

JURNAL

ISSN 1411-8289

Elektronika dan Telekomunikasi

VOLUME 6, NOMOR 2

Juli – Desember 2006



LIPI

PUSAT PENELITIAN ELEKTRONIKA DAN TELEKOMUNIKASI
LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA

J. El. Kom	Vol. 6	No. 2	Hal. 46-87	Bandung Juli 2006	ISSN 1411-8289
------------	--------	-------	------------	----------------------	-------------------

JURNAL Elektronika dan Telekomunikasi

SUSUNAN REDAKSI

Penanggung Jawab : Kepala Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi,
(PPET - LIPI)

Dewan Redaksi : Prof. Dr. M. Barmawi
Prof. Ir. Ahmadi Djajasugita M.Sc
Prof. Dr. Ir. Soegijardjo Soegijoko
Prof. Dr. Ir. Djoko Hartanto
Dr. Anung Kusnowo, M.Tech
Dr. Masbah RT. Siregar
Dr. Totok MS Soegandi, APU
Dr. Goib Wiranto
Ir. Sukarna Djaja, APU
Ir. Rustini S. Kayatmo, DIC
Ir. Yahya Sukri
Ir. Elly Herlia Effendi
Syamsu Ismail, ST

Redaksi Pelaksana :
Ketua : Ir. Yuyu Wahyu, MT

Anggota : Ir. Pamungkas Daud
Deni Permana, ST
Dedi, ST
Bagus Edy Sukoco, ST
Drs. Slamet Widodo

Sirkulasi : Lilis Retnaningsih, Ssi
Endang Ridwan

Alamat Redaksi : Seksi JASA DAN IFORMASI
PPET - LIPI
Jl. Sangkuriang Bandung 40135
Tlp. (022) 250 4661 Fax. (022) 250 4659
E-mail : info@ppet-lipi.go.id

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	ii
1. Karakterisasi Komposisi Kimia Magnet NdFeB dengan Energi Dispersi Spectroscopy (EDS) (<i>Novrita Idayanti, Dedi</i>)	46–51
2. Karakterisasi Proses Teksturing Anisotropis pada Silikon Kristal Tunggal dalam Membentuk Struktur Piramida pada Sel Surya (<i>Lilis Retnaningsih, Lia Muliani, Gandi Sugandi</i>)	52–57
3. Pengaruh Proses Pembakaran terhadap Nilai Refleksi Lapisan TiO ₂ pada Sel Surya (<i>Lia Muliani, Gandi Sugandi, Totok MS. Soegandi, Lilis Retnaningsih</i>)	58–63
4. Pemantauan Teknologi Komunikasi Point to Point untuk Telepon Pedesaan; Project Areas : Kabupaten Belu Nusa Tenggara Timur (<i>Nasrullah Amri, Arief Suryadi, Ros Sariningrum, Teguh Praludi</i>)	64–69
5. Antena Dipole GPR Adaptif terhadap Dua Jenis Pulsa (<i>Yuyu Wahyu, Folin Oktafiani, A.A Lestari, A.S Ahmad, A.G Sarovoy, L.P Ligthart</i>)	70–77
6. Rangkaian Bioamplifier untuk Mendeteksi Sifat Elektris Otot (<i>Yusuf Nur Wijayanto, Dwi Astuti</i>)	78–85
7. Indeks Elektronika dan Telekomunikasi Volume 6 No. 1, Januari Juni 2006 No. 2, Juli Desember 2006	
A. Indeks Pengarang	86
B. Indeks Judul Makalah	86
G. Indeks kata Kunci / Key words	86

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Pembaca *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* yang budiman.

Kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia sehingga *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* dapat terbit dihadapan para pembaca semua. Terbitan volume 6 nomor 2 “*Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*”, memuat sebanyak 6 buah tulisan, pada terbitan ke 6 ini materi jurnal cukup beragam meliputi:

Karakterisasi Komposisi Kimia Magnet NdFeB dengan Energi Dispersi Spectroscopy (EDS), Karakterisasi Proses Teksturing Anisotropis pada Silikon Kristal Tunggal dalam Membentuk Struktur Piramida pada Sel Surya, Pengaruh Proses Pembakaran terhadap Nilai Refleksi Lapisan TiO₂ pada Sel Surya, Pemantauan Teknologi Komunikasi Point to Point untuk Telepon Pedesaan; Project Areas : Kabupaten Belu Nusa Tenggara Timur, Antena Dipole GPR Adaptif terhadap Dua Jenis Pulsa, Rangkaian Bioamplifier untuk Mendeteksi Sifat Elektris Otot.

Kami mengharapkan saran dan kritik dari para pembaca untuk kesempurnaan jurnal ini.

Terima kasih atas perhatiannya. Semoga apa yang kami sajikan dapat menambah wawasan informasi dan bermanfaat bagi kita semua.

Selamat membaca

Redaksi

Karakterisasi Komposisi Kimia Magnet NdFeB dengan Energi Dispersive Spectroscopy (EDS)

Novrita Idayanti, Dedi

Pusat Penelitian Elektronika & Telekomunikasi (PPET) - LIPI

Jl. Sangkuriang Komp.LIPI Gd.20 Bandung 40135

Telp. (022) 2502660, Fax. (022) 2504659

Email : novrita@ppet.lip.go.id

Abstract

Characterization of the chemical composition in Permanent Magnet NdFeB had been done using EDS. NdFeB magnet is a rare earth permanent magnet which has good a magnetic properties, such as better remanence induction, coercivity and energy product compare to other permanent magnet. Having good magnetic properties for its application, the size can be reduced significantly. NdFeB is called rare earth magnet because it is formed by 2 rare earth atoms Neodymium, 14 Iron atoms and a Boron atom, hence its molecule formula is $Nd_2Fe_{14}B$. In this experiment, observation was performed in order to find out the chemical composition of NdFeB magnet in a part of computer hard disc by EDS. The purpose of the analysis is to find the elements that form the magnetic part and to identify the chemical composition from its weight percentage. By knowing the composition, further research will be performed to make the magnet. From the analysis it was found that NdFeB magnet contain Iron (Fe) = 60,36 % wt, Neodymium (Nd) = 32,53 % wt, Silicon (Si) = 3,42 % wt dan Cobalt (Co) = 3,69 % wt.

Key words : *characterization, chemical composition, permanent magnet, NdFeB.*

Abstrak

Telah dilakukan karakterisasi komposisi kimia pada magnet permanen NdFeB dengan EDS. Magnet NdFeB adalah jenis magnet permanen rare earth (tanah jarang) yang memiliki sifat magnet yang sangat baik, seperti pada nilai induksi remanen, koersifitas dan energi produk yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan magnet permanen lainnya. Dengan memiliki sifat magnetik yang tinggi, dalam aplikasinya magnet NdFeB dapat berukuran lebih kecil. Magnet logam tanah jarang (rare earth) terbentuk dari 2 atom unsure logam tanah jarang yaitu Neodymium, unsur lainnya adalah 14 atom besi dan 1 atom Boron, sehingga rumus molekul yang terbentuk adalah $Nd_2Fe_{14}B$. Pada percobaan ini telah dilakukan penelitian untuk mengetahui komposisi kimia magnet NdFeB yang didapat dari bagian hard disk komputer dengan alat uji EDS. Tujuan dilakukannya analisa ini adalah untuk mengetahui unsur dan komposisi yang membentuk bahan magnet tersebut. Dengan mengetahui komposisinya, maka dapat dilakukan penelitian selanjutnya untuk dapat membuat magnet tersebut. Dari hasil analisa dapat diketahui bahwa bahan magnet NdFeB terbentuk dari unsur Besi (Fe) = 60,36 % wt, Neodymium (Nd) = 32,53 % wt, Silicon (Si) = 3,42 % wt dan Cobalt (Co) = 3,69 % wt.

Kata kunci : *karakterisasi, komposisi kimia, magnet permanen, NdFeB.*

1. Pendahuluan

Material magnetik adalah suatu material yang banyak digunakan sejak dulu hingga sekarang ini. Dalam perkembangannya, dibutuhkan material magnetik dengan kekuatan kemagnetan yang lebih dibandingkan sebelumnya. Pada tahun 1980

ditemukan magnet Neodymium Iron Boron (NdFeB) dengan kekuatan yang tinggi, dan mulai dikomersilkan sejak November 1984 [3]. NdFeB adalah material magnetik jenis permanen logam tanah jarang (*rare earth*). Disebut magnet *rare earth* karena terbentuk oleh 2 atom dari suatu unsur

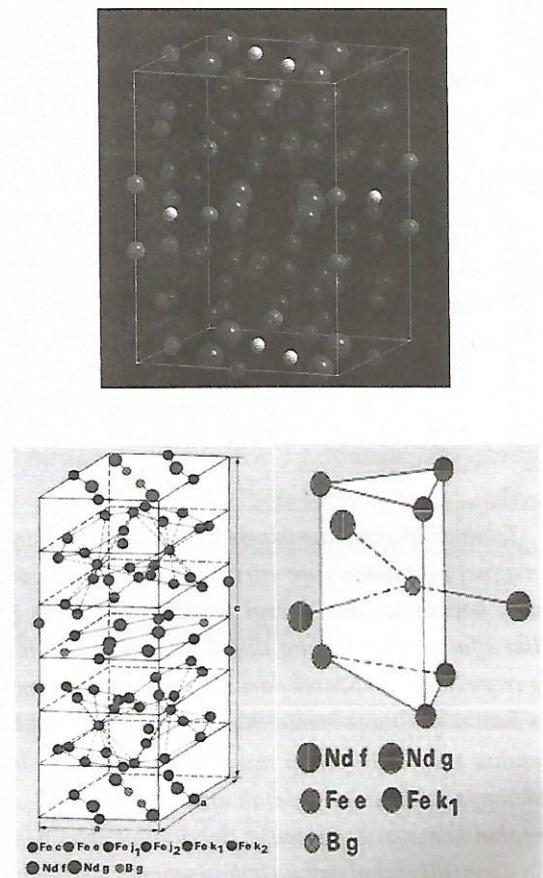
logam tanah jarang Neodymium (Nd), 14 atom besi (Fe) dan 1 atom Boron (B), sehingga rumus molekul yang terbentuk adalah $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. Sifat magnet yang dimiliki NdFeB sangat baik bila dibandingkan dengan magnet permanen lainnya, seperti Ferit, Alnico dan Samarium Cobalt. BH_{max} yang dimiliki dapat berkisar antara 30 Mega Gauss Oersted (MGOe) sampai dengan 52 MGOe [3]. Karena memiliki karakteristik magnet yang tinggi, dalam aplikasinya magnet NdFeB dapat berukuran lebih kecil. Magnet ini juga dapat menggantikan penggunaan magnet samarium cobalt pada beberapa aplikasi, khususnya penggunaan pada temperatur kurang dari 80°C . Selain itu penggunaan magnet NdFeB dalam banyak bidang, seperti pada peralatan elektronik, motor listrik, sensor/transduser, industri otomotif, industri petrokimia, produk peralatan kesehatan dan lain-lain. Penggunaan dalam bidang otomotif juga meningkat dengan cepat setiap tahunnya, seperti pada sistem *elektric power steering*. Aplikasi pada sensor seperti untuk mendeteksi kecepatan dan putaran.

Teknologi magnet untuk menghasilkan material magnetik dengan kualitas tinggi sangat ditentukan oleh teknologi proses material. Untuk itu perlu dilakukan penelitian pembuatan magnet ini, mengingat magnet NdFeB memiliki kelebihan dan sangat menguntungkan. Langkah awal yang akan dilakukan sebelum memulai penelitian adalah dengan cara mengkarakterisasi komposisi kimia yang nantinya dapat dijadikan acuan untuk membuat magnet ini. Analisa komposisi kimia yang dilakukan adalah dengan menggunakan alat uji *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS). Pada makalah ini akan disampaikan bagaimana prosedur yang dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia dari magnet NdFeB .

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Struktur Kristal

Sel satuan NdFeB memiliki struktur kristal tetragonal yang kompleks. Terdiri dari 68 atom. Ada 6 atom besi pada sisi yang berbeda, 2 atom neodmium pada posisi yang berbeda dan 1 sisi atom boron. Semua atom Nd dan B bersama dengan 4 atom Fe akan membentuk jaring heksagonal.



Gambar 1 : Struktur kristal magnet $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$

Setiap atom boron menempati tengah prisma tetragonal, yang dibentuk oleh 3 atom oksigen diatas dan dibawah bidang. Pada setiap lapisan bidang Fe pada atas dan bawah bidang terdapat Nd dan B yang dapat menstabilkan struktur ini. Panjang sumbu a setara dengan 8.8 \AA , sumbu $c = 12,19 \text{ \AA}$. Jarak antara tetangga terdekat Fe-Fe

antara 2,4 2,8 Å. Jarak antara boron dengan atom tetangga terdekat adalah :

$$\begin{aligned} B-Fe(ki) &= 2,09 \text{ \AA} & B-Nd(g) &= 2,86 \text{ \AA} \\ B-Fe(e) &= 2,14 \text{ \AA} & B-Nd(f) &= 3,34 \text{ \AA} \end{aligned}$$

2.2. Sifat Fisik

Sifat fisik magnet NdFeB adalah seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 1 : sifat fisik magnet NdFeB [3]

Curie Temperature (°C)	310-370
Maximum Operating Temperature (°C)	80-200
Resistivity (μ ohm.cm)	160
Hardness (Hv)	560-580
Density (g/cm^3)	7.40
Relative Recoil Permeability (μ_{rec})	1.05
Saturation Field Strength, kOe (kA/m)	30-40 (2400-3200)
Temperature Coefficient of Br (%/°C)	-0.12 ~ -.10
Temperature Coefficient of iHc (%/°C)	-0.6

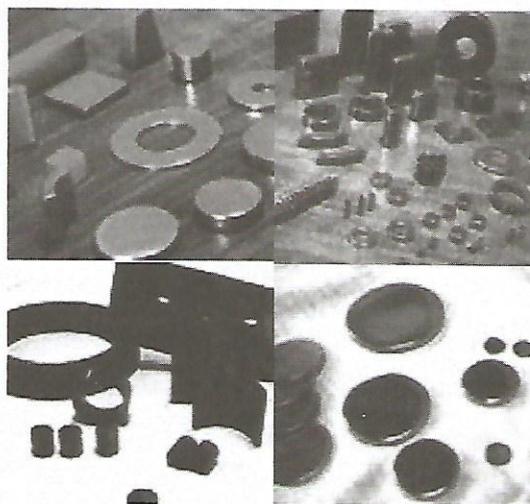
2.3. Karakteristik Terhadap Temperatur

Magnet NdFeB mudah didemagnetisasi pada temperatur tinggi, ini artinya mudah hilang sifat kemagnetannya pada temperatur tinggi. Sifat kemagnetannya akan turun pada temperatur tinggi, tetapi akan meningkat pada temperatur rendah. Pada tabel 1 dapat dilihat bahwa temperatur operasi adalah antara 80 sampai 200°C. Beberapa cara yang dapat mempengaruhi agar magnet ini dapat digunakan pada temperatur tinggi yaitu bentuk geometri. Magnet dengan bentuk yang lebih tipis akan lebih mudah didemagnetisasi dibandingkan

dengan magnet dengan bentuk yang lebih tebal. Bentuk magnet piring datar dan yokes lebih di rekomendasikan untuk digunakan pada temperatur tinggi [1].

2.4. Ketahanan Terhadap Korosi

NdFeB adalah magnet yang sangat mudah terkorosi, untuk itu dalam penggunaannya selalu dilakukan *coating* / pelapisan dengan nikel, tembaga dan seng untuk meningkatkan ketahanan korosinya [1].



Gambar 2: Magnet $Nd_2Fe_{14}B$ yang telah dicoating / pelapisan [6]

2.5. Fabrikasi

Magnet NdFeB biasanya dibuat dengan cara teknologi logam serbuk (*powder metallurgy*) [1]. Sebenarnya magnet ini dapat dibuat dengan 3 cara, yaitu :

- 1). Teknik *sintering*, yaitu dengan cara teknologi logam serbuk yaitu dengan cara *milling*, dicetak, *sintering*, *surface treatment*, magnetisasi dan dihasilkan produk akhir. Magnet yang dihasilkan dengan teknik ini menghasilkan energi produk (BHmax) yang paling tinggi.

- 2). Teknik *Compression bonded*, yaitu dengan cara mencampurkan serbuk NdFeB dengan suatu binder/pelumas, dikompaksi dan kemudian dipanaskan. energi produk yang dihasilkan dengan teknik ini lebih rendah bila dibandingkan dengan cara teknik sintering.
- 3). Teknik *Injection Molding*, yaitu dengan cara mencampurkan serbuk NdFeB dengan suatu binder/pelumas dan kemudian diinjeksi. Energi produk yang dihasilkan dengan cara teknik ini lebih rendah dibandingkan dengan teknik sintering dan teknik *Compression bonded* [2].

2.6. Prinsip Kerja *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS)

EDS adalah suatu alat yang dapat mendeteksi komposisi unsur suatu material. Konsentrasi minimal yang dapat dideteksi adalah lebih besar dari 0,1 %.

Prinsip kerja dari alat ini adalah dengan metode spektroskopi, dimana elektron ditembakkan pada permukaan sampel, yang kemudian akan memancarkan X-Ray. Energi tiap-tiap photon X-Ray menunjukkan karakteristik masing-masing unsur yang akan ditangkap oleh detektor EDS, kemudian secara otomatis akan menunjukkan puncak-puncak dalam distribusi energi sesuai dengan unsur yang terdeteksi. Proses pengolahan data ini secara komputerisasi, dimana data yang ditangkap oleh detektor dibandingkan dengan *data base* komputer.

2.7. Aplikasi

Magnet ini dapat diaplikasikan pada Motor, sensor, komputer, mikrofon, printer, speaker, dan komponen gelombang mikro (sirkulator). Magnet

NdFeB dapat meningkatkan kapasitas *hard disk*, miniaturisasi *hand held tape recorder*, *anti lock* pada sistem pengereman kendaraan bermotor [5], dll. Keuntungan lain dari magnet ini adalah bentuknya yang kecil tetapi dapat menghasilkan energi produk yang tinggi dan harganya yang murah dibandingkan dengan magnet samarium cobalt.

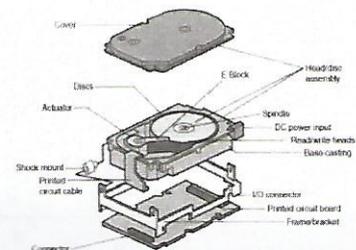
3. Metoda Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan adalah:

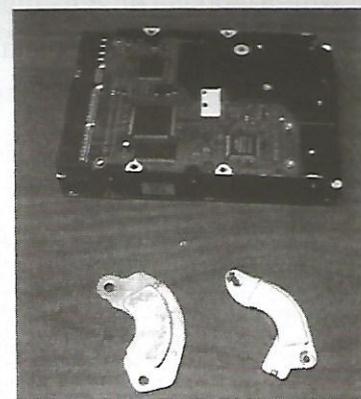
- Pengambilan sampel dari hard disk.
- Menghilangkan sifat magnet.
- Pengukuran komposisi kimia.

3.1. Pengambilan sampel

Untuk mendapatkan magnet NdFeB yang diinginkan, maka sampel magnet diambil dari hard disk komputer. Ada sepasang magnet NdFeB di dalam hard disk, yang berfungsi sebagai aktuator.



Gambar 3 : Rangkaian di dalam *hard disk* [4]



Gambar 4 : Magnet NdFeB di dalam *hard disk*

3.2. Menghilangkan Sifat Magnet

Sifat magnet yang dimiliki oleh magnet NdFeB sangat tinggi, untuk itu sebelum dilakukan pengujian komposisi, sifat magnet tersebut harus dihilangkan terlebih dahulu dengan cara didemagnetisasi dengan alat *impuls magnetizer*.

3.3. Pengukuran Komposisi Kimia

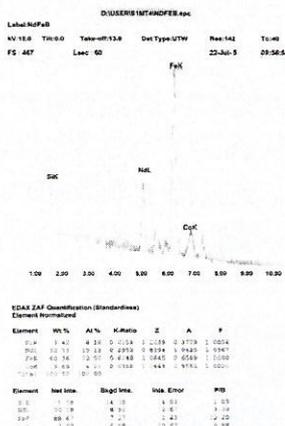
Pengukuran komposisi dilakukan dengan alat uji EDS. Sampel magnet NdFeB ditempatkan pada suatu holder, yang kemudian ditembak dengan elektron, yang kemudian akan menghasilkan data yang diinginkan.



Gambar 5 : Alat Energy Dispersive Spectroscopy (EDS).

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengukuran dengan EDS, maka dapat diketahui unsur pembentuk magnet NdFeB beserta komposisi kimianya berdasarkan persen berat seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 6 : Data Hasil Pengukuran

Dari gambar tersebut dapat ditabelkan seperti di bawah ini.

Tabel 2 : Komposisi Kimia

No	Unsur	% wt
1.	Silikon (Si)	3,42
2.	Cobalt (Co)	3,69
3.	Neodymium (Nd)	32,53
4.	Besi (Fe)	60,36
	TOTAL	100

Dari hasil data yang diperoleh, dapat diketahui unsur pembentuk magnet NdFeB adalah Besi, Neodymium, Cobalt dan Silikon. Unsur Boron tidak ditemukan pada kurva hasil pengukuran. Menurut perkiraan, didalam magnet NdFeB seharusnya mengandung Boron. Hal ini disebabkan karena EDS hanya dapat mendeteksi unsur yang memiliki nomor atom lebih besar dari Boron. Untuk dapat mendeteksi Boron harus dilakukan dengan analisa komposisi kimia dengan metoda yang lain seperti analisa basa, Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) dll.

Dari data hasil pengukuran dapat diketahui bahwa unsur utama pembentuk magnet NdFeB adalah Besi (Fe) dengan komposisi 60,36% dan Neodymium (Nd) sebesar 32,53%. Boron juga termasuk unsur utama pada magnet ini. Berdasarkan studi literatur komposisi kimia Boron dalam magnet NdFeB dapat berkisar antara 7–14%.

Unsur lain adalah Silikon (Si) sebesar 3,42% dan Cobalt (Co) sebesar 3,69%. Unsur Si dan Co pada magnet NdFeB adalah sebagai aditif yang dapat berfungsi untuk meningkatkan sifat magnet seperti ; induksi remanen, koersifitas dan produk energi maksimum. Selain itu aditif ini juga dapat meningkatkan ketahanan korosi dan dapat meningkatkan temperatur curie.

Komposisi kimia suatu magnet permanen dapat divariasikan sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan, dan aplikasinya. Tabel 3 dibawah ini adalah beberapa kode komposisi magnet NdFeB yang biasa terdapat di pasaran, dengan sifat magnetnya.

Tabel 3 : Komposisi Kimia NdFeB yang ada di pasaran [4]

Komposisi	Br (gauss)	Hc (Orsted)	BHmax (MGOe)
BN0563	4900	4000	8000
BN0865	6000	5000	8000
BN0966	6300	5600	1500
BN1060	6800	4900	800

Data dari tabel tersebut di atas dapat diketahui bahwa komposisi kimia sangat menentukan sifat magnet yang akan dihasilkan.

5. Kesimpulan

- 1). Unsur utama pembentuk magnet NdFeB yang didapat dari hard disk adalah Besi (Fe) dengan komposisi 60,36% dan Neodymium (Nd) sebesar 32,53%.
- 2). Aditif / unsur penunjang yang digunakan untuk meningkatkan sifat magnet bahan adalah Silikon (Si) sebesar 3,42% dan Cobalt (Co) sebesar 3,69%.
- 3). Boron yang merupakan salah satu unsur utama pembentuk magnet NdFeB tidak dapat

dideteksi menggunakan EDS, karena alat ini hanya dapat mendeteksi suatu unsur yang memiliki nomor atom lebih besar dari Boron.

- 4). Analisa komposisi Boron dapat dilakukan dengan teknik pengujian yang lain, seperti analisa basa, AAS dll.

Ucapan Terima kasih

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala PPET-LIPI atas izinnya untuk mempublikasikan penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

1. Dura magnetics, Inc. "Neodymium Iron Boron (NdFeB)", 2006, <http://www.duramag.com>
2. Magnets Company, "Permanent Magnet Product", USA, 2000, <http://www.stanfordmagnets.com/magnet.html>
3. ChenYang Technologies GmbH & Co. KG., "NdFeB Magnets", Germany, http://www.cy-magnetics.com/Mag_Info_NdFeB.htm.
4. Metal Powder Report, "Moulding technology for voice coil motor magnets", Copyright 2006, <http://www.metal-powder.net/april02feat2.html>.
5. Magnet source, "Neodymium Magnets", http://www.magnetsource.com/Solutions_Pages/NEOMAIN.html
6. Cullity, B.D., Intorduction to Magnetic Materials", Addison-Wesley Publishing Co.,USA, 1972.

Karakterisasi Proses Teksturing Anisotropik pada Silikon Kristal Tunggal dalam Membentuk Struktur Piramida Pada Sel Surya

Lilis Retnaningsih, Lia Muliani, Gandi Sugandi
Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI
Jl. Sangkuriang Komp LIPI Bandung
Telp/Fax : (022) 2504660, (022) 2504659
Email : retna@ppet.lipi.go.id

Abstract

In this paper anisotropic texturing process on silicon wafer surface, as a part in fabrication solar cell process will be presented. The idea of this research is to generate pyramids structure on silicon wafer surface, to reduce the light reflectivity on the solar cell surface. The process has been done by varying alkaline solution with IPA solution. These etching solution are warmed to 85-90°C and this temperature must be kept very stable. Silicon single crystal with <100> oriented is used. This research is intended to obtain optimum process of wafer surface with pyramids structure.

Key words : anisotropic, etch, texturing

Abstrak

Pada makalah ini akan mempresentasikan proses teksturing anisotropik pada permukaan wafer silikon, sebagai bagian dari proses pembuatan sel surya. Tujuan penelitian ini adalah membentuk struktur piramida pada permukaan wafer silikon, yang berfungsi untuk mengurangi refleksi sinar yang datang pada permukaan wafer modul sel surya yang dibuat. Proses dilakukan dengan memvariasikan larutan Alkalin (KOH dan NaOH) dengan larutan Isopropyl alkohol, dengan waktu dan konsentrasi larutan tertentu. Larutan dipanaskan pada suhu antara 85-90°C dan suhu dijaga tetap stabil. Wafer yang digunakan adalah silikon kristal tunggal, dengan orientasi <100>. Dari hasil penelitian ini akan diketahui proses teksturing yang optimum, untuk mendapatkan struktur permukaan wafer yang membentuk piramida dengan baik.

Kata kunci : anisotropik, etsa, teksturing

1. Pendahuluan

Salah satu aplikasi dari industri semikonduktor yang dewasa ini sangat dibutuhkan adalah penggunaan sumber energi alternatif yang tepat, yaitu divais sel surya sebagai salah satu sumber tenaga listrik yang murah, bebas polusi dan alami. Yang menjadi hambatan antara lain kemampuan sel surya yang belum optimal dalam menghasilkan tenaga listrik, karena proses pembuatannya memerlukan pembiayaan yang mahal [1].

Teknologi sel surya merupakan salah satu

jenis teknologi masa depan yang mana hingga kini para peneliti masih mencari divais sel surya yang murah dengan kualitas yang baik. Usaha untuk menurunkan harga panel sel surya dapat dilakukan dengan meningkatkan efisiensi (konversi) dari sel suryanya, yaitu parameter yang menyatakan prosentase dari besarnya energi listrik yang bisa dihasilkan oleh sel surya dibandingkan dengan besarnya energi cahaya yang diterima [2].

Teknik pembuatan sel surya bermacam-macam bergantung kepada bahan dan alat yang digunakan, namun tujuannya sama untuk mencapai

efisiensi yang tinggi. Proses pembuatan sel surya mempunyai tahapan tertentu, dimana salah satu penelitian fabrikasi sel surya yang dilaksanakan di PPET LIPI saat ini menggunakan teknologi screen printing dengan memindahkan sejumlah pasta ke permukaan substrat yang dilanjutkan dengan proses pembakaran.

Tahapan awal proses yang dilakukan adalah pembentukan struktur piramida (texturing) pada permukaan wafer silikon kristal tunggal. Hasil yang dicapai akan mempengaruhi pada karakteristik sel surya yang dihasilkan. Proses teksturing ini bertujuan untuk mengurangi pantulan sinar matahari yang datang pada permukaan wafer, dengan berkurangnya pantulan tersebut maka akan meningkatkan penyerapan intensitas cahaya matahari sehingga dapat menaikkan efisiensi dari sel surya [3].

Pada umumnya proses teksturing pada wafer silikon kristal tunggal dengan orientasi $\langle 100 \rangle$ dilakukan dengan etsa basah secara anisotropik dengan larutan alkalin [4]. Larutan alkalin yang dapat digunakan antara lain NaOH dan KOH, dimana masing - masing dilarutkan dengan air dan dapat juga ditambahkan IPA (Isopropyl Alcohol). Penggunaan IPA diharapkan dapat meningkatkan kecepatan etsa kearah dalam. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi proses teksturing secara anisotropik dengan memvariasikan antara larutan NaOH, NaOH + IPA, KOH dan KOH + IPA, untuk mendapatkan struktur piramida yang paling baik. Struktur piramida hasil teksturing pada permukaan wafer dapat dilihat dengan menggunakan SEM.

2. Teksturing Anisotropik

Proses teksturing anisotropik adalah proses etsa untuk mengikis bagian dari permukaan

substrat dengan membentuk suatu susunan tertentu sesuai dengan yang diinginkan. Proses etsa basah anisotropik dilakukan dengan menggunakan suatu larutan tertentu (alkalin). Berdasarkan proses pengikisannya dan bahan pengetsanya etsa basah dibedakan menjadi etsa secara *isotropik* dan *anisotropik*. Pada etsa basah anisotropik kecepatan etsanya dipengaruhi oleh bidang kristal substrat. Dimana kecepatan etsa pada silikon kristal tunggal akan berbeda sesuai dengan orientasi bidang kristalnya. [5].

Proses etsa dapat dilakukan untuk membentuk struktur yang diinginkan sesuai dengan jenis wafer dan keperluan pengikisan untuk aplikasi sel surya pada penelitian ini wafer yang digunakan adalah silikon kristal tunggal dengan menggunakan etsa basah anisotropik dan bahan pengetsa menggunakan larutan alkalin KOH dan NaOH. Bentuk yang dihasilkan dari proses teksturing ini adalah bentuk pseudiperiodic (susunan piramida), yang berfungsi untuk mengurangi pantulan cahaya matahari pada permukaan wafer dan menaikkan penyerapan sinar yang datang ke dalam sel surya [4]. Semakin jelas dan bagus bentuk piramida yang dihasilkan, maka cahaya matahari yang dipantulkan semakin kecil.

3. Eksperimen

Pada proses terksturing ini digunakan wafer berukuran 1 inci dengan orientasi (100) yang telah dipotong dari ukuran yang sebenarnya. Setelah terbentuk potongan wafer yang diinginkan selanjutnya wafer tersebut dicelupkan kedalam Di- H_2O yang telah disiapkan, kemudian dicelupkan pada larutan HF 5% yaitu campuran HF (50ml) dan Di- H_2O (350ml), yang terakhir dibilas lagi dengan Di- H_2O .

Larutan yang digunakan ada empat macam, pada

proses kedua variasi waktu dilakukan untuk melihat perbedaan kecepatan etsa pada larutan yang menggunakan IPA dan yang tidak. Dalam hal ini yang diamati adalah perubahan ketebalan dari wafer akibat pengikisan yang terjadi dalam 3 bagian waktu.

3.1 Proses teksturing dengan larutan KOH

Pada proses teksturing ini larutan yang digunakan adalah KOH padat dengan berat (45 gram) yang telah ditimbang dengan neraca teknis, kemudian dilarutkan dalam Di-H₂O sebanyak (105 ml). sehingga terbentuk larutan KOH dengan konsentrasi (30%). Larutan KOH ini kemudian dipanaskan diatas Hot Plate sampai pada suhu antara 85°C-90°C sambil terus diaduk. Setelah suhu tercapai maka sampel yang telah dibersihkan dimasukkan ke dalam larutan selama 5 menit. Setelah itu diangkat dibilas dengan Di-H₂O yang mengalir lalu dimasukkan pada larutan HCl yang telah dicampur dengan Di-H₂O dengan perbandingan 1 : 1, dimasukkan pada Di-H₂O kemudian pada larutan HF dan terakhir pada Di-H₂O lalu dikeringkan.

3.2 Proses teksturing dengan larutan KOH dan IPA

Pada proses teksturing kedua larutan yang digunakan adalah KOH padat seberat (45 gr), Di-H₂O (85 ml) dan IPA (Isopropyl Alkohol) sebanyak 20 ml. KOH dan Di-H₂O dilarutkan dahulu, kemudian ditambahkan IPA setelah itu dipanaskan di atas Hot Plate sampai suhu antara 85°C-90°C sambil terus diaduk. Setelah suhu tercapai maka sampel yang telah dibersihkan dimasukkan ke dalam larutan selama 5 menit. Setelah itu diangkat dibersihkan pada Di-H₂O yang mengalir lalu

dimasukkan pada larutan HCl yang telah dicampur dengan Di-H₂O dengan perbandingan 1 : 1, dimasukkan pada Di-H₂O kemudian pada larutan HF dan terakhir pada Di-H₂O lalu dikeringkan.

3.3 Proses teksturing dengan larutan NaOH

Pada proses teksturing yang ketiga larutan yang digunakan adalah NaOH padat seberat (45 gram) yang dilarutkan ke dalam (105 ml) Di-H₂O. Seperti halnya pada proses teksturing pertama menghasilkan larutan NaOH dengan konsentrasi 30%, kemudian dilanjutkan seperti proses di atas.

3.4 Proses teksturing dengan larutan NaOH dan IPA

Pada proses teksturing yang keempat larutan yang digunakan adalah NaOH padat seberat (45 gr), Di-H₂O (85 ml) dan IPA sebanyak 20 ml. Seperti pada proses yang sebelumnya tahapannya mengikuti alur seperti di atas.

4. Hasil dan Analisa

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil proses teksturing dari masing-masing larutan yang dibuat, yaitu larutan alkaline KOH, KOH + IPA, NaOH, NaOH + IPA. Untuk pengamatan yang pertama konsentrasi larutan yang dipakai dibuat sama, untuk mengetahui struktur piramida dari masing-masing proses maka waktu yang digunakan adalah 5 menit, hal ini dilakukan karena waktu 5 menit dianggap mewakili waktu yang optimum untuk proses teksturing dengan konsentrasi 30%.

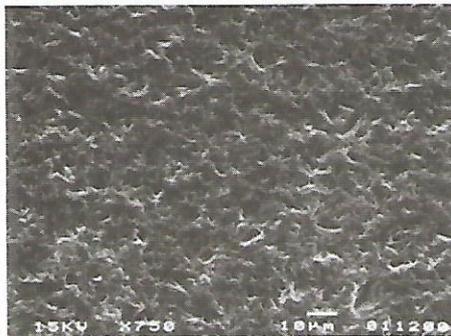
Proses teksturing dengan menggunakan larutan alkaline NaOH dan KOH merupakan proses etsa dengan kecepatan reaksi yang cepat, dan merupakan proses reaksi yang bersifat eksotermal, karena menghasilkan panas. Dari keempat larutan

yang dibuat, hasil proses teksturing dapat dilihat secara visual, juga dapat dilihat struktur piramidanya melalui alat SEM dengan perbesaran 200 X dengan sudut 45° .

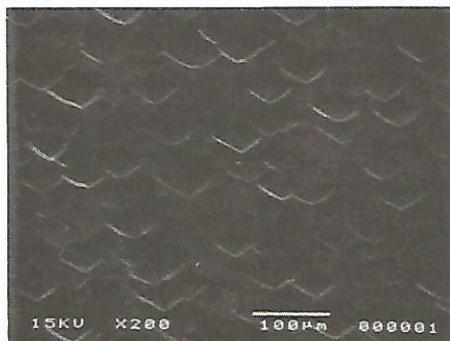
Untuk pengamatan yang kedua konsentrasi dan jumlah larutan masih sama, tetapi waktu pengamatan yang dilakukan ada 3 macam, yaitu 3 menit, 5 menit dan 7 menit. Dari setiap menit yang ditentukan dilakukan pengukuran ketebalan dari masing-masing sampel, yang bertujuan untuk mengetahui kecepatan etsa dari setiap larutan.

Bentuk piramida pada SEM

Hasil proses teksturing dari percobaan diatas, struktur permukaan wafernya dapat dilihat menggunakan SEM seperti gambar dibawah ini :

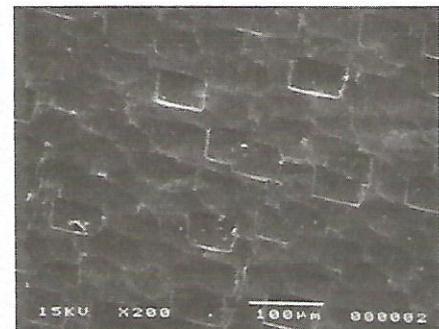


Gambar 1: Struktur permukaan wafer sebelum proses teksturing

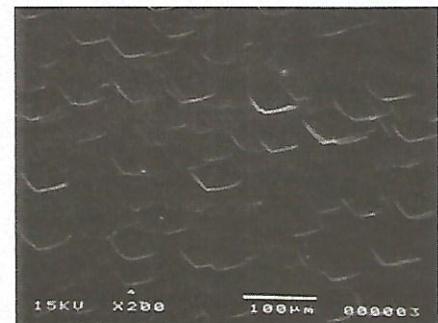


Gambar 2: Struktur permukaan wafer setelah teksturing dengan KOH

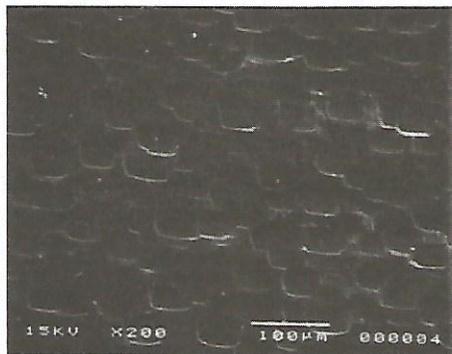
Dari gambar-gambar tersebut terlihat bahwa proses teksturing dengan menggunakan larutan alkalin yang telah ditentukan dapat merubah struktur permukaan wafer silikon menjadi bentuk piramida sesuai dengan yang diinginkan. Dari keempat gambar hasil teksturing terlihat adanya perbedaan bentuk struktur. Gambar 1 menunjukkan suatu permukaan wafer yang belum di teksturing sehingga bentuknya belum terstruktur. Gambar 2 menunjukkan struktur permukaan wafer yang telah di etsa dengan larutan KOH, gambar 3 menunjukkan permukaan wafer yang telah dietsa dengan larutan KOH + IPA, gambar 4 menunjukkan permukaan wafer yang telah dietsa dengan larutan NaOH, dan gambar 5 menunjukkan permukaan wafer yang telah dietsa dengan larutan NaOH + IPA. Untuk larutan yang menggunakan IPA terlihat pengikisannya lebih banyak karena sifat dari IPA adalah membantu mempercepat.



Gambar 3: Struktur permukaan wafer setelah teksturing dengan KOH + IPA



Gambar 4: Struktur permukaan wafer setelah teksturing dengan NaOH



Gambar 5: Struktur permukaan wafer setelah Teksturing dengan NaOH + IPA

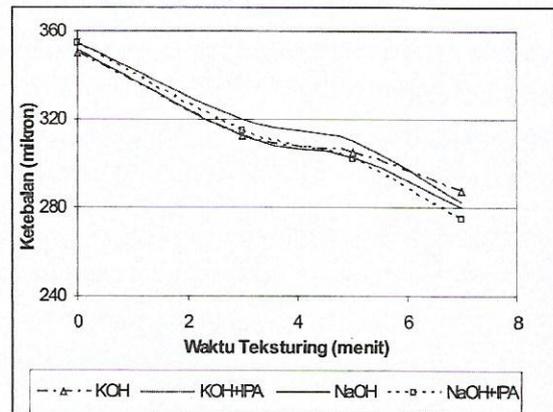
pengikisan (etsa), sehingga waktu yang dibutuhkan bisa lebih singkat. Untuk larutan yang menggunakan NaOH dibandingkan dengan yang menggunakan KOH terlihat hasilnya lebih baik, karena sifat basa NaOH lebih kuat.

Untuk pengamatan kedua dilakukan proses teksturing dengan memvariasikan waktu untuk melihat perubahan ketebalan akibat proses etsa, hasilnya dapat dilihat seperti pada tabel di bawah ini :

Tabel 1. Tabel Perubahan Ketebalan terhadap Perubahan Waktu

Larutan Alkalin	Ketebalan Wafer			
	0 (menit Awal)	3 menit	5 menit	7 menit
KOH	350 μm	312,5 μm	305 μm	287,5 μm
KOH + IPA	355 μm	320 μm	310 μm	282,5 μm
NaOH	352 μm	312,5 μm	302,5 μm	280 μm
NaOH + IPA	355 μm	315 μm	302 μm	275 μm

Dari hasil pengamatan perubahan ketebalan seperti data di atas maka dibuat dalam bentuk grafik, agar terlihat larutan mana yang mengalami etsa paling cepat.



Gambar 6 : Grafik Ketebalan Vs waktu

5. Kesimpulan

Dari eksperimen etsa anisotropik yang telah dilakukan terhadap silikon dengan orientasi $\langle 100 \rangle$, maka dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Dari keempat macam larutan alkalin yang digunakan sebagai larutan pengetsa seluruhnya dapat berfungsi sebagai larutan pengetsa basah anisotropik.
2. Dengan konsentrasi larutan yang sama dan waktu etsa yang sama dari empat macam larutan tersebut, hasil yang diamati pada permukaan wafer dengan menggunakan alat SEM terlihat adanya perbedaan struktur piramida yang dihasilkan.
3. Dari pengamatan terhadap permukaan struktur dan pengamatan terhadap kecepatan etsa terlihat larutan yang menggunakan IPA cenderung lebih cepat teretsa, sedangkan antara larutan KOH dan NaOH, larutan NaOH lebih cepat mengikis permukaan.

Ucapan Terimakasih

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua rekan-rekan di PPET-LIPI yang telah terlibat dalam penelitian ini, juga terimakasih

kepada PPET-LIPI yang telah memberikan kesempatan kepada kami untuk melakukan penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

1. Hariadi, "Sel Surya Menggunakan Bahan Organik", *majalah Elektronika Indonesia, edisi ke-12, Maret 1998*.
2. Wenas, W, Wilson, "Teknologi Sel Surya : Perkembangan Dewasa ini dan yang akan datang", *majalah Elektronika Indonesia, edisi ke-4, Oktober 1996*.
3. William L. Baley etal, "Texture Etching of Silicon Method", *United States Patent 4,137,123., Januari, 30, 1979*.
4. A.R. Burgers, C.j.j. Tool, J.D.Hylton, A.W.Weerbe., "Silicon Solar Cells Texturedby Reactive Ion Etching and Processed with Screen Printing", *2nd Photovoltaic World Conference, Viena, 1998*.
5. Soegandi, Totok. M.S, Wiranto, G dan Amri. C "Karakteristik Etsa Anisotropik Larutan KOH terhadap Silikon (100) dalam Membentuk Stuktur Mikromeka-nik Berbasis Teknologi MEMS", *Jurnal Himpunan Fisika Indonesia Vol, A5 no. 0598, 2002*.

Keterangan :

Makalah ini telah dipresentasikan pada Temu ilmiah Jaringan kerjasama Kimia Indonesia, Seminar Nasional ke XIV KIMIA DALAM INDUSTRI DAN LINGKUNGAN.

Pengaruh Proses Pembakaran terhadap Nilai Refleksi Lapisan TiO₂ pada Sel Surya

Lia Muliani, Gandi Sugandi, Totok MS. Soegandi, Lilis Retnaningsih
Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI
Jl. Sangkuriang Komp. LIPI Gd.20 Bandung
Tlp. (022) 2502660, Fax. (022) 2504659
Email : lia@ppet.lip.go.id

Abstract

Characterization of fabrication process of anti reflection coating (ARC) of TiO₂ have been done at our ME laboratorium (PPET LIPI). The influence of firing process to reflection value of TiO₂ film will be described in this paper. IR Conveyor Belt Furnace is used in this process. TiO₂ film was deposited on p type Si single crystalline by screen printing method by varying firing time (belt speed) and temperature around 475°C-525°C. Reflection value of TiO₂ film was measured by UV Spectrophotometry. The minimum reflection value is 4,5% at wavelengths 700 nm.

Key Word : titanium dioxide (TiO₂), reflection value, Anti Reflection Coating

Abstrak

Karakterisasi proses pembuatan lapisan anti refleksi, TiO₂, telah dilakukan di Laboratorium ME PPET-LIPI. Pada tulisan ini diuraikan pengaruh proses pembakaran terhadap nilai refleksi lapisan ARC TiO₂ pada silikon sel surya. Proses pembakaran dilakukan dengan Conveyor Belt Furnace IR, sedangkan proses deposisi lapisan dilakukan dengan metode screen printing. Deposisi lapisan TiO₂ yang berupa pasta dilakukan diatas wafer silikon kristal tunggal, tipe p, dengan memvariasikan waktu (kecepatan belt) dan suhu pembakaran antara 475°C-525°C. Nilai Refleksi diukur dengan menggunakan Spektrofotometer UV, dan dihasilkan nilai terkecil sebesar 4,5% pada panjang gelombang 700 nm

Kata Kunci : Titanium dioksida (TiO₂), Nilai Refleksi, Lapisan ARC

1. Pendahuluan

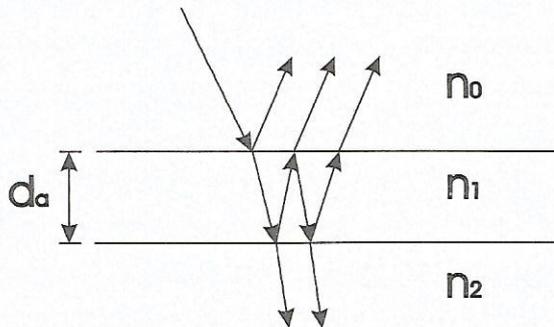
Meningkatnya kebutuhan energi di Indonesia, mendorong para peneliti mencari dan mengembangkan energi listrik alternatif. Sel surya merupakan salah satu energi alternatif ramah lingkungan dan terbarukan (*renewable energy*) yang dapat dikembangkan. Penelitian pembuatan sel surya di Indonesia masih sangat terbatas. Sekarang ini PPET-LIPI sedang melakukan penelitian pembuatan sel surya dengan berbagai teknologi diantaranya dengan teknologi screen printing. Proses utama pembuatan sel surya terdiri atas beberapa tahapan proses, yaitu pembentukan

sambungan p-n (*p-n junction*), pelapisan anti refleksi dan metalisasi. Karakterisasi proses pelapisan anti refleksi (ARC) merupakan salah satu bagian dari penelitian pembuatan sel surya di PPET-LIPI.

Lapisan anti refleksi ini berfungsi untuk mengurangi refleksi cahaya yang datang pada permukaan substrat. Substrat yang biasa digunakan dalam proses pembuatan sel surya adalah silikon, baik kristal tunggal maupun multi kristal. Permukaan silikon memantulkan cahaya sekitar 35-50% bergantung kepada panjang gelombang cahayanya antara 400-1100 nm [4]. Lapisan anti

refleksi dapat mereduksi pantulan (refleksi) cahaya pada permukaan silikon hingga dibawah 10%. [4].

Prinsip kerja lapisan anti refleksi ditunjukkan pada Gambar.1 [5]



Gambar.1 Anti refleksi pada lapisan tipis

Cahaya datang yang menembus sebuah medium berindeks bias (refraksi) n_0 melalui lapisan tipis dari material transparan yang dideposisi pada permukaan semikonduktor dengan ketebalan d_a dengan indeks bias n_1 , kemudian akan masuk kedalam semikonduktor yang berindeks bias n_2 . Pada cahaya monokromatik, refleksi minimum terjadi ketika garis optik adalah seperempat panjang gelombang dimana ketebalan lapisan [5]:

$$d_a = \lambda / 4n_1 \dots\dots\dots (1)$$

Untuk ketebalan lapisan optimum, besarnya refleksi R bergantung kepada indeks bias ketiga lapisan tersebut,

$$(n_1^2 + n_0 n_2) R_{min} = (n_1^2 - n_0 n_2)^2 \dots\dots\dots (2)$$

Refleksi absolute minimum pada indeks bias refraksi lapisan :

$$n_1 = (n_0 n_2)^{1/2} \dots\dots\dots (3)$$

Misalnya Silikon memiliki indeks refraksi $n_2 = 3,939$ pada $\lambda = 600\text{nm}$, udara $n_2 = 1,0$ (glas $n_2 = 1,52$). Sehingga untuk mendapatkan nilai refleksi minimum, lapisan anti refleksi untuk silikon sel surya di udara harus memiliki indeks refraksi $n_1 = 2$ dengan ketebalan $75,6 \text{ nm}$, dan untuk sel yang telah dienkapsulasi dengan glass $n_1 = 2,45$, ketebalan $61,3 \text{ nm}$ [1].

Bahan yang banyak digunakan pada industri sel surya sekarang ini adalah titanium oksida (TiO_x) dan silikon nitrida (Si_xN_y). Anti refleksi Si_xN_y dideposisi dengan cara *Chemical Vapor Deposition* (CVD), sedangkan anti refleksi TiO_x dideposisi dengan metoda screen printing atau spray.

Pada penelitian ini bahan anti refleksi yang digunakan adalah Titanium dioksida (TiO_2) yang dideposisi dengan cara screen printing dan dibakar pada Conveyor Belt Furnace.

2. Titanium dioksida (TiO_2)

TiO_2 merupakan lapisan tipis yang biasa digunakan sebagai lapisan ARC pada proses pembuatan sel surya terutama Buried Contact karena sifat optiknya yang baik serta biaya deposisinya murah [2]. TiO_2 tidak beracun dan penangananyapun mudah. Selain berfungsi sebagai lapisan ARC, TiO_2 dapat digunakan sebagai masker untuk proses elektrodes pada proses metalisasi dalam pembuatan sel surya Buried Contact.

Lapisan TiO_2 dapat dideposisi pada suhu rendah antara 350°C - 700°C (*anatase*) dan stabil pada suhu tinggi (800°C - 1000°C). Hal ini dikarenakan TiO_2 memiliki fase *anatase* dan fase *rutile*.

TiO_2 memiliki sifat optik yang baik dengan indeks bias sekitar 1,9-2,4 pada panjang

gelombang 600nm. Berdasarkan persamaan(3) diatas, TiO_2 merupakan bahan anti refleksi yang sangat baik karena memiliki indeks bias 2,4, oleh karenanya TiO_2 menjadi pilihan sebagai bahan anti refleksi pada pembuatan sel surya.

3. Pembakaran dengan Conveyor Belt Furnace IR

Banyak teknik yang telah dikembangkan dalam pembentukan lapisan ARC ini, dan salah satu metodenya adalah dengan teknik screen printing. Dengan teknik ini bahan TiO_2 yang digunakan berbentuk pasta ditransfer ke atas substrat melalui screen dengan tekanan tertentu. Pada teknik inipun jumlah pasta yang akan ditransfer disesuaikan dengan jenis dan ukuran mesh dari screen yang digunakan. Selain itu juga yang perlu diperhatikan adalah viskositas dari pasta dan kondisi proses screen printing seperti jarak *snap off* dan kecepatan *squeegee*.

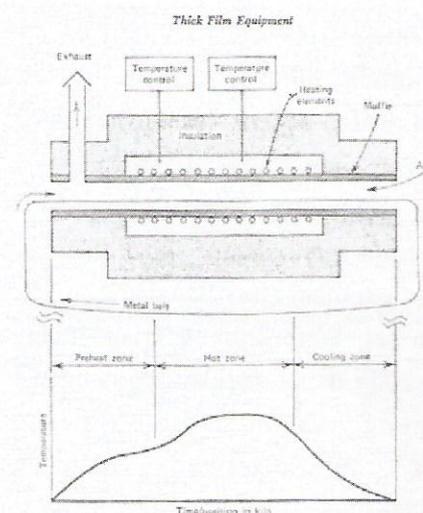
Setelah proses deposisi pasta TiO_2 ke atas substrat, tahap selanjutnya dilakukan pembakaran pada suhu tertentu. Proses pembakaran dilakukan dalam Conveyor Belt Furnace, seperti umumnya dilakukan dalam pembuatan sel surya dengan cara screen printing. Proses pembakaran dengan menggunakan Conveyor Belt Furnace IR dibatasi oleh waktu (kecepatan belt) dan suhu. Parameter ini sangat penting dan berpengaruh pada profil suhunya. Ada tiga daerah pembakaran yang perlu diperhatikan, yaitu [3]

1. *Preheat Zone*, yaitu daerah pemanasan awal dimana suhu mulai naik. Pada daerah ini kandungan bahan-bahan organik dalam pasta akan menguap.
2. *Hot Zone*, yaitu daerah dimana substrat akan dibawa pada suhu puncak, dan suhu puncak

dibuat constan selama waktu tertentu. Pada daerah inilah terjadi pembakaran, dimana reaksi yang diharapkan akan terbentuk.

3. *Cooling Zone*, yaitu daerah pendinginan, agar tidak terjadi kejutan (shock) temperatur.

Gambar.2 dibawah ini adalah gambar penampang lintang furnace dan profil suhunya



Gambar.2 Penampang lintang furnace dan profil suhunya

Pada penelitian ini furnace yang digunakan adalah Conveyor Belt Furnace IR, RTC yang memiliki 3 zone pembakaran dengan suhu maksimal sekitar 1050 °C. Zone-1 merupakan zone untuk pemanasan awal, proses pembakaran yang utama berlangsung pada zone-2 dan zone-3. Jumlah panjang zone-2 dan zone-3 itu sendiri adalah 22,5 inci

4. Eksperimen

Percobaan ini bertujuan untuk karakterisasi proses pembentukan lapisan anti refleksi TiO_2 dengan metode screen printing yang dilanjutkan dengan pembakaran pada Conveyor Belt Furnace. Pengaruh suhu dan waktu pembakaran dibuat bervariasi untuk melihat pengaruhnya terhadap ketebalan lapisan yang

terbentuk. Ketebalan lapisan ini berhubungan dengan nilai refleksi yang dihasilkan.

Bahan anti refleksi yang digunakan adalah TiO_2 dalam bentuk pasta dari produk Ferro 99-007. Ferro 99-007 TiO_2 memiliki spesifikasi ; warna lapisan biru, indeks bias 1,9-2,1, ketebalan lapisan 800-1200 Angstrom. Substrat yang digunakan adalah wafer untuk pembuatan sel surya yaitu wafer silikon kristal tunggal (*single crystalline*) tipe p, ketebalan $350 \pm 40 \mu\text{m}$ dengan orientasi $\langle 100 \rangle$.

Percobaan dimulai dengan proses preparasi permukaan wafer seperti teksturing dan pencucian. Proses teksturing biasa dilakukan pada proses pembuatan sel surya untuk membentuk struktur piramida pada permukaan substrat dengan tujuan mengurangi pantulan sinar matahari yang datang pada permukaan sel. Wafer silikon kristal tunggal dengan orientasi $\langle 100 \rangle$ dapat diteksturing dengan mudah dan murah menggunakan larutan alkaline secara anisotropik^[1]. Proses teksturing dilakukan dengan menggunakan larutan KOH 30% yang dipanaskan sekitar 85°C . Setelah proses teksturing, wafer dicuci untuk menghilangkan kontaminasi metal pada permukaan wafer dengan larutan RCA dan HF 5%.

Proses dilanjutkan dengan deposisi pasta TiO_2 di atas wafer silikon dengan metoda pencetakan (*screen printing*). Screen yang digunakan adalah nylon 120T, sedangkan parameter proses pencetakan dibuat tetap dengan jarak snap off sekitar 1-3 mm. Pasta TiO_2 yang sudah dicetak diatas wafer, didiamkan pada suhu ruang kemudian dikeringkan (*prebake*) dalam oven pada suhu sekitar 100°C . Tujuan dari pengeringan ini adalah menghilangkan bahan organik yang mudah menguap, yang terkandung dalam pasta. Setelah proses pengeringan dilanjutkan dengan pembakaran pada Conveyor Belt Furnace.

Pembakaran pasta TiO_2 dilakukan dengan memvariasikan suhu pembakaran dan waktu pembakaran. Waktu pembakaran diwakili dengan kecepatan belt. Suhu pembakaran ditetapkan 475°C ,

500°C , 525°C , sedangkan kecepatan belt 5 ipm, 7,5 ipm, 10 ipm, 12,5 ipm dan 15 ipm. Pada lapisan TiO_2 yang terbentuk dilakukan pengamatan visual, pengukuran ketebalan lapisan dengan Elipsometer dan pengukuran refleksi cahaya dengan alat UV Spektrofotometer.

5. Hasil dan Analisa

Berdasarkan pengamatan visual, terlihat bahwa hasil deposisi pasta TiO_2 dengan metoda screen printing cukup merata. Sebelum diukur untuk mengetahui nilai refleksi dari lapisan ARC yang terbentuk, dilakukan pengukuran ketebalan terlebih dahulu. Ketebalan lapisan ARC yang dihasilkan adalah 900Å - 1300Å . Nilai ini sesuai dengan yang direkomendasikan dari Ferro sebagai pembuat pasta. Data hasil pengukuran ketebalan yang terbentuk berdasarkan variasi suhu pembakaran dan kecepatan belt, ditampilkan pada Tabel.1

Tabel.1 Ketebalan lapisan TiO_2 berdasarkan suhu dan kecepatan pembakaran

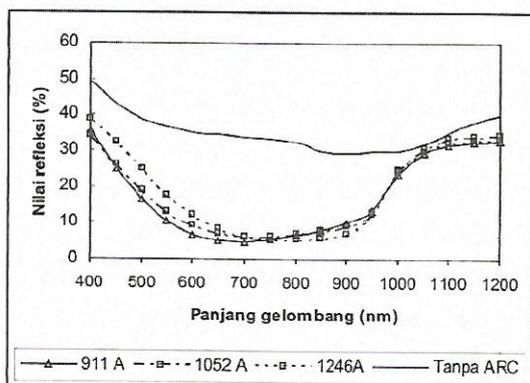
Kecepatan Belt (Ipm)	Ketebalan Lapisan (Å)		
	475 °C	500 °C	525 °C
5	930	914	911
7.5	1019	933	925
10	1150	950	945
12.5	1205	1052	1001
15	1242	1208	1058

Berdasarkan data pada Tabel.1 terlihat bahwa secara umum kondisi pembakaran mempengaruhi besarnya ketebalan lapisan TiO_2 yang dihasilkan. Pada kecepatan yang sama, semakin besar suhu maka ketebalan semakin kecil (tipis). Demikian pula semakin cepat waktu pembakaran pada suhu yang sama maka lapisan semakin tebal. Hal ini disebabkan apabila pembakaran dilakukan pada suhu yang terlalu tinggi, maka ada sebagian bahan TiO_2 yang menguap sehingga lapisan yang terbentuk menjadi tipis. Sedangkan apabila

kecepatan pembakaran terlalu cepat, kemungkinan pembakaran belum sempurna, masih terdapat bahan organik yang belum menguap.

Ketebalan lapisan ini juga dapat ditunjukkan dari warna lapisan TiO_2 yang dihasilkan. Warna biru dihasilkan pada lapisan dengan ketebalan sekitar 900 \AA - 1000 \AA untuk suhu pembakaran 500°C dan 525°C dengan kecepatan 5-10 ipm (*inch per minute*). Untuk suhu yang sama dengan kecepatan diatas 10 ipm dihasilkan lapisan berwarna kuning kebiruan dengan ketebalan 1000\AA - 1300\AA .

Untuk mengetahui seberapa besar fungsi lapisan anti refleksi dalam membantu untuk penyerapan cahaya pada permukaan sel, maka dilakukan pengukuran besarnya nilai refleksinya. Data Tabel.1 diatas menunjukkan kondisi pembakaran akan mempengaruhi ketebalan lapisan ARC. Pengukuran refleksi ini dilakukan berdasarkan perbedaan ketebalan untuk mengetahui pengaruh proses pembakaran terhadap nilai refleksi lapisan ARC. Pengukuran nilai refleksi ini diwakili untuk ketebalan sekitar 911\AA , 1052\AA , dan 1246\AA . Gambar 3 dibawah ini menunjukkan nilai refleksi cahaya untuk lapisan TiO_2 .



Gambar.3 Grafik nilai Refleksi

Sel surya dapat menyerap cahaya matahari efektif pada panjang gelombang sekitar (500-800)nm. Pada gambar tersebut terlihat bahwa lapisan TiO_2 yang dibuat telah dapat berfungsi sebagai lapisan anti refleksi dimana dapat mengurangi nilai refleksi cahaya yang jatuh pada permukaan wafer. Pada wafer yang tidak dilapisi lapisan TiO_2 nilai refleksi yang terukur adalah sekitar 35%, sedangkan untuk wafer yang telah dilapisi lapisan TiO_2 , nilai refleksinya dibawah 10%.

Untuk ketebalan yang berbeda nilai refleksi yang terukur juga berbeda. Ketebalan lapisan ini akan mempengaruhi nilai indeks refraksi dari TiO_2 sehingga akan mempengaruhi nilai refleksi yang dihasilkan. Indeks bias pada ketebalan sekitar 911 \AA adalah 1,9 dan didapatkan nilai refleksi terendah pada panjang gelombang 700nm yaitu sebesar 4,5% Warna lapisan yang dihasilkan pada kondisi ini adalah biru terang. Nilai refleksi sebesar 4,5% didapat pada kondisi pembakaran dengan suhu 525°C dengan kecepatan 5 ipm. Sedangkan untuk ketebalan 1000\AA - 300\AA , nilai refleksinya diatas 5% dengan indeks bias sebesar 1,7

6. Kesimpulan

Karakterisasi proses pembuatan lapisan anti refleksi TiO_2 di atas permukaan wafer silikon telah dilakukan di Laboratorium ME PPET-LIPI dengan pembakaran menggunakan Conveyor Belt Furnace IR. Lapisan TiO_2 yang dibuat telah dapat berfungsi sebagai lapisan anti refleksi untuk sel surya dengan penurunan nilai refleksi dari 35% menjadi sekitar 4,5% pada panjang gelombang 700 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pembakaran berpengaruh pada ketebalan dan nilai refleksi

lapisan TiO₂ Nilai refleksi 4,5% didapat pada panjang gelombang 700 nm, ketebalan 911 Å, warna lapisan biru terang dengan indeks refraksi 1,9. Nilai refleksi terendah di dapat pada kondisi pembakaran dengan suhu 525 °C kecepatan 5 ipm.

Ucapan Terima Kasih

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada LIPI dan PPET-LIPI yang telah memfasilitasi penelitian ini dalam Kegiatan Penelitian dan Pengembangan IPTEK (Riset Kompetitif) Sub program Energi Baru dan Terbarukan tahun 2005. Terima kasih juga buat Puslit Fisika LIPI serta rekan rekan peneliti dan teknisi atas bantuan dan kerjasamanya yang baik.

7. Daftar Pustaka

1. Richard B.S., "Novel Use of Titanium Dioxide for Silicon Solar Cells", *PhD Thesis, Center for Photovoltaic Engineering, UNSW, Sidney, Australia, 2002.*
2. Richard B.S., "Novel Uses of TiO₂ in Crystalline silicon Solar Cell", *28th IEEE PVSC, Alaska 2000.*
3. D.W Hamer, J.V Biggers., "Thick Film Hybrid Microcircuit Technology", *John Wiley & Sons, Inc. New York, 1972.*
4. Panek P, Lipinski M., at.al, "Industrial Technology of Multicrystalline silicon solar cells", *Opto Electronics Review., 11, No.4, 2003*
5. V. Benda., "Solar Cell Phycics and Technology", *Czech Technical University in Prague.*
6. Van Overstraeten, R. J., Mertens R. P., "Physics, Technology and Use of Photovoltaics", *Adam Hilger Ltd., Briston-England 1986*

Keterangan :

Makalah ini telah dipresentasikan pada Temu Ilmiah Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia, Seminar Nasional XIV KIMIA DALAM INDUSTRI DAN LINGKUNGAN di Yogyakarta pada tanggal 13-14 Desember 2005

Pemanfaatan Teknologi Komunikasi *Point to Point* untuk Telepon Pedesaan; *Project Areas: Kabupaten Belu, Nusa Tenggara Timur*

Nasrullah Armi¹, Arief Suryadi¹, Ros Sariningrum¹, Teguh Praludi¹
Puslit Elektronika dan Telekomunikasi LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135
Telp. (022) 2504660/1, Fax. (022) 2504659
armi@ppet.lipi.go.id

Abstract

Based on radio-wave Point to point communication is wireless phone to connect cloistered or isolated area to telephone line in town. This technology is used to overcome heavy barrier field due to the high hill, forest, great river, lake, sea and others, so that the telephone facility which needed in those areas, such as Kabupaten Belu, Nusa Tenggara Timur can be covered. This system is consist of central office digital radio telephone and subscriber digital radio telephone. The central office digital radio telephone equipment is placed in town that connected to telephone line. Then, the subscriber digital radio telephone is placed in remote or isolated area that telephone line can not be reached by the service provider.

Keywords : *point to point, central office, subscriber, digital radio*

Abstrak

Komunikasi point to point berbasis gelombang radio merupakan telepon tanpa kabel yang dibutuhkan untuk menghubungkan daerah-daerah terpencil atau terisolasi ke jaringan telepon didaerah perkotaan. Teknologi ini digunakan untuk mengatasi hambatan-hambatan berat seperti ketinggian bukit-bukit, hutan, sungai, danau, laut, dan sebagainya. Sehingga fasilitas komunikasi yang dibutuhkan pada daerah-daerah tersebut, seperti Kabupaten Belu, Nusa Tenggara Timur, dapat terpenuhi.

Sistem ini terdiri atas central office digital radio telephone dan subscriber digital radio telephone. Perangkat central office digital radio telephone ditempatkan disuatu daerah yang terhubung dengan sambungan telepon dari suatu penyedia layanan. Sedangkan subscriber digital radio telephone ditempatkan didaerah terpencil atau terisolasi dimana saluran telepon tidak dapat menjangkau daerah-daerah tersebut.

Kata Kunci: *titik ke titik, kantor pusat, subscriber, radio digital*

1. Pendahuluan

Seiring dengan mulai digulirkannya otonomi daerah, maka pembangunan didaerah pedesaan mulai berkembang. Beberapa daerah dengan potensi ekonomi tinggi mulai bermunculan. Hal ini juga berakibat mulai bergesernya aktifitas perekonomian dari yang dahulunya terpusat didaerah perkotaan ke daerah pedesaan. Namun tingginya aktivitas tersebut belum diimbangi dengan tersedianya infrastruktur penunjang

perekonomian yang memadai. Salah satunya adalah infrastruktur telekomunikasi, dalam hal ini ketersediaan sambungan telepon didaerah pedesaan. Untuk itu, sudah selayaknya mulai dipikirkan solusi dalam rangka pemenuhan sarana telekomunikasi didaerah pedesaan, sehingga selain dapat membantu percepatan pembangunan di daerah juga dapat menciptakan bentuk-bentuk usaha baru yang pada gilirannya dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat di daerah[1].

Beberapa daerah di Indonesia memiliki kontur geografis yang berbeda-beda. Pegunungan, bukit-bukit yang tinggi, daerah perairan merupakan daerah-daerah yang sangat sulit dijangkau oleh sambungan telepon. Ada beberapa teknologi komunikasi yang memungkinkan untuk mengatasi kendala-kendala tersebut, seperti teknologi satelit, selular, dan teknologi komunikasi point to point berbasis gelombang radio. Berdasarkan pertimbangan efisiensi biaya investasi awal dan data pengguna di daerah, maka teknologi komunikasi point to point berbasis gelombang radio memiliki efisiensi yang tinggi. Media udara sebagai pengganti kabel penghubung akan mempermudah mempercepat mengatasi medan penghalang yang berat seperti adanya bukit-bukit yang tinggi, hutan, sungai besar, danau, laut dan lain sebagainya, sehingga dirasakan kegunaannya untuk mengatasi tingginya kebutuhan fasilitas telepon di daerah-daerah yang belum terjangkau oleh saluran telepon; khususnya di Kabupaten Belu, Nusa Tenggara Timur (NTT).

Telepon radio memungkinkan masyarakat di daerah terpencil mendapatkan pelayanan komunikasi baik berupa telepon, faksimile, maupun komunikasi data yang bisa digunakan untuk mengakses jaringan internet.

Telepon pedesaan berbasis radio ini memberikan solusi cepat dan ekonomis bagi operator telekomunikasi maupun pengguna diantaranya adalah:

- Sambungan ke pelanggan di daerah terpencil (wartel, rumah, perusahaan kecil, dan lain-lain) atau pedesaan dengan satu atau dua saluran telepon dengan jarak 30-60 km dari sentral telepon.
- Solusi alternatif dari kawat tembaga untuk daerah pegunungan dan kepulauan.
- Sambungan darurat pada bencana alam.
- Sambungan keamanan untuk pengendalian

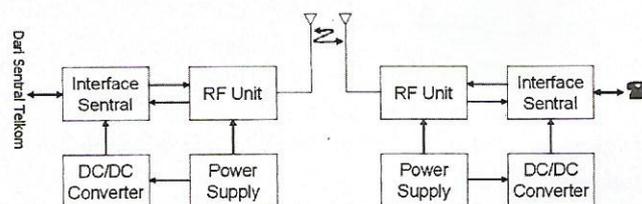
jarak jauh kawasan industri (contoh: data dan telepon).

- Tanggapan cepat untuk kebutuhan pelanggan bisnis.
- *Leased line*.

2. Deskripsi Sistem

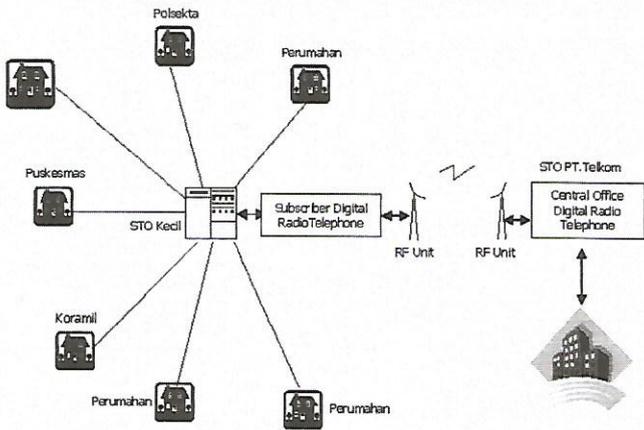
Sistem telepon pedesaan berbasis radio ini merupakan sistem radio VHF/UHF yang menyediakan satu atau lebih sambungan telepon pada satu kanal radio tunggal. Gambar 1 menunjukkan sistem telepon radio yang terdiri atas 2 bagian, yaitu [2]:

- a) *Central Office Unit*; ditempatkan di lokasi yang terhubung dengan jaringan telepon
- b) *Subscriber Unit*; ditempatkan di lokasi yang tidak terhubung oleh jaringan telepon (*remote or isolated area*).

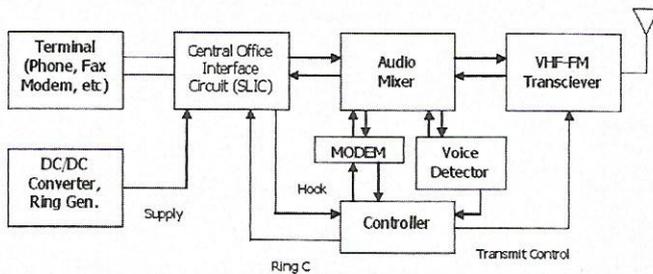


Gambar 1. Blok Diagram Sistem Komunikasi Rural

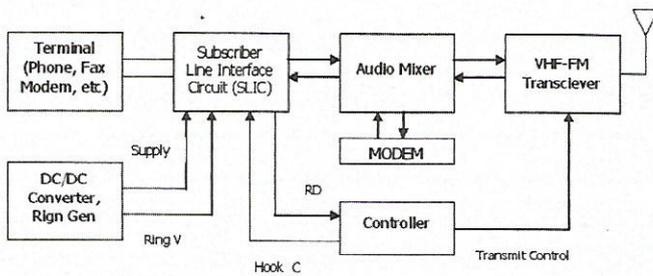
Untuk lebih mengoptimalkan penggunaannya, maka pada unit pelanggan (*subscriber unit*) perangkat dapat dihubungkan dengan sentral telepon kecil seperti ditunjukkan pada gambar 2. Sistem ini juga dapat dilengkapi dengan perangkat wartel sehingga memberikan pendapatan (*income*) untuk pemerintah desa setempat seperti yang telah dilakukan di Kabupaten Belu, NTT.



Gambar 2: Telepon radio digital menggunakan sentral telepon kecil



Gambar 3. Central office radio telephone



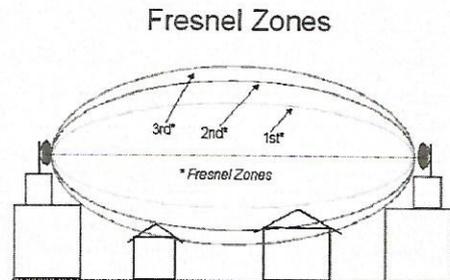
Gambar 4. Subscriber digital radio telephone

3. Line of Sight (LOS)

Salah satu hal yang penting dalam komunikasi radio pada frekuensi tinggi adalah kondisi *line of sight* antara pemancar dan penerima. Ada dua jenis *line of sight*, yaitu:

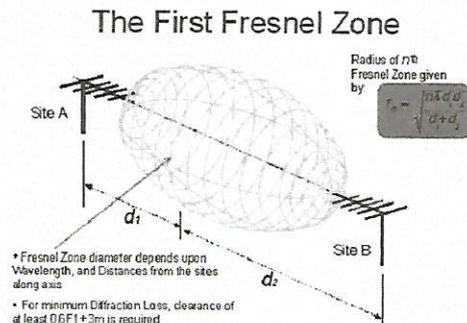
- *Optical Line of Sight*, kondisi dimana pemancar dapat melihat secara optik posisi penerima.
- *Radio Line of Sight*, kondisi dimana penerima bisa mendengarkan transmisi dari pemancar.

Kondisi ini secara teori (oleh Fresnel) digambarkan sebagai bola football antara dua lokasi yang saling berhubungan, seperti tampak pada gambar 5 [3].



Sumber: <http://www.waverider.com>
Gambar 5. Fresnel Zone

Untuk mengetahui berapa ketinggian minimal yang perlu di sediakan agar antenna dapat bekerja dengan baik, sebaiknya dihitung *Fresnel Zone Clearance (FZC)* yang diperlukan. Tampak pada gambar yang lain, bola rugby Fresnel diperlihatkan beserta rumus untuk menghitung ketinggian yang diperlukan.



Sumber: <http://www.waverider.com>
Gambar 6. Fresnel zone clearance

Untuk memperoleh *Line of Sight* yang baik, minimal sekali 60% dari Fresnel Zone yang pertama di tambah tiga (3) meter harus bebas dari berbagai hambatan/rintangan. Sebagai gambaran, *clearance* yang dibutuhkan untuk beberapa jarak antara pemancar dan penerima dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Clearance antara Pemancar dan Penerima

Jarak (km)	Clearance Minimal (m)
1	3.0
3	3.4
4	3.6
5	3.7
6	4.0
7	4.3

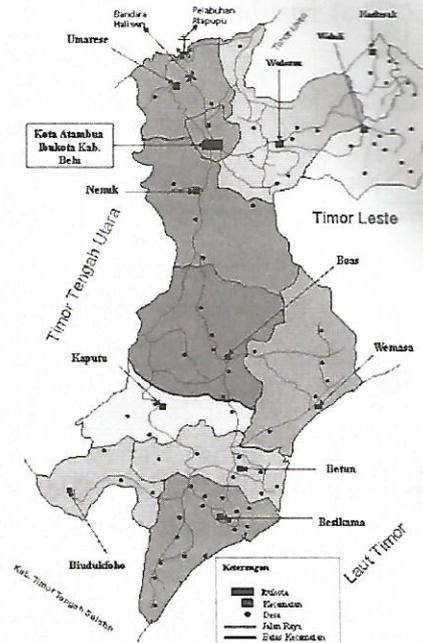
Clearance ini menentukan tinggi antenna minimal yang perlu di siapkan agar sinyal dapat di terima dengan baik di penerima. Untuk memperoleh sinyal yang baik, ketinggian tower biasanya lebih tinggi daripada clearance di atas.

4. Kabupaten Belu, NTT

Secara geografis, politis, pertahanan, dan keamanan dalam negara kesatuan Republik Indonesia, Kabupaten Belu merupakan daerah perbatasan langsung dengan negara republik Demokratik Timor Leste.

Kabupaten Belu terletak pada 124^o-126^oBT dan 0.9^o-10^oLS. Memiliki luas wilayah 2.445,57 km², iklim tropis dengan suhu udara antara 24^o-34^oC. Curah hujan 644.58 mm/tahun. Dari segi topografi, sebagian besar wilayah berbukit-bukit dengan tingkat kemiringan antara 0-60%, dengan jenis tanah Aluvial, campuran Aluvial dan Litosol, serta campuran Mediteran, Renzina, dan Litosol.

Kabupaten Belu terdiri atas 17 kecamatan, 12 kelurahan, dan 169 desa. Kawasan yang berbatasan langsung dengan negara Timor Leste sebanyak 28 desa yang termasuk dalam 5 kecamatan. Luas keseluruhan wilayah perbatasan sekitar 489.94 km² (48.994 Ha) atau sekitar 20.03% dari luas wilayah Kabupaten Belu [4].



Gambar 7. Peta Kabupaten Belu, Nusa Tenggara Timur.

5. Propagasi Gelombang Radio

Studi peta topografi dilakukan untuk memperoleh data-data yang akurat tentang ketinggian bukit-bukit dan pegunungan disekitar lokasi. Kemudian dari data-data yang diperoleh dapat ditentukan lokasi penempatan perangkat *subscriber unit* sehingga terjadi komunikasi *point to point* yang bebas pandang (*LOS, Line of Sight*). Dengan menggunakan peta topografi berskala 1:25.000, maka dilakukan perhitungan jarak antara central dan subscriber unit).

Berdasarkan data jarak tersebut, maka secara teoritis ketinggian menara yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut[5]:

$$r = 72.6 \sqrt{\frac{d}{4f}}$$

dimana r = jari-jari fresnel zone
 f = frekuensi (GHz)
 d = jarak antar lokasi (mile)

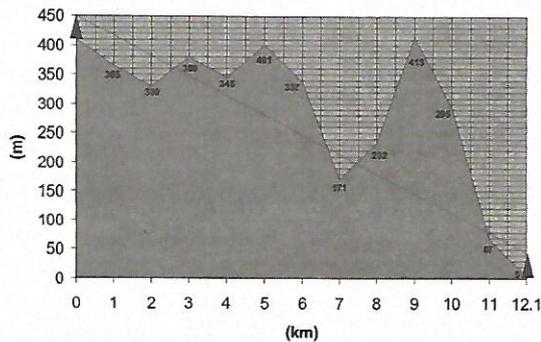
Data-data ketinggian menara masing-masing lokasi di Kabupaten Belu, NTT terlihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data-data ketinggian menara

No.	Lokasi	Menara Central (m)	Menara Subscriber (m)
1.	Atapupu	50	40
2.	Mottaain		20
3.	Haekesak		28

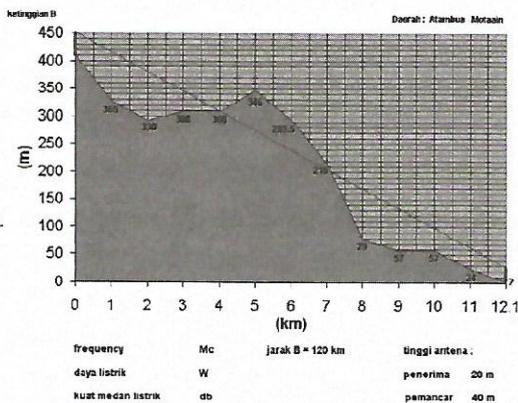
Pemetaan propagasi gelombang untuk masing-masing lokasi adalah sebagai berikut:

1. Atambua-Atapupu



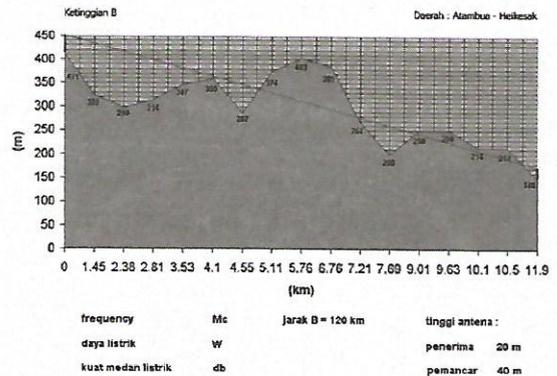
Gambar 8. Kondisi propagasi gelombang radio untuk lokasi Weatuan-Atapupu

2. Mottaain



Gambar 9. Kondisi propagasi gelombang radio untuk lokasi Weatuan-Mottaain

3. Haekesak, Kecamatan Raihat



Gambar 10. Kondisi propagasi gelombang radio untuk lokasi Weatuan-Haekesak.

Pada ketiga gambar 8, 9, dan 10 terlihat bahwa propagasi gelombang radio tidak sepenuhnya bebas pandang karena terhalang oleh satu atau lebih bukit yang memungkinkan komunikasi yang diperoleh tidak optimal atau bahkan tidak terjadi koneksi. Hal tersebut dapat diatasi dengan menggunakan *repeater* yang merupakan bypass sinyal sehingga diperoleh komunikasi bebas pandang.

Pada kenyataannya, untuk ketiga lokasi tersebut meskipun tidak digunakan repeater koneksi dan komunikasi dapat dilakukan. Hal ini terjadi karena kondisi pada gambar-gambar tersebut masih berada dalam *zone clearance*.

6. Kesimpulan

Telah dilakukan instalasi telepon pedesaan dengan memanfaatkan teknologi komunikasi point to point berbasis gelombang radio di beberapa daerah di Kabupaten Belu, Nusa Tenggara Timur, yaitu Atapupu, Mottaain, dan Haekesak. Ketiga daerah tersebut merupakan wilayah-wilayah perbatasan yang berbatasan langsung dengan negara Timor Leste.

Dengan dibangunnya sistem telepon pedesaan yang juga diberdayakan sebagai alat komunikasi

umum (wartel), kondisi perekonomian rakyat semakin meningkat. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya masyarakat sekitar yang memanfaatkan telepon tersebut untuk kegiatan perekonomian. Kemudian manfaat lainnya adalah meningkatnya PAD (Pendapatan Asli Daerah) disamping dapat menyerap tenaga kerja sebagai operator telepon.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih khususnya kepada Pemda Kabupaten Belu, Nusa Tenggara Timur dan penyedia anggaran kompetitif LIPI yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil pada program kegiatan ini. Kemudian penulis sampaikan juga terimakasih kepada para teknisi dan semua pihak yang telah membantu memberikan dukungan hingga terealisasinya kegiatan ini.

7. Daftar Pustaka

1. "Pengembangan Wilayah Perbatasan Nusa Tenggara Timur melalui Penerapan Teknologi" *B2PTTG Subang LIPI*.
2. Dadan Muliawandana, Nasrullah Armi
3. "Sentral Telepon Kecil untuk Pedesaan" *Prosiding Seminar Nasional Iptek Solusi Kemandirian Bangsa dalam Tahun Indonesia Untuk Ilmu Pengetahuan*, UGM Yogyakarta, Agustus 2006.
4. *Line Of Sight*, <http://www.waverider.com>
5. "Program Pembangunan wilayah Perbatasan" Lokakarya Peningkatan Daya Saing Wilayah Perbatasan, Jakarta, 1 Februari 2006.
6. Judawisastra, Herman "Antena & Propagasi", *Penerbit ITB*, Bandung
7. Schwartz, Mischa, "Information Transmission, Modulation, and Noise", *McGraw-Hill Publishing Company*, 1990.
8. Morgan, Walter.L and Gordon, Gary.D, "Communication Satellite Handbook", *John Wiley & Sons*, 1989.

Antena Dipole GPR Adaptif terhadap Dua Jenis Pulsa

Yuyu Wahyu¹⁾, Folin Oktafiani¹⁾, A.A Lestari²⁾, A.S Ahmad³⁾, A.G Sarovoy⁴⁾, L.P Ligthart⁴⁾

²⁾IRCTR- IB (STEL-ITB)³⁾ STEI-ITB⁴⁾ IRCTR-TU DELFT The.Netherlands

¹⁾Pusat Penelitian Elektronika & Telekomunikasi (PPET) - LIPI

Jl. Sangkuriang Komp.LIPI Gd.20 Bandung 40135

Telp. (022) 2502660, Fax. (022) 2504659

Yuyu Wahyu @ ppet.lipi.go.id

Abstract

A GPR antenna that can be applied for hydrology and other applied that required shallow penetration in one system has been designed. The design refers to a bow-tie antenna that consists of two dipole antennas with different antenna length. Each antenna consists of two parts, unloaded and loaded parts. The length of the unloaded part of each antenna is $\frac{1}{4} \lambda c$ from the center frequency. Meanwhile, the length of the loaded part depends on the number of the loads. In this paper, 25 resistors are used as loads. (41.8 Ω to 200M Ω) Short dipole antenna is used for the excitation of 1.2 ns monopulse so the center frequency is 900 MHz. The long dipole antenna is used for the excitation of 2.4 ns monopulse to get 450 MHz for the center frequency. In designing this antenna, Finite Difference Time Domain (FDTD) method was used. To have the information on the performance of the dipole antenna, both antennas are excited using 1.2 ns and 2.4 ns monopulse. The result shows the long dipole antenna is effective for 2,4 ns monopulse excitation and the short one is effective for 1,2 ns monopulse excitation. The parameter used to see the performance of the dipole antenna is the amplitude of the excitation result.

Key Words : antenna, adaptive antenna, Ground Penetrating Radar (GPR), impulse GPR

Abstrak

Telah dirancang antena GPR yang dapat digunakan untuk aplikasi hidrologi dan aplikasi lain yang membutuhkan kedalaman penetrasi yang rendah dalam satu sistem antena GPR (Ground Penetrating Radar). Perancangan yang digunakan mengacu pada bentuk antena bow-tie yang terdiri atas dua antena dipol dengan panjang antena yang berbeda. Masing-masing antena terdiri atas dua bagian yaitu bagian tanpa beban (unloaded) dan bagian terbebani (loaded). Panjang bagian unloaded dari masing-masing antena adalah $\frac{1}{4} \lambda c$ dari frekuensi tengah. Sedangkan panjang dari bagian loaded bergantung kepada banyaknya beban yang digunakan. Pada makalah ini digunakan 25 resistor sebagai pembebanan (41.8 Ω sampai 200M Ω). Antena dipol yang pendek digunakan untuk eksitasi monopulse 1,2 ns sehingga mempunyai frekuensi tengah 900 MHz. Antena dipol yang panjang digunakan untuk eksitasi monopulse 2,4 ns sehingga mempunyai frekuensi tengah 450 MHz. Desain antena ini menggunakan metode Finite Difference Time Domain (FDTD). Untuk mengetahui unjuk penelitian dari antena dipol maka pada kedua antena tersebut dieksitasi dengan menggunakan monopulse 1,2 ns dan 2,4 ns. Hasil pengujian menunjukkan bahwa antena dipol yang panjang efektif digunakan untuk dieksitasi monopulse 2,4 ns dan antena dipol yang pendek efektif digunakan untuk dieksitasi monopulse 1,2 ns, parameter yang digunakan untuk melihat unjuk penelitian antena dipol adalah amplitudo dari hasil eksitasi.

Kata kunci: antena, GPR, antena adaptif, Ground Penetrating Radar (GPR), GPR impulse

1. Pendahuluan

Aplikasi GPR membutuhkan resolusi dan kedalaman penetrasi yang berbeda-beda. Sebagai contoh, pemeriksaan jalan dengan menggunakan

GPR membutuhkan resolusi yang tinggi dengan kedalaman penetrasi hanya beberapa cm, sedangkan untuk aplikasi hidrologi secara umum membutuhkan resolusi yang rendah dengan

kedalaman penetrasi mencapai puluhan meter. Untuk mendapatkan resolusi tinggi suatu impulse GPR mengirimkan (mentransmisikan) pulsa pendek, sedangkan resolusi rendah dan kedalaman penetrasi yang besar diperoleh dengan mengirimkan pulsa panjang. Masing-masing aplikasi GPR akan membutuhkan antenna dengan ukuran yang berbeda-beda bergantung kepada resolusi dan kedalaman penetrasi yang diinginkan, ini berarti bahwa untuk penggunaan GPR pada range aplikasi yang luas harus mempunyai seperangkat antenna dengan dimensi yang bervariasi yang cocok untuk masing-masing aplikasi. Pada penelitian ini kami mencoba untuk mengembangkan antenna GPR dimana dapat digunakan secara optimal terhadap beberapa pulsa dengan durasi yang berbeda. Konsep adaptasi antenna GPR yang akan diperkenalkan diatas adalah sesuatu yang baru dan belum pernah dilaporkan di literatur.

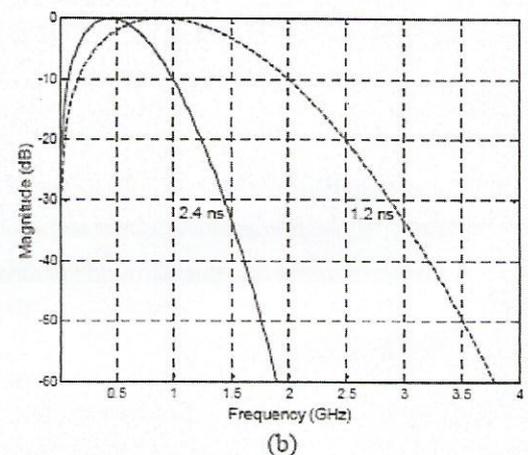
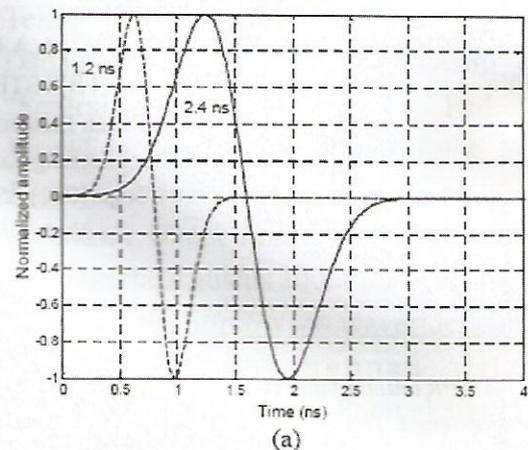
Pada tulisan ini kami mengemukakan analisa antenna secara teori dengan menggunakan metode FDTD (*Finite Difference Time Domain*). Mencakup pula analisa bentuk gelombang yang dipancarkan antenna dengan pulsa yang berbeda dan impedansi input antenna. Analisa antenna secara eksperimen sedang dipersiapkan dan akan dipaparkan kemudian.

2. Perancangan Antena

2.1 Pembangkitan Pulsa

Untuk memperjelas konsep adaptasi seperti yang disebutkan diatas, pada tulisan ini hanya didemonstrasikan untuk 2 pulsa. Antena yang diusulkan dapat dengan mudah di-*upgrade* untuk penggunaan pulsa yang lebih banyak. Pulsa yang digunakan disini adalah *monocycle* dengan durasi 1,2 ns dan 2,4 ns seperti terlihat pada gambar 1(a), sedangkan spectrum frekuensinya ditunjukkan pada gambar 1(b) dimana dapat dilihat bahwa nilai

frekuensi tengah adalah sekitar 900 MHz untuk *monocycle* 1,2 ns dan 450 MHz untuk *monocycle* 2,4 ns.



Gambar 1: Pulsa untuk eksitasi antenna:
monopulse 1,2 ns dan 2,4 ns

(a). Bentuk gelombang (b). Spektrum frekuensi

Monocycle 1,2 ns cocok digunakan untuk aplikasi GPR resolusi tinggi (contoh: pemeriksaan jalan) dan *monocycle* 2,4 ns untuk aplikasi resolusi medium (contoh: arkeologi). Untuk aplikasi tersebut dibutuhkan 2 antenna yang terpisah dengan dimensi yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menggantikan kedua antenna tersebut dengan antenna tunggal dimana dapat bepenelitian secara optimal dengan *monocycle* 1,2 ns dan 2,4 ns seperti ditunjukkan pada gambar 1.

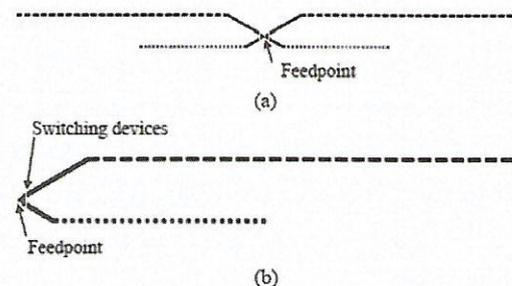
2.2 Mekanisme Radiasi

Teknik untuk memperkuat radiasi pada arah pancaran dari antena transien telah diperkenalkan pada penelitian kami terdahulu [1]-[2]. Dengan teknik ini, ditambahkan pembebanan untuk menekan *ringing* pada antena dan pada bagian pembebanan yang paling dekat dengan *feedpoint* yang akan menyebabkan sumber radiasi sekunder sehingga terjadi diskontinuitas pada antena. Jarak antara *feedpoint* dan *loading* harus dibuat sedemikian rupa sehingga pada arah pancaran antena, radiasi sekunder bergabung secara konstruktif dengan radiasi primer dari *feedpoint*, sehingga sebagai hasilnya dapat diamati suatu peningkatan amplitudo yang signifikan dari gelombang yang ditransmisikan pada arah pancaran. Hal ini dapat diperoleh apabila jarak antara *feedpoint* dan pembebanan awal adalah sebesar $\lambda_c/4$, dimana λ_c adalah panjang gelombang yang sesuai dengan frekuensi tengah dari pulsa [1]. Pada antena yang dicetak diatas substrat dielektrik, umumnya nilai λ_c akan dibuat lebih kecil dari faktor akar kuadrat dari permitivitas relatif efektif substrat.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah melaksanakan teknik penguatan radiasi untuk mengefisienkan proses transmisi dengan pulsa yang berbeda-beda menggunakan antena tunggal. Kelemahan dari teknik ini adalah bahwa antena dioptimasi hanya untuk pulsa dengan λ_c tertentu. Amplitudo dari gelombang transmisi menurun apabila antena dieksitasi pulsa lain dengan λ_c yang berbeda, oleh karena itu, tantangan utama yang dihadapi adalah mengatasi hambatan tersebut sehingga beberapa pulsa dengan durasi yang berbeda dapat ditransmisikan secara optimal oleh antena.

2.3 Geometri Antena.

Geometri antena yang dirancang disini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2: Geometri Antena GPR:

- (a). Keseluruhan antena
- (b). Sisi lengan kanan antena

Lengan antena terdiri atas elemen panjang dan pendek yang dibuat seperti struktur *bow-tie*. Elemen panjang dan pendek dioptimasi terhadap pulsa 2.4 ns dan 1,2 ns. Masing-masing elemen dapat dipilih dengan menggunakan perangkat *switching* yang akan dipasang melintang diantara gap yang berdekatan dengan *feedpoint*. Untuk peralatan *switching*, kami telah menyelidiki kemungkinan penggunaan relay miniatur, berdasarkan penelitian kami sebelumnya yang mengindikasikan adanya kesulitan dalam penggunaan dioda PIN untuk aplikasi ini [3]. Dengan menggunakan perangkat *switching* elektronik ini, dimungkinkan untuk mengaktifkan elemen dari jarak jauh, dan menonaktifkan elemen yang lain untuk optimasi antena terhadap pulsa 1,2 ns atau 2,4 ns.

Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa masing-masing elemen terdiri dari bagian tanpa beban / *unloaded* (antara *feedpoint* dan tekukan) dan bagian terbebani/*loading* (antara tekukan dan bagian akhir antena). Panjang dari bagian *unloaded* pada masing-masing elemen ditentukan sebesar $\lambda_c/4$ untuk mendapatkan radiasi maksimal pada

arah pancaran dari antena, seperti yang telah dijelaskan di atas. Apabila elemen panjang dioptimasi untuk pulsa 2,4 ns (frekuensi tengah 450 MHz), diasumsikan permitivitas relatif efektif dari substrat adalah 2,5 maka panjang optimal dari bagian unloaded adalah sekitar 10 cm. Untuk elemen pendek, yang dioptimasi untuk pulsa 1,2 ns (frekuensi sentral 900 MHz) maka panjang bagian tanpa beban adalah dua kali lebih pendek dari elemen panjang. Selain itu, analisa FDTD mengindikasikan bahwa pemisahan angular 70° antar bagian tanpa beban, seperti ditunjukkan pada gambar 2, menghasilkan isolasi yang baik antara kedua elemen tersebut. Akan tetapi, untuk kemungkinan yang lain belum diadakan penelitian. Oleh karena itu perlu ada penelitian yang lain untuk pemisahan yang optimal.

2.4 Pembebanan Antena (*Antenna Loading*)

Pembebanan resistif untuk menekan ringing ditambahkan pada bagian antena antara tekukan dan bagian akhir antena. Pada masing-masing elemen antena, bagian dari pembebanan yang terdekat dengan tekukan, dan pada tekukan itu sendiri menghasilkan diskontinuitas yang berperan sebagai sumber radiasi sekunder untuk meningkatkan transmisi pada arah pancaran. Pada penelitian ini digunakan 25 resistor seri sebagai pembebanan resistif. Pada prakteknya, resistor tersebut disolder melintang diantara gap sepanjang bagian loaded, seperti ditunjukkan pada Gambar-2. Teknik pembebanan yang sama telah berhasil ditambahkan pada penelitian kami sebelumnya untuk antena bow-tie termodifikasi [2],[4]. Pada laporan ini, digunakan profil loading yang dihasilkan pada [4], tetapi profil loading tersebut dirancang untuk antena bow-tie, sehingga mungkin tidak optimal untuk antena yang dibuat, dimana karakteristik dipolnya masih dominan. Pengembangan profil loading dengan

menggunakan resistor seri untuk antena dipol adalah subjek dari penelitian kami selanjutnya.

Gambar-3 menunjukkan realisasi dari antena, hasil pengukuran dari antena tersebut belum ditunjukkan pada laporan ini.

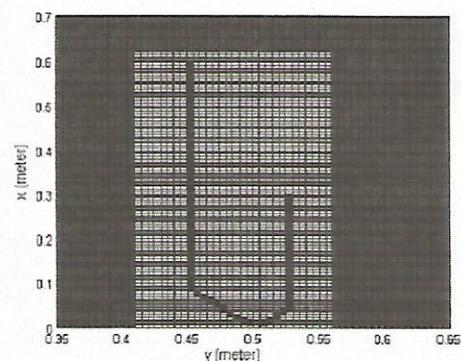


Gambar 3: Realisasi antena GPR yang dicetak diatas substrat FR-4

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Model FDTD

Metode FDTD digunakan pada penelitian ini sebagai alat untuk menganalisa secara teori dengan menggunakan FDTD code [5] yang dibuat oleh IRCTR. Model FDTD dari antena ditunjukkan pada Gambar 4.



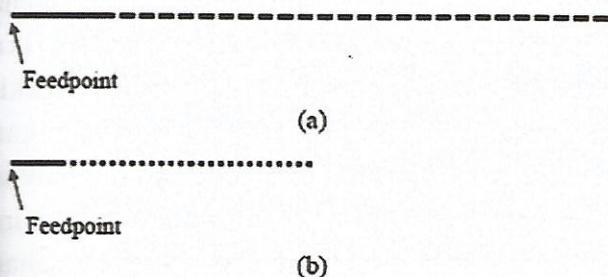
Gambar 4: Model FDTD dari antena GPR

Domain komputasi didiskrit dengan standar sel Yee $5 \times 5 \times 5$ mm, yang cukup kecil untuk analisa keakuratan dari gelombang transmisi pada antena yang kami buat dengan dimensi yang digambarkan pada Gambar 2. Ukuran domain komputasi ditentukan sebesar $0,7$ (x) \times 1 (y) \times 1 (z) m^3 . Ketebalan bagian logam dari antena ditentukan sebesar 1 node dan ketebalan substrat sebesar 1 sel.

Tercatat bahwa untuk menghitung impedansi input secara akurat, sel Yee paling tidak harus dua kali lebih kecil dari penghitungan sebenarnya untuk substrat dielektrik. Pada penelitian ini kami menghindari penggunaan sel Yee yang lebih kecil karena akan membutuhkan memori komputer dan waktu yang lebih lama. Penghitungan impedansi input pada antenna ini mungkin akan menghasilkan ketidakakuratan dan seharusnya hanya dipertimbangkan sebagai pendekatan dari impedansi input yang sebenarnya.

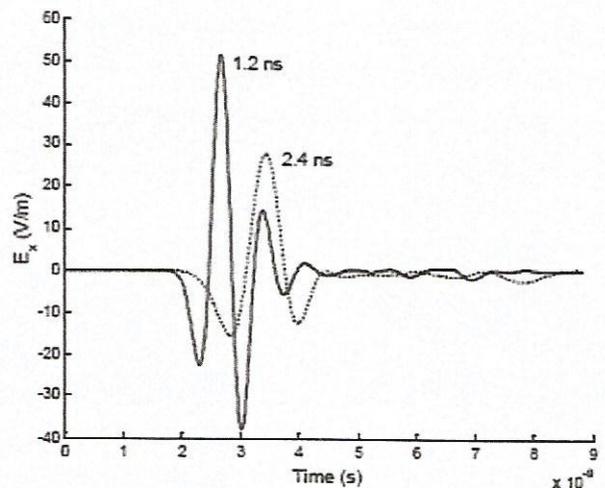
3.1 Dipol Terbebani (Loaded Dipole)

Dapat dipahami secara mudah bahwa antenna yang dipaparkan disini yang ditunjukkan pada gambar 2 secara umum terdiri atas 2 bagian elemen dipol panjang dan pendek yang terpisah. Masing-masing elemen panjang dan pendek antenna dapat dibandingkan dengan dipol yang dimensi dan pembebanannya sama, untuk menyelidiki performansinya. Untuk tujuan tersebut kami membuat 2 dipol dengan panjang dan pembebanan yang sama dengan elemen panjang dan elemen pendek antenna. Bentuk dari dipol tersebut ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5: Geometri antenna dipol: (a). Dipol panjang (b). Dipol pendek

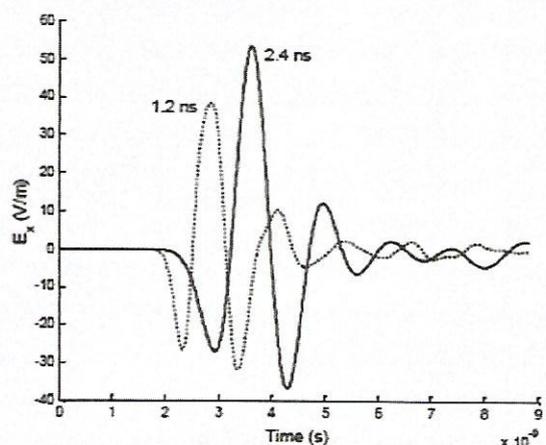
Gambar 6 adalah gelombang transmit dari dipol pendek yang dieksitasi dengan pulsa 1,2 ns dan 2,4 ns. Dimana dipol pendek dioptimasi terhadap pulsa 1,2 ns.



Gambar 6: Gelombang transmisi dari dipol pendek, yang dieksitasi dengan *monopulse* 1,2 ns dan 2,4 ns

Pada gambar diatas ditunjukkan bahwa amplitudo dari pulsa 1,2 ns pada arah pancaran antenna lebih besar mendekati duakali dibandingkan dengan pulsa 2,4 ns. Dapat diindikasikan dengan jelas bahwa pulsa 1,2 ns lebih efisien ditransmisikan oleh dipol pendek.

Gelombang transmit dari dipol panjang untuk dieksitasi dengan pulsa 1,2 ns dan 2,4 ns ditunjukkan pada gambar 7.



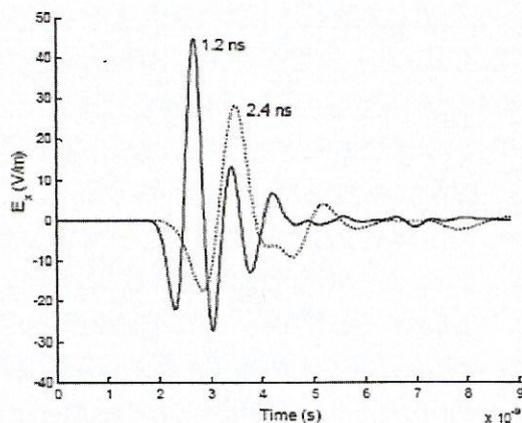
Gambar 7: Gelombang transmisi dari dipol panjang, yang dieksitasi dengan *monopulse* 1,2 ns dan 2,4 ns

Pada kasus ini dipol panjang dioptimasi terhadap pulsa 2,4 ns sehingga pulsa ini lebih efisien untuk ditransmisikan oleh dipol panjang. Seperti terlihat pada gambar 7, amplitudo gelombang dari pulsa 2, 4 ns pada arah pancaran antenna lebih besar dibandingkan dengan pulsa 1,2 ns.

3.2 Antena GPR

Untuk antenna ini kami menggunakan analisa yang sama dengan antenna yang dieksitasi dengan kedua pulsa diatas. Perangkat *switching* untuk mengatur elemen antenna digambarkan dengan gap yang dekat dengan *feedpoint* seperti ditunjukkan pada gambar-2. Elemen antenna terhubung atau tidak terhubung dengan menutup atau membuka gapnya.

Pada gambar 8 kami menghubungkan elemen pendek dan tidak menghubungkan elemen panjang.

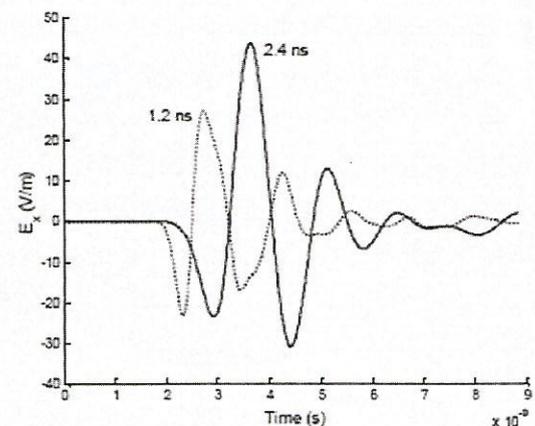


Gambar 8: Gelombang transmisi dari Antena GPR dengan menghubungkan elemen pendek, yang dieksitasi dengan *monopulse* 1,2 dan 2,4 ns.

Antena dieksitasi dengan kedua pulsa tersebut dan mudah dilihat bahwa pulsa 1,2 ns lebih efektif ditransmisikan oleh antenna dimana amplitudo gelombang secara substansial lebih besar dibandingkan dengan pulsa 2,4 ns. Hasil ini menunjukkan bahwa untuk kasus ini antenna

dioptimasi terhadap pulsa 1,2 ns sesuai dengan yang diharapkan.

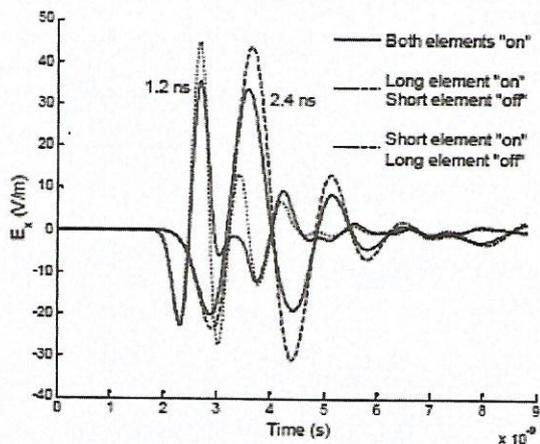
Ketika elemen panjang dihubungkan dan elemen pendek tidak terhubung, antenna akan dioptimasi terhadap pulsa 2,4 ns. Sifat ini dapat dengan jelas diamati pada gambar 9 dimana amplitudo gelombang dengan pulsa 2,4 ns pada arah pancaran antenna lebih besar dibandingkan pulsa 1,2 ns.



Gambar 9: Gelombang transmisi dari Antena GPR dengan menghubungkan elemen panjang, yang dieksitasi dengan *monopulse* 1,2 dan 2,4 ns.

Dengan melihat pada gambar 6 dan gambar 7 dapat diamati bahwa amplitudo gelombang dari antenna GPR yang dibuat sedikit menurun jika dibandingkan dengan antenna dipol. Sedikit penurunan amplitudo tersebut dimungkinkan karena adanya sejumlah energi yang ditimbulkan oleh elemen yang tidak terhubung. Rugi-rugi ini dapat diturunkan dengan memperbesar pemisahan antar antenna.

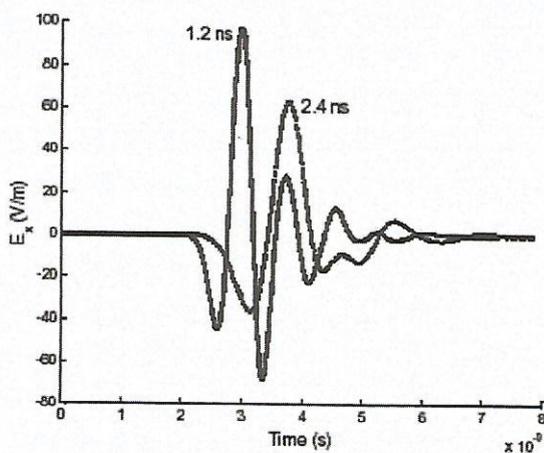
Pada gambar 10 menunjukkan bahwa ketika kedua elemen dihubungkan, amplitudo gelombang dari kedua pulsa menjadi lebih kecil dibandingkan ketika hanya menggunakan satu elemen seperti gambar-8 dan gambar-9.



Gambar 10: Gelombang transmisi dari Antena GPR dengan menghubungkan kedua elemen, yang dieksitasi dengan *monopulse* 1,2 ns dan 2,4 ns.

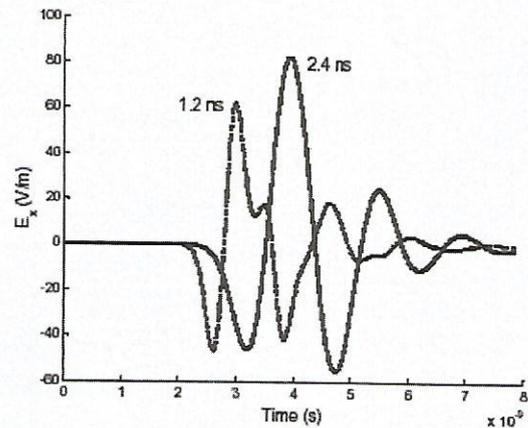
Hasil ini menekankan bahwa sifat adaptif dari antenna muncul karena antenna beradaptasi terhadap pulsa yang dipilih hanya ketika elemen tersebut diaktifasi. Dengan menambahkan beberapa elemen yang dioptimasi terhadap pulsa lain yang berbeda kemampuan antenna tersebut dapat ditingkatkan menjadi adaptif terhadap multi pulsa.

Gambar 11 dan gambar 12 menunjukkan bahwa ketika antenna dioperasikan diatas tanah, kemampuan adaptasinya tidak berubah seperti yang digambarkan pada gambar 8 dan gambar 9.



Gambar 11: Gelombang transmit subsurface antenna GPR dengan menghubungkan elemen

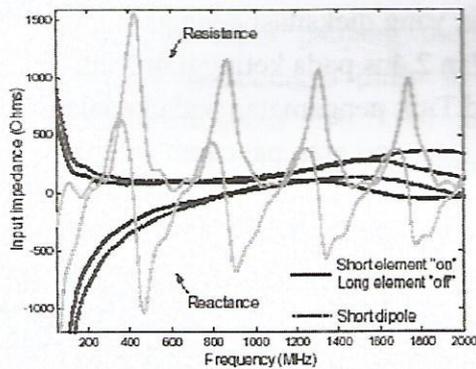
pendek, yang dieksitasi dengan monopulse 1,2ns dan 2,4ns pada ketinggian 2 cm diatas ground. Titik pengamatan pada kedalaman 23 cm dari arah pancaran antenna



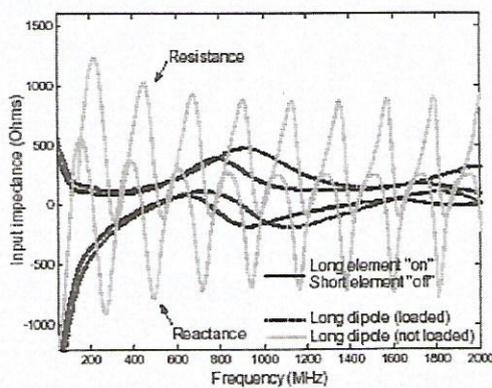
Gambar 12: Gelombang transmit subsurface antenna GPR dengan menghubungkan elemen panjang, yang dieksitasi dengan monopulse 1,2 ns dan 2,4ns pada ketinggian 2 cm diatas ground. Titik pengamatan pada kedalaman 23 cm dari arah pancaran antenna

Pada gambar 11 dan gambar 12 kami mengasumsikan antenna dielevasi 2 cm diatas tanah, dengan tanah yang kami jadikan contoh memiliki $\epsilon_r = 6$ dan $\sigma = 0.008$ S/m. Hasil ini menunjukkan kemampuan aplikasi dari konsep adaptasi yang diusulkan untuk GPR dimana antenna biasanya dioperasikan dekat dengan tanah.

Pada akhirnya, perhitungan impedansi dari antenna GPR yang diusulkan dan antenna dipol ditunjukkan pada gambar 13. Impedansi input dari dipol yang tidak terbebani juga ditambahkan untuk mengindikasikan pengaruh pembebanan pada impedansi input. Bagaimanapun juga, seperti yang telah dijelaskan diatas penggunaan *profile loading* mungkin masih belum optimal untuk antenna yang dibuat karena masih terdapat osilasi pada impedansi input antenna. Oleh karena itu akan sangat dibutuhkan pengembangan *profile loading*.



(a)



(b)

Gambar 13 : Perbandingan impedansi input antenna GPR dengan antenna dipole pendek
 (a). menghubungkan elemen pendek,
 (b). menghubungkan elemen panjang

4. Kesimpulan.

Konsep adaptasi antenna terhadap pulsa dengan durasi yang berbeda telah dipaparkan. Antena GPR dengan kemampuan adaptasi telah dirancang dan dianalisa secara teoritis untuk dua eksitasi pulsa dengan durasi yang berbeda. Telah ditemukan bahwa antenna dapat beradaptasi terhadap masing-masing pulsa tersebut untuk memberikan radiasi maksimal pada arah pancaran antenna. Antena yang dibuat dapat ditingkatkan kemampuannya untuk pulsa yang lebih banyak sehingga mencapai kemampuan adaptasi terhadap eksitasi multi pulsa.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dilakukan atas kerjasama antara International Research Centre for Telecommunication and Radar (IRCTR), Belanda dengan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada PPET-LIPI yang telah menerbitkan tulisan ini

5. Daftar Pustaka

1. Lestari A.A, Yarovoy A.G, Ligthart L.P, 2004, "RC Loaded Bow-Tie Antenna for Improved Pulse Radiation," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.52, no. 10, pp. 2555-2563
2. Lestari A.A, Suksmono A.B, Bharata E, Yarovoy A.G, and Ligthart L.P, 2005, "Small UWB Antenna with Improved Efficiency for Pulse Radiation," *Proc. 2005 IEEE Int. Workshop Antenna Technology (IWAT 2005)*, pp. 295-298, Singapore
3. Lestari A.A, Kirana Y.A, Suksmono A.B, Bharata E, 2004, "Applied Research on Ground Penetrating Radar, Bow-Tie Antenna, GPR Antenna, Adaptive Antenna, UWB Antenna", Supplemental report (Project ID: IS 03143), no IRCTR-S-041-04, *Delft University of Technology, the Netherlands*
4. Lestari A.A, et al., "Design and realization of a GPR Antenna for Hydrological Application," *Proc. 2005 IEEE Int. Workshop Antenna Technology (IWAT 2005)*, pp. 295-298, Singapore
5. Mur G, 2000, User's guide for FDTD3D; the C++ finite difference code for electromagnetic field in three dimensions and time, IRCTR and Laboratory for Electromagnetic Research, Delft University of Technology, the Netherlands

Rangkaian *Bioamplifier* untuk Mendeteksi Sifat Elektris Otot

Yusuf Nur Wijayanto^{*)}, Dwi Hastuti^{**)}

^{*)} Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI
Jl. Cisititu 21/ 154D Bandung 40135 Telp. 022-250 4660, 250 4661 Fax. 022-250 4659
Email : yusuf@ppet.lipi.go.id

^{**)} Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan (STIKES) Ahmad Yani
Jl. Terusan Jenderal Sudirman Cimahi 40533 Telp. 022-6631622 Fax. 022-6631624
Email : dwi.hastuti@gmail.com

Abstract

The circuit to amplify the electrical signal produced from the body especially at muscle have been designed and implemented. The voltage difference at two location of the body to ground is used. Op-Amp component functioned as different amplifier to obtain the biosignal. Differential amplifier is based on this bioamplifier, supported with non-inverting amplifier and Band Pass Filter (BPF). From this research, the bioamplifier and relation between muscle activity with electric signal was resulted. The bigger the muscle contraction the bigger the output voltage of bioamplifier. This circuit can be used in medical equipment especially for disease related to disparity of muscle.

Keywords : Biosignal, Muscle, Bioamplifier

Abstrak

Rangkaian untuk menguatkan sinyal elektrik dihasilkan oleh tubuh terutama pada otot telah dirancang dan diimplementasikan. Untuk memperoleh biosinyal ini digunakan beda potensial pada dua titik yang dihasilkan oleh tubuh terhadap ground. Dimana Op-Amp yang difungsikan sebagai penguat beda untuk mendapatkan biosinyal tersebut. Differensial amplifier merupakan dasar dalam bioamplifier ini dengan didukung non-inverting amplifier dan Band Pass Filter (BPF). Dari penelitian ini diperoleh rangkaian bioamplifier dan relasi antara aktivitas otot dan sinyal elektrik yang dihasilkan. Semakin besar kontraksi otot maka semakin besar tegangan yang dihasilkan oleh keluaran bioamplifier. Rangkaian ini dapat digunakan untuk keperluan medis terutama pada penyakit yang berhubungan dengan kelainan otot.

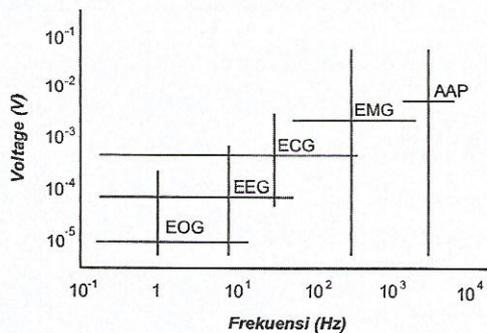
Kata Kunci : Biosinyal, Otot, Bioamplifier

1. Pendahuluan

Sinyal bioelektrik adalah sinyal elektrik yang dihasilkan oleh tubuh. Dengan adanya gerakan tubuh baik secara periodik maupun non periodik, yang membangkitkan sinyal elektrik dapat dimanfaatkan dalam bidang medis/ kesehatan.

Otot merupakan organ tubuh yang aktif yang mampu menggerakkan organ tubuh yang lain. Sinyal ini dibangkitkan secara non periodik yang timbul hanya saat otot aktif setelah menerima perintah dari otak yang merupakan pusat dari segala aktifitas tubuh/ *processor* [1,4].

Untuk mengetahui adanya kontraksi otot dideteksi dengan mengambil sifat elektrisnya disebut *Electromyography* (EMG). EMG merupakan alat/ rangkaian untuk memetakan sinyal elektrik yang ditimbulkan oleh kontraksi otot [1]. Pada penelitian ini sinyal yang dihasilkan otot direkam dengan metode *surface EMG* (sEMG), karena metode ini bersifat *non invasive* (tidak melukai) sehingga sangat aman [1,2]. Karakteristik sinyal bioelektrik terhadap besar frekuensi dan tegangan dapat dilihat pada gambar 1 [4].



Gambar 1: Karakteristik sinyal bioelektrik

Dimana :

EOG : ElectroOculoGram

EEG : ElectroEncephaloGram

ECG : ElectroCardioGram

EMG : ElectroMyoGram

AAP : Axon Action Potential

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membuat sistem instrumen bioamplifier. Rangkaian ini digunakan untuk merekam potensial listrik yang dibangkitkan oleh aktivitas/kontraksi otot.

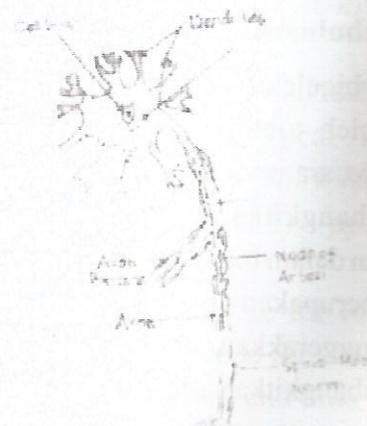
2. Dasar Teori

Otot adalah organ tubuh yang menggerakkan tulang. Tiap-tiap otot tersusun atas serat-serat halus dan panjang yang tak terhitung banyaknya. Setiap serat berhubungan dengan saraf. Serat-serat itu tersusun dalam bundel-bundel yang terbungkus dalam sarung pembungkus dan berkontraksi (berkerut) apabila menerima isyarat-isyarat dari saraf.

Ada dua macam otot, yaitu otot tak sadar (tidak dapat di kendalikan) dan Otot Sadar (dapat dikendalikan) menurut kehendak kita. Pada saat otot diberi rangsangan listrik maka elemen-elemen kontraktile akan memendek atau dikatakan otot berkontraksi. Rangsangan ini berasal dari pusat kesadaran (otak) dan disalurkan melalui serabut saraf penggerak (*motor neuror*) menuju serabut-serabut otot [1,4].

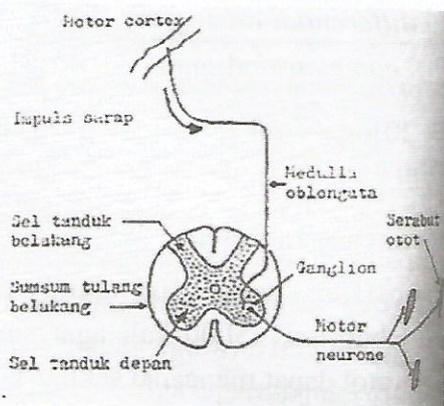
Setiap serabut otot saraf terdiri atas tiga bagian utama, yaitu badan sel (*cell body/soma*), satu atau beberapa input yang dinamakan *dendrite* dan sebuah serabut pengirim atau penyalur yang panjang, dinamakan *axon*. *Axon* inilah yang akan menuju ke serabut otot. Tiap-tiap serabut saraf penggerak mensuplai kira-kira sebanyak seratus buah serabut otot. Satu serabut saraf penggerak dengan serabut-serabut ototnya tersebut membentuk satu kesatuan yang disebut unit penggerak (*motor unit*). Dan setiap otot terdiri atas beribu-ribu unit penggerak. Serabut penggerak dan unit penggerak bisa dilihat pada Gambar 2.

Seberkas serabut saraf penggerak yang menyebabkan otot berkontraksi disebut saraf penggerak (*motor/ efferent nerve*) dan termasuk dalam golongan sistem saraf sadar (*somatic/ voluntary nervous system*). Saraf penggerak ini berasal dari sel tanduk depan (*anterior horn cell*) yang terletak pada sumsum tulang belakang. (*spinal cord*). Sel tanduk ini oleh simpul saraf (*ganglion*) dihubungkan ke *medulla oblongata* (sumsum lanjutan) terus ke selaput otak penggerak (*motor cortex*) yang terletak di otak (*cerebrum*). Di daerah inilah pusat komando dilakukan dengan mengirim rangsangan-rangsangan listrik [1,4].



Gambar 2: Serabut saraf penggerak dan unit penggerak

Pengiriman rangsangan dari saraf ke serabut otot, seperti terlihat pada Gambar 3, dilakukan melalui sambungan yang dinamakan sambungan *neuromuscular/ myoneural junction*. Ujung-ujung saraf menempel dengan sangat kuat pada serabut serabut otot. Pada bagian akhir ujung-ujung saraf ini terdapat butiran-butiran halus yang disebut butiran *Kuhne* atau gelembung-gelembung *aseticholin (small vesicles of acetylcholine)*.



Gambar 3: Jalanya rangsang

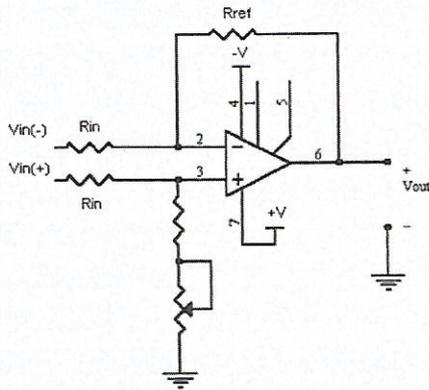
Aseticholin merupakan hormon yang dikeluarkan oleh bagian akhir saraf dengan tujuan merangsang serabut otot, karena rangsangan ini membuat permeabilitas sel-sel otot berubah sehingga ia dapat berkontraksi, sedang *aseticholin* itu sendiri dirusak segera setelah ada enzim kolinesterase (*cholinesterase*) yang terdapat di bagian saraf itu pula. Hal ini bertujuan agar rangsangan yang datang sesudah rangsangan yang terdahulu dapat bekerja dengan efektif. Ketidakmampuan seseorang menghasilkan *aseticholin* dalam jumlah tidak normal menyebabkan orang menderita *myasthenia gravis*.

Peristiwa-peristiwa listrik yang terjadi pada otot dapat direkam oleh alat elektromyograph dengan memasang eletroda, baik yang infasif (melukai) disebut *needle electrode* maupun yang non infasif (tidak melukai) disebut *surface*

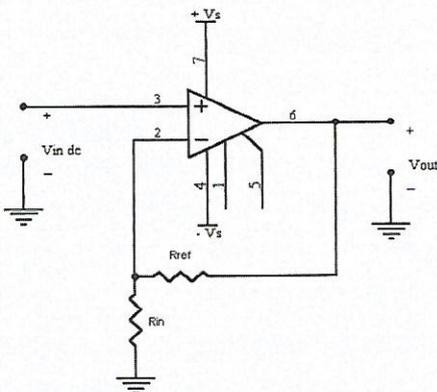
electrode pada permukaan kulit tubuh yang berkontraksi akan menghasilkan potensial gerakan mengikuti jalannya rangsang [1,2,4].

Electromyography adalah suatu sistem pemetaan sinyal bioelektrik tubuh. Sinyal bioelektrik tubuh tersebut dihasilkan oleh suatu kontraksi otot yang disebabkan oleh depolarisasi serat-serat otot. Sinyal sEMG mempunyai sifat random karena sangat bergantung kepada ukuran, bentuk dan penempatan elektroda pada permukaan dari bagian yang akan diuji. Sinyal EMG mempunyai rentang amplitudo sebesar 010 mV, dengan dominan pada 200-400 μ V. Sinyal sEMG mempunyai rentang frekuensi yang lebar antara 20-500 Hz, sehingga untuk proses perekaman diperlukan rangkaian *amplifier* dengan penguatan yang besar dan mempunyai *Common Mode Rate Ratio* (CMRR) yang baik serta rangkaian *band pass filter* (BPF). Frekuensi *cut off low* (f_{cl}) 20 Hz digunakan untuk menapis gerakan dari artifak pada saat pasien melakukan gerakan tubuh. Frekuensi *cut off high* (f_{ch}) 500 Hz digunakan untuk menapis frekuensi tinggi. Sinyal bioelektrik sangat rentan terhadap derau (*noise*), yang muncul dari interferensi jala-jala listrik, gerakan tubuh dan frekuensi radio [1,4].

Dengan menggunakan parameter amplitudo tegangan yang dihasilkan oleh otot, maka diperlukan *amplifier* untuk menguatkannya. *Amplifier* yang digunakan menggunakan komponen *operational amplifier* (Op-Amp) yang difungsikan sebagai *differential amplifier*, *noninverting amplifier* dan *band pass filter*, dapat dilihat seperti pada gambar 4. Keluaran dari *differential amplifier* dapat dilihat seperti pada persamaan 1 dan untuk *noninverting amplifier* seperti pada persamaan 2 [3,5,6].



(a)



(b)

Gambar 4: (a) Differential amplifier
(b) Noninverting amplifier

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_{ref}}{R_{in}}\right) V_{in(+)} - \left(\frac{R_{ref}}{R_{in}}\right) V_{in(-)} \quad (1)$$

$$V_{out} = -\left(\frac{R_{ref}}{R_{in}}\right) V_{in} \quad (2)$$

CMRR adalah kemampuan amplifier dalam menolak sinyal *common mode* (sephase) diukur, yang diuraikan pada persamaan 3 [3,7]. *Subtractor* yang sempurna seharusnya memiliki CMRR tak terbatas. CMRR 32 atau 90 dB pada umumnya mencukupi untuk menekan derau elektrik. Teknologi saat ini memungkinkan untuk CMRR 120 dB, alasan untuk tidak menekan

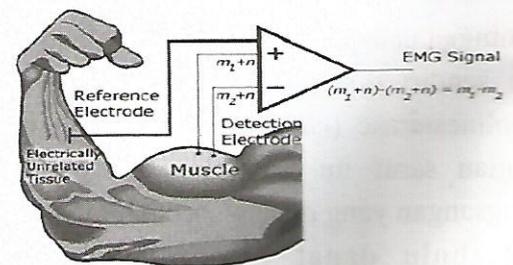
CMRR pada batas tertinggi karena perlu komponen yang mahal, sulit untuk mempertahankan kestabilan rangkaian, dan sinyal yang tidak diinginkan yang merupakan derau tidak akan bisa masuk pada elektroda, sehingga akibatnya mereka tidak lagi merupakan sinyal *common mode* dalam pengertian yang sesungguhnya.

$$CMRR = \frac{\text{differential mode gain}}{\text{common mode gain}} = \frac{A_d}{A_c}$$

$$CMRR = 20 \log \frac{A_d}{A_c} \text{ db} \quad (3)$$

3. Perancangan Sistem

Amplifier yang dirancang memiliki penguatan berkisar 5000 kali agar sinyal yang dihasilkan otot dapat mencapai sekitar 1 Vpp. Jika diperlukan penguatan yang lebih besar, bisa merubah besar komponen yang mempengaruhi penguatannya. Disamping itu juga diharapkan memiliki CMRR paling tidak 80 dB. Metode untuk mendapatkan sinyal ini dapat dilihat seperti gambar 4 [1].

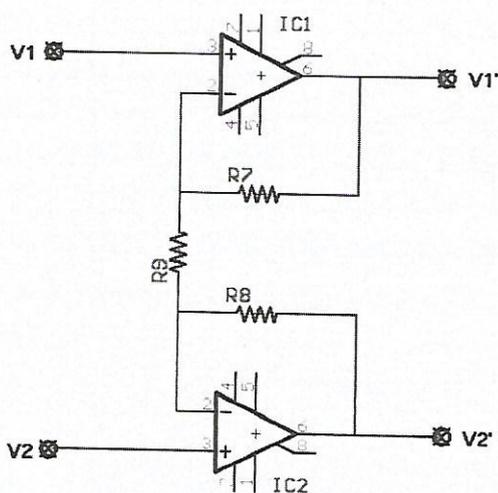


Gambar 5: Metode Pengambilan Sinyal sEMG [1]

Agar sinyal derau tidak lebih besar dari sinyal yang diinginkan, maka diperlukan konfigurasi pendeteksian secara *diferensial*. Teknik *diferensial amplifier* ditunjukkan pada gambar 6 dan gambar 7.

Penjelasannya sederhana, sinyal dideteksi pada dua sisi, rangkaian elektrik mendapatkan beda tegangan antara kedua sisi kemudian dikuatkan beda tegangannya. Sebagai hasilnya, sinyal manapun yang *common* pada kedua sisi akan dihilangkan, dan sinyal yang berbeda pada kedua sisi akan memiliki *differensial* yang kemudian dikuatkan. Sinyal yang munculnya jauh dari pendeteksian akan tampak sebagai sinyal biasa, dimana sinyal yang berada disekitar area akan berbeda pada konfigurasi ini, sinyal EMG ditunjukkan oleh "m" dan sinyal *noise* ditunjukkan oleh "n" [1].

Penguat pada perancangan ini ada 3 tahap, yaitu pertama menggunakan metode *double ended amplifier*, tahap kedua OpAmp digunakan sebagai *differensial amplifier* dan tahap ketiga OpAmp digunakan sebagai *noninverting amplifier*. Pada penguatan tahap ketiga OpAmp juga dimanfaatkan sebagai BPF. Keluaran dari masing-masing penguatan harus terbatas agar tidak melebihi dari tegangan sumber sehingga tidak terjadi saturasi DC.



Gambar 6: Rangkaian tahap I amplifier

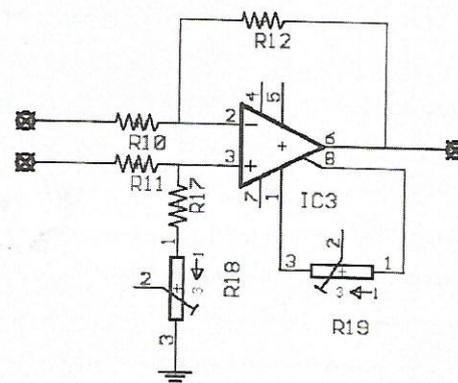
Pada penguatan tahap pertama digunakan alternatif *double ended amplifier* dimana dalam

konfigurasinya, dua input secara langsung terhubung pada dua input *noninverting amplifier* seperti ditunjukkan pada gambar 5 maka impedansi input akan selalu tinggi. Output dari amplifier ini adalah *double-ended* sebagai input, sehingga harus dihubungkan dengan tahap selanjutnya.

Kemudian sebagai pertimbangan selanjutnya adalah besar penguatan. Penguatan yang diharapkan pada tahap pertama ini adalah sebesar 10 kali. Pada gambar 6, bisa kita lihat bahwa rangkaian tersebut merupakan gabungan dua buah *noninverting amplifier*. Berdasarkan teori yang telah diuraikan pada persamaan 2, maka diperoleh persamaan *gain* seperti pada persamaan 4.

$$G = 1 + \left(\frac{R_7}{R_9} + \frac{R_8}{R_9} \right) \quad (4)$$

Untuk memperoleh penguatan sebesar 10 kali, dalam perancangan ditentukan besarnya $R_7=R_8=9K$ dan menggunakan persamaan 4, maka diperoleh besarnya R_9 sebesar 2k.

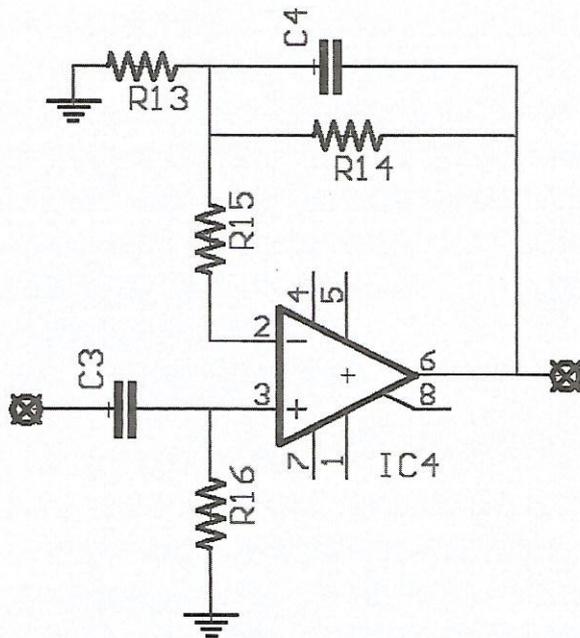


Gambar 7: Rangkaian tahap II amplifier

Pada penguatan tahap kedua setelah mendapatkan *double-input* dari penguatan tahap pertama yang merupakan OpAmp sebagai *differensial amplifier*. Sehingga rancangan rangkaianannya adalah seperti gambar 7. Penguatan yang diharapkan pada tahap kedua adalah 10 kali.

Dari persamaan 1 diperoleh besarnya Gain amplifier tahap kedua seperti persamaan 5. Dengan menentukan gain sebesar 10 kali dan R_{10} dan R_{11} masing-masing sebesar $1K\Omega$, maka diperoleh R_{12} sebesar $10K\Omega$ dengan persamaan 5.

$$G = \frac{R_{12}}{R_{10}} \tag{5}$$



Gambar 8: Rangkaian tahap III amplifier dan filter

Penguatan tahap ketiga merupakan OpAmp yang difungsikan sebagai *noninverting amplifier*. Rangkaian tahap ketiga ditunjukkan pada gambar 8. Total *gain* yang diharapkan adalah 5000 kali, sedangkan penguatan pertama dan kedua masing-masing 10 kali, maka besar penguatan akhir adalah 50 kali.

Penguatan tahap ketiga yang berupa *noninverting amplifier* diperoleh dengan menggunakan persamaan 2, sehingga diperoleh persamaan 6 yang menunjukkan besarnya gain pada penguatan tahap ketiga. Dengan menentukan $R_{14}=R_{15}=90K9\Omega$, maka diperoleh R_{13} sebesar $1855,1\Omega$ ($\approx 1820\Omega$)

$$G = 1 + \frac{R_{14}}{R_{13}} \tag{6}$$

Op-amp yang digunakan dalam instrumen ini adalah OP07. Op amp ini dipilih karena memiliki tegangan offset input rendah (max $25 \mu V$), offset rendah dan *gain open loop* yang tinggi sehingga berguna untuk aplikasi instrumentasi dengan gain tinggi. Disamping itu, range tegangan input yang lebar sekitar 13 V minimum, dikombinasikan dengan CMRR yang tinggi (110dB) dan input impedansi yang tinggi akan memberikan ketelitian yang tinggi pula pada konfigurasi rangkaian non inverting. Ditambah lagi stabilitas offset dan gain pada waktu dan temperatur yang berbeda-beda sangat bagus.

Pada penguat tahap ketiga disamping OpAmp sebagai *noninverting amplifier* juga difungsikan sebagai filter. Filter yang diharapkan memiliki *bandwidth* yang cukup lebar untuk meloloskan sinyal yang diinginkan namun tetap selektif terhadap noise. Karena itu dipilih *Band Pass Filter* (BPF) dengan *bandwidth* dengan frekuensi *cut high* 500 Hz dan frekuensi *cut low* 50 Hz. Rangkaian filter yang digunakan dapat dilihat pada gambar 8.

Pada rangkaian ini, kombinasi R_{17}, C_3 berfungsi sebagai *high pass filter* (f_{ch}), sedangkan R_{15}, C_4 sebagai *low pass filter* (f_{cl}). Dari kombinasi tersebut dapat dilakukan perhitungan terhadap C dengan menggunakan persamaan 7 dan 8.

$$F_{ch} = \frac{1}{2\pi \cdot R_{17} \cdot C_3} \tag{7}$$

$$F_{cl} = \frac{1}{2\pi \cdot R_{14} \cdot C_4} \tag{8}$$

Besarnya C_3 dapat diperoleh dengan mensubstitusikan R_{17} sebesar $100K\Omega$ dan f_{ch} sebesar 500 Hz pada persamaan 7, maka diperoleh C_3 sebesar $3,18nF$. Pada awalnya nilai tersebut

diekivalenkan dengan beberapa nilai, diantaranya 3,3 nF; 2,2 nF; 100 μ F. Setelah dilakukan percobaan yang menghasilkan bandwidth paling sesuai dengan yang diharapkan adalah kapasitor dengan nilai 2,2 nF, sehingga dalam perancangan akhir C_3 sebesar 2,2 nF. Untuk memperoleh besar C_4 dengan mensubstitusikan R_{14} sebesar 100 K Ω dan f_{cl} sebesar 50 Hz pada persamaan 8, maka diperoleh C_4 sebesar 26,5 nF (≈ 22 nF).

Pada bagian depan, diberikan dua buah resistor sebesar 1 K Ω untuk menyamakan dengan hipertensi kulit dan memberikan hambatan di depan resistor akibat gas discharge. Sedangkan kapasitor berfungsi agar OpAmp saturasi kalau input melebihi 0,7 V.

4. Hasil dan Analisa Data

Hasil pengukuran dan pengujian penguat tiap tahap dapat dilihat pada tabel 1, 2, dan 3. Data yang diperoleh penguatan yang cukup sesuai dengan perancangan sistem. Pada penguatan pertama dan kedua terdapat faktor kesalahan (*error*) sebesar 0,1% (penguatan kurang). Pada penguatan tahap ketiga terdapat kesalahan sebesar 1% (penguatan meningkat). Ketidaksesuaian ini masih dalam batas toleransi karena instrumen tetap dapat bekerja dan mempunyai total faktor kesalahan sekitar 1,49%.

Tabel 1: Hasil pengujian amplifier tahap I

V1 (mV)	V2 (mV)	V1 ¹ (mV)	V2 ¹ (mV)	G1 (x)	G2 (x)
10	10	98,45	98,6	9,9	9,9
100	100	985,3	988,4	9,9	9,9
1000	1000	9840	9780	9,8	9,8

Tabel 2: Hasil pengujian amplifier tahap I

Input (-)	Output	Gain
10 mV	- 98,6 mV	9,9
100 mV	-986,3mV	9,9
1 V	- 9,76 V	9,8

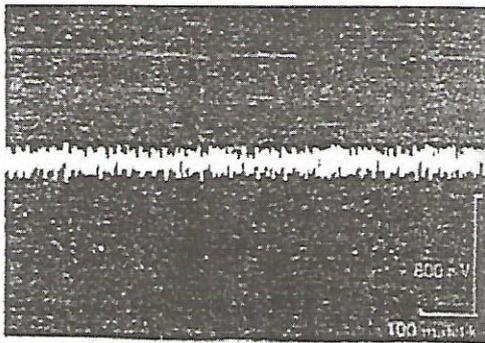
Tabel 3: Hasil pengujian amplifier tahap III

Input (+)	Output	Gain
10 mV	0,51 V	51
100 mV	5,12 V	51,2
200 mV	10,23 V	51,2

Selanjutnya dilakukan pengujian ditahap filternya. Pengujian sama dengan pengujian gain dengan V_{cc} sebesar 12 Vpp. Pada penelitian ini, uji coba alat dilakukan dengan memberikan suatu efek berupa pembebanan pada lengan atas dan dilakukan perekaman data untuk mengetahui efek pembebanan. Pembebanan disini dengan mengeluarkan energi/ kekuatan pada lengan. Posisi elektroda diletakkan pada lengan atas. Hasil dilihat pada osiloskop untuk melihat sinyal yang diperoleh.

Dari hasil pengujian, sinyal yang diperoleh tidak stabil, yaitu saat tertentu didapatkan sinyal yang sesuai dengan teori. Hal ini disebabkan antara lain oleh gangguan-gangguan, berupa gangguan inheren komponen elektronik, gangguan dari sumber radiasi seperti transmisi, kulit. Adanya ketidakstabilan sinyal inheren, karena sinyal EMG bersifat *quasi random* yang menyebabkan sinyal tidak stabil. Pengaruh-pengaruh kimiawi dari kulit, seperti keringat. Elektroda diletakkan pada kulit maka permukaan pendeteksian akan kontak dengan elektrolit-elektrolit kulit. Reaksi kimia harus tetap stabil selama masa perekaman. Kurang tepatnya dalam meletakkan elektroda.

Ketika elektroda dilepaskan maka akan muncul sinyal yaitu derau. Error pengujian secara keseluruhan juga disebabkan karena kurang tepatnya rangkaian yang dirancang, terutama pada penggunaan rangkaian amplifier.



Gambar 9: Sinyal otot dalam keadaan kejang/tegang

Sinyal yang diambil masih ada kemungkinan adalah sinyal ECG (amplitude sinyal ECG : 1 mV, EMG : 0-10 mV dengan typical value 200 μ V-400 μ V). Hal ini bisa diminimalisasi dengan filter yang akurat disertai pengambilan amplitude dengan penekanan pada *typical value*.

Untuk analisa kerusakan otot, diperlukan parameter-parameter antara lain amplituda, frekuensi, durasi dan tidak bisa langsung sekali pengambilan, tapi perlu pengambilan berulang kali yang disimpan, baru kemudian diproses lebih lanjut. Hal ini memerlukan *hardware* tambahan untuk mengolah beberapa sinyal yang telah masuk untuk mengidentifikasi/ diagnosa kerusakan otot.

5. Kesimpulan

Sinyal elektris otot yang diperoleh masih belum stabil karena adanya derau baik dari dalam rangkaian maupun dari pengaruh luar. Sistem mempunyai faktor kesalahan total sebesar 1.49%, maka perlu digunakan komponen dan rangkaian yang mempunyai tingkat kepresisian yang tinggi dan sistem pemrosesan secara digital. Dari hasil

pengukuran rangkaian instrumentasi EMG menggunakan parameter tegangan diperoleh bahwa besar tegangan sinyal EMG dipengaruhi oleh efek pembebanan atau kontraksi otot. Sehingga diperoleh relasi antara aktivitas otot dan sinyal elektris yang dihasilkan. Semakin besar kontraksi otot maka semakin besar tegangan yang dihasilkan oleh keluaran rangkaian bioamplifier.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Biomedik Jurusan Teknik Elektro ITS Surabaya atas kerja samanya dalam pemberian fasilitas pengujian dan pengukuran alat, serta kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penulisan ini.

6. Daftar Pustaka

1. Carlo J, Deluca, "The use of Surface Electromyography in Biomechanics", <http://www.delsys.com>, 09/19/2000
2. Gabriel J.F., "Fisika Kedokteran", Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta, 1998
3. Frendrick W. Hughes, "Op Amp Handbook", Prentice Hall Inc, 1986
4. Cromwell L., Arditi M., Weibel F.J., Pfeiffer E.A., Steele B., Labok J., "Medical Instrumentation for Health Care", Prentice Hall Inc, 1976
5. Loveday G., "Intisari Elektronika", PT. Elex Media Komputindo, 1992.
6. Millman J., Halkias C.C., Barmawi M., Tjia M.O., "Elektronika Terpadu Rangkaian dan Sistem Analog dan Digital", Penerbit Erlangga, 1984.
7. Data sheet : OP07.

INDEKS ELEKTRONIKA DAN TELEKOMUNIKASI

Volume 6 No. 1, Januari – Juni 2006

No. 2, Juli - Desember 2006

A. INDEKS PENGARANG

- | | |
|---|---|
| A.Kurniawan, A. Hasyim, Yuyu Wahyu 1 | Pamungkas Daud, Yusuf Nur W,
Dadin M. 32 |
| Fiky Yosef S, Arief Suryadi, Ros S 10 | Ros S, Yaya Sulaeman, Asep Y. H. 17 |
| Lia Muliani, Gandi S, Totok M.S. Soegandi,
Lilis Retnaningsih 58 | Yudi Yuliyus M, Iip Syarif H. 40 |
| Lilis Retnaningsih, Lia Muliani,
Gandi S 52 | Yusuf Nur Wijayanto, Dwi Astuti 78 |
| Nasrullah Amri, Arief Suryadi, Ros S,
Teguh Praludi 64 | Yusuf Nur W, Yuyu Wahyu. 24 |
| Novrita Idayanti, Dedi 46 | Yuyu Wahyu, Folin Oktafiani, A.A Lestari,
A.S Ahmad, A.G Sarovony, L.P Ligthart 70 |

B. INDEKS JUDUL MAKALAH

- | | |
|---|--|
| Antena Dipole GPR Adaptif terhadap Dua
Jenis Pulsa. 70 | Pengaruh Proses Pembakaran terhadap Nilai Refleksi
Lapisan TiO ₂ pada Sel Surya. 58 |
| Kajian Sistem Pengukuran Kuat Medan Sinyal TV. 32 | Perbandingan Unjuk Kerja Sistem Modulasi
QPSK dan OQPSK. 17 |
| Karakterisasi Komposisi Kimia Magnet NdFeB dengan
Energi Dispersi Sptroscopy (EDS). 46 | Power Divider/Combiner untuk Aplikasi Penerima
GPR pada Frekuensi 100 500 MHz. 24 |
| Karakterisasi Proses Teksturing Anisotropis pada
Silikon Kristal Tunggal dalam Membentuk Struktur
Piramida pada sel surya. 52 | Rancangan Susunan Antena 2-Element pada
Harmonia ke-2 pita Frekuensi 2,4 GHz. 1 |
| Pemantauan Teknologi Komunikasi Point to Point
untuk Telepon Pedesaan; Project Areas: Kabupaten
Belu Nusa Tenggara Timur. 64 | Rangkaian Bioamplifier untuk Mendeteksi Sifat
Elektris Otot. 78 |
| Pengaruh <i>zero Forcing Equalier</i> terhadap Penentuan
Waktu Sampling Awal pada Sisitem Komunikasi
<i>Digital Baseband..</i> 10 | Studi Awal Jaringan Sistem Komunikasi Cahaya
Nirkabel dengan Menggunakan Sinar Infra Merah.
40 |

C. INDEKS KATA KUNCI / KEYWORDS INDEX

- Anisotropik 52
 Antenna 70
 Antenna adaptif 70
 Audio 32
 Bioamplifier 78
 Biosinyal 78
 Etsa 52
 Frekuensi harmonik 1
 GPR impulse 70
 GPR 24
 Informasi 32
 Infra merah 40
 ISI 10
 Kantor pusat 64
 Karakterisasi
 Koefisien filter 10
 Komposisi kimia 46
 Lapisan ARC 58
 Magnet permanent 46
 Mikrostrip 1
 Modulasi 17
 NdFeB 46
 Nilai refleksi 58
 Nirkabel 40
 OQPSK 17
 Osilator 1
 Otot 78
 Penerima 32
 QPSK 17
 Radio digital 64
 Subscriber 64
 Teksturing 52
 Titanium dioksida (TiO₂) 58
 Titik ke titik 64
 Transmitter 40
 Video 32
 Adaptive antenna 70
 Anisotropic 52
 Antenna 70
 Anti reflection coating 58
 Audio 32
 Bioamplifier 78
 Biosignal 78
 Central office 64
 Characterization 46
 Chemical composition 46
 Coefficient filter 10
 Combiner 24
 Digital radio 64
 Equalizer 10
 Etch 52
 Ground penetrating radar (GPR) 70
 Harmonic frequensi 1
 Impulse GPR 70
 Information 32
 Infra red 40
 Insertion loss 24
 ISI 10
 Microstrip 1
 Modulation 17
 Muscle 78
 NdFeB 46
 Nirkabel 40
 OQPSK 17
 Oscilator 1
 Permanent magnet 46
 Point to point 64
 Power divider 24
 QPSK 17
 Receiver 32
 Reflection value 58
 Return loss 24
 Subscriber 64
 Texturing 52
 Titanium dioxide (TiO₂) 58
 Transmitter 40



Aturan Penulisan Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi PPET LIPI

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



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>