the 200^o C has been investigated . The result have shown that ZnO tin oxide the sensor resistansce and response are stable operation of humidity after have been heated.

Keywords : humidity, temperature, ZnO thin okside, gas sensor

Abstrak

Dalam tulisan ini membahas tentang pengaruh kelembaban dan temperatur pada lapisan tipis ZnO hasil proses sputtering untuk aplikasi Sensor gas NH₃. Sensor gas terdiri atas sebuah pemanas, elektroda dan lapisan tipis ZnO, bahan ZnO dilapiskan di atas elektroda sebagai bahan sensitif pada sensor gas. Pengukuran terhadap lapisan tipis dilakukan untuk mengetahui karakteristik kerja dari sensor tersebut. Untuk membedakan pengukuran lapisan tipis ZnO langsung dipanaskan kemudian diukur resistansinya sesuai dengan kenaikan suhu. Untuk selanjutnya lapisan tipis ZnO dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 200^o C selama 10 menit, lalu didinginkan kembali sebelum dilakukan pengukuran. Hasil yang dicapai menunjukkan bahwa, yang dilakukakan pemanasan awal memberikan respon yang lebih stabil.

Kata Kunci : kelembaban, temperatur, lapisan tipis ZnO, sensor gas

1. Pendahuluan

Salah satu teknik yang dibutuhkan dalam fabrikasi divais adalah membuat lapisan tipis suatu bahan metal di atas sebuah substrat. Teknik ini disebut dengan teknik sputtering, teknik sputtering ini dilakukan untuk membuat suatu lapisan tipis bahan metal SnO₂, ZnO, TiO₂ dan lainnya di atas sebuah substrat. Dimana di atas substrat tersebut telah dibuat suatu fabrikasi sensor, yang berupa heater dan elektroda dengan menggunakan teknologi film tebal. Bahan metal oksida ZnO merupakan bahan metal yang dapat dan mudah untuk diproses menggunakan teknik sputtering, dengan menggunakan teknik ini maka lapisan tipis yang akan menempel dapat dikontrol ketebalan yang diinginkan, dan dengan teknik ini maka

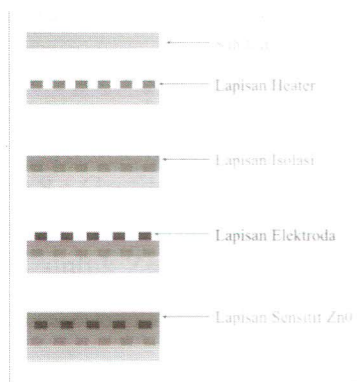
penempelan lapisan akan lebih kuat. Melalui pengamatan SEM kristal dapat dilihat sebagai kumpulan butiran (grains) [2]. Kristalinitas material oksida bisa tinggi apabial grainnya besar, begitu pula sebaliknya. Grain ini dalam pertumbuhannya "terhenti" oleh pertumbuhan grain yang lain. Batas antara ini disebut batas butir (grain boundary). Pada sensor gas terjadinya batas butir inilah yang mengambil peranan. Chemisorbed oksigen terjadi pada batas butir ini dikarenakan permukaan energi pada batas butir yang lebih tinggi dari kristal, oksigen lebih mudah terdifusi dan terabsorb ke daerah batas butir. Pada tulisan ini yang utama dibahas adalah pengujian hasil proses fabrikasi sensor gas terhadap lapisan tipis ZnO dan pengaruh terhadap perubahan kelembaban udara beserta analisa data yang

dihasilkan. Pengujian pada sensor secara keseluruhan dilakukan untuk mengetahui tanggapan sensor berupa perubahan nilai resistansi sensor terhadap gas NH₃ pada temperatur tertentu.

2. Metode

Perancangan sensor dilakukan dengan teknologi film tebal, salah satu yang perlu diperhatikan dalam pembuatan sebuah sensor adalah sensor tersebut harus mempunyai sensitivitas yang baik [2]. Pada umumnya perubahan resistivitas material sensor ketika bereaksi dengan gas dipengaruhi oleh reaksi atom-atom oksigen di udara dengan atom-atom oksigen dipermukaan lapisan sensor.

Tahapan awal proses fabrikasi adalah pembuatan heater dan elektroda menggunakan teknologi film tebal. Bahan pasta yang digunakan untuk pembuatan heater dan elektroda adalah Ag (perak) [1]. Pelapisan bahan sensitif ZnO dilakukan dengan teknik sputtering, yang dilapiskan langsung di permukaan Elektroda. fungsi dari lapisan ini adalah sebagai bahan sensitif sensor, dimana lapisan ini yang akan berhubungan langsung dengan gas yang dideteksi. Adapun struktur lapisan yang dibentuk dapat dilihat pada gambar 1. di bawah ini :



Gambar 1 : Struktur Lapisan Pembentuk Sensor ZnO

Kondisi proses pelapisan yaitu menggunakan daya sebesar 100W, tekanan gas argon sekitar 15

Torr, dengan kondisi suhu proses 250 °C. Hasil proses yang diperoleh adalah ketebalan lapisan sensitif yang berbeda.

Tabel 1 : Bahan dan Lama Pelapisan

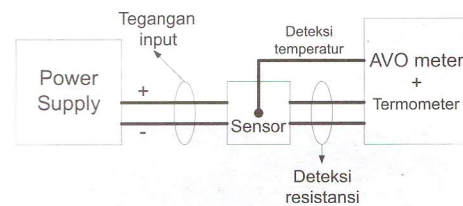
Bahan	Waktu	R pada suhu 26,6°C
ZnO (a)	60 menit	110,6 kOhm
ZnO (b)	120 menit	85,7 k Ohm

Dari hasil proses tersebut akan diukur bagaimana pengaruh pemberian suhu awal sebelum dilakukan pengukuran terhadap perubahan resistansi dan dibandingkan terhadap tanpa pemberian suhu awal.

Adapun peralatan dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Sumber arus searah (*Kenwood Regulated Power Supply* tipe PD18-30AD).
- Multimeter digital (*Sanwa Digital Multimeter* PC100)
- Thermometer digital (*Lutren TM-914C*).

Prosedur Pengujian

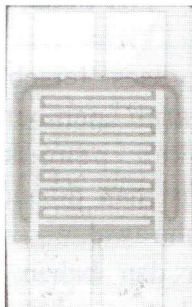


Gambar 2: Skema Pendeteksian Temperatur dan Resistansi Pada Divais Sensor

- Rangkaian pengujian disusun seperti dalam Gambar 1. Sumber arus searah diberikan untuk menghasilkan panas pada heater yang selanjutnya merubah resistans sensor.
- Nilai temperatur awal (Tc) diukur pada temperatur ruangan saat pengujian, dan pada udara bersih.
- Pengujian dilakukan terhadap 2 sensor yang berbeda.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada pengukuran pertama lapisan sensitive sensor tidak dipanasi terlebih dahulu, setelah temperature meningkat perubahan resistansi langsung diukur. Sedangkan untuk pengukuran kedua lapisan sensitive dipanasi sampai suhu 200^o C selama 10 menit, kemudian didinginkan sampai suhu kamar, lalu temperaturnya dinaikkan kembali dan diukur perubahan resistansi.



Gambar 3 : Sensor yang Dilapisi Bahan Sensitif ZnO Selama 1 Jam

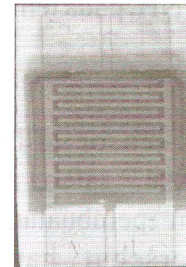
Gambar 3. di atas menunjukkan sensor gas yang telah dilapisi bahan sensitif ZnO yang di lakukan pelapisan pada permukaan elektroda dengan menggunakan alat sputtering selama 1 jam. Adapun lapisan hasil sputtering tersebut dikarakterisasi fisik menggunakan SEM, gambar permukaannya adalah pada gambar 4 :



Gambar 4 : Morfologi Permukaan Lapisan Tipis ZnO Hasil DC Sputtering dengan waktu 1 jam dan Perbesaran 4000X

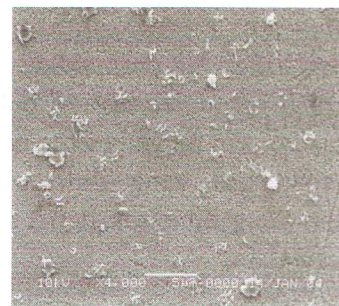
Pada gambar 4. terlihat permukaan hasil pelapisan bahan sensitif ZnO dengan

menggunakan DC Sputtering dan h Hasil pelapisannya terlihat pada gambar 5, dengan ketebalan dalam skala Amstrong.

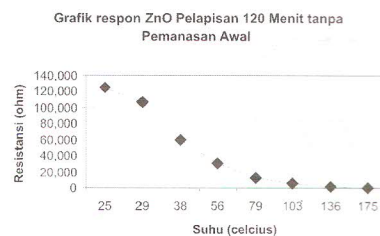


Gambar 5 : Sensor yang Dilapisi Bahan Sensitif ZnO Selama 2 Jam

Gambar 5. di atas menunjukkan sensor gas yang telah dilapisi bahan sensitif ZnO yang di lakukan pelapisan pada permukaan elektroda dengan menggunakan alat sputtering selama 2 jam. Hasil lapisannya terlihat lebih tebal dibandingkan dengan pelapisan selama 1 jam.



Gambar 6 : Morfologi Permukaan Lapisan Tipis ZnO Hasil DC Sputtering dengan waktu 2 jam dan Perbesaran 4000X

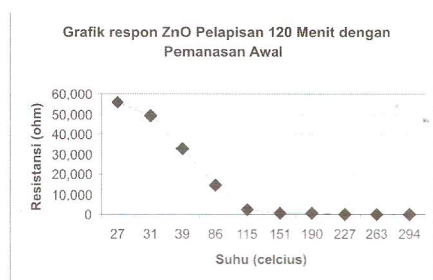


Gambar 7 : Grafik Tanggapan Perubahan Resistansi Sensor Terhadap Perubahan Temperatur untuk ZnO Pelapisan 2 jam Tanpa Pemanasan Awal

Dari grafik tanggapan perubahan Resistansi Sensor terhadap perubahan Temperatur, terlihat hasilnya adalah mendekati linier, yaitu perubahan kenaikan suhu sebanding dengan penurunan resistansinya.

Tabel 4 : Perubahan Resistansi Sensor terhadap Temperatur untuk Bahan Sensitif ZnO Pelapisan 2 Jam dengan pemanasan Awal

Tegangan (V)	Resistansi (K)	Suhu (°C)
0	56 K	27
0,5	48.8 K	31
1	32.8 K	39
1,5	14.7 K	60
2	5.9 K	86
2,5	2.5 K	115
3	902	151
3,5	320	190
4	126	227
4,5	58.7	263
5	64	294



Gambar 8 : Grafik Tanggapan Perubahan Resistansi Sensor Terhadap Perubahan Temperatur untuk ZnO Pelapisan 2 jam dengan Pemanasan Awal

Dapat dilihat dari hasil pengukuran pada ke dua table di atas ada perbedaan grafik. Pada penelitian ini yang dimaksud dengan perbedaan kelembaban adalah dilakukan pemanasan awal dan tidak dilakukan pemanasan awal pada heaternya sebelum dilakukan pengukuran resistansi heaternya. Perbandingan hasil grafik pada gambar

6 dengan hasil grafik pada gambar 7 adalah grafik 7 cenderung lebih linier, hal ini terjadi karena pada pengukuran yang ke-2 dilakukan pemanasan terlebih dahulu, sehingga kelembaban lapisan sensitifnya lebih terjaga. Jika dilakukan pemanasan awal pada lapisan sensitifnya maka permukaan sensingnya relative lebih kering terhadap H₂O, sehingga lapisan sensitive ZnO lebih cepat mendeteksi terhadap gas, dan jika tidak dilakukan pemanasan awal sebelum pengukuran, maka lapisan sensitive akan mengandung banyak butiran uap air yang menyebabkan pengukuran tidak stabil. Untuk hal tersebut maka pemanas atau heater sangat berperan penting untuk menghilangkan uap air yang menempel pada permukaan lapisan sensitive tersebut.

4. Kesimpulan

1. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai perubahan resistansi yang dilakukan dengan pemanasan awal sebelum pengukuran menghasilkan nilai perubahan resistansi yang lebih stabil (pada suhu kerja sensor terjadi perubahan resistansi lebih kecil) dibandingkan dengan pengukuran yang sebelumnya tidak dilakukan pemanasan awal.
2. Dari hasil pengujian terhadap lapisan sensitive, respon dari perubahan suhu terhadap resistansi menunjukkan hasil yang linier (yaitu bentuk grafik tanggapan perubahan suhu berbanding lurus terhadap perubahan resistansi yang dihasilkan) sensor tersebut dapat dikatakan bekerja dengan baik karena kita dapat dengan mudah mengkonversikan perubahan suhu sama dengan perubahan volume atau konsentrasi gas.

5. Daftar Pustaka

[1] Barsan, N., Stetter, J. R., Findlay, Jr., M. & Gopel, W. 1999. High-performance gas sensing of CO: comparative tests for semiconducting and for amperometric gas

- sensors. *Analytical Chemistry*, vol. 71, pp. 2512-2517.
- [2] Ivanov, P.T, Blanchar. Xavier, C. 2004. Design, Fabrication and Characterization of Thick Film Gas Sensor. PhD thesis, *Departament d'Enginyeria Elctrica I Automatica*, Tarragona, Spain.
- [3] Moseley, P. T., 'Thick-film semiconductor gas sensors' 1994. in *Thick Film Sensors*, ed. M. Prudenziati, Elsevier Science, Amsterdam, pp. 289-311.
- [4] Lilis, R, I.D.P Hermida, 2008, "Karakterisasi Versus Temperatur Terhadap Lapisan Tipis ZnO dan SnO₂ Hasil Penumbuhan dengan Teknik Sputtering", *Jurnal Elektronika Dan Telekomunikasi PPET LIPI Vol. 8, No. 2*.
- [5] Licznarski, B. 2004. "Thick Film Gas Microsensor Based On Tin Dioxide". Wroclaw : *Bulletin of The Polish Academy of Sciences*
-

Pengendali Motor dan Pembaca Sudut Antena Radar

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

Abstract

This paper describes the control of radar antenna driver motor and the use of a motor encoder to obtain radar antenna bearing angle information on coastal surveillance radar. The radar antenna is driven by a servo motor through a gearbox with a gear ratio of 70:1. The servo motor is controlled by a Jupiter motor controller which is connected to a host computer via a RS232 serial cable using Modbus standard. A phototransistor optical interrupter switch is used as a sensor for North reference.

Keywords: radar, motor, angle, bearing, Modbus

Abstrak

Tulisan ini membahas tentang pengendalian motor penggerak antena radar dan pemanfaatan enkoder motor untuk mendapatkan informasi sudut bearing antena radar pada radar pengawas pantai. Antena radar digerakkan oleh sebuah motor servo melalui sebuah gearbox dengan perbandingan 70:1. Motor servo dikendalikan oleh sebuah pengendali motor Jupiter yang terhubung ke komputer host melalui kabel serial RS232 menggunakan standar Modbus. Sistem antena menggunakan sebuah phototransistor optical interrupter switch sebagai sensor untuk referensi arah utara.

Kata kunci: radar, motor, sudut, bearing, Modbus

1. Pendahuluan

Salah satu aspek penting pada radar permukaan seperti radar pengawas pantai adalah informasi sudut bearing antena. Deteksi oleh radar dilakukan bersamaan dengan berputarnya antena secara horisontal. Pada saat target terdeteksi informasi sudut bearing harus dicatat. Bersama dengan informasi range target, informasi sudut bearing menentukan posisi target. Dengan demikian akurasi sudut bearing merupakan salah satu faktor penentu akurasi posisi target.

Antena radar digerakkan oleh sebuah motor listrik yang harus bisa dikendalikan oleh software radar utama. Pengendalian gerakan antena meliputi start, stop, dan kecepatan putaran antena. Informasi sudut bearing antena juga harus dapat diakses oleh software.

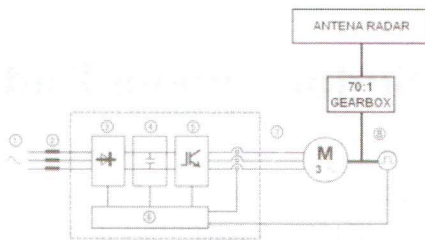
Untuk mengurangi beban motor, antena radar dihubungkan dengan motor servo melalui sebuah gearbox dengan perbandingan total 70:1. Sebuah

optical switch digunakan untuk sensor utara. *Optical switch* dipasang pada bagian yang diam dari sistem antena radar. Pada bagian yang berputar dipasang sebuah lempeng tipis yang tidak tembus cahaya, sedemikian rupa sehingga sisi lempeng masuk ke celah *optical switch* bertepatan dengan arahnya antena radar ke utara.

Tulisan ini membahas pengendalian motor penggerak antena radar dan pembacaan informasi sudut bearing antena pada radar pengawas pantai dengan memanfaatkan informasi yang bisa diperoleh dari pengendali motor.

2. Konfigurasi Motor Antena

Antena radar pengawas pantai digerakkan oleh sebuah motor servo melalui sebuah gearbox dengan perbandingan total 70:1 dan sebuah slip ring untuk melewatkan catu daya dan sinyal melalui struktur mekanik yang berputar. Gambar 1 menunjukkan diagram blok sistem motor antena.



Gambar 1 : Diagram blok sistem motor antena.

Motor yang digunakan adalah motor 3 fasa brushless. Motor dikendalikan oleh sebuah pengendali motor Jupiter. Perangkat ini berfungsi mengubah catu daya satu atau 3 fasa dengan frekuensi standar jala-jala listrik 50Hz menjadi listrik 3 fasa dengan frekuensi yang diatur untuk mendapatkan kecepatan motor yang diinginkan.

Pengendali motor mendapatkan feedback dari motor melalui sebuah encoder yang mengirimkan counter pulse dan reset pulse. Berdasarkan informasi berupa pulsa-pulsa tersebut pengendali motor bisa menghitung kecepatan motor yang sebenarnya dan posisi sudut motor.

3. Parameter Pengendali Motor

Motor dikendalikan menggunakan modul pengendali motor Jupiter. Pengendali motor ini memiliki beberapa mode operasi di antaranya Basic Point to Point Mode (BP2P), Smart Point to Point Mode (SP2P), dan Torque/Speed Mode. Untuk aplikasi pengendali motor pada radar pengawas pantai digunakan mode torque/speed.

Pengendali motor Jupiter memiliki ratusan parameter. Beberapa parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. Parameter nomor 139 digunakan untuk me-reset modul pengendali motor. Untuk memprogram kecepatan motor dapat digunakan parameter nomor 261 sampai dengan 267. Parameter ini diisi dengan nilai 10 kali kecepatan motor yang diinginkan dalam satuan rotation per minute (rpm), atau 700 kali kecepatan putaran antena radar yang diinginkan. Data dari parameter mana yang secara riil digunakan untuk

mengatur kecepatan motor ditentukan oleh parameter 60 sampai dengan 68.

Tabel 1 : Parameter-parameter yang Digunakan

No Parameter		Nama Parameter
Dec	Hex	
60	3C	DI-x Simulation Input
61	3D	DI-0
...
68	44	DI-7
71	47	Unit Address
77	4D	BaudRate
139	8B	Reset
190	BE	Encoder PPR
204	CC	Motor present position
261	105	SpeedSet1
...
267	10B	SpeedSet7
318	13E	Pulses Per Rotary/CAM Cycle
331	14B	CAM/ROTARY Angle

Parameter nomor 61 sampai dengan 68 digunakan untuk mendefinisikan input-input digital DI-1 sampai dengan DI-8. Dalam aplikasi radar pengawas pantai, DI-1 sampai dengan DI-8 diprogram seperti pada Tabel 2.

Setelah diprogram sesuai dengan Tabel 2, DI-5, DI-6, dan DI-7 dapat digunakan untuk memilih kecepatan yang tersimpan dalam parameter SpeedSet1 sampai dengan SpeedSet7 dengan membentuk kombinasi 3bit. Input Digital yang lain dapat digunakan untuk menjalankan dan memberhentikan motor dan mengubah arah putaran motor.

Tabel 2 : Fungsi Input-Input Digital

Parameter		Fungsi	Nilai
No	Nama		
61	DI-1	ECAM Cycle Index Input	114
62	DI-2	ON=>speed mode, OFF=>torque mode	27
63	DI-3	Speed Run	73
64	DI-4	Speed Rev	74
65	DI-5	Speed Command SW1	10
66	DI-6	Speed Command SW2	11
67	DI-7	Speed Command SW3	12
68	DI-8	Servo On	102

Input-input digital DI-1 sampai dengan DI-8 dapat disimulasikan oleh software dengan cara memanipulasi data parameter nomor 60, tepatnya dengan mengubah bit 0 sampai dengan bit 7 dari parameter tersebut.

Parameter nomor 318 diisi dengan sebuah nilai yang menunjukkan jumlah pulsa encoder per putaran antenna radar. Informasi sudut tersedia pada parameter nomor 331.

4. Perintah Pengendali Motor

Pengendali motor Jupiter berkomunikasi dengan komputer host melalui kabel RS323 menggunakan standar Modbus dengan mode transmisi Remote Terminal Unit (RTU). Pemberian perintah dilakukan dengan mengirimkan sederet byte tanpa jeda, diawali dengan alamat device, dalam hal ini adalah alamat pengendali motor, dan diakhiri dengan 2 byte cyclic redundancy check (CRC) dengan standar CRC-16.

Hanya dua fungsi Modbus yang digunakan untuk keperluan pengendalian motor. Yaitu fungsi Read Holding Register dengan nomor fungsi 03 dan fungsi Write Single Register dengan nomor fungsi 06.

Format data yang harus dikirimkan untuk

pembacaan sebuah parameter motor adalah

AA03 PHPL0001 CLCH

di mana AA adalah alamat pengendali motor, PH adalah the most the most significant byte (MSB) dari alamat parameter, PL adalah the most significant byte (LSB) dari alamat parameter, CL adalah LSB dari CRC-16, dan CH adalah MSB dari CRC-16. Apabila perintah pembacaan berhasil, pengendali motor akan mengirimkan jawaban ke komputer host dengan format

AA03 LLV1V2...VNCLCH

di mana LL menunjukkan jumlah byte nilai jawaban, dan V1, V2, ..., VN adalah nilai jawaban dengan jumlah byte yang ditunjukkan oleh LL dan ditulis MSB terlebih dahulu.

Format data yang harus dikirimkan untuk penulisan parameter adalah

AA06 PHPLVHVLCLCH

di mana VH adalah MSB dari nilai parameter dan VL adalah LSB dari nilai parameter. Apabila perintah penulisan berhasil, pengendali motor akan mengirimkan jawaban ke komputer host berupa data yang sama dengan data perintah yang dikirimkan oleh komputer host ke pengendali motor.

5. Informasi Sudut Antena

Pengendali motor Jupiter memiliki sebuah pencacah internal (P_{in}) yang menghitung pulsa dari encoder. Pencacah ini akan kembali ke 0 apabila telah mencapai nilai yang ditulis pada parameter nomor 318 (Pulses Per Rotary/CAM Cycle). Pencacah ini di-reset apabila sebuah sisi naik terdeteksi oleh sebuah digital input yang telah diprogram sebagai ECAM cycle Index Input atau diberi nilai 114.

Karena antenna dihubungkan dengan motor melalui sebuah gearbox dengan perbandingan 70:1 dan encoder motor menghasilkan 10000 pulsa per putaran motor, maka encoder motor menghasilkan 700000 pulsa per putaran antenna radar. Nilai $P_{318} =$

700000 inilah yang ditulis pada parameter nomor 318.

Informasi sudut antenna radar dapat diperoleh dengan membaca parameter nomor 331. Parameter ini berisi informasi sudut antenna radar dalam per sepuluh derajat, dengan kata lain parameter ini memiliki rentang nilai dari 0 sampai dengan 3599, yang berkorespondensi dengan nilai sudut dari 0 sampai dengan 359,9 derajat. Hubungan antara pencacah internal (P_{int}), parameter nomor 318 (P_{318}), dan parameter nomor 331 (P_{331}) dapat ditulis dengan Persamaan 1.

$$P_{331} = \frac{P_{int}}{P_{318}} \cdot 3600 \dots\dots\dots Eq. 1$$

Dengan demikian sudut bearing antenna radar (α) dapat diperoleh dengan Persamaan 2.

$$\alpha = \frac{P_{331}}{10} \dots\dots\dots Eq. 2$$

Arah utara atau sudut 0 derajat adalah ketika pencacah internal memiliki nilai 0. Untuk itu pencacah internal harus di-reset ketika antenna radar menghadap ke utara. Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2, DI-1 telah diprogram sebagai ECAM Cycle Index Input, dengan memberi nilai 114 pada parameter nomor 61. Untuk itu sebuah *phototransistor optical interrupter switch* dipasang pada bagian antenna yang diam dan outputnya dihubungkan dengan DI-1. Pada bagian antenna yang berputar dipasang sebuah lempeng tipis yang

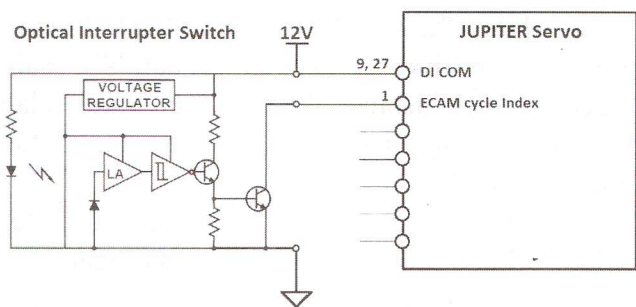
tidak tembus cahaya sedemikian rupa sehingga sisi lempeng masuk ke celah *optical switch* bertepatan dengan mengarahnya antenna radar ke utara. Adapun hubungan antara *optical switch* dan pengendali motor Jupiter digambarkan dengan diagram pada Gambar 2.

Untuk mengantisipasi kesulitan dalam setting atau kalibrasi sensor *phototransistor optical interrupter switch* secara mekanis guna mendapatkan arah utara yang tepat, maka ditambahkan sebuah variabel offset sudut. Nilai dari variabel ini ditambahkan pada nilai yang didapat pada pembacaan parameter nomor 331 untuk mendapatkan informasi sudut antenna radar. Dengan adanya variabel ini maka kalibrasi sudut bearing antenna dapat dilakukan hanya dengan software.

6. Kesimpulan

Pengendalian motor untuk menggerakkan antenna radar pengawas pantai telah dibahas. Untuk keperluan pengendalian dasar berupa perintah jalan, perintah berhenti, dan pengaturan arah dan kecepatan putaran antenna, cukup beberapa parameter atau register dari pengendali motor yang digunakan. Penulisan dan pembacaan parameter-parameter dilakukan menggunakan fungsi standar Modbus. Komunikasi pengendali motor dengan komputer host menggunakan kabel RS232.

Pembacaan sudut antenna radar menggunakan menggunakan fasilitas yang tersedia dalam pengendali motor Jupiter. Sebuah pencacah mengitung pulsa yang dihasilkan encoder. Pencacah di-reset dengan sebuah optical switch yang digunakan sebagai sensor utara atau sudut 0 derajat. Informasi sudut antenna radar tersedia pada parameter nomor 331 apabila parameter nomor 318 telah diisi dengan nilai yang tepat yaitu hasil perkalian jumlah pulsa per rotasi motor dengan perbandingan gigi antara motor dan antenna.



Gambar 2 : Diagram Hubungan antara Optical Switch dan Jupiter Servo

7. Daftar Referensi

1. JUPITER Series AC Servo Drive Operation Manual, http://www.hpb-industry.com/hpb/esd/jupiter_drive.pdf, HPB Technology Co., Ltd.
 2. Modbus_Application_Protocol_V1_1b, http://www.modbus-ida.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf, Modbus, 2006
 3. Proakis, John G. and Salehi, Masoud, "*Digital Communications*, 5th Edition", McGraw-Hill, New York, 2008.
-

Pengukuran Pola Radiasi Transduser Akustik Bawah Air untuk Aplikasi Diver Tracking

Syamsu Ismail, Deni Permana K, dan Eko Joni Pristianto.

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

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

Abstract

Underwater acoustic transducer is installed at front end of underwater communication system, or UWCS. A Term of unit transducer means that two or more pieces of transducer are constructed in such a way to find a specific radiation pattern. Radiation pattern of a unit transducer has a very important role in underwater communication, e.g. in diver tracking application, because this factor is related to the direction of radiating. In this paper will be discussed underwater acoustic radiation pattern measurement. There are some conditions must be taken into account for this measurement. These conditions are appropriate depth and wide area, satisfaction for far field, operating frequency according to model of the transducer, free of obstacle and lower and upper layer water flow in the vicinity or measurement area, etc. For practical simplification, the transducer under test is treated as hydrophone. The very important conditions of the acoustic source are stable transducer with fixed position, radiating direction and acoustic power level. Whereas the characterized transducer is situated at a position, in the distance, farther than its far field area. The acoustic source continuously sends signal during the measurement, and the characterized transducer receives the signal. The hydrophone is fully stepped revolved, or 360, and the hydrophone at the center of rotation. Every step of revolved shift position with a given angle a receiver, which is connected to the hydrophone, will receive signal strength at that direction. Recording the level repeatedly is important since fluctuation of acoustic level according to underwater movement. By recording the strength signal at each direction, then calculating, tabulating, and integrating the radiation pattern can be depicted.

Keywords : Measurement Radiation Pattern, hydrophone, Far Field, Diver Tracking.

Abstrak

Transduser akustik bawah air terletak di ujung depan dari system komunikasi bawah air, disingkat SKoBA. Istilah unit transduser mempunyai arti dua atau lebih keping transduser yang disusun sedemikian rupa untuk mendapatkan pola radiasi tertentu. Pola radiasi mempunyai peran penting dalam SKoBA, seperti untuk aplikasi diver tracking, karena faktor ini berkaitan langsung dengan faktor arah radiasi. Di dalam tulisan ini akan didiskusikan pengukuran pola radiasi akustik bawah air. Pengukuran ini harus dalam kondisi tertentu, seperti luas area dan kedalaman memadai, syarat medan jauh untuk jenis dan frekuensi operasi transduser terpenuhi, bebas obstakel di sekitar area pengukuran dan bebas dari arus bawah, dan lain-lain. Untuk menyederhanakan pengukuran, transduser yang dikarakterisasi diperlakukan sebagai hidrofons. Sebagai sumber akustik digunakan transduser, sebagai proyektor, dengan posisi, arah radiasi, dan level daya sinyal dibuat tetap. Sedangkan, untuk transduser yang sedang dikarakterisasi ditempatkan pada posisi dengan jarak lebih jauh dari daerah medan jauh. Secara fisik, transduser harus dapat diputar bertahap hingga satu putaran penuh, atau 360, dan transduser berada di pusat lingkaran. Setiap pergeseran arah dengan sudut yang telah ditetapkan, sebuah penerima yang dihubungkan dengan hidrofons, akan menerima kuat sinyal pada arah tersebut. Pencatatan kuat sinyal pada setiap arah dilakukan berulang kali, karena sering terjadi fluktuasi level akustik karena pergerakan air. Dengan mencatat setiap kuat sinyal pada masing-masing arah, kemudian mengkalkulasi, tabulasi, dan mengintegrasikan, maka pola radiasi dari transduser tersebut dapat digambarkan.

Kata kunci : Pengukuran Pola Radiasi, Proyektor, hidrofons, Medan Jauh, Diver Tracking.

1. Pendahuluan

Transduser untuk bawah air yang beredar di pasaran elektronik kita kebanyakan tidak dilengkapi dengan lembar data teknis^[3]. Hal itu dapat menyulitkan untuk mengoptimalkan kinerja sistem yang sudah dirancang. Oleh karena itu, karakterisasi dari sebuah elemen transduser merupakan keharusan yang tidak dapat ditawar lagi^[3]. Data *radiation pattern* sangat penting untuk SKoBA pada aplikasi sistem transmisi bawah air, *diver tracking*, sonar, *uw-guiding system*, dan sebagainya. Pengukuran pola radiasi juga diperlukan pada pembuatan transduser susunan fasa untuk mendapatkan direktivitas tinggi. Dua jenis pola radiasi dari transduser untuk *diver tracking* yaitu pola radiasi terarah dan pola radiasi *omni*. Transduser dengan pola radiasi terarah digunakan untuk penerima *diver tag* single point. Sedangkan transduser dengan radiasi *omni* digunakan untuk penerima *diver tag* model multilaterasi.

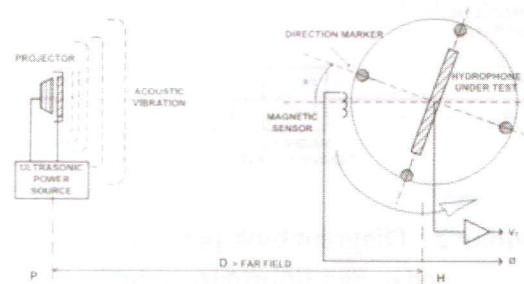
Dalam tulisan ini akan digambarkan tentang teknik pengukuran pola radiasi dari suatu transduser akustik bawah air. Hasil dari pengukuran digunakan untuk mengklasifikasi pola radiasi transduser sesuai dengan bentuk tertentu. Pengklasifikasian bentuk pola ini dimaksudkan untuk memilih transduser yang sesuai untuk proyektor pada *diver tag*, atau hidrofona pada penerima sinyal akustik.

2. Metode Pengukuran.

Responsivitas pada transduser-transduser yang tersusun, disebut susunan transduser, akan berubah terhadap arah relatif dari muka susunan. Faktor pengarah, direktivitas, sangat penting dalam aplikasinya dalam menentukan sudut datang suatu objek. Untuk hidrofona, faktor ini dapat menghindari penerimaan sinyal akustik dari arah lain. Di sisi proyektor, faktor ini mengoptimalkan sinyal akustik hanya pada daerah tujuan^[7]. Respons yang bervariasi terhadap arah ini menentukan pola radiasi susunan transduser. Pada pengiriman dapat

dibayangkan getaran akustik terkurung di dalam *beam*, atau berkas. Dengan analogi, penerimaan juga memiliki berkas yang merupakan sudut padat dalam mana responsnya efektif. Sifat dari keterkurungan, untuk pengiriman atau juga penerimaan, pada sudut terbatas disebut direktivitas.

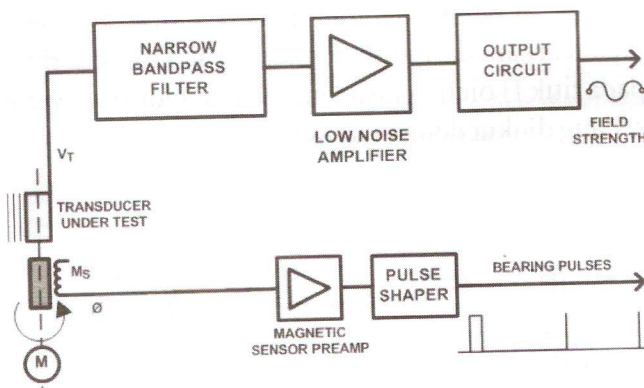
Pengukuran pola radiasi pada transduser bawah air dilakukan terhadap sumber akustik dengan frekuensi dan daya konstan. Sumber getaran akustik ditempatkan pada jarak lebih besar dari daerah medan jauh. Ada dua mode sinyal sebagai pencatu daya ultrasonik untuk proyektor, yaitu mode kontinyu dan mode intermiten. Mode intermiten berguna untuk menghindari titik jenuh proyektor. T-susunan yang sedang diukur diperlakukan sebagai hidrofona. Gambar 1 menunjukkan *setup* pengukuran pola radiasi transduser bawah air. Dari gambar 1, dapat dijelaskan bahwa getaran akustik bawah air yang dipancarkan dari titik P oleh proyektor diterima pada titik H oleh T-susunan, sebagai hidrofona, yang sedang diukur dengan jarak $D > \text{Far Field}$.



Gambar 1 : *Setup* pengukuran pola radiasi transduser bawah air^[4].

Sumber daya untuk proyektor diatur pada frekuensi kerja T-susunan, dengan frekuensi tunggal. Di sisi lokasi pengukuran, sinyal elektrik keluaran dari T-susunan berdaya kecil dan bercampur dengan *noise* akustik dari sekitar tempat pengukuran. Oleh karena itu, dibutuhkan rangkaian pembatas frekuensi dan penguat daya sinyal setelah rangkaian keluaran preamplifier T-susunan. Lebar

pita frekuensi filter *input* penguat hidrofon dibuat sempit, dalam orde beberapa ratus Hertz, untuk menghindari getaran sekitar frekuensi kerja yang mungkin ada di sekitar lokasi pengukuran. Tegangan keluaran V_T adalah kuat daya akustik yang telah dikonversikan oleh T-susunan dan diperkuat oleh rangkaian *preamplifier*. Sedangkan θ merupakan sinyal informasi sudut *bearing* atau *pointing* dari muka T-susunan. Sinyal θ diperoleh dari sensor magnetik yang dipasang pada piringan yang berputar bersama dengan T-susunan. Posisi magnetik sensor sejajar dengan garis normal muka T-susunan. Putaran dari unit Transduser digerakan oleh motor M, sedang informasi sudut dideteksi oleh sensor M_s , dan kuat medan dideteksi oleh TUT. Gambar 2 menunjukkan diagram blok motor untuk gerak putar, penguat sinyal kuat medan dan informasi sudut.



Gambar 2 : Diagram blok penguat sinyal kuat medan dan informasi sudut^[3].

Pengukuran pola radiasi transduser untuk bawah air membutuhkan tempat yang cukup luas, karena pola radiasi diukur pada tempat berjarak beberapa kali lebih panjang dari ukuran dimensi terpanjang dari transduser yang diukur. Pada jarak yang relatif lebih dekat dengan transduser, kurang lebih daerah dimana lebar berkas nominal yang ditentukan dari sudut berkas medan jauh lebih kecil dari pada panjang transduser akan diperoleh hasil yang lebih kompleks^[5]. walau syarat batas medan jauh sudah terpenuhi, akan tetapi benda-benda

diluar batas yang berpotensi sebagai reflektor harus tetap diperhitungkan, karena dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Untuk memperoleh luas area memadai, pengukuran dapat dilakukan di kolam luas, atau danau. Pengukuran akan dimulai dengan pemilihan lokasi memadai, kemudian memeriksa ombak dan arus bawah, kedalaman, dan situasi sekitarnya. Obstacle diusahakan sekecil mungkin, pemeriksaan, dilakukan dengan sonar^[1]. Jarak minimum dari sumber getaran akustik dan obstacle ke transduser yang dikarakterisasi adalah^[4]

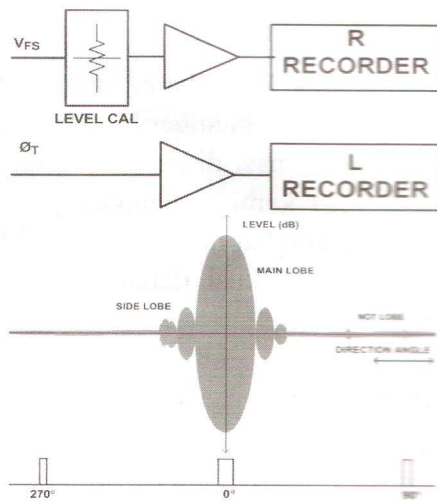
$$D_{MIN} = \frac{2L^2}{\lambda} \dots\dots\dots 2.1$$

Dengan L adalah dimensi terpanjang dari transduser, λ adalah panjang gelombang dari frekuensi kerja transduser.

3. Pengukuran, Hasil Pengukuran, dan Pembahasan.

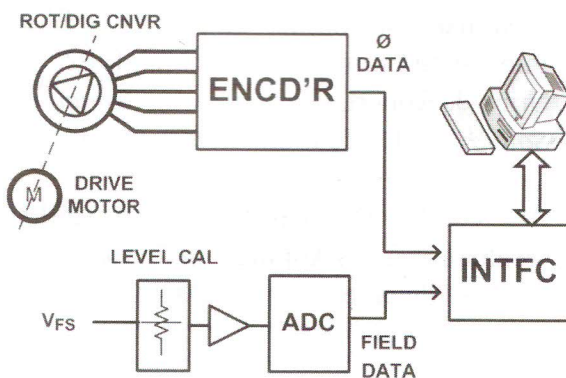
Transduser bawah air untuk aplikasi jarak jauh biasanya berdaya tinggi dan frekuensi kerja rendah. Dengan demikian dimensi fisik transduser menjadi besar. Untuk karakterisasi transduser seperti itu membutuhkan tempat yang cukup luas. Pengukuran pola radiasi di lapangan, untuk di laut ataupun danau, situasi 'akustiknya' sama sekali berbeda dari situasi laboratorium. Oleh karena itu, prosedur pengukuran transduser juga akan berbeda. Telah dijelaskan di atas bahwa ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, seperti obstacle di sekitar lokasi dan kedalaman. Keadaan itu sebelum pengukuran harus diperiksa secara visual, dengan sonar, atau metoda lain.

Sebagai penampil citra pengukuran ada beberapa kemungkinan, di antaranya dengan menggunakan sepasang rekorder yang tampil sejajar, yaitu untuk menampilkan sinyal kuat medan dan informasi sudut defleksi. Gambar 3 adalah proses perekaman dari hasil pengukuran.



Gambar 3 : Rekorder pengukuran^[5].

Dari proses rekorder pengukuran, gambar 3, ada obstakel pada daerah sukitar 45 dan 90. Transduser terarah pada pemancar dapat membantu untuk menghindari obstakel di sekitar arah depan 270 dan 90, tetapi pada arah belakang tidak dapat dihindari dengan cara ini. Untuk ketelitian pengukuran, maka dilakukan pengukuran berulang, penempatan pemancar dipindah ke posisi lain, sehingga target yang dicurigai obstakel mungkin dapat teridentifikasi. Perekaman hasil pengukuran dapat dilakukan dengan wave editor atau alat perekam lain seperti pen recorder. Untuk pengukuran dengan perekam pen recorder perlu menyearahkan sinyal kuat medan keluaran dari penguat field strength.



Gambar 4 : Pencitraan hasil pengukuran dengan komputer^[4].

Teknik pencitraan pengukuran model lain adalah dengan teknik digital dan bantuan komputer. Sinyal kuat medan dikonversikan ke dalam data digital, sedangkan informasi sudut defleksi didapat dari rotation encoder. Dengan menggunakan program Automatic Tabulation kedua data di tabelkan dalam dua kolom. Gambar 4 menunjukkan pencitraan hasil pengukuran dengan komputer.

Pola radiasi suatu antenna menunjukkan gambaran dari faktor direktifitas D, dengan hubungan seperti pada persamaan 3.1^[8]

$$D_{\phi} = \frac{P(\theta, \phi) \max}{P(\theta, \phi) \text{ave}} \dots\dots\dots 3.1$$

Direktifitas dari bidang berkas Ω_A didapat dari persamaan 4.1, maka diperoleh 3.2^[8]

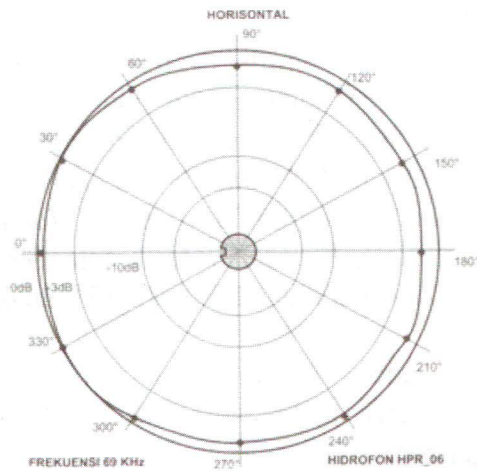
$$D_{\phi} = \frac{4\pi}{\int\int_{\Omega_A} P_n(\theta, \phi) d\Omega} = \frac{4\pi}{\Omega_A} \dots\dots\dots 3.2$$

Dengan θ, Φ faktor sudut berkas azimuth dan elevasi, dan Ω_A adalah bidang sudut padat berkas (total). Hubungan D dengan faktor Penguatan antenna G adalah^[8]

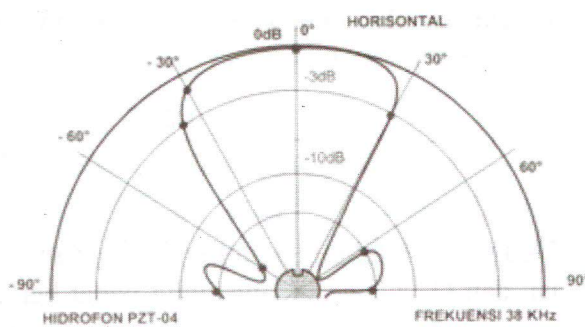
$$G = k.D_{\phi} \dots\dots\dots 3.3$$

Persamaan 3.1, 3.2, 3.3 menggambarkan bahwa sudut berkas sempit memberikan G besar. Dengan penguatan besar berarti akan meningkatkan sensitifitas. Oleh karena itu, prosedur pengukuran harus memperhatikan obstakel dan pemantul yang mungkin ada di sekitar area pengukuran. Semua obstakel dan pemantul dapat mempengaruhi penerimaan sinyal pada antenna yang dikarakterisasi.

Beberapa hasil pengukuran pola radiasi ditunjukkan pada beberapa gambar berikut.



Gambar 5 : Pola radiasi hidrofona HPR-06, pengukuran di danau Cirata^[2].



Gambar 6 : Pola radiasi terarah PZT-04^[5].

4. Kesimpulan

Ketelitian karakterisasi transduser bawah air di lapangan, danau Cirata, antara lain ditentukan oleh dua hal, yaitu kegiatan pra karakterisasi, dan saat karakterisasi. Kegiatan pra karakterisasi yaitu mengukur kedalaman, identifikasi obstakel, arus bawah. Sedangkan kegiatan saat karakterisasi, mengambil harga rata-rata pada pembacaan hasil pengukuran berulang dan pengulangan karakterisasi pada posisi pemancar berbeda. Hidrofon atau transduser akustik bawah air bentuk gambar 5 digunakan untuk penerima *diver tracking* dengan model multilaterasi, sedangkan untuk model gambar 6 digunakan untuk penerima *singel point*.

5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan pada rekan-rekan yang telah memberikan bantuan dalam pengukuran pola radiasi di danau Cirata. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan pada rekan-rekan yang dengan sabar meluangkan waktu untuk mengoreksi dan diskusi dalam menyelesaikan tulisan ini.

6. Daftar Pustaka

- [1] Ismail Syamsu, “*Pengembangan Sistem Komunikasi Strategis Menggunakan Sinyal Akustik*”, Laporan Penelitian PPET-LIPI Bandung : 2008.
- [2] Ismail Syamsu, Deni P., “Karakterisasi Elemen Transduser Piezoelektrik Untuk Sistem Komunikasi Bawah Air”, *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, Vol. 7 No. 2, Juli 2007.
- [3] Ismail Syamsu, “*Teknik Pengukuran Pola Radiasi Transduser Akustik Bawah Air*”, Prosiding Seminar Radar Nasional – LIPI Bandung : 30 April 2009.
- [4] Ismail Syamsu, “Pengukuran Pola Radiasi Antena Berkas Pensil”, Laporan Penelitian PPET-LIPI Bandung : Mei 2010.
- [5] Ismail Syamsu, “*Penelitian Komunikasi Akustik Bawah Air*”, Laporan Penelitian PPET-LIPI Bandung : 2009..
- [6] Tucker D.G, D.Sc, B.K. Gazey, PhD., “*Applied Underwater Acoustics*”, Elsevier Publishing Company, New York : 1962.
- [7] Urick J. Robert, “*Principles of Under water Sound*”, 3D Edition McGraw-Hill Book Company, New York : 1983.
- [8] Kraus John D. Dan Ronald J. Marhefka, “*Antenna for All Applications*”, McGraw Hill Higher Education. Boston: 2002.

Perancangan dan Realisasi Antena Biquad Dualband pada Frekuensi 2,3GHz - 2,4GHz dan 3,3GHz – 3,4GHz

¹Yuyu wahyu, ²Asep Yudi H, ³Elbert Yamaku

^{1,2}Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) LIPI
Komplek LIPI Gd. 20 Jl. Sangkuriang Bandung 40135
Telp/fx : 022-2504660/2504659

³Fakultas Elektro dan Komunikasi IT Telkom Bandung
Email: yuyu@ppet.lipi.go.id, asep@ppet.lipi.go.id, e2d_e2d@yahoo.co.id

Abstract

WiMAX and Wi-Fi are standard technologies of the Metropolitan Area Network (MAN) in order to provide solution to problems with the cable network. Therefore, the need for an antenna that meets the requirements of dualband capable to cover the desired frequency bands. Nowadays, many antennas are designed with the ability of the dualband operation. In this paper, a dualband antenna design and realization of the biquad antenna for WLAN and WiMAX applications is described. The antenna is able to work at a frequency of 2300 - 2400 MHz and 3300 - 3400 MHz with $VSWR \leq 1.5$. Antenna radiation pattern is omnidirectional so that the antenna can radiate in all directions with a wave of linear polarization. While the antenna gain is ≥ 5 dB. This antenna is designed using a method that combines dual resonator antenna with two different dimensions, to produce an antenna with an optimal antenna capabilities such as radiation pattern, the working frequency and antenna gain.

Keywords : WiMAX, Wi-Fi, VSWR, Gain

Abstrak

WiMAX dan WIFI, merupakan standar teknologi dari Metropolitan Area Network (MAN) yang dibuat sebagai salah solusi permasalahan jaringan dengan kabel yang terbatas cakupannya, untuk menjangkau wilayah yang luas diperlukan perlunya antena yang dapat memenuhi persyaratan mampu beroperasi pada dualband untuk mencakup daerah operasi pita frekuensi yang diinginkan. Sejauh ini, banyak antena yang dirancang dengan kemampuan operasi pada dualband. Pada tulisan ini, dirancang dan direalisasikan Antena Dualband bekerja pada frekuensi 2300 – 2400 MHz dan 3300– 3400 MHz dengan batasan $VSWR \leq 1,5$. Untuk pola radiasi antena yaitu omnidirectional sehingga antena dapat memancarkan gelombang ke segala arah dengan polarisasi linier. Sedangkan besarnya gain antena adalah ≥ 5 dB. Antena ini dirancang dengan menggunakan metoda dual resonator yaitu menggabungkan resonator berupa dua buah antena yang dimensinya berbeda, untuk menghasilkan antena dengan kemampuan antena yang optimal seperti pola radiasi, frekuensi kerja dan penguatan antena (gain).

Kata Kunci : WiMAX, Wi-Fi, VSWR, Gain

1. Pendahuluan

WiMAX dan WIFI, merupakan standar teknologi dari *Metropolitan Area Network (MAN)* yang dibuat sebagai solusi permasalahan jaringan yang menggunakan kabel. Untuk mendukung teknologi tersebut diperlukan perangkat antena yang bisa beroperasi pada standard frekuensi yang telah ditentukan sesuai dengan alokasinya. Dengan begitu, perlunya antena yang dapat memenuhi

persyaratan dan mampu beroperasi sekaligus digunakan bersamaan pada daerah WiMAX dan WIFI, dimana antena tersebut memiliki gain tepat, arah pancar yang sesuai, akurat dan lebih efisien.

Sejauh ini, banyak antena yang dirancang dengan kemampuan operasi pada *dualband*. Dan kita telah mengenal berbagai jenis antena, misalnya antena yagi, antena horn, antena helix, antena mikrostrip, antena loop dsb. Semua antena tersebut dapat diaplikasikan pada sistem komunikasi

wireless. Pembahasan adalah dipilih adalah untuk antenna berbentuk persegi yang merupakan pengembangan dari antenna loop.

2. Spesifikasi Antena

1. Frekuensi : 2,3-2,4GHz dan 3,3-3,4 GHz
2. VSWR : ≤1,5
3. Impedansi : 50 Ω
4. Pola radiasi : Unidireksional
5. Gain : ≥5 dBi
6. Polarisasi : Linier

3. Konsep dasar Antena

3.1 Impedansi^[3]

Impedansi antenna merupakan hal yang penting dalam perancangan antenna karena sebenarnya antenna itu sendiri berfungsi sebagai penyepadan impedansi antenna tersebut dengan impedansi saluran. Penyepadan ini perlu dilakukan supaya terjadi transfer daya maksimum dari sumber ke antenna atau sebaliknya. Pada suatu saluran (antenna), impedansinya ditentukan oleh ukuran dan konstruksi fisik antenna tersebut dan juga bergantung pada faktor bahan yang dipilih. Selain itu dapat juga dipengaruhi oleh frekuensi kerjanya.

Impedansi antenna didefinisikan sebagai perbandingan antara medan elektrik terhadap medan magnetik pada suatu titik atau bias didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan terhadap arus pada suatu terminal. Pada kondisi yang ideal, impedansi antenna merupakan tahanan konstan yang disebut tahanan pancar atau tahanan radiasi. Kondisi ideal ini berarti antenna langsung bisa dipasangkan pada saluran transmisi yang mempunyai impedansi karakteristik Z_T sama dengan tahanan radiasi. Kondisi ideal ini pada dasarnya untuk mendapatkan resonansi antenna.

Dari definisi atas, maka didapat persamaan :

$$Z_T = \frac{\text{Beda Potensial (V)}}{\text{Arus Terminal (I)}} \tag{1}$$

Dimana $Z_T = Z_{\text{Pancar}} + Z_{\text{konstruksi}}$ ^[9]

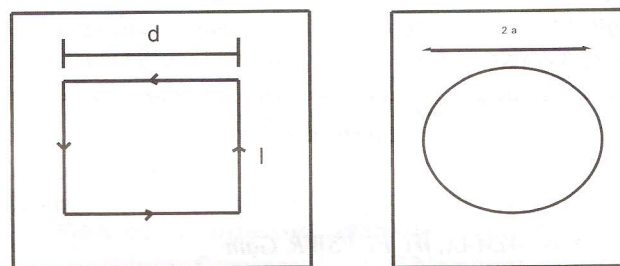
Tidak semua antenna mempunyai kondisi yang ideal, ini berarti bahwa pada saluran transmisi tersebut terdapat komponen gelombang pantul dimana persamaan koefisien pantulnya

$$\Gamma = \frac{Z_a - Z_T}{Z_a + Z_T} \tag{2}$$

Dengan: $Z_a = \text{impedansi masuk antenna}$
 $Z_T = \text{impedansi saluran transmisi}$

3.2 Antena Quad^[1]

Antena quad merupakan berasal dari antenna loop lingkaran.



Gambar 1 : Quad Antena Gambar 2.5 circular loop

Dari gambar 2.4 dan gambar 2.5 diatas besarnya d bisa dirumuskan sebagai berikut

$$d^2 = \pi a^2 \tag{3}$$

Untuk medan elektrik pada antenna quad hanya komponen E_ϕ , dan persamaannya sebagai berikut :

$$E_\phi = -E_{\phi 0} e^{j\psi/2} + E_{\phi 0} e^{-j\psi/2} \tag{4}$$

Dimana $E_{\phi 0}$ adalah medan elektrik dari dipole tunggal dan

$$\psi = \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \theta = d_r \sin \theta \tag{5}$$

Sehingga E_ϕ bisa dituliskan sebagai berikut

$$E_\phi = -2jE_{\phi 0} \sin\left(\frac{d_r}{2} \sin \theta\right) \tag{6}$$

Faktor j mengindikasikan bahwa total bagian E_ϕ

adalah tingkat keempat dengan bagian $E_{\phi 0}$ dari dipole tunggal.

Sekarang jika $d \ll \lambda$, dapat ditulis menjadi

$$E_{\phi} = -jE_{\phi 0} d_r \sin \theta \quad [7]$$

Untuk nilai $E_{\phi 0}$ pada dipole tunggal dapat dituliskan sebagai berikut :

$$E_{\phi 0} = \frac{j60 \pi [I] L}{r \lambda} \quad [8]$$

dimana [I] adalah arus pada dipole dan r adalah jarak pada dipole. Substitusi persamaan (2-8) dan (2-9) maka diperoleh ;

$$E_{\phi} = \frac{60\pi [I] L d_r \sin \theta}{r \lambda} \quad [9]$$

Jadi, panjang L pada dipole pendek sama dengan d, sehingga $L = d$ dan $d_r = 2\pi d / \lambda$ dan pada daerah A dari loop adalah d^2 , sehingga persamaan (2-10) menjadi :

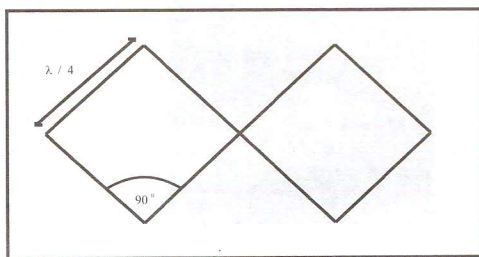
$$E_{\phi} = \frac{120 \pi^2 [I] L d_r \sin \theta}{r} \frac{A}{\lambda^2} \quad [10]$$

komponen lain pada loop adalah H_{θ} . Dan nilai H_{θ} diperoleh dari persamaan berikut :

$$H_{\theta} = \frac{E_{\phi}}{120 \pi} = \frac{\pi [I] \sin \theta}{r} \frac{A}{\lambda^2} \quad [11]$$

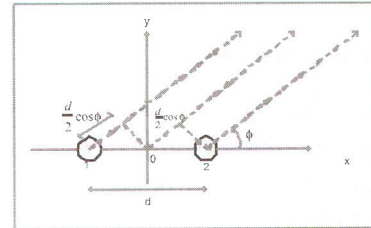
3.3 Antena Biquad

Antena biquad merupakan pengembangan dari antenna loop dan gabungan dari antenna quad, dengan bahan antenna berupa kawat tembaga, yang berbentuk persegi empat yang digabungkan menjadi satu dengan titik catuannya berada di tengah-tengah.



Gambar 2 : antena biquad

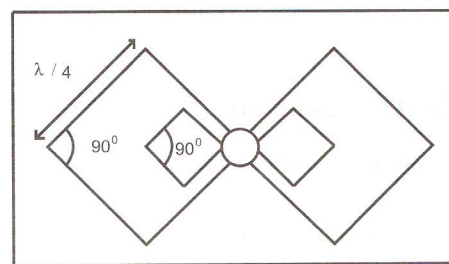
Untuk mendapatkan nilai E_{ϕ} pada antenna biquad dengan menggunakan konsep susunan antenna dengan amplitudo dan fasanya sama.



Gambar 3 : Susunan Antena

3.4 Antena Biquad Dual-Band

Ada berbagai macam teknik yang bisa digunakan untuk merancang antenna sehingga bisa difungsikan sebagai antenna yang memiliki karakteristik *dualband*, diantaranya dengan menggabungkan dua antenna dengan masing-masing dimensinya mempunyai besaran yang berbeda, atau dengan menambahkan beban reaktif pada bagian antenna, selain itu dapat juga dengan menambahkan slot pada antenna tersebut, sehingga antenna tersebut dapat dikonfigurasi menjadi antenna yang *dualband*. Tetapi dari beberapa cara tersebut yang cocok untuk antenna biquad adalah dengan cara menggabungkan dua antenna atau disebut juga dengan multi resonan.



Gambar 4 : Bentuk Pemodelan Antena Biquad Dualband

antenna biquad untuk nilai Biquad dualband $E_t(\theta)$, $E_0 = \frac{j60\pi [I] L}{r \lambda}$, maka besarnya $E_t(\phi)$ sebagai berikut :

$$E_t(\phi) = 4 \frac{j60\pi [I] L}{r \lambda} \cos\left(\frac{\pi d}{\lambda} \cos \phi\right) +$$

$$4 \frac{j60\pi [I] \cos \left(\frac{\pi d}{\lambda} \cos \phi \right)}{r_i \lambda} \quad [12]$$

Dimana $l = \frac{1}{2} L$

4. Perancangan Antena

Adapun tahapan perancangan dan pembuatan antena Biquad adalah sebagai berikut :

1. Penentuan Spesifikasi.
2. Pabrikasi

Dalam perancangan antenna biquad ini terdapat hal-hal yang harus diperhatikan agar kinerja atau karakteristik antena yang diinginkan bisa tercapai. Hal-hal tersebut meliputi, karakteristik bahan yang digunakan, letak pencatuan, serta ketelitian pembuatan.

Frekuensi 2300–2400 MHz

$$\lambda = \frac{c}{f_c} = \frac{3 \times 10^8}{2,35 \times 10^9} = 0,1276 m = 12,76 cm \quad [14]$$

Untuk frekuensi 3300 MHz – 3400 MHz

$$\lambda = \frac{c}{f_c} = \frac{3 \times 10^8}{3,35 \times 10^9} = 0,0895 m = 8,95 cm \quad [15]$$

5. Pengukuran dan Analisis

Spesifikasi antena yang diukur meliputi : *VSWR*, *Bandwidth*, Impedansi, Polarisasi Pola radiasi.

5.1 Syarat Pengukuran

Pengukuran suatu antena yang ideal dilakukan pada ruang tanpa gema (*Anechoic Chamber*). Jarak pengukuran antara pemancar dengan penerima adalah $L > \frac{2D^2}{\lambda}$, dimana D adalah dimensi terbesar dari antena Medan jauh antena Biquad adalah

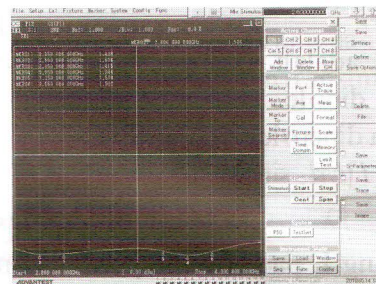
$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2(40)^2}{15} = 2,1m \quad [16]$$

Pengukuran antena dilakukan pada jarak sekitar dua meter yang artinya sudah memenuhi syarat medan jauh antena biquad yang telah dibuat.

5.1 Pengukuran *VSWR* dan *Bandwidth*

Berikut prosedur pengukuran *VSWR* dan *bandwidth*:

1. Memasukan parameter pengukuran
2. Kalibrasi *Network Analyzer*
3. Menghubungkan perangkat
4. Mengamati dan menganalisis pengukuran

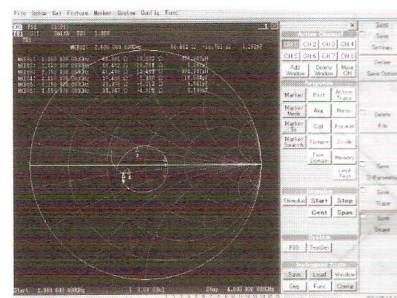


Gambar 5 : Grafik *VSWR*

Dari gambar tersebut diperoleh informasi nilai *VSWR* pada frekuensi 2,35 GHz didapatkan 1,43. Sedangkan untuk *VSWR* pada frekuensi 3,35 GHz didapatkan 1,3. *VSWR* yang didapatkan dari hasil pengukuran ini $\leq 1,5$ jadi spesifikasi dari antenna ini terpenuhi. Sedangkan *bandwidth* untuk *VSWR* $\leq 1,5$ yang terukur sebesar ± 200 MHz untuk kedua frekuensi resonansinya.

5.3 Pengukuran Impedansi

Prosedur pengukuran impedansi antena sama dengan pengukuran *VSWR*, berikut adalah gambar hasil pengukuran impedansi yang diambil langsung dari layar *network analyzer*.



Gambar 6 : Grafik Smith Chart hasil pengukuran antena

Frequency (GHz)	Resistance (Ω)	Reactance (Ω)
2.15	41.498	J13.462
2.35	68.682	J10.207
2.55	66.462	-j18.761
3.15	33.308	-J5.212
3.35	37.408	-J2.836
3.55	33.847	-J4.815

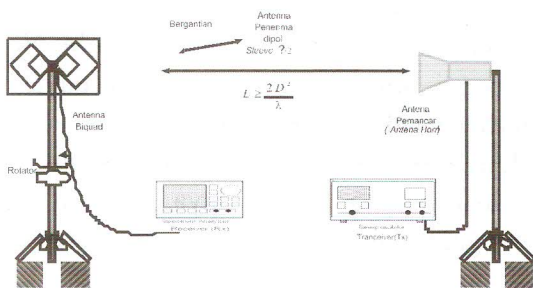
5.4 Analisis Pengukuran Impedansi

Nilai impedansi antena biquad pada frekuensi 2,35 GHz, sudah mendekati 50 Ω (impedansi koaksial) atau impedansi yang diinginkan, hanya saja masih memiliki nilai reaktif (kapasitif dan induktif). Nilai reaktif tersebut dapat dikompensasi lagi jika ingin melebarkan *bandwidth*. Sedangkan pada frekuensi 3,35 GHz nilai impedansinya setengah dari nilai impedansi pada frekuensi 2,35. Hal ini merupakan dampak dari penggabungan dari kedua antenna tersebut.

5.5 Pengukuran Pola Radiasi

Berikut prosedur pengukurannya :

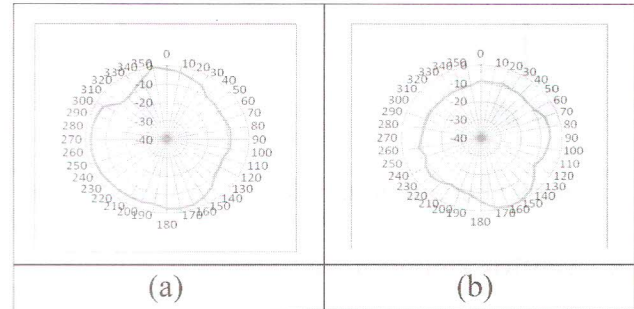
1. Hubungkan antenna pemancar ke *sweep generator* dan *Antenna Under Test (AUT)* atau antenna Pancacula dihubungkan ke *spectrum analyzer*;
2. *AUT* diputar secara azimuth dan elevasi tiap 10⁰ sampai 360⁰, semakin kecil resolusi sudut pemutaran maka akan semakin terlihat jelas pola radiasinya,
3. Hasil pengukuran dicatat sebanyak dua kali dalam rentang waktu yang sama.



Gambar 7 : Pengukuran Pola Radiasi Antena Biquad Bidang *Azimuth* dan Bidang Elevasi

5.6 Analisis Pengukuran Pola Radiasi

Berikut adalah gambar pola radiasi pada arah azimuth dan elevasi :



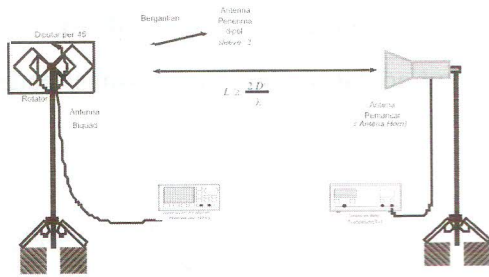
Gambar 8 : Pola Radiasi Antena Arah Azimuth, (a) frekuensi 2.35 GHz, (b) frekuensi 3.35 GHz

Dari grafik tersebut terlihat bahwa antenna Biquad hasil perancangan memiliki pola radiasi unidireksional. Sedangkan hasil pengukuran terlihat pada garis radiasi sudah mendekati bentuk lingkaran yang menyebar ke segala arah maka pola radiasi ini berbentuk omnidireksional. Hasil pengukuran yang diperoleh terdapat beberapa penyimpangan dari teori. Sama halnya dengan pengukuran parameter lainnya, penyimpangan tersebut disebabkan karena terlalu banyaknya pantulan dari benda di sekelilingnya. Perubahan suhu udara juga turut mempengaruhi perilaku gelombang yang terpancar, akibatnya pada sisi penerima terjadi variasi medan yang cukup besar jika dibandingkan toleransi yang diperbolehkan.

Perubahan suhu udara juga turut mempengaruhi perilaku gelombang yang terpancar, akibatnya pada sisi penerima terjadi variasi medan yang cukup besar jika dibandingkan toleransi yang diperbolehkan.

5.7 Pengukuran Polarisasi

Pada pengukuran *polarisasi*, *AUT* diletakkan horisontal sama dengan antenna horn, kemudian diputar setiap 45 derajat terhadap sumbu *zx* . Berikut gambar konfigurasi pengukuran *polarisasi*.

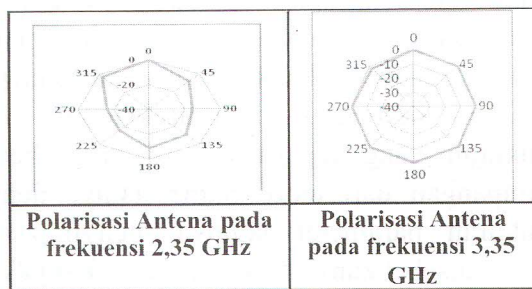


Gambar 9 : Pengukuran Polarisasi Antena Biquad

5.8 Analisis Pengukuran Polarisasi

Polarisasi yang diharapkan adalah linier, yaitu jika rasio kuat medan elektrik (numerik) tak hingga (∞) atau nilai kuat medan elektrik pada sumbu minor harus 0.

Berikut adalah gambar hasil ukur polarisasi antenna :



Gambar 10 : Polarisasi Antena Biquad

- Pada Frekuensi 2,35 GHz :

Daya terima maksimum (sumbu mayor)= -38,335 dBm = 1,47x10⁻⁷ watt

Daya terima minimum (sumbu minor)= -49,085 dBm = 1,23x10⁻⁸ watt

Dengan mensubstitusikan nilai sumbu mayor dan minor ke persamaan diatas maka didapatkan rasio kuat medan elektrik adalah

$$\frac{\sqrt{P_{\text{watt mayor}} \times 377}}{\sqrt{P_{\text{watt minor}} \times 377}} = \frac{\sqrt{1,47 \times 10^{-7} \times 377}}{\sqrt{1,23 \times 10^{-8} \times 377}} = \frac{7,44 \times 10^{-3}}{2,15 \times 10^{-3}} = 3,46 \quad [17]$$

- Pada Frekuensi 3,35 GHz :

Daya terima maksimum (sumbu mayor)= -57,6 dBm = 1,74x10⁻¹⁰ watt

Daya terima minimum (sumbu minor)= -59,95 dBm = 1,01x10⁻¹¹ watt

Polarisasi yang diharapkan adalah linier, yaitu jika rasio kuat medan elektrik (numerik)-nya mendekati tak hingga (∞) atau nilai kuat medan elektrik pada sumbu mayor harus >> dari kuat medan elektrik pada sumbu minornya. Sedangkan pada pengukuran polarisasi antenna ini, rasio kuat medan elektrik (numerik) yang seharusnya bernilai tak hingga (∞) ini belum terpenuhi. Sehingga dari perhitungan rasio kuat medan elektrik dapat diketahui bahwa AUT berpolarisasi elips.

Polarisasi elips ini dapat disebabkan karena pengaruh kuat medan elektrik antara cabang antenna, mengingat konstruksi antenna tricola ini terdiri dari tiga buah cabang, sehingga kuat medan elektrik yang terukur tidak hanya berasal dari satu buah cabang saja yang hal ini yang dapat menyebabkan perubahan polarisasi linier berubah menjadi polarisasi elips. Selain hal itu, perubahan polarisasi ini dapat disebabkan juga oleh ruang pengukuran yang bukan ruang tanpa gema, sehingga terdapat pantulan-pantulan benda sekitar yang nantinya akan mempengaruhi bentuk polarisasinya.

5.9 Konfigurasi Pengukuran Gain.

Langkah-langkah pengukuran :

1. Antena uji ditempatkan sebagai penerima yang akan menerima daya pancaran dari pemancar. Arahkan pada sumbu utama pola pancarnya. Catat daya yang terbaca pada *spectrum analyzer* (dBm).
2. Ganti antenna uji dengan antenna dipole ^{1/2} sebagai antenna referensi. Catat daya yang terbaca pada *spektrum analyzer*.
3. Bandingkanlah kedua hasil tersebut, maka selisih antara kedua daya tersebut adalah penguatan antenna uji terhadap antenna dipole ^{1/2}

Pengukuran gain antenna dilakukan dengan cara mengukur level daya terima AUT dan antenna referensi. Untuk memperoleh hasil yang lebih baik,

maka pengukuran dilakukan berulang-ulang dan hasilnya dirata-rata. Kemudian gain antena hasil pengukuran dihitung dengan persamaan

$$G(\text{dBi}) = P_{\text{AUT}}(\text{dBm}) - P_{\text{Ref}}(\text{dBm}) + 2,14 \text{ dB} [18]$$

dimana :

$G_{\text{AUT}(\text{dbm})}$ = gain antena yang diukur

$P_{\text{AUT}(\text{dbm})}$ = level daya terima AUT

$P_{\text{REF}(\text{dbm})}$ = level daya terima antena referensi

6. Kesimpulan

Dari keseluruhan proses perencanaan, simulasi, pembuatan dan pengukuran Antena *Biquad* dengan menggunakan kawat tembaga maka dapat disimpulkan beberapa

Impedansi antena hasil pengukuran didapatkan sebagai berikut :

Impedansi pada frekuensi 2.35GHz_2 adalah sebesar $= 68.682 + j10.207\Omega$, Impedansi pada frekuensi 3.35GHz_2 adalah sebesar $= 37.408 - j2.836\Omega$

Gain hasil pengukuran yang didapatkan pada frekuensi 2,35 GHz sebesar 12.81 dBi, dan pada frekuensi 3,35 GHz didapatkan gain sebesar 5.93 dBi.

7. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami ucapkan kepada rekan-rekan di sub.bid sarana penelitian Telekomunikasi PPET yg telah membantu untuk pengukuran dan diskusi sehingga terselesaikan penelitian ini.

8. Daftar Pustaka

- [1]. Kraus, J.D. *Antenas*, 1nd edition. *Mc-graw-Hill International*. New York. 1950.
- [2]. Kraus, J.D. *Antenas*, 2nd edition. *Mc-graw-Hill International*. New York. 1988.
- [3]. Jasik, Henry., "Antenna Engineering Handbook", *Mc Graw Hill Book Company*. 1961. 1st Ed
- [4]. Balanis, C.A. *Antena Theory : Analysis and Design*. *Harper & Row Publisher Inc*. New York. 1982.
- [5]. Collin, Robert E., "Foundations for Microwave Engineering", *Mc Graw Hill Book Company*, 2nd Ed, 1992.

Perancangan dan Realisasi Uninterruptible Power Supply (UPS) sebagai Daya Cadangan pada Peralatan Penguat Suara dan Penerangan

Deni Permana dan Syamsu Ismail

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 : denny@ppet.lipi.go.id

Abstract

Has done research on Uninterruptible Power Supply (UPS) which serves to provide backup power when power from the grid problems. UPS system consists of an inverter, which serves to alter the direction voltage into alternating voltage, a battery control unit, which serves as a control voltage at the battery, an electromechanical switch that functions in the process of moving the load to a backup power source, and a battery that serves as a store of reserve power. The UPS system will work when the detected voltage drop is determined, the grid system. At the normal grid, electromechanical switches contained in the UPS system will enter the channel voltage at the terminal, directly into the UPS system output terminal. Under these circumstances, the system battery charger in the control unit will do the filling into the storage battery backup power with a maximum charging current is 10% of the capacity of batteries installed. Conversely, during a disturbance on the grid, electromechanical switches will switch to a backup power source, which comes from the inverter and storage battery backup power. To protect the load order is not disturbed or lost, the transfer speed switch from the UPS system, not more than 1 second. To avoid any difference in the reference voltages on the UPS system, the neutral wires of the grid system is not connected to the inverter output system directly but made □□floating, this was done because the output of the inverter system has no fixed neutral reference voltage.

Keywords: *uninterruptible power supply, inverter, electromechanical switches, battery, floating*

Abstrak

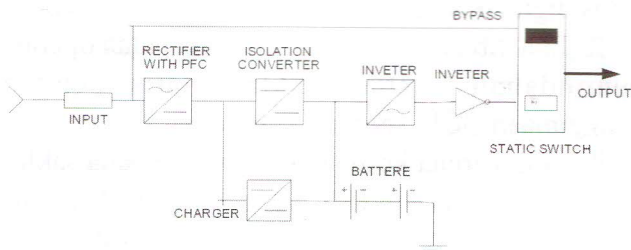
Telah dilakukan penelitian tentang Uninterruptible Power Supply (UPS) yang berfungsi untuk memberikan catu daya cadangan ketika daya dari jala-jala listrik bermasalah. UPS terdiri dari sebuah inverter, yang berfungsi untuk merubah tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik, sebuah control battery unit, yang berfungsi sebagai pengendali tegangan pada baterai, sebuah saklar elektromekanikal (relay) yang berfungsi dalam proses pemindahan beban ke sumber daya cadangan, serta sebuah baterai yang berfungsi sebagai penyimpan daya cadangan. Sistem UPS akan bekerja pada saat terdeteksi adanya penurunan tegangan yang ditentukan, pada sistem jala-jala listrik. Pada saat jala-jala listrik normal, saklar elektromekanikal yang terdapat dalam sistem UPS akan menyalurkan tegangan di terminal masukkan, langsung ke terminal keluaran sistem UPS. Dalam keadaan ini, sistem charger di dalam control battery unit akan melakukan mengisi ke dalam baterai penyimpan daya cadangan dengan maksimum arus pengisian 10% dari kapasitas baterai terpasang. Sebaliknya, pada saat terjadi gangguan pada jala-jala listrik, saklar elektromekanikal akan berpindah ke sumber daya cadangan, yang berasal dari inverter dan baterai penyimpan daya cadangan. Untuk melindungi supaya beban tidak terganggu atau terputus, maka kecepatan pemindahan (transfer switch) dari sistem UPS, tidak boleh lebih dari 1 detik. Untuk menghindari adanya perbedaan tegangan acuan pada sistem UPS, maka kabel netral dari sistem jala-jala listrik tidak disambungkan dengan sistem keluaran inverter secara langsung tapi dibuat mengambang, hal ini dilakukan karena keluaran dari sistem inverter tidak memiliki tegangan acuan netral yang tetap.

Kata Kunci : *uninterruptible power supply, inverter, saklar elektromekanikal, baterai, mengambang*

1. Pendahuluan

Terjadinya pemadaman listrik bergilir, hilang daya sesaat, kualitas tegangan yang buruk yang disebabkan oleh transformator distribusi jala-jala yang tidak normal, tegangan turun, serta tegangan kedip yang disebabkan karena gangguan petir, serta beban lebih (*over load*), merupakan gangguan-gangguan atau masalah yang sering sekali dialami akhir-akhir ini, seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan pasokan daya listrik terutama di daerah-daerah atau posisinya berada jauh dari transformator distribusi. Jika gangguan tersebut sering terjadi serta dibiarkan untuk waktu yang cukup lama, maka dapat mengakibatkan rusaknya atau terganggunya perangkat listrik dan elektronik. Untuk melindungi perangkat-perangkat tersebut dari kerusakan yang kemungkinan akan terjadi, atau hilangnya data pada saat menggunakan komputer dan listrik tiba-tiba mati, maka dipergunakan UPS (*Uninterruptible Power Supply*).

Di bawah ini diperlihatkan diagram blok dari sebuah sistem UPS.



Gambar 1 : Diagram Blok UPS [4]

Dengan mengetahui fungsi, sistem kerja serta kebutuhan daya total yang diperlukan, maka sebuah sistem UPS dapat dirancang dan direalisasikan. Sistem UPS terdiri dari sebuah inverter yang berfungsi untuk merubah tegangan searah (*directing current*) yang berasal dari baterai menjadi tegangan bolak-balik (*alternating current*), sehingga dapat menjadi sumber daya listrik alternatif dan bersifat sementara yang dapat menggantikan pasokan listrik pada saat sumber

daya listrik utama mengalami gangguan. Hal ini dapat terjadi karena sistem UPS merupakan sebuah sistem yang berdiri sendiri terhadap sistem daya listrik jala-jala.

2. Teori

a. AVR (*Automatic Voltage Regulator*)

Dalam beberapa kasus, perangkat elektronik sangat tergantung pada keberadaan dan kualitas listrik. Kualitas listrik yang buruk seperti tegangan turun atau tegangan berubah-ubah (*tidak stabil*), dapat membuat beberapa perangkat elektronik terganggu kinerjanya terutama kestabilannya. Perangkat AVR bukanlah solusi mutlak bagi permasalahan kelistrikan, tetapi AVR dapat membantu menstabilkan tegangan dalam toleransi maksimum terhadap kualitas listrik yang dikondisikan.

b. Charger

Pada bagian ini terdiri dari rangkaian penyerahan dan rangkaian untuk pengisian baterai. Bagian *rectifier-charger* harus dapat mensuplai tegangan searah ke dalam baterai back-up dengan besaran arus yang linier terhadap beban baterai, serta pada saat yang sama juga harus dapat mempertahankan muatan yang ada di dalam baterai cadangan pada saat muatan yang ada pada baterai tersebut tidak dipergunakan. Selain dua parameter diatas, bagian ini juga harus mempunyai batasan yang cukup tinggi dalam hal kemampuan mengalirkan daya ke output sekitar 125-130%. Jadi seandainya beban meningkat sampai 125% dari batas daya yang diijinkan, maka bagian ini harus masih bisa memberikan daya ke bagian inverter tanpa ada penurunan performa [2]. Biasanya untuk arus pengisian sekitar 10% dari kapasitas baterai yang terpasang, hal ini untuk menjaga baterai dari kerusakan karena arus pengisian yang terlalu besar, serta umur pemakaian baterai menjadi panjang. Batasan sebuah sistem UPS yang baik menurut standar NEMA (*National Electrical Manufacturer Association*) adalah dapat memberikan daya 100%

terus-menerus (*continous load*) selama 2 jam pada beban 125% tanpa terjadi penurunan performa (kerusakan) [2]. Baterai yang masih dapat dikategorikan dalam kondisi layak pakai adalah baterai yang masih mampu memberikan daya 100% selama 1 jam jika lama pengisiannya selama 8 jam (ditentukan oleh manufaktur baterai).

c. Inverter

Inverter adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak balik (AC). Inverter mengkonversi DC dari perangkat seperti baterai dan panel sel surya. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan inverter adalah :

- Kapasitas beban dalam Watt, usahakan memilih inverter yang beban kerjanya mendekati dgn beban yang hendak kita gunakan agar efisiensi kerjanya maksimal
- Input DC 12 Volt atau 24 Volt
- Sinewave ataupun square wave pada output keluaran Inverter

Ada beberapa jenis dari Inverter jika dilihat dari bentuk gelombang keluarannya. *True sine wave inverter* adalah salah satu jenis Inverter yang diperlukan terutama untuk beban-beban yang masih menggunakan motor agar bekerja lebih mudah, lancar dan tidak cepat panas. Dalam perkembangannya di pasaran juga beredar *modified sine wave inverter* yang merupakan kombinasi antara square wave dan sine wave. Perangkat yang menggunakan kumparan masih bisa beroperasi dengan *modified sine wave inverter*, hanya saja kurang maksimal. Sedangkan pada square wave inverter, beban-beban listrik yang menggunakan kumparan atau motor tidak dapat bekerja sama sekali. Selain itu dikenal juga istilah Grid Tie Inverter yang merupakan special inverter yang biasanya digunakan dalam sistem energi listrik terbarukan, yang mengubah arus listrik DC menjadi AC yang kemudian diumpankan ke jaringan listrik yang sudah ada. Grid Tie Inverter juga dikenal sebagai *synchronous inverter* dimana perangkat ini tidak dapat berdiri sendiri, apalagi

bila jaringan tenaga listriknya tidak tersedia.

Rugi-rugi atau loss yang terjadi pada inverter biasanya berupa disipasi daya dalam bentuk panas. Efisiensi tertinggi dihasilkan oleh grid tie inverter yang bisa mencapai 95-97% bila beban outputnya hampir mendekati rated bebannya. Sedangkan pada umumnya efisiensi inverter adalah berkisar 50-90% tergantung dari beban outputnya [4]. Bila beban outputnya semakin mendekati beban kerja inverter yang tertera maka efisiensi semakin besar, demikian pula sebaliknya. *Modified sine wave inverter* ataupun *square wave inverter* bila dipaksakan untuk beban-beban induktif maka efisiensi akan jauh berkurang dibandingkan dengan *true sine wave inverter*, tetapi akan terjadi loss daya sekitar 20%.

d. Transfer Switches

Pada umumnya saklar pemindahan daya bisa berupa *electromekanikal switch* serta *static*. Pada saklar elektromekanikal dibangun dari relay-relay yang salah satu terminalnya mendapatkan suplai tegangan dari suplai konvensional dan yang lain dari sistem UPS, sedangkan pada sistem saklar statis digunakan komponen semikonduktor seperti SCR. Jika dibandingkan dari sisi kecepatan operasi pemindahan, sistem saklar statis dengan penggunaan SCR sebagai komponen utama akan lebih baik, karena kecepatan peralihan pada saklar elektromekanikal sekitar 50 sampai 100 ms sementara operasi pemindahan yang dilakukan dengan SCR hanya membutuhkan waktu 3 sampai 4 ms.

e. Baterai

Ada beberapa jenis baterai di pasaran yaitu jenis baterai basah atau konvensional, hybrid dan Maintenance Free (MF). Kapasitas baterai ditulis dalam satuan Ah (ampere hour), yang menyatakan kekuatan baterai, berapa lama baterai tersebut bertahan mensuplai arus untuk beban. Secara konstruksi maka baterai dibedakan menjadi type basah, gel dan AGM (Absorbed Glass Mat). Battery jenis AGM biasanya juga dikenal dgn

VRLA (Valve Regulated Lead Acid). Penurunan kemampuannya tidak lebih dari 1-2% per bulan tanpa perlu discharge. Bandingkan dengan battery konvensional yang bisa mencapai 2% per minggu untuk self discharge [4].

3. Perencanaan Sistem

Langkah awal dalam perancangan sistem uninterruptable power supply (UPS) ini adalah dengan menentukan beban total yang akan di-backup oleh sistem UPS. Setelah itu baru ditentukan berapa besar kapasitas daya dalam watt (W) dari sebuah perangkat Inverter yang akan dipergunakan. Usahakan untuk memilih inverter yang beban kerjanya mendekati dgn beban yang hendak kita gunakan agar efisiensi kerjanya maksimal. Setelah itu baru kita tentukan jenis baterai yang akan dipergunakan, serta berapa besar kapasitas dari baterai yang diperlukan, agar sistem UPS dapat mem-backup beban dalam kondisi kerja normal.

Tabel 1 : Rincian Kebutuhan Daya dan Kebutuhan Daya Total

No	Beban	Daya (W)	Jumlah	Daya Total (W)	Lama Waktu Penggunaan Jam (H)	Energi (W x H)
1.	Lampu : Neon XL	9	5	40	1	40
	Neon XL	15	7	75	1	105
	Neon XL	22	5	110	1	110
2.	Amplifier	100	2	200	1	200
3.	Mixer	30	1	30	1	30
4.	Wireless	15	2	30	1	30
5.	Pre-Amp	15	1	15	1	15
6.	DVD	20	1	20	1	20
Total Energi						550 WH

Setelah semua kebutuhan akan daya listrik telah diketahui, selanjutnya dapat ditentukan serta dipilih perangkat Inverter yang cocok dan memenuhi persyaratan. Dengan pertimbangan tipe Inverter, frekuensi kerja serta efisiensi, maka kebutuhan inverter sudah dapat ditentukan.

- 1 Type Inverter : Modified Sine Wave
- 2 Frekuensi Kerja : 50 Hz
- 3 Efisiensi : 80%
- 4 Kebutuhan Daya Total : 550 Watt
 Daya Inverter : 550 Watt : 80%
 687,5 Watt
 750 Watt

Dari perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa dengan efisiensi inverter 80%, maka daya inverter yang dapat meng-cover kebutuhan daya listrik total adalah sebesar 750 Watt.

Untuk menentukan lamanya sistem UPS bekerja, hal ini sangat dipengaruhi oleh besarnya kapasitas baterai yang dipergunakan, yang mana besarnya dapat dihitung dengan menggunakan rumus dari Hukum Ohm :

$$Daya (P) = Arus (I) \times Tegangan (V)$$

Dengan kebutuhan daya sebesar 750 Watt, maka besarnya kapasitas minimum dari baterai adalah :

$$I = 750 : 12$$

$$I = 62,5 \text{ Ampere } 70 \text{ Ah}$$

Untuk menghindari terjadinya *deep charging* dimana baterai akan dimuati oleh arus listrik dengan kapasitas yang besar pada saat pengisian, maka perhitungan penggunaan kapasitas dari baterai diperhitungkan hanya 50% dari kapasitas maksimum, sehingga :

$$I = 50\% \times 70 \text{ Ah}$$

$$I = 35 \text{ Ah}$$

Dengan perhitungan tersebut, kapasitas dari baterai menjadi setengahnya dari nilai kapasitas yang tertera, maka hal ini akan berakibat berkurangnya waktu UPS dalam mem-backup seperti dalam diperhitungkan. Untuk mengatasinya, maka dibuat susunan dengan konfigurasi paralel yang terdiri dari dua buah baterai atau lebih dari tipe baterai yang sejenis.

Untuk perencanaan sistem charger, dapat dibuat dengan memperhitungkan ketentuan mengenai besar arus maksimum pengisian yang diperbolehkan, hal ini menjadi penting karena berhubungan dengan *life time* (umur kerja) dari

baterai. Besarnya arus pengisian yang direkomendasikan <10% dari kapasitas maksimum baterai terpasang [2], dengan menggunakan dua buah baterai masing-masing berkapasitas 70 Ah yang dipasang secara paralel, maka besarnya charging current adalah :

$$10\% \times (70 \times 2) \text{ Ah} = 14 \text{ A}$$

Untuk level discharge baterai yang direkomendasikan adalah sampai dengan tegangan 1.75 Volt per sel [4]. Baterai akan rusak apabila tegangan per sel lebih kecil dari 1.75 Volt (atau 10.5 Volt untuk baterai 12 Volt). Karena pada sistem UPS ini menggunakan baterai tipe Gel, dimana pada waktu discharge, tegangannya harus 20% lebih rendah dari tegangan maksimum yang diperbolehkan, atau ± 10% dari tegangan terpasang. Sehingga rentang tegangan yang direkomendasikan adalah :

$$12 \text{ V} \pm 10\%$$

Tegangan terendah adalah 10.8 V

Tegangan tertinggi adalah 13.2 V

Dengan beban daya maksimal sebesar 550 watt, maka lamanya proses charging adalah :

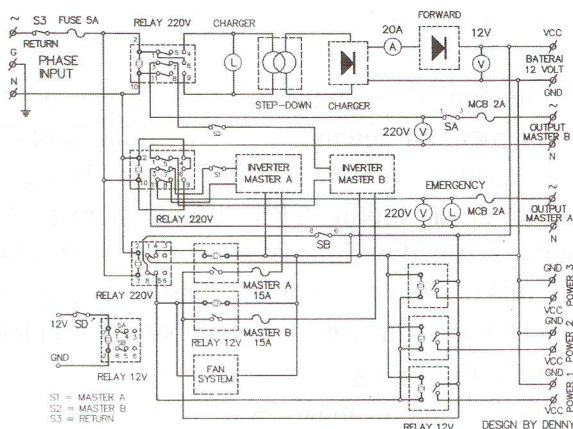
$$I = 550 \text{ W} : 12 \text{ V}$$

$$I = 45.8 \text{ Ah}$$

Lama waktu charger adalah ;

$$T = 45.8 \text{ Ah} : 14 \text{ A}$$

$$T = 3.27 \text{ Jam}$$



Gambar 2 : Diagram Sistem UPS

Untuk menghindari adanya perbedaan tegangan acuan pada sistem UPS dengan sistem

jala-jala listrik, maka kabel netral dari jala-jala listrik PLN tidak disambungkan dengan sistem keluaran inverter secara langsung tapi dibuat mengambang (*floating*), hal ini dilakukan karena output dari keluaran sistem inverter tidak memiliki tegangan acuan netral yang tetap.

4. Implementasi dan Karakterisasi

Dari data teknis, perencanaan sistem serta blok diagram sistem UPS, maka sebuah sistem UPS dapat direalisasikan dengan data teknis sebagai berikut :

- Saklar pemindahan daya (*transfer switches*) menggunakan komponen *electromekanikal switch* (relay), dengan pertimbangan kecepatan operasi pemindahan yang tidak terlalu kritis atau bisa >4ms.
- Untuk menghindari interferensi antara beban induktif dan beban kapasitif serta over load, maka UPS dibangun dari 2 buah inverter.
- Sistem charger menggunakan *full wave rectifier* dengan sistem control untuk tegangan lebih (*over charger*), tegangan kurang (*minimum charger*) serta pemutus tegangan baterai pada saat *level discharge* yang direkomendasikan terlampaui.

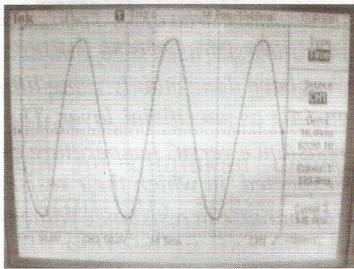
Tabel 2 : Hasil Pengukuran

No	Item	Perancangan	Terukur	Keterangan
1	Tegangan Input (ac)	220 V	239 V	Normal
2	Arus Input (ac)	2.5 A	2.68 A	Normal
3	Arus Charger (dc)	14 A	12.79 A	Normal
4	Tegangan Output I (ac)	220 V	238 V	Normal
5	Tegangan Output II (ac)	220 V	239 V	Normal
6	Arus Beban I (ac)	1.16 A	1.25 A	Normal
7	Arus Beban II (ac)	1.34 A	1.50 A	Normal
8	Tegangan Input (ac)	220 V	230 V	UPS
9	Arus Inverter I (dc)	21.25 A	18.34 A	UPS
10	Arus Inverter II (ac)	1.25 A	1.24 A	UPS
11	Tegangan Output I (ac)	220 V	232 V	UPS
12	Tegangan Output II (ac)	220 V	232 V	UPS
13	Arus Beban I (ac)	1.25 A	1.11 A	UPS
14	Arus Beban II (ac)	1.25 A	1.24 A	UPS

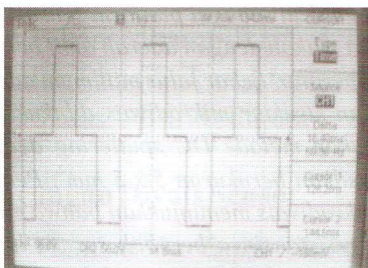
Pada pengukuran sistem dipergunakan peralatan seperti Oscilloscope Tektronix type TDS 3032, True RMS Multimeter type Fluke 8060A serta clamp meter KYORITSU type 2007A. Dari hasil pengukuran sistem UPS, diperlihatkan pada

Tabel 2. Pada gambar 3. terlihat bentuk gelombang pada keluaran sistem UPS terlihat merupakan bentuk gelombang sinus murni, hal ini terjadi karena sistem UPS sendiri hanya menyambungkan antara tegangan masukan pada input dan keluaran sistem UPS. Keadaan ini terjadi pada saat tegangan jala-jala listrik normal.

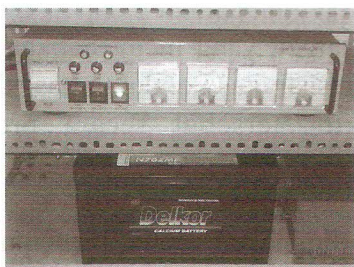
Sementara pada gambar 4. terlihat bentuk gelombang yang terukur di beban atau keluaran sistem UPS merupakan gelombang kombinasi antara square wave dan sine wave, hal ini terjadi karena tegangan yang keluar dari sistem UPS merupakan gelombang yang dihasilkan oleh inverter. Bentuk gelombang ini terjadi pada saat tegangan jala-jala listrik terganggu.



Gambar 3 : Luaran dari Sistem UPS pada saat Sistem Jala-jala Listrik Normal



Gambar 4 : Luaran dari Sistem UPS pada saat Sistem Jala-jala Listrik Terganggu



Gambar 5 : Realisasi Sistem UPS

5. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil pengukuran serta unjuk kerja sistem secara keseluruhan, maka dapat disimpulkan bahwa sistem UPS ini telah dapat bekerja dengan baik, hal ini dapat terlihat dari hasil pengukuran di luaran sistem UPS atau terminal beban. Pada saat normal terlihat gelombang berbentuk sinus murni seperti pada gambar 3, sementara pada saat sistem jala-jala listrik terganggu, maka terlihat bentuk gelombangnya merupakan kombinasi antara square wave dan sine wave, seperti terlihat pada gambar 4. dimana gelombang ini merupakan bentuk gelombang yang dihasilkan oleh inverter.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih Penulis sampaikan pada rekan-rekan Peneliti serta Teknisi yang telah memberikan bantuan kepada Penulis berupa saran dan koreksi serta bantuan teknis sampai semua ini dapat terlaksana dengan baik.

6. Daftar Pustaka

1. Deni Permana dan Syamsu Ismail, "Sistem Pengendali Tegangan Baterai pada Perangkat Uninterruptible Power Supply (UPS)" *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi No.1 Vol.8, Januari - Juni 2008 ISSN 1411-8289, Akreditasi LIPI No. 72/Akred-LIPI/P2MBI/5/2007*
2. http://learn.ciebal.com/pustaka/teknik_dasar_batere_dan_ups.pdf
3. id.wikipedia.org/wiki/Uninterruptible_power_supply
4. images.sudarjanto.multiply.multiplycontent.com/Panel%20Surya%20Pembangkit%20Listrik%20Mandiri.pdf

Rancang Bangun Struktur Mikrodivais di Silikon untuk Aplikasi Sensor Gas Berbasis Semikonduktor Metal Oksida

Goib Wiranto, Member IEEE, Grace A Mambu, Slamet Widodo, Widhya Budiawan

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI

Jl. Sangkuriang Bandung 40135, Indonesia

Ph. +62 22 250 4661, Fax. +62 22 250 4659

Email : goib@ppet.lipi.go.id

Abstract

In this paper it will be described the design and fabrication of microdevice to be used as platform for gas sensor based on semiconducting metal oxide. The device has been designed on silicon substrate with an active area of $3 \times 3 \text{ mm}^2$, and consisted of bonding pad, heater, electrode, and temperature sensor components. The minimum feature size used is 50 nm , as allowed by the capability of photolithographic process. The formation of microdevice structure has been done mainly using lift-off technique on platinum (Pt) layer, which was deposited by DC sputtering with Aluminium (Al) as sacrificial layer. The overall chip dimension is not more than $5 \times 5 \text{ mm}^2$. The measurement conducted to study the resistance versus temperature characteristics has shown that the heater and temperature sensor elements have functioned as expected, in which their resistances change linearly with an increase in substrate temperature between $20 - 200^\circ\text{C}$. The range of increase in resistance values for the heater is $500 - 1000 \text{ Ohm}$, whereas for the temperature sensor is $100 - 300 \text{ Ohm}$.

Keywords: Microdevices, lift-off process, sputtering, electrode, heater, gas sensor, metal oksida

Abstrak

Tulisan ini menjelaskan tahapan proses pembuatan mikrodivais yang akan digunakan sebagai platform sensor gas berbasis semikonduktor metal oksida. Divais yang dibuat telah dirancang diatas substrat silikon dengan daerah aktif berukuran $3 \times 3 \text{ mm}^2$, dan terdiri dari bonding pad, komponen heater, elektroda, dan sensor temperatur. Lebar jalur minimum adalah 50 nm , sesuai dengan kemampuan proses fotolitografi yang digunakan. Pembentukan struktur mikrodivais dilakukan utamanya menggunakan teknik lift-off lapisan platina (Pt) yang dilapiskan menggunakan metode DC sputtering dengan lapisan aluminium (Al) sebagai sacrificial layer. Dimensi chip mikrodivais yang dihasilkan berukuran $5 \times 5 \text{ mm}^2$. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik resistance versus temperatur dari mikrodivais menunjukkan bahwa elemen heater dan sensor temperatur telah berfungsi seperti yang diharapkan, yaitu nilai resistansinya berubah secara linear dengan kenaikan temperatur substrat antara $20 - 200^\circ\text{C}$. Rentang kenaikan nilai resistansi untuk heater adalah antara $500 - 1000 \text{ Ohm}$ sedangkan untuk sensor temperatur antara $100 - 300 \text{ Ohm}$.

Kata kunci: Mikrodivais, proses lift-off, sputtering, elektroda, heater, sensor gas, metal oksida

1. Pendahuluan

Sensor gas berbasis semikonduktor metal oksida telah banyak digunakan untuk mendeteksi gas gas polutan seperti CH_4 , CO , NO_2 , dsb [1-3]. Sensor gas jenis ini bekerja berdasarkan reaksi reduksi/oksidasi antara lapisan sensitive dari bahan metal oksida (seperti WO_3 , SnO_2 , ZnO , In_2O_3 , dsb.)

dengan gas target, yang menyebabkan terjadinya perubahan resistivitas/konduktivitas dari bahan semikonduktor tersebut secara proporsional dengan konsentrasi gas target [4,5]. Perubahan resistivitas/konduktivitas ini dapat diukur dan selanjutnya digunakan untuk menentukan kadar konsentrasi gas yang dideteksi.

Sebagai syarat terjadinya proses pendeteksian gas pada sensor yang berbasis semikonduktor metal oksida, lapisan sensitif dari sensor harus berada pada temperatur yang cukup tinggi, biasanya antara 200-500°C [6-8]. Untuk menghasilkan temperatur kerja setinggi ini, sensor gas metal oksida harus dilengkapi dengan komponen heater yang secara kontinyu mengalirkan panas ke daerah aktif dari sensor menggunakan arus listrik sebagai masukan. Berbagai macam bahan dan teknologi telah digunakan untuk menghasilkan struktur mikrodivais sensor gas, yang dapat menjaga kestabilan temperatur kerja sensor untuk jangka waktu yang lama. Baik silver (Ag), paladium (Pd), dan emas (Au) telah banyak digunakan sebagai bahan pembentuk heater dan elektroda sensor gas [9], namun permasalahan yang berhubungan dengan linearitas, stabilitas, dan life-time tetap ada.

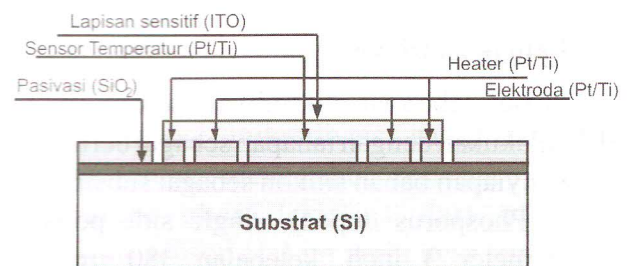
Penelitian ini ditujukan untuk merancang bangun mikrodivais sensor gas berbasis semikonduktor dari bahan Indium Tin oxide (ITO) yang nantinya digunakan untuk mendeteksi gas CO. Proses sintesa nanomaterial ITO yang digunakan sebagai lapisan sensitif dari sensor ini telah dipublikasikan sebelumnya [10]. Dalam tulisan ini akan ditampilkan desain, proses fabrikasi dan hasil karakterisasi platform mikrodivais diatas substrat silikon.

2. Perancangan Divais Sensor

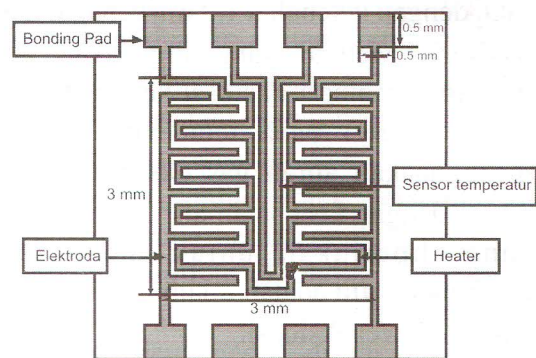
Dalam Gambar 1a dapat dilihat rancangan struktur mikrodivais sensor gas CO, yang terdiri dari substrat, lapisan pasivasi, heater, elektroda, sensor temperatur, dan lapisan sensitif. Material yang digunakan untuk membentuk lapisan-lapisan tersebut adalah silikon, SiO₂, Pt/Ti, dan Indium Tin oxide (ITO). Pemilihan jenis material telah dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik serta teknologi proses penumbuhannya. Platina (Pt) dipilih karena memiliki nilai koefisien temperatur tahanan (temperature coefficient of resistance) yang sangat linier pada rentang

temperatur yang lebar. Sehingga, platina sangat baik bila digunakan sebagai bahan heater dan sensor temperatur.

Dengan struktur seperti ini, dimana komponen heater, elektroda, sensor temperatur dan bonding pad dibuat dengan bahan yang sama, divais tersebut dapat difabrikasi menggunakan satu buah masker, sehingga memudahkan dalam proses fotolitografinya. Dengan daerah aktif berukuran 3 x 3 mm² dan substrat 5 x 5 mm², maka apabila divais dibuat menggunakan substrat silikon dengan diameter 3 inch akan terdapat lebih dari 100 buah chip dalam satu wafer.



(a)



(b)

Gambar 1 : (a). Struktur mikrodivais sensor gas yang dibuat diatas substrat silikon, terdiri dari lapisan Pt/Ti sebagai bahan heater, elektroda dan sensor temperatur, serta Indium Tin oxide (ITO) sebagai lapisan sensitif terhadap gas CO, (b). Layout divais sensor dengan luas chip 5x5 mm² dan daerah aktif 3x3 mm², Resolusi 50 µm dan 100 µm.

Layout dari mikrodivais sensor gas dalam penelitian ini telah dibuat dalam berbagai variasi. Salah satunya seperti ditunjukkan dalam Gambar 1b, dimana mikrodivais terdiri dari satu heater, elektroda, dan sensor temperatur, dengan resolusi 100 μm dan 50 μm . Yang dimaksud dengan resolusi dalam hal ini adalah lebar jalur minimum dan jarak minimum antar jalur. Pemilihan resolusi 50 μm telah didasarkan pada kemampuan dalam membuat masker, yang tidak memungkinkan apabila resolusinya dibawah 30 μm . Oleh karena itu, resolusi 50 μm masih dalam area yang sangat feasibel dalam teknologi ini.

3. Fabrikasi Divais

Proses fabrikasi mikrodivais sensor gas CO telah dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Penyiapan bahan silikon sebagai substrat, tipe p (Phosporus doped), single side polished, diameter 3 inch, ketebalan 380 μm , dan resistivity 1 – 10 Ωcm .
- b. Proses oksidasi untuk membentuk lapisan SiO_2 dengan ketebalan 1.0 μm sebagai lapisan pasivasi. Metode yang digunakan adalah dengan kombinasi oksidasi kering dan basah (Dry/Wet/Dry) pada temperatur 1100 $^\circ\text{C}$, menggunakan aliran gas oksigen (O_2) high purity dengan kecepatan alir 2 lt/min. Waktu yang diperlukan untuk mendapatkan ketebalan 1 μm adalah 2 jam untuk dry dan 4 jam untuk wet oksidasi.
- c. Proses deposisi lapisan aluminium (Al) menggunakan teknik evaporasi dengan ketebalan 2000 Angstrom. Kondisi proses DC, arus 15 A, vacuum 9×10^4 mBar, waktu 5 menit, dengan bahan evaporasi berupa Al pellet 99.9%. Lapisan Al ini digunakan sebagai sacrificial layer dalam proses lift off lapisan platina.
- d. Proses fotolitografi menggunakan positif resist untuk membentuk pola diatas lapisan aluminium. Fotoreis dilapiskan menggunakan spinner dengan kecepatan

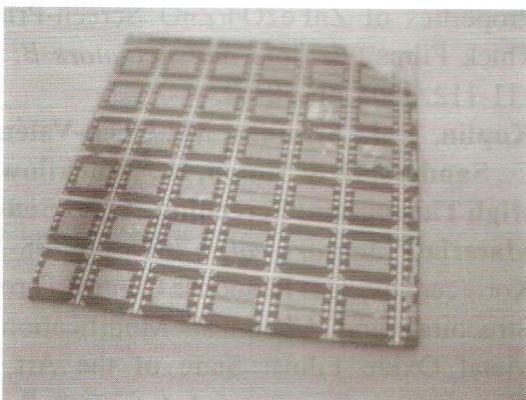
putaran 2500 rpm selama 30 detik. Kemudian lapisan resist di prebake dengan temperatur 85 $^\circ\text{C}$ selama 15 menit. Menggunakan masker negatif, fotoresist kemudian di expose dengan sinar UV (daya 300 W selama 2 menit), dan dimasukkan dalam larutan developer TMAH (Tetra Methyl Ammonium Hydroxide) selama 1 menit. Setelah dicuci dalam H_2O yang mengalir dan dikeringkan dengan gas N_2 , wafer silikon kemudian di postbake pada temperatur 120 $^\circ\text{C}$ selama 30 menit.

- e. Etsa (pelarutan) lapisan aluminium yang telah terpola menggunakan larutan $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Setelah dicuci dalam H_2O yang mengalir dan dikeringkan dengan gas N_2 , wafer silikon kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur 150 $^\circ\text{C}$ selama 60 menit.
- f. Pelapisan platina (Pt) 2000 Angstrom dan titanium (Ti) 200 Angstrom menggunakan proses DC sputtering. Parameter proses yang digunakan adalah daya 50 W, tekanan gas Argon 4 mTORR, Tooling factor 1, dan rotasi 5 rpm. Waktu sputtering untuk Ti 3 menit dan Pt 20 menit dengan target Ti 99.9% dan Pt 99.9% diameter 2 inchi.
- g. Proses lift off atau penghilangan lapisan platina dan titanium diatas resist dan aluminium menggunakan larutan acetone.
- h. Etsa (pelarutan) lapisan aluminium yang telah terpola menggunakan larutan $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Setelah dicuci dalam H_2O yang mengalir dan dikeringkan dengan gas N_2 , wafer silikon kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur 150 $^\circ\text{C}$ selama 60 menit diikuti dengan annealing pada 700 $^\circ\text{C}$ selama 2 jam.
- i. Pemoangan chip mikrodivais sensor dari wafer silikon menggunakan diamond cutter.

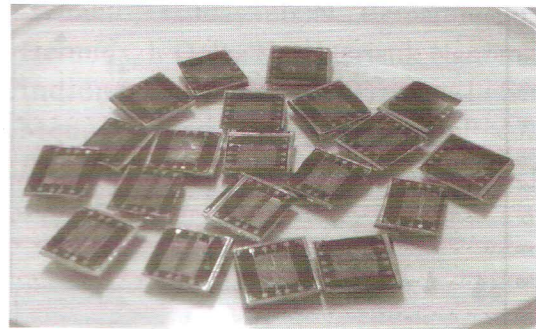
4. Hasil dan Pembahasan

Proses fabrikasi mikrodivais ditujukan untuk

menghasilkan chip yang fungsional semaksimal mungkin dalam satu wafer silikon. Walaupun dengan ukuran chip $5 \times 5 \text{ mm}^2$, dalam satu wafer dengan diameter 3 inchi dapat memuat maksimal 104 chip, akan tetapi rata-rata dari keseluruhan wafer silikon yang diproses prosentase chip yang fungsional hanya sekitar 30 buah (kurang dari 30%). Penyebab utama dari rendahnya prosentase ini adalah terjadinya pengotoran pada wafer silikon mulai tahap penyiapan, proses dengan kondisi lingkungan di laboratorium yang kurang bersih, serta penanganan (handling). Idealnya, untuk melakukan fabrikasi divais seperti ini, dibutuhkan ruangan yang bersih dengan standard cleanroom kelas 1000 dan memiliki prosedur kerja standard yang telah dibakukan. Dalam Gambar 2 dapat dilihat beberapa chip mikrodivais sensor yang telah selesai diproses maupun yang telah dipotong menggunakan diamond cutter. Proses pemotongan chip dari wafer silikon menggunakan diamond cutter secara manual juga menimbulkan persoalan tersendiri. Jarak antar chip yang terlalu dekat (kurang dari 0.5 mm) sangat riskan menimbulkan kerusakan pada chip. Hal ini disebabkan oleh diameter diamond pada cutter yang cukup besar. Untuk mengatasi hal itu, maka jarak antar chip pada wafer silikon yang aman adalah 1 mm, kecuali proses pemotongan dilakukan menggunakan metode lain seperti laser micromachining atau dicing saw.



(a)

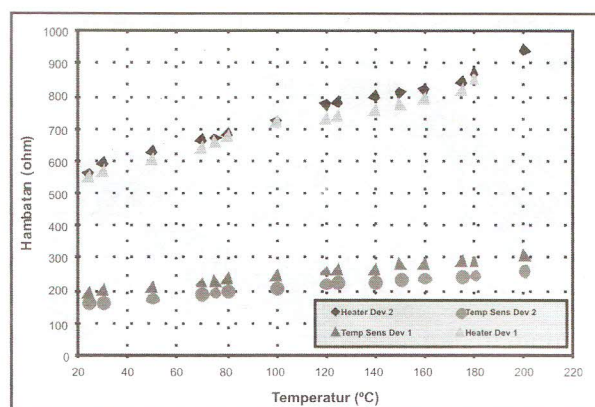


(b)

Gambar 2 : (a). Chip divais sensor dalam wafer silikon yang telah selesai diproses, sebelum pemotongan dengan diamond cutter, (b). Chip divais sensor yang telah dipotong dari wafer silikon menggunakan diamond cutter.

Karakterisasi mikrodivais yang dilakukan ditujukan untuk mengetahui resistance versus temperature characteristics dari platform mikrodivais sensor. Hal ini perlu agar temperatur kerja dari sensor bisa diketahui dengan pasti. Untuk itu, proses karakterisasi telah dilakukan menggunakan hotplate, dimana chip dipanaskan diatas hotplate dengan rentang temperatur antara 25°C - 200°C , dan pengukuran dilakukan dengan mencatat nilai resistansi dari sensor temperatur dan heater untuk tiap kenaikan 25°C . Perubahan nilai resistansi pada kedua track tersebut diukur menggunakan probe thermocouple.

Dalam Gambar 3 dapat dilihat hasil pengukuran resistansi terhadap temperatur untuk divais sensor dengan dua disain yang berbeda, yaitu dengan satu dan dua pasang elektroda. Nilai resistansi untuk heater dari kedua mikrodivais antara 500-1000 Ohm, sedangkan untuk sensor temperatur antara 100-300 Ohm. Dalam rentang temperatur pengukuran, terlihat trend kenaikan yang linear dari semua resistansinya. Perbedaan nilai resistansi heater dan sensor temperatur untuk masing-masing mikrodivais disebabkan oleh perbedaan panjang track dalam chip, dimana nilai resistansi yang lebih kecil dihasilkan oleh track yang lebih pendek (sensor temperatur).



Gambar 3 : Perubahan nilai resistansi (hambatan) terhadap temperatur dari heater dan sensor temperatur pada dua jenis mikrodivais.

5. Kesimpulan

Dalam tulisan ini telah dijelaskan tahapan proses perancangan dan fabrikasi mikrodivais diatas silikon yang akan digunakan untuk mendeteksi gas CO. Divais yang dibuat telah dirancang dengan daerah aktif berukuran $3 \times 3 \text{ mm}^2$, dan terdiri dari bonding pad, komponen heater, elektroda, dan sensor temperatur. Fitur size minimum adalah $50 \text{ }\mu\text{m}$. Semua komponen tersebut dibuat menggunakan proses *lift-off* lapisan platina (Pt), yang dilapiskan dengan metode DC sputtering dengan lapisan aluminium (Al) sebagai *sacrificial layer*. Dimensi keseluruhan dari chip yang dihasilkan tidak lebih dari $5 \times 5 \text{ mm}^2$. Karakterisasi yang dilakukan terhadap platform mikrodivais menunjukkan bahwa elemen heater dan sensor temperatur telah berfungsi seperti yang diharapkan, yaitu nilai resistansinya berubah secara linear dengan kenaikan temperatur substrat. Rentang kenaikan nilai resistansi untuk heater adalah antara 500-1000 Ohm sedangkan untuk sensor temperatur antara 100-300 Ohm, masing-masing untuk temperatur antara 20-200 °C.

6. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai dari program Kompetitif LIPI Tahun 2010, dengan judul "Pembuatan Nanomaterial Indium Tin oxide (ITO) sebagai

Bahan Ultrasensitif Sensor Gas CO", dengan nomor kontrak 10.10/SK/KPPI/2010.

7. Daftar Pustaka

- [1]. Suzuki, T., Kunihara, K., Kobayashi, M., Tabata, S., Higaki, K. & Ohnishi, H., 'A Micromachined Gas Sensor Based on A Catalytic Thick Film/SnO₂ Thin Film Bilayer And Thin Film Heater Part 1: CH₄ Sensing', *Sensors and Actuators B*, vol. 109, 2005, pp. 185-189.
- [2]. Kim, I. J., Han, S. D., Singh, I., Lee, H. D. & Wang, J. S., 'Sensitivity Enhancement for CO Gas Detection Using a SnO₂-CeO₂-PdOx System', *Sensors and Actuators B*, vol. 107, 2005, pp. 825-830.
- [3]. Guidi, V., Blo, M., Butturi, M.A., Carotta, M.C., Galliera, S., Giberti, A., Malagù, C., Martinelli, G., Piga, M., Sacerdoti, M. & Vendemiati, B., 'Aqueous and Alcoholic Syntheses of Tungsten Trioxide Powders for NO₂ Detection', *Sensors and Actuators B*, vol. 100, 2004, pp. 277-282.
- [4]. Stankova, M., Vilanova, X., Calderer, J., Llobet a, E., Brezmes, J., Gr'acia, I., Can'e, C. & Correig, X., 'Sensitivity and Selectivity Improvement of rf Sputtered WO₃ Microhotplate Gas Sensors', *Sensors and Actuators B*, vol. 113, 2006, pp. 241-248.
- [5]. Arshak, K. & Gaidan, I., 'Gas Sensing Properties of ZnFe₂O₄/ZnO Screen-Printed Thick Films', *Sensors and Actuators B*, vol. 111-112, 2005, pp. 58-62.
- [6]. Koplín, T. J., Siemons, M., Océn-Valéntin, C., Sanders, D. & Simon, U., 'Workflow for High Throughput Screening of Gas Sensing Materials', *Sensors*, vol. 6, 2006, pp. 298-307.
- [7]. Korotcenkov, 'Gas Response Control Through Structural and Chemical Modification of Metal Oxide Films: State of the Art and Approaches', *Sensors and Actuators B*, vol. 107, 2005, pp. 209-232.
- [8]. Carotta, M. C., Giberti, A., Guidi, V., Malagù,

- C., Vendemiati, B. & Martinelli, G., '**Gas Sensors Based on Semiconductor Oxides: Basic Aspects Onto Materials and Working Principles**', *Proceedings of Materials Research Society Symposium*, vol. 828, 2005, pp. A4.6.1-A4.6.12.
- [9]. Licznarski, B., 'Thick-Film Gas Microsensors Based on Tin Dioxide', *Bulletin of The Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, vol. 52, no. 1, 2004, pp. 37-42.
- [10]. Wiranto, G., Idayanti, N., Retnaningsih, L. & Hermida, I. D. P., 'Karakteristik Nanomaterial Indium Tin oxide (ITO) Hasil Sintesa Menggunakan Proses Sol Gel', *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, vol. 9, no. 2, 2009, pp. 129-133.
-

Segmentasi Berbasis Warna pada Citra Termografi Kanker Payudara Menggunakan Ruang Warna $L^*a^*b^*$

Octa Heriana dan Arief Nur Rahman

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

Abstract

*Breast cancer is a disease caused by the growth of cancer cells in the breast area. The growth of these cancer cells will cause the flow of blood in the breast area is not smooth, and the asymmetry blood vessels is irregular. High activity on the abnormal tissue provides an indication of temperature in these regions becomes higher than the normal surrounding area. Infrared camera can be used to detect variations infrared radiation emitting of an object based on the temperature differences. The results of infrared camera imaging was then known as thermography image, processed computationally to obtain the image segmentation object in the search for the suspected infected area of breast cancer, that is the area with the hottest temperatures of the breast. The method used in the process of segmentation is to compute the color separation using the $L^*a^*b^*$ color space. The result shows that through the process of segmentation, the approximate location of breast cancer can be shown including the form and the boundaries of its growth.*

Keywords: image, thermography, segmentation, color space, $L^*a^*b^*$.

Abstrak

*Kanker payudara merupakan penyakit yang disebabkan oleh berkembangnya sel-sel kanker di daerah payudara. Perkembangan sel-sel kanker tersebut akan menyebabkan aliran darah dan pembuluh darah asimetri pada payudara tidak lancar dan tidak teratur. Aktivitas tinggi pada jaringan yang abnormal ini memberikan indikasi temperatur pada daerah tersebut menjadi lebih tinggi daripada daerah sekitarnya yang normal. Kamera infra merah dapat digunakan untuk mendeteksi variasi pancaran radiasi infra merah suatu objek berdasarkan pada perbedaan suhu. Hasil pencitraan kamera infra merah yang kemudian dikenal sebagai citra termografi diproses secara komputasi untuk memperoleh citra segmentasi objek dalam mencari wilayah payudara yang diduga terjangkit kanker, yaitu wilayah dengan suhu terpanas dari bagian payudara. Metode yang digunakan dalam proses segmentasi adalah komputasi pemisahan warna menggunakan ruang warna (color space) $L^*a^*b^*$. Hasil pengujian menunjukkan bahwa melalui proses segmentasi, dapat diperlihatkan perkiraan lokasi kanker pada payudara, serta bentuk dan batas-batas pertumbuhannya.*

Kata Kunci: citra, termografi, segmentasi, ruang warna, $L^*a^*b^*$.

1. Pendahuluan

Proses segmentasi citra pada umumnya adalah suatu proses untuk memisahkan kelompok data citra dari bagian yang menjadi latar belakangnya. Segmentasi citra berfungsi untuk memisahkan antara obyek yang satu dengan obyek yang lain pada citra, berdasarkan batas awal tertentu [1]. Berbagai algoritma untuk segmentasi

citra dikembangkan untuk membuat klasifikasi suatu kelompok objek berdasarkan persamaan ciri atau suatu ukuran [2].

Kanker payudara merupakan penyakit yang disebabkan oleh berkembangnya sel-sel kanker di daerah payudara. Perkembangan sel-sel kanker tersebut akan menyebabkan aliran darah dan pembuluh darah asimetri pada payudara tidak lancar dan tidak teratur. Aktivitas tinggi pada

jaringan yang abnormal ini memberikan indikasi temperatur pada daerah tersebut menjadi lebih tinggi daripada daerah sekitarnya yang normal. Suatu perangkat fotografi, yaitu kamera infra merah dapat digunakan untuk mendeteksi variasi pancaran radiasi infra merah suatu objek berdasarkan pada perbedaan suhu.

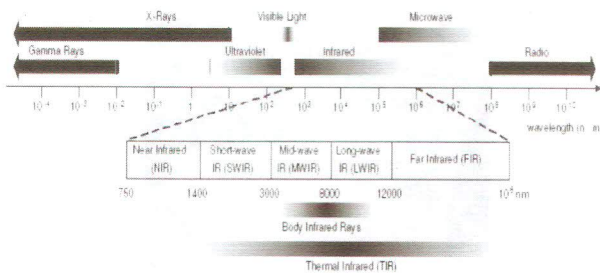
Proses segmentasi citra termal payudara dilakukan untuk mencari wilayah dengan suhu yang terpanas dari payudara yang abnormal yaitu wilayah yang diduga terjangkit kanker. Faktor sensitivitas kamera juga berpengaruh pada jumlah cluster yang dihasilkan, yaitu apabila kamera tersebut ultra sensitif, maka jumlah cluster yang dihasilkan akan bertambah [3].

2. Tinjauan Pustaka

Citra Termografi

Citra termal yang didapatkan dari pencitraan kamera inframerah merupakan hasil dari proses pencitraan distribusi pancaran radiasi panas permukaan objek ke dalam bentuk gambar termal dan hasil pengukuran temperatur. Teknik pengujian suatu objek dengan pencitraan termal merupakan sebuah alat uji yang bersifat tak merusak (*non destructive testing*) dengan proses pendeteksian melalui pancaran radiasi obyek langsung pada medium udara [4]. Radiasi infra merah yang dipancarkan dari objek didasarkan pada variasi suhu yang dipancarkannya.

Sinar inframerah terdapat pada daerah spektrum elektromagnetik dengan panjang gelombang berkisar dari 750 nm sampai dengan 10⁶



Gambar 1 : Spektrum elektromagnetik dan daerah inframerah [6].

nm seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dibawah, dan kulit manusia dapat memancarkan radiasi inframerah dengan sebagian besar pada daerah panjang gelombang 2-20 μm dengan puncak rerata pada 9-10 μm [5].

Pada penelitian yang pernah dilakukan [6], disebutkan bahwa temperatur panas ditandai oleh warna merah akhir dan temperatur dingin ditandai oleh warna biru akhir pada spektrum. Citra termal payudara yang dihasilkan oleh pencitraan kamera infra merah merepresentasikan kondisi aliran darah dan ketidakteraturan pembuluh darah asimetri yang tidak lancar bisa mengindikasikan bahwa jaringan tersebut 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.

Citra RGB

Citra digital merupakan citra hasil kuantisasi dengan komponen pada setiap piksel sebanyak 24 bit, yaitu 8 bit untuk komponen merah (R), 8 bit untuk komponen hijau (G) dan 8 bit untuk komponen biru (B). Representasi citra digital menjadi sekumpulan triplet dalam setiap piksel dijadikan standar acuan pada citra grafis dalam komputer.

Ruang Warna XYZ

Nilai RGB yang terdapat pada suatu piksel dapat ditransformasikan ke dalam ruang warna CIE XYZ melalui proses transformasi matriks 3x3. Transformasi ini melibatkan nilai-nilai tristimulus, yakni suatu pengaturan dari tiga komponen cahaya-linear yang memenuhi fungsi pencocokan warna CIE. Pada ruang warna XYZ, beberapa warna direpresentasikan sebagai nilai yang selalu positif.

Perhitungan untuk transformasi dari ruang warna RGB ke XYZ (dengan nilai referensi putih D65), adalah melalui perhitungan matriks transformasi yang ditunjukkan pada persamaan (1) berikut [7]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412453 & 0.357580 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.715160 & 0.072169 \\ 0.019334 & 0.119193 & 0.950227 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

Nilai referensi warna putih ditentukan dari standar illuminants [7]. Nilai referensi warna putih untuk standar illuminant D65 adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 : Nilai tristimulus XYZ.

Illuminant	X0	Y0	Z0
A	1.098700	1.000000	0.355900
C	0.980708	1.000000	1.182163
D50	0.964296	1.000000	0.825105
D65	0.950456	1.000000	1.089058
E	1.000000	1.000000	1.000000

Persamaan (2) berikut adalah algoritma perhitungan data matriks piksel RGB berdasarkan persamaan (1) untuk konversi ke dalam ruang warna XYZ.

$$\begin{aligned} &\text{if } R'_{SRGB}, G'_{SRGB}, B'_{SRGB} \leq 0.03928 \\ &R_{SRGB} = R'_{SRGB} / 12.92; \\ &G_{SRGB} = G'_{SRGB} / 12.92; \\ &B_{SRGB} = B'_{SRGB} / 12.92; \\ &\text{otherwise,} \\ &\text{If } R'_{SRGB}, G'_{SRGB}, B'_{SRGB} > 0.03928 \\ &R_{SRGB} = [(R'_{SRGB} + 0.055) / 1.055]^{2.4} \\ &G_{SRGB} = [(G'_{SRGB} + 0.055) / 1.055]^{2.4} \\ &B_{SRGB} = [(B'_{SRGB} + 0.055) / 1.055]^{2.4} \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

Ruang Warna L*a*b*

Ruang warna L*a*b* atau yang dikenal dengan CIELAB adalah ruang warna yang paling lengkap yang ditetapkan oleh Komisi Internasional tentang iluminasi warna (*French Commission internationale de l'éclairage*, dikenal sebagai CIE). Ruang warna ini mampu menggambarkan semua warna yang dapat dilihat dengan mata manusia dan seringkali digunakan sebagai referensi ruang warna.

Perhitungan konversi ruang warna dari XYZ ke L*a*b* berdasarkan pada persamaan (3) berikut ini [7].

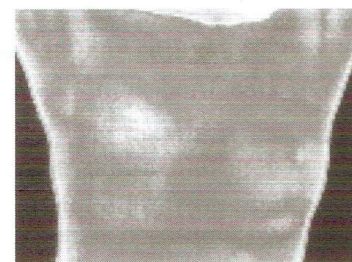
$$\begin{aligned} L^* &= 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad \text{for } Y/Y_n > 0.008856 \\ L^* &= 903.3 Y/Y_n \quad \text{otherwise} \\ a^* &= 500(f(X/X_n) - f(Y/Y_n)) \\ b^* &= 200(f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)), \\ &\text{where } f(t) = t^{1/3} \text{ for } t > 0.008856 \\ &f(t) = 7.787t + 16/166 \quad \text{otherwise} \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

Segmentasi

Citra digital merupakan fungsi intensitas cahaya f(x,y), dimana harga x dan y merupakan koordinat spasial dan harga fungsi tersebut pada setiap titik (x,y) merupakan tingkat intensitas citra pada titik tersebut [7]. Citra digital merupakan citra hasil diskritisasi koordinat spasial (sampling) dan diskritisasi tingkat derajat keabuan (kwantisasi). Bentuk citra digital adalah suatu matriks dengan indeks baris dan kolomnya menyatakan suatu titik pada citra tersebut beserta elemen matriksnya (piksel/*picture element*) dengan tingkat keabuan tertentu pada titik tersebut.

Segmentasi merupakan proses mempartisi citra menjadi beberapa daerah atau objek [1]. Segmentasi citra pada umumnya berdasar pada sifat *discontinuity* atau *similarity* dari intensitas piksel. Pendekatan *discontinuity* yaitu mempartisi citra bila terdapat perubahan intensitas secara tiba-tiba (*edge based*), sedangkan pendekatan *similarity* yaitu mempartisi citra menjadi daerah-daerah yang memiliki kesamaan sifat tertentu (*region based*), sebagai contoh; *thresholding*, *region growing*, *region splitting and merging* [8].

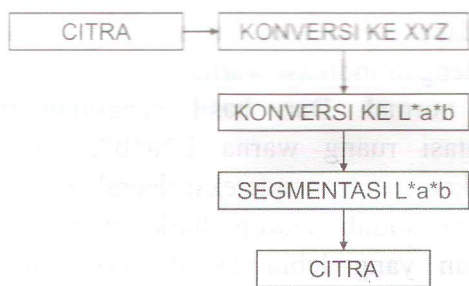
3. Metode Penelitian



Gambar 2 : Citra termografi RGB dengan format JPG

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 614 x 460 piksel, dalam ruang warna standar RGB, seperti tertampil pada Gambar 2.

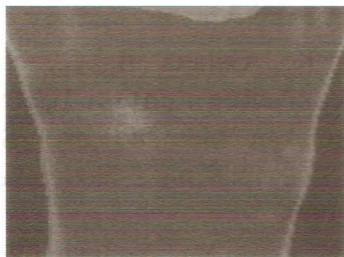
Pengolahan citra dimulai dengan proses konversi ruang warna RGB ke ruang warna XYZ. Kemudian citra dalam ruang warna XYZ dikonversi menjadi citra dengan ruang warna L*a*b*. Proses segmentasi dilakukan dengan membagi data matriks citra L*a*b* menjadi 6 bagian warna. Adapun proses pengolahan segmentasi citra secara keseluruhan tetampil dalam diagram blok pada Gambar 3.



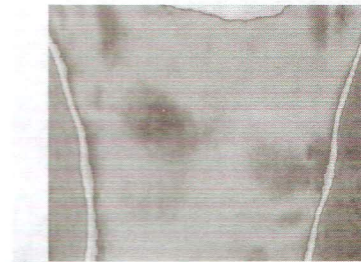
Gambar 3 : Diagram blok keseluruhan pemrosesan citra

4. Hasil dan Pembahasan

Citra hasil proses konversi ruang warna RGB ke ruang warna XYZ ditunjukkan pada Gambar 4, kemudian dari citra XYZ ini dikonversi ke dalam ruang warna L*a*b*, dan hasilnya tertampil pada Gambar 5.

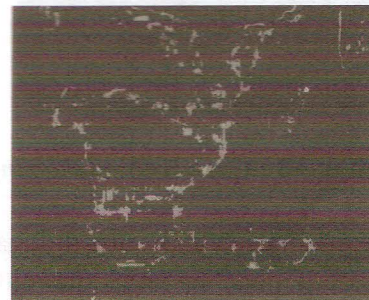


Gambar 4 : Citra hasil konversi dari ruang warna RGB ke ruang warna XYZ

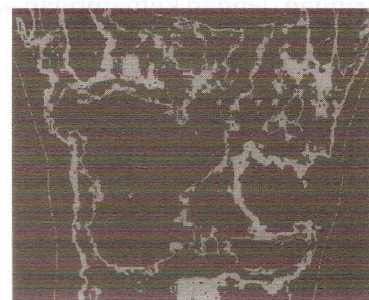


Gambar 5 : Citra hasil konversi dari ruang warna XYZ ke L*a*b*

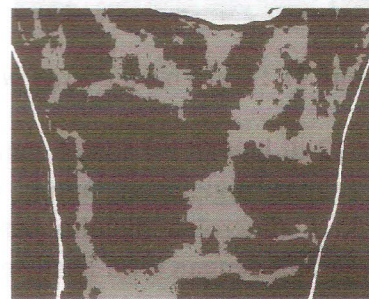
Citra pada ruang warna L*a*b* dipecah menjadi 6 bagian warna. Hasil pembagian warna tersebut (*clustering*) ditampilkan pada Gambar 6 hingga Gambar 11.



Gambar 6 : Citra hasil *clustering* 1



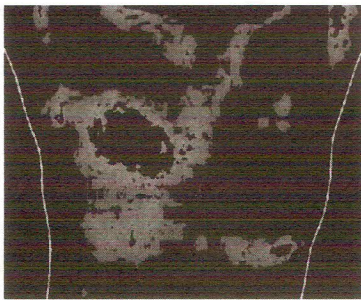
Gambar 7 : Citra hasil *clustering* 2



Gambar 8 : Citra hasil *clustering* 3

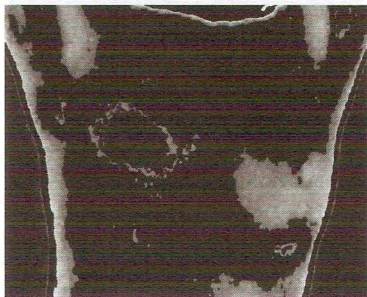


Gambar 9 : Citra hasil *clustering* 4



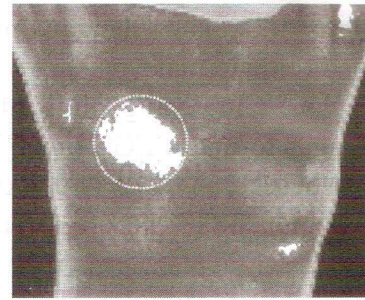
Gambar 10 : Citra hasil *clustering* 5

Hasil segmentasi daerah yang diduga tejangkit kanker diketahui pada bagian citra cluster ke 4 (diperjelas pada Gambar 12). Proses segmentasi dengan ruang warna $L^*a^*b^*$ memiliki komputasi yang cukup ringan dengan kemampuan segmentasi yang relatif baik.



Gambar 11 : Citra hasil *clustering* 6

Gambar 12 di bawah ini adalah gambar hasil akhir yang dapat digunakan untuk keperluan diagnosa dokter, diperoleh melalui penjumlahan citra asli *grayscale* dengan citra hasil segmentasi, yaitu citra pada *clustering* 4.



Gambar 12 : Citra segmentasi kanker (dalam area lingkaran)

5. Kesimpulan

Aktivitas sel kanker dalam jaringan payudara menyebabkan metabolisme pada daerah tersebut menjadi tinggi dan menyebabkan suhu pada daerah tersebut lebih tinggi daripada daerah sekitarnya yang normal. Hasil pencitraan dengan kamera infra merah dapat mendeteksi daerah dengan suhu yang tinggi dengan indikasi warna lebih putih daripada daerah normal. Dari hasil pengujian melalui segmentasi ruang warna $L^*a^*b^*$, citra yang didapatkan untuk mendeteksi daerah kanker pada payudara sudah cukup baik. Namun untuk keperluan yang lebih lanjut perlu diterapkan metoda yang lebih akurat guna mendapatkan hasil deteksi yang lebih halus dan baik, dengan waktu komputasi yang lebih cepat.

6. Ucapan Terima Kasih

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

7. Daftar Pustaka

- [1] Gunadi K., Galatia B. C., Siswanto Y., "Aplikasi Segmentasi Citra dengan Menggunakan Metode Level Set," *Jurnal Informatika* vol. 8, no. 2, November 2007: 130 – 133, 2007.
- [2] Cheng X., Gong X., "An Image Segmentation of Fuzzy C-means *Clustering* Based on the Combination of Improved Ant Colony

- Algorithm and Genetic Algorithm," *2008 International Workshop on Education Technology and Training & 2008 International Workshop on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, 2008.
- [3] EtehadTavakol M., Sadri S., Ng E. Y. K., "Application of K- and Fuzzy c-Means for Color Segmentation of Thermal Infrared Breast Images," *J Med Syst* (2010) 34:35–42, DOI 10.1007/s10916-008-9213-1, 2010.
- [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) 849–859, 2009.
- [5] Bronzino, J. D., "The Biomedical Engineering Handbook, Third Edition, Medical Devices and Systems", *CRC Press*, 2006.
- [6] 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.
- [7] Pratt W. K., "Digital Image Processing", *Wiley-Interscience, A John Wiley & Sons, Inc., Publication*, 2007.
- [8] Murni A., Chahyati D., "Segmentasi Citra", <http://staff.ui.ac.id/internal/130522693/materi/segmentasi.ppt>, (diakses pada tanggal 22 Maret 2010), 2010.

Sel Surya *Dyes-Sensitized* TiO_2 : Fabrikasi dan Analisa Material Elektrolit

Natalita M. Nursam, Lia Muliani, Jojo Hidayat

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI
Kampus LIPI Gedung 20 Lantai 4 Jl. Sangkuriang Bandung – INDONESIA
Telp. 022-2504660 Fax: 022-2504659 Email: natalita@ppet.lipi.go.id

Abstract

This research paper aims to examine the influence of different electrolyte solution upon the performance of dye sensitized solar cells (DSSC), including their long term stability. Electrolyte is one of the crucial elements in DSSC since the reduction-oxidation (referred as redox) reactions take place in this area. A DSSC commonly uses liquid electrolyte as the charge transfer medium. This paper compares the cells performances featuring two different electrolyte, i.e. EL-141 –a Dyesol product- and a kalium-iodide based electrolyte made from 0.5M KI and 0.05M I_2 on organic acetonitrile solvents. Our results show that the solar cells featuring kalium based electrolyte were outperformed by their opponents (EL-141). This was implied by their efficiency and their maximum achieved-power, which was nearly a factor of two lower and are seemed to be degraded over time.

Keywords: solar cell, dye-sensitized, electrolyte, photoactive electrode.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh penggunaan elektrolit yang berbeda terhadap performa sel surya jenis dye sensitized solar cell (DSSC), termasuk faktor kestabilan. Elektrolit merupakan salah satu elemen penting dalam DSSC karena disana terjadi proses reaksi reduksi-oksidasi (disebut juga dengan redoks). Sel surya jenis DSSC umumnya menggunakan elektrolit berupa larutan sebagai medium transfer muatan elektron. Jenis elektrolit yang dibandingkan adalah elektrolit EL-141 produk Dyesol- dan elektrolit berbasis kalium-iodida dengan konsentrasi 0.5M KI dan 0.05M I_2 dalam pelarut organik asetonitrile. Hasil kami menunjukkan bahwa sel surya dengan elektrolit berbasis kalium belum mampu menghasilkan performa sebaik elektrolit EL-141, dimana efisiensi maupun daya maksimum yang dihasilkan cenderung dua kali lebih rendah dan terus menurun seiring dengan waktu.

Kata Kunci: sel surya, dye-sensitized, elektrolit, elektroda fotoaktif.

1. Pendahuluan

Perkembangan material nano sebagai bahan utama sel surya untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik semakin berkembang seiring dengan naiknya kesadaran masyarakat akan pentingnya penggunaan jenis energi baru dan terbarukan. Dalam tahapan aplikasi, penggunaan sel surya sendiri merupakan salah satu alternatif penyedia sumber energi listrik yang aman dan mudah diinstalasikan dimana saja, termasuk di daerah-daerah terpencil maupun di area lepas pantai yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik terkoneksi *grid*.

Sel surya jenis *dye-sensitized* (*dye sensitized solar cell* – atau disingkat DSSC) merupakan jenis sel surya generasi ketiga yang memanfaatkan prinsip fotoelektrokimia. Sel surya jenis ini diyakini mampu menyediakan konsep energi alternatif dengan biaya produksi yang lebih terjangkau dan dengan teknologi fabrikasi yang lebih sederhana dibandingkan sel surya pendahulunya yang berbahan silikon kristal.

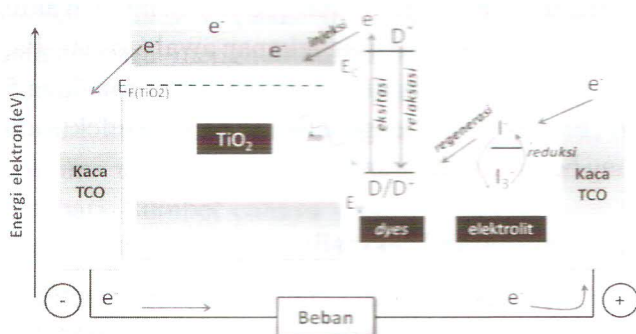
Salah satu faktor yang masih menjadi masalah pada pembuatan sel surya DSSC adalah penggunaan larutan elektrolit yang memiliki peran penting dalam konversi energi cahaya menjadi

energi listrik pada sel surya tersebut. Karena bentuknya yang berupa larutan, banyak permasalahan yang timbul yang berhubungan dengan penggunaan elektrolit, seperti halnya kebocoran, penguapan, kemungkinan terjadinya korosi pada counter-elektroda, dan lain sebagainya. Kebanyakan permasalahan diatas terkait dengan isu kestabilan performa sel dalam jangka panjang [1]. Selain itu, pemilihan jenis larutan elektrolit yang tepat pun merupakan salah satu faktor yang masih banyak dipelajari oleh para peneliti [2-4].

Pada tulisan ini akan dipaparkan mengenai pembuatan sel surya jenis DSSC berbahan dasar titanium dioksida, yang khususnya bertujuan untuk menganalisa pengaruh pemilihan elektrolit terhadap efisiensi output sel maupun kestabilan sel melalui beberapa kali pengukuran.

2. Prinsip Kerja Sel Surya DSSC

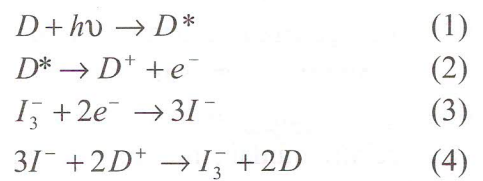
Prinsip kerja sel surya jenis DSSC pada dasarnya melibatkan tiga komponen utama, yaitu fotoelektroda - yang berfungsi untuk menyerap photon dan membangkitkan elektron bebas, counter-elektroda, dan elektrolit yang berfungsi sebagai penghubung kedua jenis elektroda tersebut (lihat gambar 1). Kedua jenis elektroda yang disebutkan diatas pada umumnya terbuat dari kaca transparan yang dilapisi oleh transparent conducting oxide (TCO) yang kemudian disusun secara sandwich.



Gambar 1 : Ilustrasi prinsip kerja sel surya DSSC berdasarkan transfer elektron antar medium.

Jenis semikonduktor yang pada umumnya digunakan pada sel surya DSSC adalah titanium dioksida (TiO₂). TiO₂ merupakan jenis semikonduktor berpita-energi lebar (~3.2 eV) sehingga bersifat transparan terhadap cahaya tampak (λ≈400 nm atau E≈0.3 eV). Molekul dyes tersebut berfungsi sebagai sensitizer yang mampu membangkitkan elektron bebas akibat penyerapan energi photon dari matahari untuk kemudian diinjeksikan pada lapisan semikonduktor.

Proses reaksi fotoelektrokimia yang terjadi selama proses transfer elektron di dalam sel surya dye-sensitized dapat dilihat pada persamaan (1) sampai (4). Persamaan (1) menunjukkan bahwa pada saat elektron yang berada pada tingkat energi HOMO (highest occupied molecular orbital - D) mendapat energi dari cahaya matahari (hv) maka terjadilah eksitasi electron ke tingkat level energi yang lebih tinggi atau LUMO (lowest unoccupied molecular orbital - D*). Elektron bebas tersebut kemudian diinjeksi menuju pita konduksi TiO₂ untuk kemudian dialirkan pada TCO menuju beban dan meninggalkan molekul dye teroksidasi D⁺ yang ter-relaksasi (lihat persamaan 2). Setelah melewati beban, electron sampai pada counter electrode dimana terdapat katalisator (umumnya berupa platina atau carbon) yang berfungsi untuk mengumpulkan electron. Elektron-elektron tersebut kemudian berekombinasi dengan hole yang terdapat pada elektrolit, berupa triiodida (I₃⁻), untuk menghasilkan ion iodida (I) melalui proses reduksi. (persamaan 3). Muatan negatif kemudian berdifusi kembali menuju dye dan bereaksi dengan molekul dye teroksidasi D⁺ (disebut proses regenerasi) membentuk satu siklus yang akan berulang kembali dan demikian seterusnya [5].



Salah satu keunggulan sel surya jenis DSSC dibanding sel surya jenis silikon dilihat dari prinsip kerjanya ada pada proses pembangkitan elektron dan perpindahan elektron yang terjadi pada medium yang berbeda. Penyerapan photon dan pemisahan muatan pembawa murni dilakukan oleh *dyes* sedangkan transfer muatan terjadi pada TiO_2 dan elektrolit, sehingga efisiensi pengumpulan muatan lebih besar dibanding mekanisme pengumpulan muatan pada sel surya silikon [6]. Selain itu faktor lain seperti rekombinasi muatan pembawa minoritas dan pengotor lebih kecil pengaruhnya pada sel surya jenis DSSC ini [7].

Berdasarkan penjelasan prinsip kerja sel surya *dye-sensitized* tersebut diatas juga dapat dilihat bahwa elektrolit memiliki peran yang cukup penting karena tidak hanya berfungsi sebagai penghantar, melainkan juga sebagai tempat terjadinya proses reduksi sekaligus oksidasi (disebut redoks). Elektrolit yang baik harus memiliki beberapa karakteristik, diantaranya memiliki konduktivitas yang bagus, memiliki karakteristik kontak yang bagus terhadap kedua jenis elektroda, serta memiliki kestabilan jangka panjang yang panjang untuk mencegah pengurangan diakibatkan penguapan oleh pengaruh lingkungan [4].

3. Metode Penelitian

3.1. Pembentukan Fotoelektroda

Proses pembentukan fotoelektroda terdiri atas tiga tahap, yaitu persiapan substrat TCO, deposisi lapisan TiO_2 dan pewarnaan (*dyeing*). Persiapan substrat meliputi pemotongan dan pencucian substrat menggunakan *deionized water* dan aseton. Substrat TCO yang digunakan berupa kaca konduktif transparan berlapis *fluorine-tin-oxide* (FTO) dengan nilai resistansi sekitar $15 \Omega/\square$.

Pembuatan lapisan semikonduktor TiO_2 dilakukan menggunakan teknik *screen-printing* yang relatif mudah, murah dan dapat digunakan untuk skala produksi. Material TiO_2 yang

digunakan berupa pasta TiO_2 produksi Dyesol jenis 18NR-AO yang memiliki karakteristik nanopartikel anatase dengan bentuk fisik tidak transparan. Pelapisan TiO_2 dilakukan melalui 2 kali proses *printing* berdasarkan hasil optimum yang ditunjukkan pada referensi [8]. Tiap pelapisan diakhiri dengan pengeringan dalam oven bersuhu 100°C selama 10 menit.

Sesudah proses pelapisan dilakukan, sampel dipanaskan dalam *conveyor belt furnace* pada suhu 450°C selama 15 menit, dengan tujuan untuk sintering dan kristalisasi partikel TiO_2 [8].

Proses selanjutnya adalah pewarnaan yang dilakukan melalui perendaman sampel dalam larutan pewarna. Larutan tersebut dibuat dari bubuk Ruthenium jenis N-719 dari Dyesol dengan konsentrasi 40 mg dalam pelarut ethanol sebanyak 100 ml. Sampel direndam dalam cawan petri dan disimpan pada suhu ruang tanpa cahaya selama 24 jam.

3.2. Pembentukan Counter-Elektroda

Pada tulisan ini, jenis *counter*-elektroda yang digunakan adalah platina dengan pertimbangan bahwa platina memiliki konduktivitas yang cukup tinggi, memiliki kestabilan thermal dan kimia yang baik, serta merupakan katalis reaksi reduksi yang handal untuk triiodida [9].

Proses pelapisan platina pada substrat FTO dilakukan melalui teknik *DC-sputtering* menggunakan target metal platina dengan waktu deposisi selama 20 menit, tekanan awal 6.6×10^{-3} Pa, tekanan gas Ar 5.3×10^{-1} Pa, rotasi 5 rpm dan daya 5 W. Proses ini menghasilkan *counter*-elektroda yang bersifat tidak transparan.

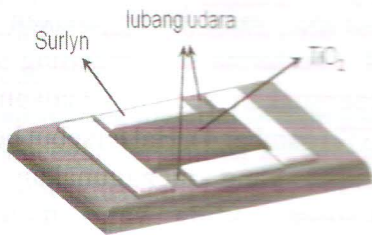
3.3. Pembuatan Elektrolit

Jenis elektrolit yang digunakan pada penelitian ini divariasikan menjadi dua jenis, yaitu elektrolit viskositas rendah jenis EL-141 (Dyesol) dan larutan elektrolit iodida yang dibuat secara independen di lab kami. Jenis larutan kedua tersebut dibuat dengan bubuk kalium iodide (KI)

sebanyak 0.5M dan 0.05 M bubuk iodine (I₂) yang dicampur dalam pelarut organik asetonitrile. Pembuatan elektrolit jenis kedua ini ditujukan untuk mencari alternatif larutan yang lebih murah dan dapat dibuat sendiri.

3.4. Perangkaian Sel Surya DSSC

Pada bagian fotoelektroda, yaitu disekeliling area TiO₂ (atau disebut juga area foto nonaktif) dipasang lapisan *thermoplastic sealant* Surlyn (Dyesol) dengan ketebalan 50 μm (gambar 2). Bagian *counter*-elektroda kemudian disatukan dengan cara direkatkan di bagian atas, lalu sampel dipanaskan pada suhu 120°C selama kurang lebih 35 menit. Proses selanjutnya adalah pengisian elektrolit melalui lubang udara, dilanjutkan dengan penutupan lubang udara menggunakan *hermetic sealing compound* (atau disebut *glass frit*).



Gambar 2 : Ilustrasi pola pemasangan Surlyn pada bagian fotoelektroda.

4. Hasil dan Analisa

Metode pengukuran untuk mendapatkan kurva karakteristik I-V (arus vs tegangan) dilakukan dengan cara menghubungkan kutub positif dan negatif sel surya terhadap resistor yang dapat divariasikan nilai hambatannya, sambil disinari dengan cahaya buatan menyerupai cahaya matahari. Sumber cahaya yang digunakan berupa sun simulator dengan spektrum AM1.5 dengan intensitas cahaya 40mW/cm². Selain itu juga digunakan Pyranometer, yaitu alat untuk mengukur intensitas cahaya yang diterima (P_{max}).

Nilai tegangan yang terukur kemudian dikalkulasi untuk mendapatkan nilai arus berdasarkan nilai hambatan yang digunakan sesuai

dengan hukum Ohm, yaitu I = V/R. Untuk mendapatkan parameter tegangan hubungan terbuka (V_{oc}) dan arus terhubung singkat (I_{sc}) maka sel surya tidak perlu dihubungkan terhadap beban.

Berdasarkan kurva I-V dapat diperoleh besar daya maksimum (P_{max} = V_{max} x I_{max}). Dari daya maksimum tersebut dapat diperoleh nilai efisiensi (menggunakan persamaan (5)) dan *fill factor* (persamaan (6)).

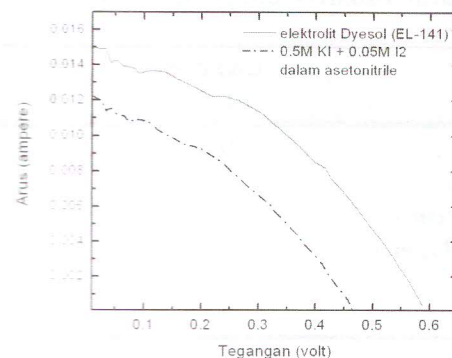
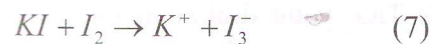
$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{input}} \times 100\% \tag{5}$$

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} I_{sc}} \tag{6}$$

4.1. Pengaruh Elektrolit

Gambar 3 menunjukkan kurva I-V perbandingan sampel dengan jenis elektrolit berbeda. Dapat diamati dengan jelas bahwa performa sel dengan elektrolit hasil sintesa secara manual sangat jauh dibawah sampel dengan elektrolit Dyesol.

Salah satu faktor yang kemungkinan menjadi penyebab rendahnya performa sel dengan elektrolit buatan adalah kurangnya konsentrasi ion triiodida (I₃⁻) yang dihasilkan dari molaritas KI dan I₂. Reaksi kimia yang terjadi pada larutan buatan tersebut adalah:



Gambar 3 : Kurva I-V hasil pengukuran terhadap sel surya DSSC menggunakan elektrolit yang berbeda.

Dikarenakan ion I_3^- memiliki peranan penting dalam reaksi redoks -yaitu sebagai *hole* yang diharapkan berekombinasi dengan elektron yang terkumpul pada *counter*-elektroda- maka intensitas pengumpulan muatan pembawa pada proses transfer muatan pun menjadi lebih sedikit. Selain itu, konsentrasi triiodida juga kemungkinan berpengaruh terhadap kurangnya konsentrasi spesies redoks (c_{ox} dan c_{red}).

Sebagaimana dihipotesiskan oleh Atkins dkk, hal tersebut dapat menyebabkan rendahnya potensial redox (E_{redox}) yang dinyatakan oleh [10]

$$E_{redox} = E_{redox}^0 + \frac{kT}{m} \ln \left(\frac{c_{ox}^{v_{ox}} (c^{st})^{v_{red}}}{c_{red}^{v_{red}} (c^{st})^{v_{ox}}} \right) \quad (8)$$

dimana k adalah konstanta Boltzmann, T adalah suhu, m adalah jumlah elektron yang ditransfer, v adalah koefisien stoikiometri, sementara E_{redox}^0 dan c^{st} adalah potensial dan konsentrasi redox standar. Penurunan potensial redoks secara tidak langsung berpengaruh terhadap penurunan V_{oc} . Hal ini dapat dibuktikan dari data hasil pengukuran pada Tabel 1, dimana V_{oc} sampel yang menggunakan elektrolit buatan memang jauh lebih rendah dibanding elektrolit Dyesol.

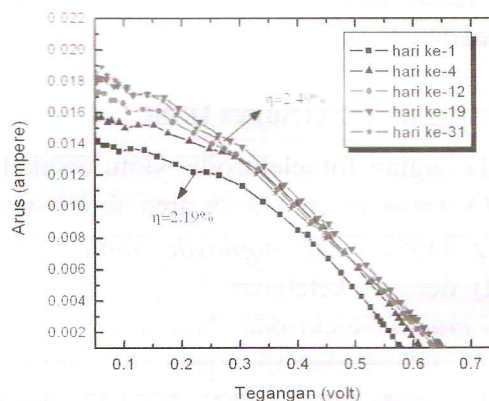
Tabel 1 : Data parameter *output* sel surya DSSC berbasis TiO_2 yang diukur menggunakan Sun Simulator (40 mW/cm^2 , AM1.5, $R=1\Omega\text{-}5k\Omega$)

	Elektrolit EL-141	Elektrolit KI + I_2
$V_{oc} (V)$	0.62	0.49
$I_{sc} (mA)$	13.8	11.3
$J_{sc} (mA/cm^2)$	3.45	2.83
$P_{max} (mW/cm^2)$	0.9	0.5
FF	0.41	0.36
$\eta (\%)$	2.19	1.26

4.2. Kestabilan Performa Sel Surya

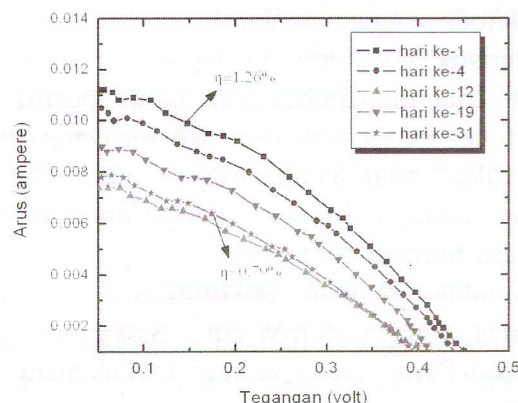
Gambar 4 dan 5 menunjukkan kurva I-V hasil pengukuran berulang terhadap sampel dengan jenis

elektrolit yang berbeda. Perbedaan signifikan dapat diamati pada tren perubahan efisiensi seiring dengan perubahan waktu.



Gambar 4 : Kurva I-V sebagai fungsi waktu yang diukur pada sampel yang menggunakan elektrolit EL-141.

Pada sampel yang menggunakan elektrolit jenis EL-141, performa sel cenderung stabil atau bahkan menunjukkan sedikit kenaikan efisiensi sebesar $\sim 0.3\%$ (gambar 4). Hal tersebut berlawanan dengan sampel yang menggunakan elektrolit berbasis kalium iodida yang menunjukkan degradasi efisiensi sebesar kurang lebih 0.47% (gambar 5). Hal ini kembali mengindikasikan bahwa kestabilan kimia larutan elektrolit yang kami buat secara independen harus dievaluasi lebih



Gambar 5 : Kurva I-V sebagai fungsi waktu yang diukur pada sampel yang menggunakan elektrolit berbasis kalium-iodida.

lanjut. Selain itu, dari data *output* sampel dengan elektrolit EL-141 yang tidak mengalami penurunan, dapat disimpulkan bahwa metode *sealing* menggunakan material *glass frit* cukup dapat diandalkan untuk mencegah kebocoran elektrolit.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian kami dapat disimpulkan bahwa penggunaan elektrolit berbasis kalium-iodida dengan konsentrasi 0.5M KI dan 0.05M I₂ dalam asetonitrile pada sel surya DSSC belum dapat menyamai performa yang dihasilkan oleh sel surya yang menggunakan elektrolit Dyesol jenis EL-141. Sel surya yang menggunakan elektrolit berbasis kalium-iodida tersebut juga belum memiliki kestabilan jangka panjang sebaik elektrolit EL-141. Penyebab hal ini kemungkinan disebabkan oleh faktor pengaruh rendahnya level spesies redoks dalam larutan yang telah dibuat. Rekomendasi lain dari hasil penelitian ini adalah penggunaan *sealing* material berupa *glass frit* yang mampu mencegah terjadinya kebocoran elektrolit dalam kurun waktu relatif lama.

Ucapan Terima Kasih

Kegiatan penelitian ini dapat terlaksana melalui program Tematik DIPA PPET-LIPI tahun 2011. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada PPET-LIPI atas penggunaan fasilitas, serta kepada Dede Ibrahim yang telah banyak membantu dalam melakukan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] A. Hinsch, J. M. Kroon, R. Kern, I. Uhlenndorf, J. Holzbock, A. Meyer, J. Ferber, "Longterm stability of dye-sensitized solar cells", *Progress in Photovoltaics*, vol. 9, 2001, hal. 425-438.
- [2] M. Gu Kang, K. Sun Ry, S. Ho Chang, N. Park, "A new ionic liquid for a redox electrolyte of dye-sensitized solar cells", *ETRI Journal*, vol. 26, no. 6, 2004, hal. 647-652.
- [3] S. Caramori, V. Cristino, R. Boaretto, R. Argazzi, C. A. Bignozzi, A. Di Carlo, "New Components for Dye-Sensitized Solar Cells," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2010, 2010.
- [4] J. Wu, Z. Lan, S. Hao, P. Li, J. Lin, M. Huang, L. Fang, and Y. Huang, "Progress on electrolytes for dye-sensitized solar cells", *Pure Applied Chemistry*, vol. 80, no. 11, 2008, hal. 2241-2258.
- [5] T. Saga, *Nanostructured Materials for Solar Energy Conversion*, Elsevier, 2006.
- [6] F.O. Lenzmann, J.M. Kroon, "Recent advances in dye-sensitized solar cells", *Advances in Optoelectronics*, vol. 2007, 2007.
- [7] M. Gratzel, "The advent of mesoscopic injection solar cells", *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 14, no. 5, 2006, hal. 429-442.
- [8] L. Muliani, Y. Taryana, J. Hidayat, "Pembuatan sel surya TiO₂ dye-sensitized menggunakan metoda *screen printing*", *Jurnal Elektronika*, vol. 10, no. 1, 2010, hal. 126-131.
- [9] A. Hauch and A. Georg, "Diffusion in the electrolyte and charge-transfer reaction at the platinum electrode in dyesensitized solar cells," *Electrochimica Acta*, vol. 46, no. 22, 2001, hal. 3457-3466, 2001.
- [10] R. Satriawan, *Photovoltaics Modules of Dye Solar Cells*, PhD Thesis Universität Freiburg, 2006.

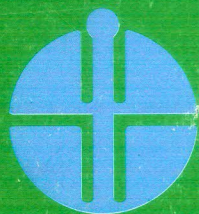
UCAPAN TERIMA KASIH

Pada volume 11 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 BPPN

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



LIPI

JURNAL
ELEKTRONIKA dan TELEKOMUNIKASI

PUSAT PENELITIAN ELEKTRONIKA DAN TELEKOMUNIKASI - LIPI

Jl. Sangkuriang Bandung 40135 Tlp. (022) 250 4660, 250 4661 Fax. (022) 250-4659 - Bandung 40135
<http://www.ppet.lipi.go.id>