

JURNAL

ISSN 1411-8289

Elektronika dan Telekomunikasi

VOLUME 5, NOMOR 2

JULI - DESEMBER 2005



PUSAT PENELITIAN ELEKTRONIKA DAN TELEKOMUNIKASI
LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA

J. El. Kom	Vo. 5	No. 2	Hal. 46-90	Bandung Juli 2005	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. Fabrikasi Sel Surya Untuk Produksi Skala Kecil (<i>Ika Ismet, Erlyta Septa Rosa, Shobih</i>)	46 - 52
2. Proses Konfigurasi Radio Modem pada Stasiun Pemantauan Kuantitas Air (Water Kuantity Station) di DAS Brantas (<i>Robeth V. Manurung, Goib Wiranto</i>)	53 - 57
3. Pemrograman Mikrokontroler untuk Pendeteksi Kelembaban Sambungan Telepon Primer dengan Teknologi SMS Gateway (<i>Yaya Sulaeman, Asep Yudi Hercuadi, Ros Sariningrum</i>)	58 - 62
4. Antena Slot Waveguide untuk Wireless LAN pada Frekuensi 3,8 Ghz (<i>Folin Oktafiani, Yuyu Wahyu</i>)	63 - 71
5. Pengaruh Biologis Medan-medan Listrik dan Magnetik pada Frekuensi Amat Rendah (<i>Yahya Sukri</i>)	72 - 77
6. Slot Waveguide untuk Aplikasi Antena Wifi pada Frekuensi 2,4 Ghz (<i>Yudi Yuliyus, Yuyu Wahyu</i>)	78 - 83
7. Sistem Pelindung Peralatan Elektronik terhadap Gangguan Elektromagnetik (Elektromagnetic Interference/EMI) (<i>Sri Hardiati, Yahya Sukri</i>)	84 - 90
8. Indeks Elektronika dan Telekomunikasi Volume 5 No. 1. Januari - Juni 2005 No. 2. Juli - Desember 2005	
A. Indeks Pengaran	91
B. Indeks Judul Makalah	91
C. Indeks Kata Kunci/Keywords	92

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 V nomor 2 "*Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*", memuat sebanyak 7 buah tulisan, pada terbitan ke V ini materi jurnal cukup beragam meliputi:

Fabrikasi Sel Surya Untuk Produksi Skala Kecil Proses Konfigurasi Radio Modem pada Stasiun Pemantauan Kuantitas Air (Water Quantity Station) di DAS Brantas, Pemrograman Mikrokontroler untuk Pendeteksi Kelembaban Sambungan Telepon Primer dengan Teknologi SMS Gateway, Antena Slot Waveguide untuk Wireless LAN pada Frekuensi 3,8 GHz, Pengaruh Biologis Medan-medan Listrik dan Magnetik pada Frekuensi Amat Rendah, Slot Waveguide untuk Aplikasi Antena Wifi pada Frekuensi 2,4 GHz, Sistem Pelindung Peralatan Elektronik terhadap Gangguan Elektromagnetik (Elektromagnetic Interference/EMI)

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

Fabrikasi Sel Surya Untuk Produksi Skala Kecil

Ika Ismet, Erlyta Septa Rosa, Shobih,

Puslit. Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) LIPI

Kampus LIPI Jl. Sangkuriang Bandung 40135

Telp/Fax: 022-2504660,2504661/2504659

E-mail : ikaismet@yahoo.com

Abstract

This paper presents cost analysis based on an experience of development of solar cells processing using the existing facilities which are able to produce relatively capacity of 3000 cells/month. The cost analysis indicates a competitive sales price will be achieved at a production cost of US \$ 2.31/Wp based on multicrystalline silicon wafer price of US \$ 1.51.

Keywords: Cost analysis, solar cell, multicrystalline silicon.

Abstrak

Paper ini menyajikan analisa biaya berdasarkan pengalaman pengembangan proses sel surya dengan menggunakan peralatan yang tersedia yang memungkinkan untuk produksi sel surya untuk kapasitas produksi sebesar 3000 sel/bulan. Analisa biaya menunjukkan harga sel yang cukup kompetitif dapat dicapai dengan biaya fabrikasi sebesar US\$ 2,31 /Wp untuk harga wafer silikon multikristal US \$ 1,51.

Kata kunci: Analisa biaya, sel surya, silikon multikristal.

1. Pendahuluan

Penelitian dan pengembangan di bidang sel surya telah dilakukan di Puslit. Elektronika dan Telekomunikasi (PPET)-LIPI dengan bekerjasama dengan PT. LEN Industri (LEN), melalui Nota Kesepahaman kerjasama tentang "Kerjasama Pengembangan Sel Surya Secara Lokal".

Pengembangan proses sel surya yang cukup kompetitif ini diperoleh melalui pelaksanaan re-optimasi proses dan pengurangan tahapan proses yang tidak kompatibel dengan proses produksi. Demikian pula halnya dengan bahan untuk keperluan proses, telah dikaji mengenai kemungkinannya untuk diganti dengan bahan yang lebih murah dan mudah diperoleh di pasaran dalam negeri. Dengan melakukan proses teksturing isotropik yang dilanjutkan dengan pembersihan wafer silikon (Si) dalam larutan asam fluorida (HF), proses pencucian pra-difusi dan pra-oksidasi

yang lama dan mahal dapat dihilangkan. Cara ini tidak hanya menghemat biaya dan waktu tetapi juga dapat mengurangi limbah zat kimia. Proses teksturing ini yang dilanjutkan dengan re-optimasi pelapisan Anti Reflection Coating (ARC) juga telah mengurangi refleksi cahaya dari permukaan wafer Si.

Proses "firing through" yaitu proses firing kontak metal perak (Ag) melalui (*through*) lapisan ARC menghasilkan tahanan seri yang lebih rendah yang mengakibatkan efisiensi sel meningkat [1]. Demikian pula proses pasivasi SiO₂ dapat mengurangi kecepatan rekombinasi di permukaan Si sehingga meningkatkan besarnya arus hubung singkat I_{sc} [2]. Proses co-firing kontak atas dan bawah, serta deposisi spray H₃PO₄ yang dilakukan pada suhu kamar akan menghasilkan penghematan biaya listrik. Hasil dari pengembangan proses ini adalah tahapan proses sel surya yang lebih

sederhana, dapat diterapkan di industri dan cukup kompetitif dibandingkan dengan sel surya impor.

Tulisan ini menunjukkan upaya penyederhanaan fabrikasi sel surya untuk memperoleh biaya produksi yang cukup kompetitif, menggunakan fasilitas peralatan yang tersedia di PPET-LIPI dan LEN dengan kapasitas produksi sekitar 3000 sel / bulan (untuk 1 shift). Dari analisa biaya, fabrikasi sel surya dengan teknologi ini menghasilkan biaya produksi sekitar US \$ 2,31/Wp untuk harga wafer Si multikristal US \$ 1,51.

2. Pengembangan Proses Sel Surya

Seperti telah diuraikan di atas, proses sel surya yang dikembangkan oleh PPET-LIPI untuk keperluan produksi sel surya multikristal mempunyai beberapa keuntungan:

- Teknologi proses cukup sederhana dan kompetitif sehingga dapat diterapkan di industri
- Tanpa pemberian pasivasi SiN_x efisiensi sel dapat mencapai sekitar 12%.
- Untuk pembentukan sambungan p-n (*p-n junction*), metoda spray H_3PO_4 menghasilkan biaya fabrikasi yang lebih murah [3] Dibandingkan dengan metoda screen printing (SP) Phosphor (P).
- Pengurangan tahapan proses pada suhu tinggi dapat mengurangi biaya listrik.
- Bentuk struktur N^+PP^+ hanya dilakukan dengan 1 (satu) tahap proses difusi.

Gambar 1 menunjukkan tahapan proses sel surya. Gambar 2 menunjukkan struktur sel surya dengan metalisasi kontak menggunakan metoda screen printing. Kontak bagian atas dibuat dengan deposisi metal Ag yang berbentuk "grid" sementara untuk kontak bawah didepositkan bahan campuran perak alumunium (AgAl). Untuk mengurangi refleksi cahaya, permukaan atas wafer Si diberi

lapisan anti refleksi (ARC). Wafer Si multikristal dipilih karena lebih murah bila dibandingkan dengan Si monokristal, walaupun lebih sulit untuk memperoleh efisiensi yang tinggi [4].

Pembentukan sambungan p-n diperoleh dengan deposisi uap phosphor (P) di atas wafer Si dengan menggunakan metoda spray dimana wafer Si dalam keadaan berjalan. Jadi dalam kegiatan penelitian ini telah diupayakan pengadaan belt conveyor, sehingga proses spray H_3PO_4 dapat dilakukan dalam sistem ban berjalan. Teknik untuk mengurangi refleksi cahaya dari permukaan Si multikristal dilakukan melalui proses teksturing isotropik [5,6] yang lebih menghemat waktu (diban-dingkan dengan teksturing anisotropik), serta re-optimasi deposisi pasta Titanium Oksida (TiO_2) untuk ARC [7]. Selanjutnya proses difusi dengan conveyor furnace pada suhu pembakaran (*firing*) sekitar 900 °C menghasilkan sheet resistivity sekitar 30-50 Ω/\square yang merupakan parameter proses difusi untuk memperoleh sambungan p-n yang baik. Pasivasi SiO_2 diberikan pada suhu 800°C dengan gas oksigen.

Pelapisan ARC dengan menggunakan pasta TiO_2 dilakukan dengan proses spraying (SP). Proses pengeringan (*drying*) dilakukan pada suhu yang sama pada 150°C sedangkan proses firing dilakukan pada suhu sekitar 500°C. Proses metalisasi pada pembuatan sel surya terdiri dari metalisasi kontak bawah dan kontak atas. Metalisasi ini dilakukan dengan metoda yang sama (SP) untuk pembentukan kontak ohmik yang baik dan pengumpul arus pada bagian kontak atas. Pembentukan kontak bawah lebih dulu dilakukan dengan jalan melapisi bagian bawah Si dengan pasta AgAl , kemudian proses drying pada suhu 150°C. Setelah itu proses SP pasta Ag untuk pembentukan kontak atas, kemudian pengeringan pada suhu 150°C dan co-firing pada suhu sekitar 700°C, selanjutnya dilakukan pengukuran karakterisasi dari sel surya. Karakterisasi



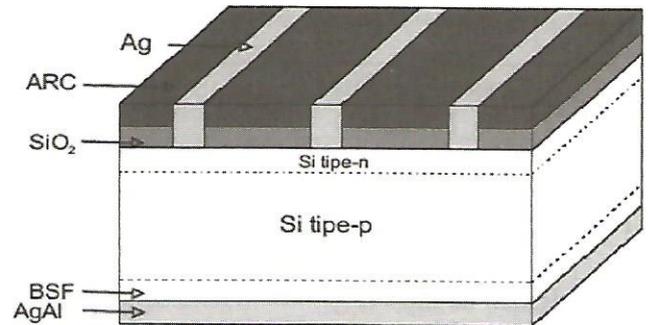
Gambar 1: Tahapan Proses Sel Surya

arus versus tegangan (I-V) dilakukan untuk mengetahui kualitas dan besarnya efisiensi sel surya. Dari pengukuran kurva IV ini dapat diketahui pula sekaligus besarnya arus hubung singkat, tegangan rangkaian terbuka, daya maksimum serta fill factor.

Untuk aplikasi Solar Home System (SHS) dengan sistem *stand alone*, 36 buah sel surya disusun dengan matriks 4 x 9 dan dikemas menjadi 1 (satu) buah modul surya dengan daya sekitar 50 Wp., kemudian modul surya ini diintegrasikan dengan komponen elektronik dan baterai menjadi suatu sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

3. Analisa Biaya

Berdasarkan pengalaman hasil pengembangan proses sel surya ini dibuat analisa biaya produksi sel surya untuk 1 (satu) shift dengan kapasitas 3000



Gambar 2: Struktur Sel Surya

sel / bulan disesuaikan dengan kapasitas peralatan yang tersedia di PPET dan LEN. Dengan kualitas wafer Si multikristal yang lebih rendah dibandingkan dengan monokristal, teknologi ini dapat menghasilkan efisiensi $\eta \sim 12\%$ (untuk dimensi sel 10 cm x 10 cm) dengan yield minimal 80%.

Tabel-1 menunjukkan fasilitas peralatan berikut kapasitasnya untuk masing-masing tahapan proses, sedangkan data-data bahan yang diperlukan serta hasil perhitungan biaya produksi sel surya dapat dilihat pada Tabel-2 dan Tabel-3.

Dari hasil pendataan tersebut diperoleh biaya fabrikasi sel/Wp adalah sebesar US \$ 2,31 untuk harga wafer Si multikristal US \$ 1,51 (lihat Tabel-2).

Dari PT LEN Industri diperoleh informasi bahwa harga FOB sel surya dari Taiwan, harga CIP sel surya dari Jerman dan dari Rusia [8] serta Belgia masing-masing seperti terlihat pada Tabel-3. Dari harga FOB ini maka dapat diperkirakan biaya fabrikasinya dengan asumsi gross profit margin 35%. Dengan asumsi tersebut pada Tabel-3 terlihat biaya fabrikasi/produksi sel surya buatan Taiwan, Belgia, Rusia dan Indonesia.

Pada Tabel-3 juga terlihat perbandingan harga sel surya sampai di Indonesia dengan asumsi biaya freight, insurance dan bea masuk adalah sekitar 30% [9] untuk Taiwan, Rusia dan Belgia serta gross

Tabel - 1: Fasilitas Peralatan dan Kapasitasnya

No.	Uraian Kegiatan / Lokasi	Peralatan	Daya listrik (kw)	Kapasitas	Tipe proses	
I 1.	PPET-LIPI Texturing	- Wet bench - 1	1	20 waf. / 10 min	B	
		- DI H ₂ O System - 1	2,2			
	2.	Rinse & dry	Rinser dryer - 1	2	80 waf. / 10 min	B
	3.	Spray Phosphor	Sprayer	0,5	4 waf. / min	C
4.	Difusi	Conveyor furnace - 1	30	20 waf. / jam	C	
II 5.	PPET-LIPI / LEN Deglazing	- Wet bench - 2	1	20 waf. / 5 min	B	
		- DI H ₂ O System - 2	2,2			
	6.	Rinse & dry	Rinser dryer - 2	2	80 waf. / 10 min	B
	7.	Pasivasi SiO ₂	Oxidation furnace	10	60 waf. / 30 min	B
	8.	Screen printing ARC - Leveling - Drying - Firing	Screen printer - 1	2,2	5 waf. / min	C
			Oven	3,1	20 waf. / 5 min	B
			Conveyor furnace -2	10	60 waf. / 10 min	B
					2 waf. / 5 min	C
III 9.	LEN Screen printing AgAl - Leveling - Drying	Screen printer - 2	2,2	5 waf. / min	C	
				20 waf. / 5 min	B	
		Dryer conveyor	9	5 waf. / min	C	
	10.	Screen printing Ag - Leveling - Drying - Co-firing	Screen printer - 2	2,2	5 waf. / min	C
					20 waf. / 5 min	B
			Dryer conveyor	9	5 waf. / min	C
			Conveyor furnace - 3	10	5 waf. / min	C
11.	Testing	Sun simulator & sorter	2,5	4 waf. / min	C	

Catatan :

B = Batch

C = Continuous

profit margin untuk Indonesia 35%. Berhubung harga sel surya Jerman sudah dalam CIP maka harga sel Jerman sampai di Indonesia ditambah dengan PPn dan PPh sebesar 12,5 %. Dari Tabel-3 terlihat bahwa harga sel surya kita masih belum kompetitif dengan Jerman (dengan bahan wafer Si ribbon) namun untuk Si multikristal sudah bisa bersaing dengan Taiwan, Belgia dan Rusia.

Dilaporkan oleh Nijs *et al.* [10] bahwa fabrikasi modul surya diklasifikasikan menjadi

beberapa tahapan proses sebagai berikut :

- Penyediaan bahan substrat
- Fabrikasi wafer Si
- Fabrikasi sel surya
- Fabrikasi modul surya

dimana prosentasi biaya dari masing-masing tahapan tersebut terhadap biaya modul surya per Wp adalah: (a+b):c:d=

(50-55)% : (18-20)% : (27-30)%.

Dilaporkan pula oleh Wenham *et al.* [11] bahwa

Tabel-2: Biaya Produksi Sel Surya Silikon Multikristal 10cm x 10cm.

No.	Bahan	Jumlah Bahan/Sel	Harga Satuan (US \$)	Biaya Proses/Sel (US \$)
			Produksi	Produksi
1	Wafer Si multikristal	1 buah	1,51/bh	1,51
2	H ₃ PO ₄	0,05 gr	66,7/lt	0,0016
3	Pasta Ag	0,12 gr	0,48/gr	0,0576
4	Pasta AgAl	0,50 gr	0,45/gr	0,2250
5	Pasta TiO ₂	0,22 gr	0,89/gr	0,1958
6	Bahan pencucian wafer, screen, gas, listrik, upah, maintenance			1,22
Jumlah Biaya / Sel				3,21
Jumlah Biaya / Wp				2,31

Tabel-3: Perbandingan Harga Sel Surya sampai di Indonesia Berdasarkan Harga Sel Surya.

No.	Sel Surya	Harga Jual (US \$)		Harga Sampai di Indonesia (US \$)*)		Biaya Fabrikasi (US \$)**)	
		Sel	Sel / Wp	Sel	Sel / Wp	Sel	Sel / Wp
1	Taiwan multikristal	3,57 (FOB)	2,57 (FOB)	4,64	3,34	2,64	1,90
2	Belgia multikristal	3,82 (FOB)	2,75 (FOB)	4,97	3,58	2,83	2,04
3	Jerman ribbon	3,45 (CIP)	2,48 (CIP)	3,88	2,79	-	-
4	Rusia	3,47 - 4,17 (FOB)	2,5 - 3,0 (FOB)	4,51 - 5,42	3,25 - 3,90	2,57 - 3,09	1,85 - 2,22
5	Indonesia multikristal	-	-	4,33	3,12	3,21	2,31

*) Diasumsikan biaya freight insurance + bea masuk 30 % (Ppn + PPh = 12,5 %)

***) Diasumsikan gross profit margin 35 %.

harga wafer kristal Si bisa mencapai setengah dari biaya modul surya/Wp [11]. Dalam hal ini biaya modul surya/Wp berkisar antara US \$ 3,50 - 4,60 [4], China sekitar US \$ 4,30/Wp (harga FOB) [8], Rusia antara US \$ 5,0 - 7,5 dan India US \$ 4,58/Wp [12]. Tabel-4 menunjukkan perbandingan harga sel surya/Wp sampai di Indonesia, untuk produk impor dari negara - negara tersebut.

Dari Tabel-4 terlihat bahwa untuk biaya modul surya antara US \$ 3,50/Wp - 4,60/Wp maka biaya wafer berkisar antara US \$ 1,75 - 2,30 dan biaya fabrikasi sel sebesar US \$ 0,70 - 0,92 (dengan asumsi perbandingan (a+b) : c : d = 50 % : 20 % : 30 %) sehingga harga sel di Indonesia diperkirakan berkisar antara US \$ 3,19 - 4,19. Untuk China dan India harga sel di Indonesia diperkirakan sekitar

Tabel - 4: Perbandingan Harga Sel Surya di Indonesia Berdasarkan Harga Modul Surya / Wp

Harga Modul Surya/Wp (US \$)	3,50 – 4,60 [4]	4,30 [China]	4,58 [India]	5,0 – 7,5 [Rusia]
Wafer (50 %)	1,75 – 2,30	2,15	2,29	2,50 – 3,75
Fabrikasi sel (20 %)	0,70 – 0,92	0,86	0,92	1,0 – 1,50
Harga sel (FOB)	2,45 – 3,22	3,01	3,21	3,50 – 4,43
Harga sel (di Ind.)	3,19 – 4,19	3,91	4,17	4,55 – 5,76

US \$3,91 dan US \$ 4,17 sedangkan Rusia berkisar antara US \$ 4,55–5,76 yang tidak begitu berbeda jauh dengan yang tertera pada Tabel-3.

Walaupun biaya fabrikasi sel kita melebihi hampir 2x (dua kali) lipat, namun ternyata harganya sebesar US \$ 4,33 masih kompetitif dengan harga sel surya impor dari Taiwan, Belgia dan Rusia karena sel impor ini dibebani dengan biaya transportasi, insurance dan bea masuk (sekitar 30 %). Sedangkan sel impor dari China dan India berada dalam kisaran yang sesuai dengan ref. [4]. Analisa biaya ini tidak memperhitungkan biaya investasi peralatan yang ada di PPET LIPI dan di PT. LEN Industri untuk keperluan proses ini. Rinaldy Dalimi [13] seorang pemerhati di bidang energi dari Universitas Indonesia, menyatakan bahwa listrik pedesaan harus diperlakukan sebagai infrastruktur yang harus disiapkan pemerintah sehingga penetapan tarif listriknya hanya berdasarkan biaya produksi tanpa memperhitungkan biaya investasi.

Untuk skala produksi yang lebih besar lagi (misal 1 MWp per tahun) dengan investasi baru sekitar US \$ 2.000.000,- [14,15], maka biaya bahan (termasuk wafer Si) akan menjadi lebih murah sehingga harga sel/Wp akan lebih rendah lagi.

4. Kesimpulan

Dari uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa :

- Proses sel surya dengan kapasitas 3.000 sel/bulan dengan teknologi spray larutan

H_3PO_4 untuk pembentukan sambungan p-n dinilai cukup kompetitif dibandingkan dengan sel surya impor.

- Harga sel surya yang kompetitif dengan biaya fabrikasi sebesar US \$ 2,31 per Wp dapat dicapai untuk harga wafer Si sekitar US \$ 1,51.
- Kegiatan riset seyogianya difokuskan pada penguasaan teknologi proses sel surya yang ekonomis dan kompetitif dengan penggunaan wafer Si yang lebih murah.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Puslit Elektronika dan Telekomunikasi yang telah mengijinkan untuk dipublikasikannya makalah ini.

5. Daftar Pustaka

1. Septa Rosa.Erlyta., Ismet.Ika, Shobih, “Proses Metalisasi Kontak Sel Surya Silikon Multikristal Menggunakan Metoda Firing Through”, akan dipublikasikan.
2. Septa Rosa.Erlyta., Ismet. Ika, Shobih, “Peningkatan Efisiensi Sel Surya Silikon Multikristal Melalui Proses Pasivasi Permukaan Emiter”, akan diterbitkan dalam Prosiding Seminar Nasional XV Kimia Dalam Industri dan Lingkungan, Yogyakarta, 12 Desember 2006.
3. Ika Ismet. Ika, Sept.Rosa. Erlyta., Shobih, “Aplikasi Sel Surya Untuk Listrik Pedesaan”, *KIPNAS VIII, Jakarta, 9-11 September 2003.*

4. Szlufcik. J., Duerinckx. F, Van Kerschaver.E, Nijs. J, "Advanced Industrial Technologies for Multicrystalline Silicon Solar Cells", *IMEC, 2001*.
5. Ismet. Ika, Shobih, Septa Rosa.Erlyta, Aminudin. A. Wahid, "Isotropic Texturing for the Application of Multicrystalline Silicon Solar Cell Processing", *Proc. of the 8th International Conference on Quality in Research (QIR), Depok, 9-10 August 2005*.
6. Ismet. Ika, Septa Rosa. Erlyta, Shobih, "Pengaruh Texturing Terhadap Peningkatan Efisiensi Sel Surya Silikon Multikristal", Seminar Nasional IPTEK Solusi Kemandirian Bangsa, Yogyakarta, 2-3 Agustus 2006.
7. Ismet. Ika, Septa Rosa. Erlyta, Shobih, Aminudin. Wahid, Sagala. Pahlawan, Sulaeman. E, "Modul Surya 50 Wp Untuk Mendukung Program Energi Nasional", "Seminar/Ekspose Hasil Program Kompetitif LIPI", Jakarta, 13-14 September 2006.
8. Herman. Agus, "Private communication", *PT. LEN Industri September 2005*.
9. Tahyan, " Private communication", *PT LEN Industri April 2004*.
10. Nijs.Johan F. , Szlufcik. J, Poortmans. J, Sivoththaman. S, Mertens. R.P, "Advanced.Manufacturing Concepts for Crystalline Silicon Solar Cells", *IEEE Trans.on E.D., Oct. 1999*.
11. Wenham. S.R, Green. M.A, and Watt. M.E, "Applied Photovoltaic"
12. Maharishi, "private communication ", *Solar Technology Private Ltd. - India, June 2006*.
13. Dalimi. Rinaldy, " Energi", *Edisi April, Tahun III, 2001*.
14. De Vos. Joris, "Description of the IMEC Solar Cell Production", *Soltech N.V., Belgium, January 1994*.
15. Wenas. Wilson, "Solar Cell Manufacturing Program in Indonesia", *Proc. of 1st Intl. Workshop on Solar Energy Utilization, October 2004, Jakarta*.
- 16.

Proses Konfigurasi Radio Modem pada Stasiun Pemantauan Kuantitas Air (Water Quantity Station) di DAS Brantas

Robeth V Manurung, Goib Wiranto

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI

Kampus LIPI Jl. Sangkuriang Bandung 40135

Telp/Fax: 022-2504660, 2504661/ 2504659

robeth@ppet.lipi.go.id

Abstract

The water quantity stations have been installed along Brantas river basin. There are seven water level stations and seven rainfall stations. The function of this system is to monitor water quantity and flood early alarm system. The data from all the stations will be transmitted to master station using telemetry system. This paper which is used describes the process of radio modem configuration that is use for telemetry system.

Keywords: radio modem, water level, configuration, telemetry

Abstrak

Sepanjang DAS Brantas telah dipasang dan dioperasikan stasiun pemantau kuantitas air yang meliputi tujuh stasiun pemantau water level dan tujuh stasiun pemantau curah hujan (rainfall). Keseluruhan stasiun tersebut menggunakan sistem komunikasi radio telemetri untuk pengiriman data hasil pantauan ke master station di Malang. Dalam tulisan ini di jelaskan mengenai proses konfigurasi radio modem yang digunakan dalam sistem telemetri tersebut.

Kata Kunci : radio modem, water level, konfigurasi, telemetri

1. Pendahuluan

Sejak tahun 1999, Perum Jasa Tirta 1 sebagai pengelola DAS Brantas bekerja sama Lembaga Ilmu Pengatahuan Indonesia (LIPI) dan Pemerintah Austria yang diwakili oleh perusahaan Verbundplan telah menerapkan sistem FFWS (*Flood forecasting And Warning System*) dengan memasang beberapa stasiun kuantitas air (*water quantity*) yang terdiri atas 7 (tujuh) stasiun pemantau *water level* dan 7 (tujuh) stasiun pemantau curah hujan (*rainfall*) dan 6 (enam) stasiun pengulang (*repeater*) di sepanjang DAS Brantas. Lokasi dari tiap stasiun tersebut dapat dilihat pada tabel berikut ini,

Tabel 1. Lokasi Stasiun Tinggi Muka Air

No	Name	River	Latitude	Longitude
1	Madyopuro	Amprong	07° 58,616'	112° 40,676'

2	Selopuro	Lekso	08° 08,056'	112° 17,568'
3	Sooko	Brangkal	07° 31,445'	112° 24,911'
4	Gebang Bunder	Beng	07° 27,901'	112° 09,346'
5	Jetis	Marmoyo	07° 24,660'	112° 28,431'
6	Metro	Metro	08° 07,731'	112° 33,595'
7	Trenggalek	Ngasinan	08° 03,418'	111° 42,286'

Tabel 2. Lokasi Stasiun Curah Hujan

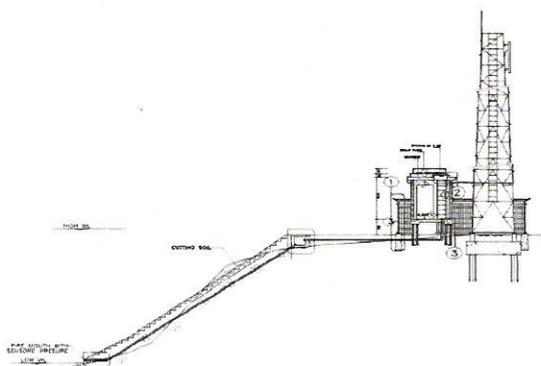
No	Name	Village	Latitude	Longitude
1	Jabung	Sukolilo	07° 56,873'	112° 44,429'
2	New Gemarang	Gebangan	07° 40,111'	111° 43,999'
3	Rejoso	Musir Lor	07° 30,447'	111° 54,261'
4	Sukodadi	Sukodadi	07° 22,132'	112° 12,674'
5	Wonosalam	Sambirejo	07° 41,955'	112° 21,936'
6	Driyorejo	Krikilan	07° 22,189'	112° 35,279'
7	Trawas	Trawas	07° 39,897'	112° 35,285'

Tabel 3. Lokasi Stasiun Pengulang

No	Name	Remark	Latitude	Longitude
1	Wonosalam	New Rainfall Station	07° 41,95'	112° 21,936'
2	New Lengkong Dam	Existing Rep. Station	07° 26,77'	112° 27,88'
3	Pakisrejo	New Repeater Station	08° 10,66'	111° 52,66'
4	Wilis	Existing Rep. Station New Antenna Mast	08° 52,02'	111° 52,08'
5	Pujon	Existing Rep. Station	07° 51,12'	112° 29,101'
6	Pondok Kobong	Existing Rep. Station	08° 13,92'	112° 28,733'

Secara garis besar, stasiun kuantitas air (*water quantity*) terdiri dari bangunan pelindung untuk *data logger* dan perangkat *radio communication, antenna, sensor* dan *solar panel* sebagai catu daya. Antena yang digunakan untuk komunikasi data memiliki ketinggian antara 20–25 m yang dilengkapi dengan sistem penangkal petir. Sedangkan *power supply* untuk peralatan ukur dan *radio communication* dipasang melalui solar panel yang juga akan mengisi (*charging*) baterai sebagai sumber listrik di waktu malam.

Peralatan ukur untuk stasiun pemantau *water level* adalah menggunakan sensor tekanan (*pressure sensor*) yang terpasang pada sebuah pipa yang terhubung langsung dengan stasiun seperti ditunjukkan pada gambar berikut,



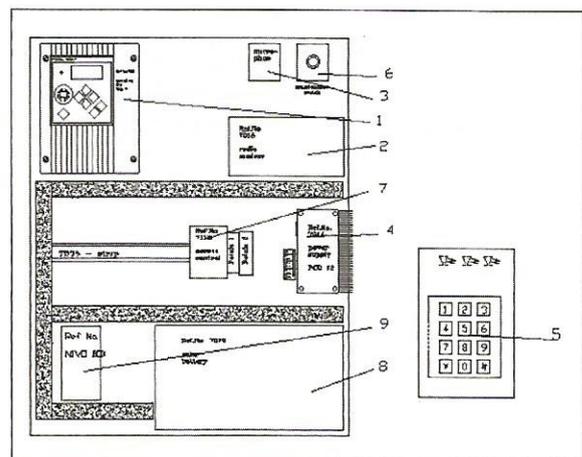
Gambar 1: Stasiun pemantau *tinggi muka air*

2. Peralatan stasiun pemantau *water level*

Peralatan yang menunjang untuk pemantauan tinggi muka air (*water level*) ini terdiri atas beberapa bagian yaitu,

1. Peralatan *data logger* terdiri dari :
 - > Gealog Data logger
 - > Adapter Card
 - > Display, Keyboard Unit Housing
2. Radio Modem & Comm Logotronic
3. Microphone, speaker
4. PCU 12 power supply
5. Security Pad
6. Maintenance switch
7. Security Control Unit
8. Rechargeable Battery
9. Nivo BOX for pressure probe

Berikut ini gambar *lay out* dari tiap-tiap bagian peralatan tersebut,



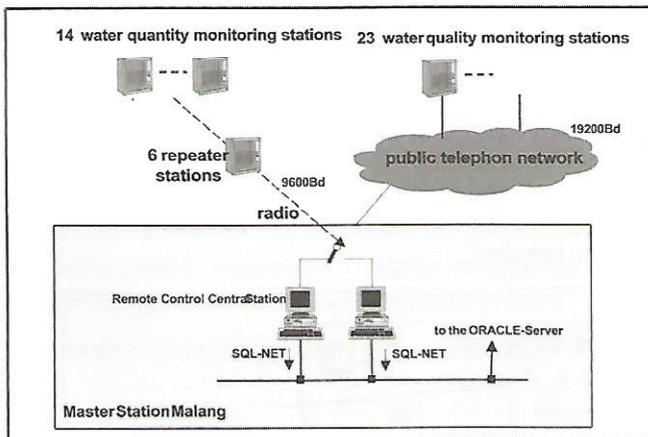
Gambar 2: Tata Letak peralatan stasiun *tinggi muka air*

Seluruh data-data hasil pantauan mengenai ketinggian muka air (*water level*) di sepanjang DAS Brantas ini akan di olah dan disimpan di dalam *data logger* yaitu OTT LOG. Kemudian data-data tersebut akan di kirimkan ke *master station* di Malang setiap pukul sepuluh pagi tiap hari.

3. Sistem komunikasi data stasiun pemantau *water level*

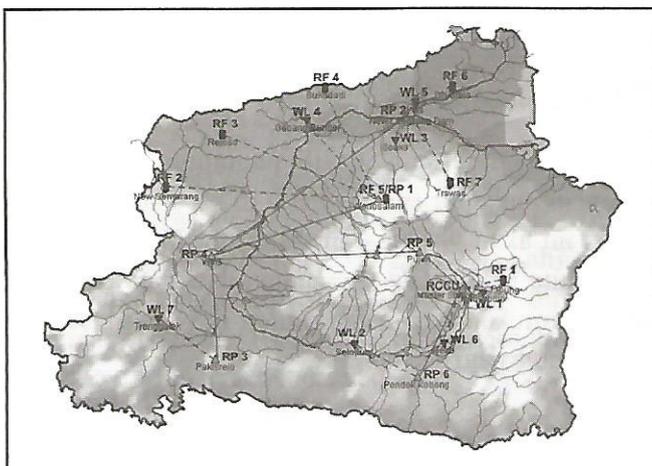
Data-data tinggi muka air (*water level*) hasil pantauan secara *real time* disimpan lokal di *data logger* yang kemudian dikirimkan ke *master station* secara

sistem telemetri. *Remote control unit* yang terdapat di *master station* lah yang mengendalikan komunikasi dengan stasiun pemantau, manajemen data, penyimpanan data dan evaluasi data. *Data query* hasil pantauan tersebut dengan menggunakan *SQL command* akan di transfer ke *central database (ORACLE database)* di *master station*. Berikut ini menjelaskan sistem telemetri tersebut,



Gambar 3. Sistem komunikasi data stasiun pemantau kualitas dan kuantitas air DAS Brantas

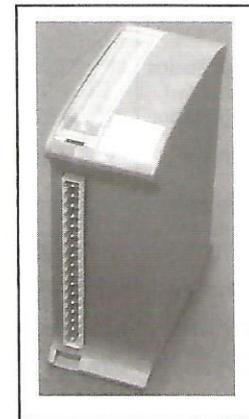
Berikut ini adalah jalur transmisi data melalui radio komunikasi dari stasiun pemantau ke *master station* via *repeater*,



Gambar 4. Jalur transmisi data stasiun pemantau kuantitas air

4. Radio modem

Radio modem (modulator-demodulator) merupakan salah satu bagian utama dalam sistem telemetri. Produk yang digunakan adalah Gealog Radio Modem keluaran Logotronic Austria.



Gambar 5. Gealog radio modem

Radio modem berfungsi sebagai perangkat interface untuk mengkondisikan data-data hasil pengukuran tinggi muka air ke dalam format standar dari komunikasi data yang menggunakan media transmisi radio FM.

Sedangkan spesifikasi teknis dari Gealog radio modem yang digunakan adalah sebagai berikut :

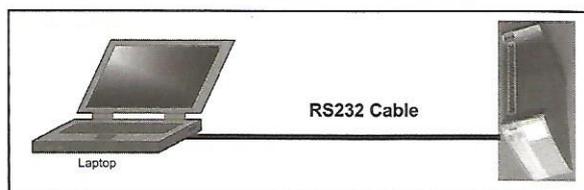
- RS232 interface
- Packet oriented data transmission
- 4I-FSK modulation
- Addressing Mode
- 12VDC (9 to 22 VDC)
- Average current drain: 20 mA for 12 V

Gealog radio modem ini bersifat *customized* yang artinya bahwa *radio modem* tersebut terlebih dahulu di program konfigurasi sesuai dengan kebutuhan komunikasi data yang akan digunakan dalam hal ini pada stasiun pemantau kuantitas air DAS Brantas Jawa Timur. Beberapa parameter-parameter yang perlu diperhatikan dalam memprogram Gealog radio modem ini yaitu,

- TX Address
- RX Address
- Command Address
- Repeater Address

5. Konfigurasi Radio Modem

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa Gealog radio modem sebelum digunakan perlu dilakukan konfigurasi program sehingga dapat digunakan pada tiap-tiap stasiun pemantau kuantitas air maupun *repeater*. Proses konfigurasi ini menggunakan *personal computer*, kabel RS232 dengan koneksi pin mengikuti spesifikasi dari pabrik pembuatnya yaitu Logotronic serta gealog radio modem. *Set up* konfigurasi dari *radio modem* ini dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini,



Gambar 6. Setup konfigurasi radio modem

Untuk tampilan menu untuk program konfigurasi radio modem ini ditunjukkan sebagai berikut :

- ```
Version number: 1.1
EEProm saved: no
1) TXAddress is 1234 5678 9ABC
2) RXAddress is 3132
3) CommandAddress is 3133
4) Relay Address is 3134
5) Write Output Pins |9|8|7|6|5|4|3|2|1|0|
6) Read Input Pins |1|0|
7) Alarm Input 1 active [1|0] 1
8) Alarm Input 2 active [1|0] 1
b) pre PTT [0-255] 200
c) post PTT [0-255] 020
s) Save Configuration to EEPROM
e) Exit Programm-Mode
t) SelfTest start ...
```

-----<  
Change value (1-9/s/e)

#### 1. TXAddress

TX address adalah alamat *transmitter* dari stasiun atau *repeater (relay)* sebelum stasiun yang bersangkutan dimana *radio modem* tersebut dipasang. Urutan TX address ini disesuaikan dengan desain topologi jaringan telemetri dari stasiun pemantau kuantitas air (*water quantity*) di DAS Brantas.

#### 2. RX address

Seperti halnya dengan *TX address*, maka *RX address* merupakan identitas *receiver*, dalam hal ini adalah stasiun atau *repeater* yang bersangkutan. Dengan kata lain bahwa *RX address* merupakan *ID station* yang dimaksud.

Berikut ini beberapa contoh *listing* program yang dilakukan dalam meng-konfigurasi *radio modem* untuk beberapa stasiun yaitu,

- *Master station*  
Version number: 1.1  
EEProm saved: no
  - 1) TXAddress is 4152
  - 2) RXAddress is 4152
  - 3) CommandAddress is 4153
  - 4) Relay Address is 4154
  - 5) Write Output Pins |9|8|7|6|5|4|3|2|1|0|
  - 6) Read Input Pins |1|0|
  - 7) Alarm Input 1 active [1|0] 0
  - 8) Alarm Input 2 active [1|0] 0
  - b) pre PTT [0-255] 200
  - c) post PTT [0-255] 020
  - s) Save Configuration to EEPROM
  - e) Exit Programm-Mode
  - t) SelfTest start ...

- *Repeater Pujon*  
Version number: 1.1  
EEProm saved: no
  - 1) X Address is 4152
  - 2) RXAddress is 4352
  - 3) CommandAddress is 4353
  - 4) Relay Address is 4354
  - 5) Write Output Pins |9|8|7|6|5|4|3|2|1|0|
  - 6) Read Input Pins |1|0|
  - 7) Alarm Input 1 active [1|0] 0
  - 8) Alarm Input 2 active [1|0] 0
  - b) pre PTT [0-255] 200
  - c) post PTT [0-255] 020
  - s) Save Configuration to EEPROM
  - e) Exit Programm-Mode
  - t) SelfTest start ...

- *Rainfall Jabung*  
Version number: 1.1  
EEProm saved: no
  - 1) TX Address is 4152
  - 2) RXAddress is 5252

- 3) Command Address is 5253
- 4) Relay Address is 5254
- 5) Write Output Pins |9|8|7|6|5|4|3|2|1|0|
- 6) Read Input Pins |1|0|
- 7) Alarm Input 1 active [1|0] 0
- 8) Alarm Input 2 active [1|0] 0
- b) pre PTT [0-255] 200
- c) post PTT [0-255] 020
- s) Save Configuration to EEProm
- e) Exit Programm-Mode
- t) Self Test start ...

• *Water Level* Trenggalek

Version number: 1.1

EEProm saved: no

- 1) TX Address is 4554 4454 4354 4152
- 2) RX Address is 4E52
- 3) Command Address is 4E53
- 4) Relay Address is 4E54
- 5) Write Output Pins |9|8|7|6|5|4|3|2|1|0|
- 6) Read Input Pins |1|0|
- 7) Alarm Input 1 active [1|0] 0
- 8) Alarm Input 2 active [1|0] 0
- b) pre PTT [0-255] 200
- c) post PTT [0-255] 020
- s) Save Configuration to EEProm
- e) Exit Programm-Mode
- t) Self Test start ...

Berikut ini merupakan topologi jaringan komunikasi data dengan sistem telemetri untuk stasiun pemantau kuantitas air (*water quantity*).

Dari topologi jaringan tersebut, untuk stasiun *water level* trenggalek memiliki *TX Address* sesuai dengan

jalur komunikasi sebelumnya yaitu melalui *repeater* Pakisrejo (4554), *repeater* Wilis (4454), Pujon (4354) dan terakhir di *Master station* (4152). Demikian juga dengan stasiun pemantau lainnya memiliki urutan yang serupa.

6. Kesimpulan

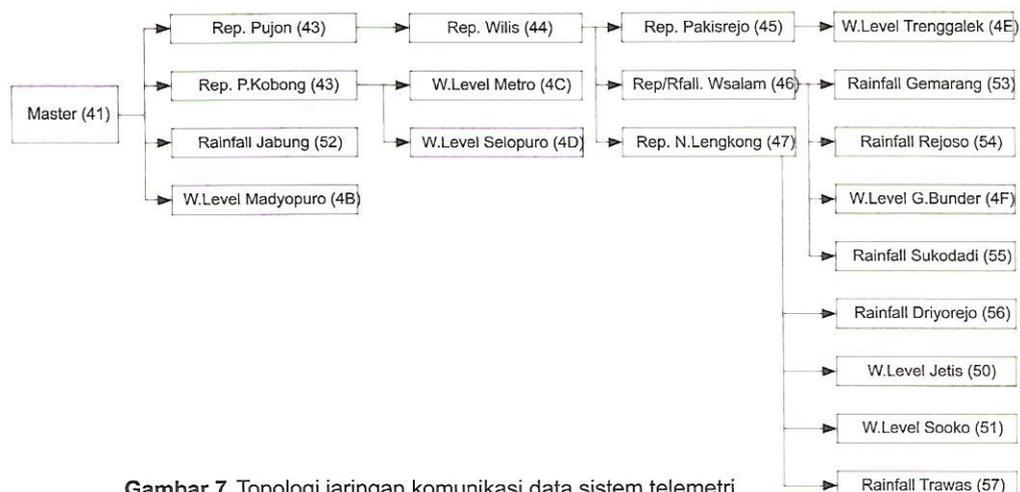
- Radio modem perlu dilakukan konfigurasi awal untuk menginisialisasi parameter-parameter yang berkaitan dengan unjuk kerja dari modem itu sendiri
- Pengalamatan (*addressing*) untuk routing komunikasi antar stasiun maupun melalui repeater haruslah mengikuti desain awal topologi jaringan tersebut.

Ucapan Terimakasih

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada PPET-LIPI atas ijinnya untuk mempublikasikan penelitian ini.

7. Daftar Pustaka

1. "Operation & Maintenance Instruction Manual Vol.1", *Brantas River Water Quality & Pollution Management, 2000*
2. "Operation & Maintenance Instruction Manual Vol.3", *Brantas River Water Quality & Pollution Management, 2000*
3. "Servicehandbuch Radiocomm FSK", *Logotronic Austria, 2000.*



Gambar 7. Topologi jaringan komunikasi data sistem telemetri

# Program Mikrokontroler untuk Pendeteksi Kelembaban Sambungan Telepon Primer dengan Teknologi SMS Gateway

Yaya Sulaeman, Asep Yudi Hercuadi, Ros Sariningrum

Puslit. Elektronika dan Telekomunikasi - LIPI

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

email: [yaya@ppet.lipi.go.id](mailto:yaya@ppet.lipi.go.id), [asep@ppet.lipi.go.id](mailto:asep@ppet.lipi.go.id), [ros@ppet.lipi.go.id](mailto:ros@ppet.lipi.go.id)

## Abstract

*A manhole is a place for connecting a primary of the telephone cable network. It covered by a closure to avoid leakage that may arise such as from water or animals in the soil. A problem is arise if a closure is broken and might have disturbancies on the telephone network. In this paper, the instrument to measure the humidity around the closure is described. The signal from the instrument can be transmitted to the operators through the SMS gateway for warning.*

**Key Words :** SMS gateway, closure, manhole

## Abstrak

*Manhole merupakan tempat pertemuan sekaligus persambungan kabel jaringan Primer. Persambungan tersebut dilindungi dengan closure untuk mencegah kebocoran seperti yang diakibatkan oleh air atau binatang di dalam tanah. Permasalahan timbul jika terdapat kebocoran pada Closure, menyebabkan gangguan pada seluruh jaringan yang terkait. Jumlah sambungan dalam satu jalur primer umumnya sangat banyak, sehingga sulit menentukan titik sambungan mana yang lembab atau bocor. Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan suatu peralatan yang mampu mengirimkan peringatan kepada petugas pemeliharaan dengan menggunakan teknologi SMS.*

**Kata kunci :** teknologi SMS, manhol, jalur primer

## 1. Pendahuluan

Peralatan Komunikasi yang menggunakan media kabel saat ini, mempunyai masalah dalam perawatan jaringan, apalagi kalau media jaringan tersebut sudah berumur puluhan tahun lamanya. Disini akan banyak terjadi masalah baik dari kebocoran, lembab atau korosi, yang akan membuat komunikasi terganggu dan bahkan terputus.

Media kabel yang digunakan mempunyai panjang tertentu, sedangkan jarak untuk menghubungkan dari satu titik ke titik tujuan tidaklah cukup dengan satu bentangan kabel saja, akibatnya tentu saja diperlukan suatu persambungan (*manhole*), sedangkan *manhole*

sendiri perlu dilindungi oleh closure. Banyaknya sambungan, perawatan dan pemeliharaannya tentu saja tidak mudah dan membutuhkan waktu, apalagi kalau harus mengira-ngira suatu titik sambungan yang mengalami gangguan dan hasilnya salah, maka akan banyak terjadi galian yang akan memakan biaya cukup mahal.

Untuk mengatasi hal ini, diperlukan suatu sistem detektor yang dapat memberitahukan letak tempat yang mengalami gangguan dengan cepat dan akurat, sehingga waktu dan biaya dapat ditekan.

Monitoring untuk seluruh titik sambung kabel primer terhubung dilakukan oleh satu *console*. Dengan memasang sensor pada setiap closure

maka dengan mudah dapat diketahui letak titik gangguan yang diakibatkan lembab dan sambungan kabel yang terendam air.

Detektor kelembaban dipasang dalam suatu closure dan akan memberikan sinyal data jika terjadi suatu limit nilai yang tidak diinginkan, sinyal data ini menggunakan DTMF (*Dual Tone Multi Frequency*) ke bagian kontrol panel yaitu Multiplexer, yang menerima semua keluaran dari modul sensor dan selanjutnya mengirimkan informasi ke operator melalui SMS.

**2. Implementasi**

Pada perancangan rangkaian harus dibuat rangkaian se-optimal mungkin untuk pemakaian arus dan tegangan. Diketahui bahwa setiap satu buah saluran telepon dari Telkom hanya menyediakan arus sebesar 100 mA dan panjang kabel maksimal yang terpanjang adalah 6 km, dengan demikian akan terjadi redaman pada sepanjang kabel tersebut. Jika panjang satu bentangan saluran kabel 100 m, berarti ada 60 sambungan primer sejauh 6 km.

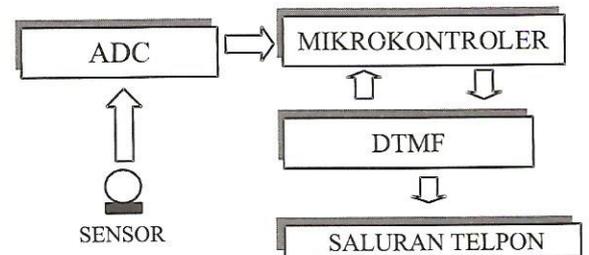
Dengan arus sebesar 100 mA, tidaklah mungkin apabila Modul Sensor sebanyak 60 buah harus aktif seluruhnya. Dengan demikian maka Kontrol Panel atau Multiplexer harus dapat mengatur agar Modul Sensor bekerja secara bergantian. Modul Sensor sendiri yang bekerja

secara periodik bergantian memberikan informasi data yang terjadi dilapangan.

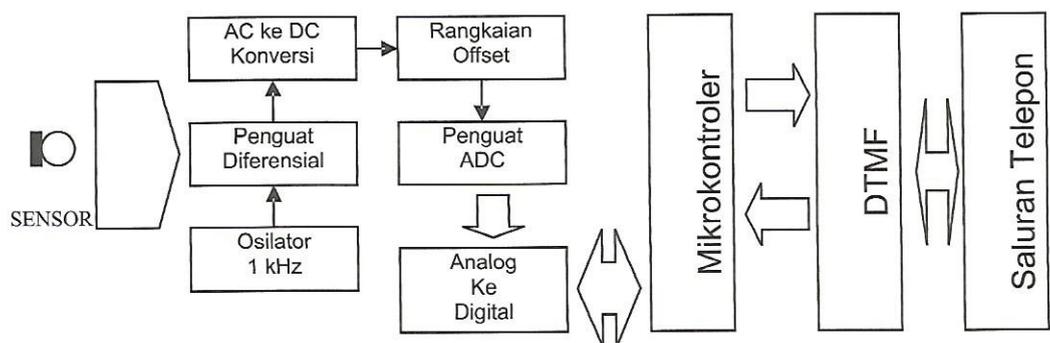
**2.1 Modul Sensor**

Rangkaian Modul Sensor terdiri atas rangkaian sensor kelembaban, rangkaian konversi Analog to Digital (ADC), Mikrokontroler dan Dual Tone Multi Frequency (DTMF) diperlihatkan pada gambar 1.

Sensor kelembaban akan memberikan data hasil deteksinya berupa sinyal analog ke rangkaian ADC. Oleh ADC sinyal analog tersebut akan diubah menjadi suatu sinyal digital, sehingga bisa dimengerti oleh rangkaian Mikrokontroler. Mikrokontroler akan menyimpan sinyal data digital tersebut dan menunggu permintaan dari DTMF. DTMF harus selalu siap untuk menerima panggilan dari Multiplexer, jika ada panggilan maka DTMF akan mengaktifkan Mikrokontroler untuk mengambil data hasil Sensor kelembaban.



**Gambar 1:** Blok rangkain Modul Sensor



**Gambar 2 :** Blok Diagram Modul Sensor Kelembaban Dengan DTMF

### 2.2 Blok Sistem Peralatan

DTMF akan mengirimkan data kondisi hasil pendeteksian Sensor yaitu : normal, lembab, atau basah. Jika Modul Sensor tidak memberikan data salah satu kondisi tersebut maka dapat diartikan bahwa kondisi fisik Modul Sensor tersebut rusak. Dan harus dilakukan perbaikan pada Modul Sensor tersebut secepatnya

### 3. Prinsip Kerja Rangkaian

Prinsip kerja gambar 2 rangkaian-rangkaian tersebut adalah sebagai berikut:

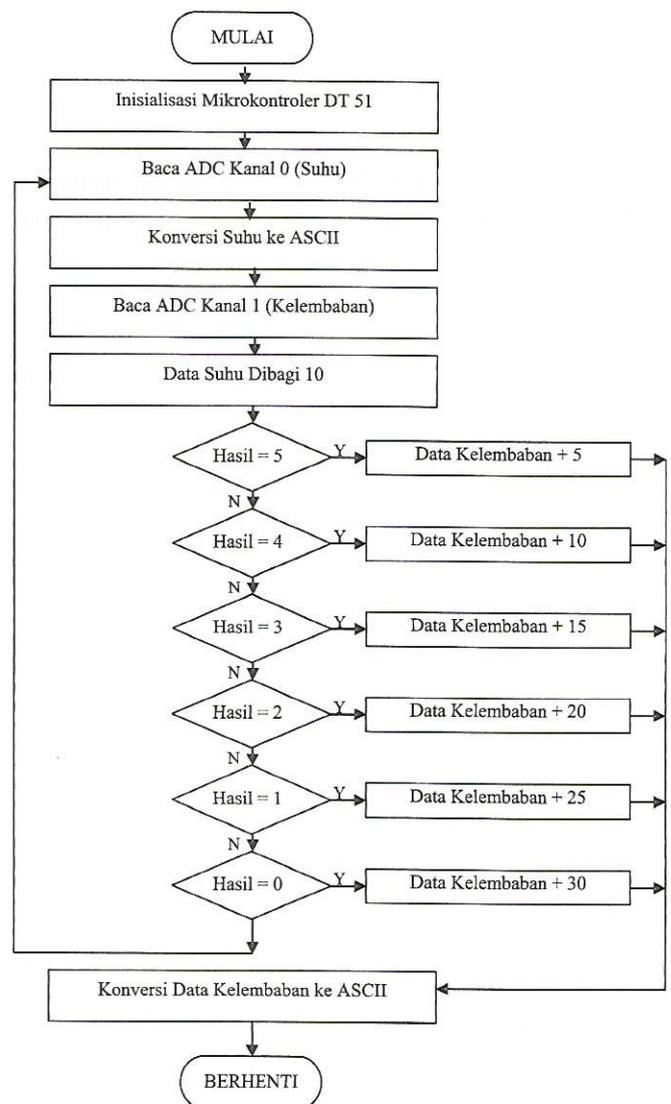
1. *Generator* sinus osilator Wien diatur untuk menghasilkan sinyal sinusoidal 1 kHz dengan amplitudo 1 Vpp.
2. Sinyal sinus diumpankan pada rangkaian jembatan dan luarannya dimasukkan pada *differential amplifier* dengan penguatan sebesar 10 kali.
3. Sinyal sinus ini, akan di ubah dari AC ke DC dan menghasilkan tegangan DC rata-rata.
4. Sinyal DC yang dihasilkan lalu dikirim ke suatu subtraktor (pengurang) untuk membuang *offset* tegangan dasar. Tegangan ini, diperoleh pada saat tanpa sensor (rusak).
5. Sinyal lalu dikirim ke penguat akhir untuk dikondisikan agar dapat dibaca oleh ADC (*Analog to Digital Converter*).
6. Sebelum masuk ADC maka sinyal diberi suatu *clipper* dengan dioda sebagai pengaman untuk ADC.
7. Rangkaian ADC akan menunggu perintah kerja dari Mikrokontroler, selanjutnya ADC akan mengirimkan Data hasil pembacaan Sensor ke Mikrokontroler.
8. Mikrokontroler akan menunggu panggilan dari DTMF, jika ada panggilan maka akan dikirim sinyal data dan akan dibawa oleh DTMF untuk diproses pada Panel Kontrol Multiplexer.

### 4. Program Mikrokontroler

Proses kerja rangkaian deteksi kelembaban tidak lepas dari bahasa pemrograman mikrokontroler Atmel 89C51 seperti yang diperlihatkan pada gambar 3, berikut diperlihatkan diagram alur (*flow chart*) dan bahasa pemrogramannya.

Garis besar pemrograman adalah sebagai berikut ( data pemrograman diperlihatkan pada data 1):

- a. Inisialisasi Mikrokontroler DT 51
- b. Baca ADC Kanal 0 (Suhu)



Gambar 3 : Diagram Alur Proses Mikrokontroler

- c. Konversi Suhu ke ASCII, baca ADC  
Kanal 1 (Kelembaban)
- d. Data Suhu Dibagi 10
- e. Konversi Data Kelembaban ke ASCII

**Data 1. Program Mikrokontroler Untuk Kelembaban**

```

;P1.7 P1.6 P1.5 P1.4 P1.3 P1.2 P1.1 P1.0
;x x RST\ E R/W\ D/\ CS2\ CS1\
;PortB (PB7-PB0) as DataBus (DB7-DB0)
PORTA EQU 2000H
PORTB EQU 2001H
PORTC EQU 2002H
CWR EQU 2003H
CWO EQU 0080H ;PC Output
CWI EQU 0089H ;PC Input

DisOn EQU 00111111B
DisOff EQU 00111110B
SetAddr0 EQU 01000000B
SetAddr1 EQU 01100000B
SetAddr2 EQU 01101011B
SetAddr3 EQU 01101101B
SetPage0 EQU 10111000B
DisStartLine0 EQU 11000000B

;SCLP1.6
;SDAP1.7

Flag EQU 0021H
FACK BIT Flag.0
FSRDY BIT Flag.1
FLB BIT Flag.2
AutoInc BIT Flag.3
OutputEnb BIT Flag.4
InitDone BIT Flag.5
MCOk BIT Flag.6
First BIT Flag.7

Ch0 EQU 30H
Ch1 EQU 31H
Ch2 EQU 32H
Ch3 EQU 33H
Mode EQU 34H ;0-3
Channel EQU 35H ;0-3
ADDACB EQU 36H
NCh EQU 37H
LCh EQU 38H

ORG 4000H
LJMPStart

ORG 4100H
angka0: DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,0C0H,0E0H
DB 0F0H,0F8H,0FCH,0FEH,0FEH,0FEH,07EH,03EH
DB 03EH,07EH,0FEH,0FEH,0FEH,0FCH,0F8H,0F0H
DB 0E0H,0C0H,000H,000H,000H,000H,000H,000H

angka1: DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H
DB 000H,000H,000H,0E0H,0F0H,078H,03CH,01EH
DB 0FEH,0FEH,0FEH,0FEH,0FEH,000H,000H,000H
DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H

angka2: DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,0C0H,0E0H
DB 0F0H,0F8H,0FCH,0FEH,0FEH,0FEH,07EH,03EH
DB 03EH,07EH,0FEH,0FEH,0FEH,0FCH,0F8H,0F0H
DB 0E0H,0C0H,000H,000H,000H,000H,000H,000H

DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,007H,007H
DB 007H,007H,007H,003H,001H,000H,000H,000H
DB 000H,080H,0C0H,0E1H,0F3H,0FFH,0FFH,0FFH
DB 0FFH,0FFH,000H,000H,000H,000H,000H,000H

DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H
DB 000H,080H,0C0H,0E0H,0F0H,0F8H,0FCH,0FEH
DB 0FFH,0FFH,07FH,03FH,01FH,00FH,007H,003H
DB 001H,000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H

DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,07CH,07EH
DB 07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH
DB 07FH,078H,078H,078H,078H,078H,078H,078H
DB 078H,078H,000H,000H,000H,000H,000H,000H
.....sampai angka 9

HurufC: DB 000H,000H,018H,03CH,07EH,066H,066H,07EH
DB 03CH,018H,000H,0E0H,0F0H,0F8H,0FCH,0FEH

```

```

DB 0E0H,0C0H,000H,000H,000H,000H,000H,000H
DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,0FFH,0FFH
DB 0FFH,0FFH,0FFH,003H,001H,000H,000H,000H
DB 000H,000H,000H,001H,003H,0FFH,0FFH,0FFH
DB 0FFH,0FFH,000H,000H,000H,000H,000H,000H

DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,0FFH,0FFH
DB 0FFH,0FFH,0FFH,0C0H,080H,000H,000H,000H
DB 000H,000H,000H,080H,0C0H,0FFH,0FFH,0FFH
DB 0FFH,0FFH,000H,000H,000H,000H,000H,000H

DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,003H,007H
DB 00FH,01FH,03FH,07FH,07FH,07FH,07EH,07CH
DB 07CH,07EH,07FH,07FH,07FH,03FH,01FH,00FH
DB 007H,003H,000H,000H,000H,000H,000H,000H

angka1: DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H
DB 000H,000H,000H,0E0H,0F0H,078H,03CH,01EH
DB 0FEH,0FEH,0FEH,0FEH,0FEH,000H,000H,000H
DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H

DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H
DB 000H,000H,000H,001H,000H,000H,000H,000H
DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH,0FFH,000H,000H,000H
DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H

DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H
DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H
DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH,0FFH,000H,000H,000H
DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H

DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H
DB 000H,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH
DB 07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07CH,07CH,07CH
DB 07CH,07CH,000H,000H,000H,000H,000H,000H

angka2: DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,0C0H,0E0H
DB 0F0H,0F8H,0FCH,0FEH,0FEH,0FEH,07EH,03EH
DB 03EH,07EH,0FEH,0FEH,0FEH,0FCH,0F8H,0F0H
DB 0E0H,0C0H,000H,000H,000H,000H,000H,000H

DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,007H,007H
DB 007H,007H,007H,003H,001H,000H,000H,000H
DB 000H,080H,0C0H,0E1H,0F3H,0FFH,0FFH,0FFH
DB 0FFH,0FFH,000H,000H,000H,000H,000H,000H

DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H
DB 000H,080H,0C0H,0E0H,0F0H,0F8H,0FCH,0FEH
DB 0FFH,0FFH,07FH,03FH,01FH,00FH,007H,003H
DB 001H,000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H

DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,07CH,07EH
DB 07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH
DB 07FH,078H,078H,078H,078H,078H,078H,078H
DB 078H,078H,000H,000H,000H,000H,000H,000H
.....sampai angka 9

HurufC: DB 000H,000H,018H,03CH,07EH,066H,066H,07EH
DB 03CH,018H,000H,0E0H,0F0H,0F8H,0FCH,0FEH

```

```
DB 0FEH,0FEH,0FEH,0FEH,07EH,07EH,0FEH,0FEH
DB 0FEH,0FEH,0FEH,0FCH,0F8H,0F0H,0E0H,000H
```

```
DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H
DB 000H,000H,000H,0FFH,0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
DB 007H,003H,001H,000H,000H,000H,000H,000H
DB 003H,007H,007H,007H,007H,007H,007H,007H
```

```
DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H
DB 000H,000H,000H,0FFH,0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
DB 0C0H,080H,000H,000H,000H,000H,000H,000H
DB 080H,0C0H,0E0H,0E0H,0E0H,0E0H,0E0H,000H
```

```
DB 000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H,000H
DB 000H,000H,000H,007H,00FH,01FH,03FH,07FH
DB 07FH,07FH,07FH,07EH,07CH,07CH,07EH,07FH
DB 07FH,07FH,07FH,03FH,01FH,00FH,007H,000H
```

```
Termo: DB 0C0h,0E0h,03Ch,03Ch,03Ch,03Ch,03Ch,03Ch,0E0h,0C0h
DB 0FFh,0FFh,000h,000h,000h,000h,000h,0FFh,0FFh
DB 0FFh,0FFh,000h,000h,000h,000h,000h,0FFh,0FFh
DB 0FFh,0FFh,000h,000h,000h,000h,000h,0FFh,0FFh
DB 0FFh,0FFh,000h,000h,000h,000h,000h,0FFh,0FFh
DB 0FFh,0FFh,000h,000h,000h,000h,000h,0FFh,0FFh
DB 0FFh,0FFh,000h,000h,000h,000h,000h,0FFh,0FFh
DB 003h,007h,00Fh,03Fh,0FFh,0FFh,03Fh,00Fh,007h,003h
```

```
Urutan1: DW angka0,angka0,angka0,angka0,angka0,angka0,angka0,angka0,angka0,angka0
DW angka1,angka1,angka1,angka1,angka1,angka1,angka1,angka1,angka1,angka1
DW angka2,angka2,angka2,angka2,angka2,angka2,angka2,angka2,angka2,angka2
DW angka3,angka3,angka3,angka3,angka3,angka3,angka3,angka3,angka3,angka3
DW angka4,angka4,angka4,angka4,angka4,angka4,angka4,angka4,angka4,angka4
DW angka5,angka5,angka5,angka5,angka5,angka5,angka5,angka5,angka5,angka5
DW angka6,angka6,angka6,angka6,angka6,angka6,angka6,angka6,angka6,angka6
DW angka7,angka7,angka7,angka7,angka7,angka7,angka7,angka7,angka7,angka7
DW angka8,angka8,angka8,angka8,angka8,angka8,angka8,angka8,angka8,angka8
DW angka9,angka9,angka9,angka9,angka9,angka9,angka9,angka9,angka9,angka9
```

```
Urutan2: DW angka0,angka1,angka2,angka3,angka4,angka5,angka6,angka7,angka8,angka9
.....dan seterusnya
```

```
DJNZ R7,NxtAddrH
```

```
ADD A,DPL
```

```
MOV DPL,A
```

```
ChkPageCounterH:INCR5
```

```
CJNE R5,#2,NxtPageH
```

```
POP ACC
```

```
POP 07H
```

```
POP 06H
```

```
POP 05H
```

```
RET
```

```
;-----;
;-----;
; DATAADC Masuk ke R7
```

### 5. Kesimpulan

Secara logika sistem pembuatan Modul Sensor dapat diaplikasikan untuk keperluan perawatan pada saluran kabel telepon dengan bantuan software program mikrokontroler Atmel IC AT89C51. Modul Sensor harus dirancang dan dibuat untuk kondisi lapangan. Perlu dilakukan *molding* untuk mengantisipasi kondisi bawah tanah dan harus sekecil mungkin agar tidak terlalu banyak memakan tempat yang tersedia. yang terpenting dan yang terpenting penggunaan arusnya harus semaksimal mungkin yaitu sekitar 10 mA pada saat bekerja, sedangkan pada saat kondisi mati (*idle/standby*) mencapai 10A.

### Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada PPET-LIPI yang telah membiayai penelitian ini melalui tahun pertama program Tematik DIP TA 2004.

### 6. Daftar Pustaka

1. Rudolf F.Graf, "The Modern Converter and Filter Circuit Encyclopedia" *TAB Books Blue Ridge Summit, PA, 1993.*
2. Paulus Nalwan A., "Teknik Antarmuka dan Pemrograman Mikrokontroler AT89C51", *Gramedia, Jakarta, 2003.*
3. Darold Wobschall, "Circuit Design for Electronic Instrumentation Analog and Digital Devices from Sensor to Display Second Edition", *Mc Graw Hill, New York, 1987.*

# Antena Slot Waveguide Untuk Wireless LAN Pada Frekuensi 3,8 GHz

Folin Oktafiani, Yuyu Wahyu

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi

Jl Sangkuriang Bandung 40135

Telp. (022) 2504660/1, Fax. (022) 2504659

Email : [folin@ppet.lipi.go.id](mailto:folin@ppet.lipi.go.id), [yuyu@ppet.lipi.go.id](mailto:yuyu@ppet.lipi.go.id)

## Abstract

*A waveguide slot antenna for wireless LAN application at frequency 3.800 GHz have been designed and realized. Square waveguide of aluminium materials is used as materials for this design. To realize this waveguide slot antenna, we specify working frequency at 3800 MHz, gain antenna 9 dB, VSWR < 1.25, lines impedance 50. Size of waveguide is adapted with available materials in the market and antenna working frequency, that is wide = 99.2 mm and height = 23.3 mm, this dimension is to fulfill the requirement in order that wave spread in a waveguide. The result of measurement is this antenna has a good performance at frequency 3.730 GHz, for VSWR at that frequency is 1.087. This matter is happen due to unediquate processes. The result of gain toward dipole antenna of  $\frac{1}{2}\lambda$  is 9dB.*

**Key words:** waveguide slot antenna, wireless LAN

## Abstrak

*Telah dirancang dan direalisasikan sebuah antena slot waveguide untuk aplikasi wireless LAN pada frekuensi 3,800 GHz. Bahan yang digunakan pada perancangan antena slot waveguide ini adalah waveguide persegi dari bahan aluminium. Spesifikasi yang diinginkan dalam merealisasikan antena slot waveguide ini adalah frekuensi kerja 3800 MHz, gain antena 9 dB, VSWR < 1.25, impedansi saluran 50. Ukuran waveguide disesuaikan dengan bahan yang tersedia dipasaran dan frekuensi kerja antena yaitu lebar = 99.2 mm dan b = 23,3 mm, ukuran ini sudah memenuhi syarat supaya gelombang dapat menjalar didalam waveguide. Hasil yang diperoleh dari pengukuran adalah antena ini bekerja baik pada frekuensi 3,730 untuk VSWR pada frekuensi tersebut 1,087. Hal ini mungkin terjadi karena proses pabrikasi yang kurang sempurna. Perbandingan penguatan terhadap antena dipole  $\frac{1}{2}\lambda$  menghasilkan penguatan 9 dB.*

**Kata kunci:** antena slot waveguide, wireless LAN

## 1. Pendahuluan

Teknologi komunikasi nirkabel (*wireless*) mengalami perkembangan teknologi yang sangat pesat seiring dengan permintaan kebutuhan manusia. Teknologi yang digunakan untuk komunikasi *wireless* yaitu GSM, CDMA, WLAN, W-FI dan sebagainya.

*Wireless* LAN adalah teknologi komunikasi yang menggunakan ruang bebas sebagai media transmisinya. Pada *wireless* LAN sinyal listrik yang merepresentasikan data diubah kedalam

gelombang elektromagnetik supaya dapat diradiasikan ke udara.

Dalam suatu sistem radio, gelombang elektromagnetik berjalan dari pemancar ke penerima lewat ruang sehingga diperlukan antena pada kedua ujung tersebut untuk keperluan penggandengan (*coupling*) pemancar dan penerima ke hubungan ruang (*space link*)[1].

Antena yang banyak dipasaran biasanya antena yagi, mikrostrip dan parabola. Antena jenis ini relatif sulit dan mahal biaya pembuatannya

untuk panjang gelombang yang pendek. Konstruksi yang lebih sederhana adalah dengan menggunakan antena *slot*. Untuk mendapatkan pola radiasi dan penguatan yang diinginkan digunakan metode *array* pada dinding *waveguide*. Keuntungan antena ini konstruksinya sederhana, biaya produksi murah juga bentuknya yang sederhana.

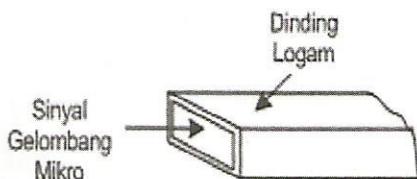
Pada tulisan ini akan dibahas perancangan dan realisasi antena *slot waveguide* yang digunakan untuk *wireless LAN* khususnya pada frekuensi 3,800 GHz. Antena *slot waveguide* sering digunakan sebagai antena gelombang mikro.

**2. Dasar Teori**

Definisi antena menurut *Webster's Dictionary*, adalah suatu perangkat yang terbuat dari logam yang dapat memancarkan dan menerima gelombang radio, sedangkan menurut IEEE Std 145-1973, antena adalah suatu perangkat yang dapat memancarkan dan menerima gelombang.[1].

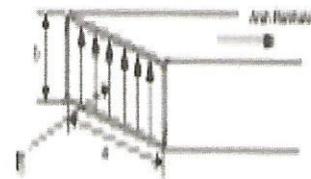
Pada frekuensi-frekuensi yang sangat tinggi pada kira-kira 3000 MHz, transmisi gelombang-gelombang elektromagnetis melalui saluran-saluran dan kabel menjadi sulit, terutama karena rugi-rugi yang terjadi baik pada dielektrik padat yang diperlukan untuk menyangga penghantar, maupun pada penghantar-penghantar itu sendiri, tetapi masih mungkin untuk memancarkan suatu gelombang elektromagnetis melalui sebuah *waveguide*.

Bentuk *waveguide* yang paling umum ialah yang berpenampang persegi, seperti ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1: Waveguide Persegi

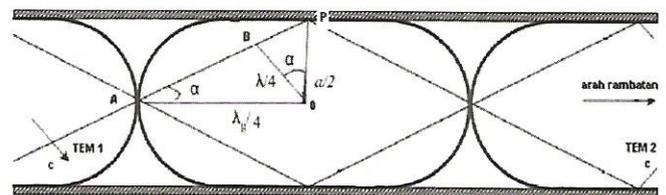
Ada batasan penting yang menentukan mode rambatan gelombang elektromagnetis melalui suatu *waveguide*, dimana hal ini menutup kemungkinan *waveguide* untuk mendukung rambatan gelombang *transverse electromagnetic* (TEM). Satu kemungkinan pemecahannya ialah bahwa medan magnetis membentuk gelang-gelang (*loops*) di sepanjang arah rambatan, seperti ditunjukkan pada gambar 2, dimana mode rambatan seperti ini disebut mode *transverse electrical* (TE).



Gambar 2: Satu konfigurasi medan yang mungkin untuk *waveguide*;

Subskrip-subskrip digunakan untuk menunjukkan banyaknya variasi setengah perioda (*half-cycle variation*) yang terjadi sepanjang sisi *a* dan *b*, karena itu mode ini disebut *mode TE<sub>10</sub>*.

Pada gambar 3 ditunjukkan suatu gelombang *TE<sub>10</sub>* yang dapat dibentuk sebagai resultan dari dua gelombang TEM yang saling berpotongan.



Gambar 3: Geometri yang digunakan dalam menentukan sifat-sifat mode *TE<sub>10</sub>*

Frekuensi dari gelombang TE akan sama dengan frekuensi gelombang-gelombang TEM. Misalkan bahwa *v<sub>p</sub>* adalah kecepatan fasa dari gelombang TE, maka :

Gelombang TE  $\lambda_g f = v_p$  (1)

Gelombang TEM  $\lambda f = c$  (2)

$v_p = c\lambda_g/\lambda$  (3)

Dari geometri gambar 3, terlihat bahwa:  
Dari segitiga siku-siku OBP.

$\cos \alpha = \lambda/2a$  (4)

Dari segitiga siku-siku ABO

$\sin \alpha = \lambda/\lambda_g$  (5)

dan karena  $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$

Maka, 
$$\left(\frac{\lambda}{\lambda_g}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2 = 1$$
 (6)  
$$\frac{1}{\lambda_g^2} = \frac{1}{\lambda^2} - \frac{1}{(2a)^2}$$

dimana :

$\lambda_g$  = panjang gelombang *waveguide* dari mode  $TE_{10}$ ,

$\lambda$  = panjang gelombang ruang bebas

$\alpha$  = ukuran lebar dari *waveguide*.

Suku  $2a$  disebut juga sebagai panjang gelombang cutoff dari mode  $TE_{10}$  ( $\lambda_c$ ). maka persamaan (6) dapat ditulis kembali seperti:

$$\frac{1}{\lambda_g^2} = \frac{1}{\lambda^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}$$

atau 
$$\lambda_g = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{\lambda_{cutoff}}\right)^2}}$$
 (7)

Ukuran-ukuran *slot* biasanya adalah sedemikian rupa sehingga sumbu panjang adalah kurang lebih setengah panjang-gelombang pada frekuensi kerjanya, jadi:

$L = \frac{1}{2} \lambda_0$  (8)

Dalam perancangan *slot* yang pertama harus dipertimbangkan adalah bahwa *slot* harus beresonansi sedemikian rupa sehingga menimbulkan beban hambatan kepada saluran transmisi (*waveguide*).

*Slot* dicatu fasa dengan mengatur jarak pusat pada interval setengah gelombang elektrik sepanjang *waveguide*.

Jadi jarak antar *slot* adalah :

$\lambda_g/2$  (9)

Diasumsikan berhasil dibuat *slot* yang beresonansi dan mengatur jarak persisnya  $\lambda_g/2$ , maka masing-masing *slot* mempunyai admitansi  $1/N$ .

$G_{slot} = 1/N$  (10)

dimana  $G_{slot}$  = Konduktansi *slot*

$N$  = banyaknya *slot*

Cara sederhana untuk memperkirakan penguatan suatu antena *slot* adalah dengan mengingatkan kita pada suatu *array* dipol. Setiap kali kita menggandakan banyaknya dipol, kita menggandakan *gain*, atau menambahkan 3 dB. Pendekatan rumus  $gain = 10\log(N)$  dB, untuk  $N$  total *slot*.

Aperture vertikal *slot* sebanding banyaknya *slot* yang menentukan *gain* dan *beamwidth* vertikal, maka:

$Gain = 10 \log\left(\frac{N \cdot \text{slotspacing}}{\lambda_0}\right)$  dB (11)

dan

$Beamwidth = 50.7 \cdot \frac{\lambda_0}{\sqrt{2} \cdot \text{slotspacing}}$  degrees (12)

Gain yang terukur akan berbeda dengan gain yang dihitung, karena gain yang sesungguhnya pada umumnya memperlihatkan beberapa variasi di sekitar asimut, sementara nilai yang dihitung mendekati gain rata-rata di sekitar asimut.

Persamaan normalisasi untuk konduktansi slot, yang digunakan untuk mengkalkulasi jarak slot adalah:

$$\frac{G_{slot}}{G_{waveguide}} = \left[ 2,09 \frac{\lambda_g}{\lambda_0} \cdot \frac{a}{b} \cdot \cos^2 \frac{\pi \lambda_0}{2 \lambda_g} \right] \sin^2 \frac{\pi x}{a} \quad (13)$$

di mana a dan b adalah dimensi kecil dan yang besar waveguide berturut-turut, dan x adalah jarak slot dari centerline.

$$G_{waveguide} = 2,09 \frac{\lambda_g}{\lambda_0} \left( \frac{a}{b} \right) \cos \left( \pi \times \frac{\lambda_0/2}{\lambda_g} \right)^2 \quad (14)$$

dan

$$\frac{G_{slot}}{G_{waveguide}} = Y \quad (15)$$

maka ;

$$x = \frac{a}{\pi} \sqrt{\arcsin Y} \quad (16)$$

Dimensi yang terakhir adalah lebar slot, yaitu seperduapuluh panjang gelombang waveguide. [2].[3].[4].

$$\text{Lebar slot} = \lambda_g / 20 \quad (17)$$

### 3. Perancangan Antena

Spesifikasi yang diinginkan dalam merealisasikan antena slot waveguide ini adalah sebagai berikut :

- Frekuensi kerja : 3800 MHz
- Gain antena : 9 dB
- VSWR : <1.25
- Impedansi saluran : 50Ω

Realisasi antena slot waveguide ini digunakan untuk antena pemancar dan penerima pada jaringan

komputer nirkabel, dengan frekuensi kerja 3800 MHz.

Bahan yang digunakan pada perancangan ini adalah waveguide persegi dari bahan aluminium, dengan alasan harganya murah dibanding jenis logam lain, masanya ringan, mudah dalam merealisasikan maupun pemasangan sewaktu digunakan dan juga tahan terhadap korosi yang disebabkan hujan dan kelembaban.

Ukuran waveguide disesuaikan dengan frekuensi kerja antena. Supaya gelombang dapat menjalar didalam waveguide maka frekuensi cutoff waveguide harus lebih kecil dari frekuensi kerja antena, yaitu lebih kecil dari 3,8 GHz.

Mode yang frekuensi cutoffnya paling kecil atau mode dominan adalah mode TE<sub>10</sub> dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$f_c^{TE_{10}} = \frac{c}{2a\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$f_c^{TE_{10}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2a\sqrt{1}}$$

f<sub>c</sub> harus lebih kecil dari f (3,8 GHz). maka :

$$\frac{3 \cdot 10^8}{2a\sqrt{1}} < 3,8 \cdot 10^9$$

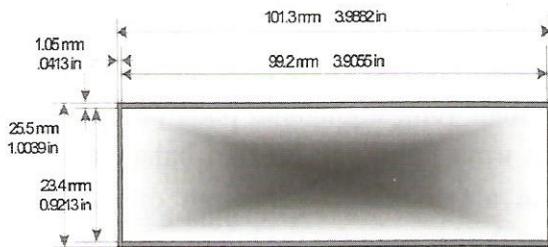
$$a > \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 3,8 \cdot 10^9}$$

$$a > 0,03947m$$

$$a > 39,47mm$$

Ukuran waveguide yang ada dipasaran yaitu panjang 99.2 mm dan lebar 23,3 mm, ukuran ini sudah memenuhi syarat supaya gelombang dapat menjalar didalam waveguide. Sedangkan ketebalan dari waveguide itu sendiri tidak berpengaruh pada propagasi. Dimensi waveguide ditunjukkan pada gambar 4.

Bahan aluminium lempengan sebanyak dua buah digunakan sebagai penutup waveguide.



Gambar 4: Dimensi waveguide

3.1 Perancangan antenna slot waveguide

Sebelum menghitung parameter-parameter lain untuk perancangan antenna slot waveguide perlu diketahui dulu panjang gelombangnya, baik diudara, didalam waveguide maupun panjang gelombang cutoffnya. Dengan menggunakan persamaan (2)  $\lambda_0$  yaitu:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f}$$

$$\lambda_0 = \frac{3 \cdot 10^8}{3,8 \cdot 10^9}$$

$$\lambda_0 = 0,07895 \text{ m}$$

$$\lambda_0 = 78,95 \text{ mm}$$

Dengan persamaan (6) panjang gelombang cutoff dapat dicari :

$$\lambda_c = 2a$$

$$\lambda_c = 2 \times 99,2$$

$$\lambda_c = 198,40 \text{ mm}$$

Sedangkan untuk mencari panjang gelombang waveguide digunakan persamaan (7) :

$$\lambda_g = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{\lambda_{cutoff}}\right)^2}}$$

$$\lambda_g = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{78,95}\right)^2 - \left(\frac{1}{198,40}\right)^2}}$$

$$\lambda_g = 86,05 \text{ mm}$$

3.2 Perhitungan Gain Antena Slot Waveguide

Secara teoritis Gain antenna waveguide dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (11) berikut :

$$\text{Gain} = 10 \log \left( \frac{N_{slot}}{2} \times \frac{\lambda_g}{\lambda_0} \right) \text{ dB}$$

$$= 10 \log \left( \frac{16}{2} \times \frac{86,05}{98,95} \right)$$

$$= 10 \log 8,7194$$

$$= 9,4 \text{ dB}$$

3.3 Perhitungan Panjang dan Lebar Slot

Dengan persamaan (8) dan (17) didapatkan nilai panjang dan lebar slot.

$$\text{Panjang slot} = \frac{\lambda_0}{2}$$

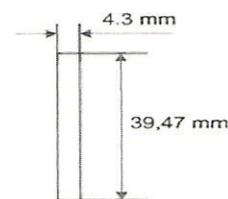
$$= 78,95 / 2$$

$$= 39,47 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar slot} = \frac{\lambda_g}{20}$$

$$= 86,05 / 20$$

$$= 4,30 \text{ mm}$$



Gambar 5: Panjang dan Lebar Slot

3.4 Penempatan Slot Pada Dinding Waveguide

Jarak antara satu slot dengan slot lainnya (dihitung dari tengah slot ke tengah slot berikutnya) yaitu:

$$\text{Slot space} = \frac{\lambda_g}{2}$$

$$= 86,05 / 2$$

$$= 43,03 \text{ mm}$$

Jarak *slot* terakhir dengan ujung *waveguide* yaitu (dari tengah-tengah *slot* ke tepi bagian atas *waveguide*):

$$\begin{aligned} \text{End space} &= \frac{\lambda_g}{4} \\ &= 86,05 / 4 \\ &= 21,51 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk dapat menghitung jarak *slot* dari tengah-tengah *waveguide* terlebih dahulu dicari konduktansi *slot*, konduktansi *waveguide* dengan menggunakan persamaan (10) (14) dan (15):

$$\begin{aligned} Y &= \frac{G_{\text{slot}}}{G_1} \\ G_{\text{slot}} &= \frac{1}{N_{\text{slot}}} \\ &= 1/16 \\ &= 0,0625 \end{aligned}$$

$G_{\text{waveguide}}$   
=

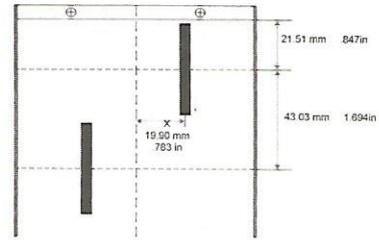
$$\begin{aligned} &2,09 \times \left(\frac{\lambda_g}{\lambda_0}\right) \times \left(\frac{WG-a}{WG-b}\right) \times \cos\left(\pi \times \frac{\lambda_0/2}{\lambda_g}\right)^2 \\ &= 2,09 \left(\frac{86,05}{78,95}\right) \times \left(\frac{99,2}{23,4}\right) \times \cos\left(\pi \frac{78,95/2}{86,05}\right)^2 \\ &= 0,1616 \end{aligned}$$

maka :

$$\begin{aligned} Y &= 0,0625 / 0,1616 \\ &= 0,3868 \end{aligned}$$

Maka jarak *slot* dari tengah-tengah *waveguide* (x) dapat dicari dari persamaan (16) yaitu :

$$\begin{aligned} x &= \frac{a}{\pi} \sqrt{\arcsin Y} \\ &= \frac{99,2}{3,14} \sqrt{\arcsin 0,3868} \\ &= 19,90 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 6 : Slot Spacing, end spacing dan x

### 3.5 Letak Konektor

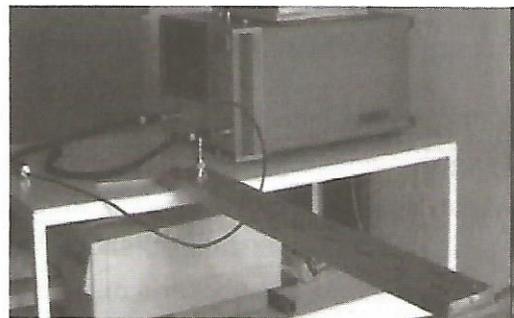
Supaya saluran transmisi *match* dengan antenna, penempatan konektor harus diperhitungkan. Letak konektor dari tutup *waveguide* harus  $\lambda_g/4$  atau 21,51 mm.

Hasil perancangan diatas adalah sebagai berikut :

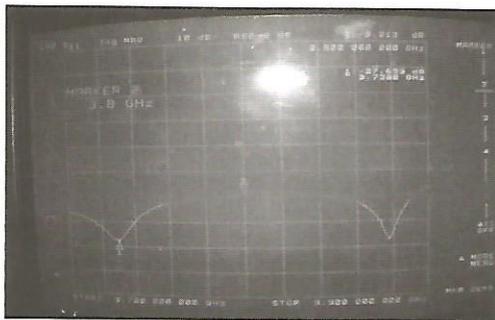
1. Penempatan *slot* dari pusat lebar *waveguide* : 19,90 mm
2. Panjang *slot* : 39,47 mm
3. Lebar *slot* : 4,30 mm
4. Jarak antar *slot* : 43,03 mm
5. Jarak dari pusat *slot* terakhir ke penutup *waveguide* : 21,51 mm
6. Jarak dari konektor ke penutup *waveguide* : 21,51 mm

### 4. Pengukuran dan Analisa

Gambar 7 menunjukkan set up pengukuran *return loss* dan gambar 8 adalah *return loss* antenna *slot* pada frekuensi 3,800 GHz dan 3,730 GHz



Gambar 7: Set Up Pengukuran Return Loss



**Gambar 8:** Return Loss Antena Slot pada frekuensi 3,800 GHz dan 3,730 GHz

**4.1 Analisa Hasil Pengukuran Return Loss**

Gambar 8 menunjukkan return loss dari antena slot waveguide pada frekuensi 3,800 GHz yaitu -8,213 dB.

Nilai VSWR yang didapat adalah :

$$RL = -20 \log |\Gamma|$$

$$-8,213 = 20 \log |\Gamma|$$

$$|\Gamma| = 0,3885$$

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} = \frac{1 + 0,3885}{1 - 0,3885} = 2,2706$$

Sedangkan return loss pada frekuensi 3,7300 GHz adalah -27,599 dB.

Maka VSWRnya adalah :

$$RL = -20 \log |\Gamma|$$

$$-27,599 = 20 \log |\Gamma|$$

$$|\Gamma| = 0,0417$$

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} = \frac{1 + 0,0417}{1 - 0,0417} = 1,087$$

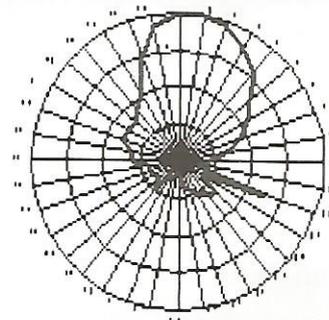
Di sini terlihat bahwa VSWR pada frekuensi kerja yang diinginkan (3,800 GHz) masih belum tercapai dan tidak sesuai dengan yang diharapkan. Pada frekuensi 3,730 GHz didapatkan VSWR yang terbaik artinya antena akan bekerja maksimal pada frekuensi 3,730 GHz atau bergeser sekitar 70 MHz.

Hasil seperti ini diakibatkan karena proses perancangan dan pabrikan yang kurang sempurna.

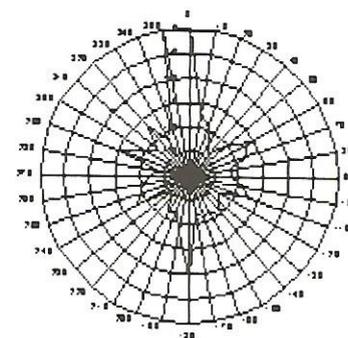
Karena frekuensi kerjanya besar, ketidak presisian pabrikan dalam orde milipon akan mempengaruhi frekuensi kerja. Dengan lebih kecilnya frekuensi kerja yang didapat disebabkan oleh panjang slot hasil pabrikan lebih panjang dari panjang slot yang dirancang atau dengan kata lain  $\lambda_0$  bertambah akan menyebabkan frekuensi kerja berkurang.

**4.2 Pengukuran Pola Radiasi**

Gambar 9 menunjukkan hasil pengukuran pola radiasi horizontal dan gambar 10 menunjukkan pola radiasi vertikal



**Gambar 9:** Hasil pengukuran pola radiasi horizontal



**Gambar 10:** Hasil pengukuran pola radiasi vertikal

Data hasil pengukuran polarisasi horizontal dapat dilihat pada tabel 1 Sedangkan data hasil pengukuran polarisasi vertikal dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 1: Pengukuran polarisasi horizontal**

| Polarisasi Horizontal |                  |             |       |                  |             |
|-----------------------|------------------|-------------|-------|------------------|-------------|
| Sudut (°)             | Level Daya (dBm) | Normalisasi | Sudut | Level Daya (dBm) | Normalisasi |
| 0                     | -45.32           | 0           | 180   | -63.4            | -18.08      |
| 10                    | -45.4            | -0.08       | 190   | -63.52           | -18.2       |
| 20                    | -45.52           | -0.2        | 200   | -62.8            | -17.48      |
| 30                    | -47.73           | -2.41       | 210   | -62.85           | -17.53      |
| 40                    | -49.33           | -4.01       | 220   | -60.32           | -15         |
| 50                    | -52.46           | -7.14       | 230   | -62              | -16.68      |
| 60                    | -54.47           | -9.15       | 240   | -61.43           | -16.11      |
| 70                    | -56.32           | -11         | 250   | -61.44           | -16.12      |
| 80                    | -58.5            | -13.18      | 260   | -61.53           | -16.21      |
| 90                    | -61.71           | -16.39      | 270   | -59.44           | -14.12      |
| 100                   | -62.7            | -17.38      | 280   | -58.82           | -13.5       |
| 110                   | -52.42           | -7.1        | 290   | -57.58           | -12.26      |
| 120                   | -61.43           | -16.11      | 300   | -57.47           | -12.15      |
| 130                   | -58.82           | -13.5       | 310   | -57.55           | -12.23      |
| 140                   | -59.9            | -14.58      | 320   | -56.24           | -10.92      |
| 150                   | -60.62           | -15.3       | 330   | -54.73           | -9.41       |
| 160                   | -61.45           | -16.13      | 340   | -50.65           | -5.33       |
| 170                   | -62.38           | -17.06      | 350   | -46.72           | -1.4        |

**Tabel 2: Pengukuran polarisasi vertical**

| Porasisasi Vertikal |                  |             |           |                  |             |
|---------------------|------------------|-------------|-----------|------------------|-------------|
| Sudut (°)           | Level Daya (dBm) | Normalisasi | Sudut (°) | Level Daya (dBm) | Normalisasi |
| 0                   | -38.5            | 0           | 180       | -48.21           | -9.71       |
| 10                  | -55.47           | -16.97      | 190       | -56.82           | -18.32      |
| 20                  | -57.82           | -19.32      | 200       | -61.03           | -22.53      |
| 30                  | -60.57           | -22.07      | 210       | -59.99           | -21.49      |
| 40                  | -62.21           | -23.71      | 220       | -62.45           | -23.95      |
| 50                  | -59.19           | -20.69      | 230       | -63.72           | -25.22      |
| 60                  | -55.12           | -16.62      | 240       | -56.51           | -18.01      |
| 70                  | -56.73           | -18.23      | 250       | -58.31           | -19.81      |
| 80                  | -59.81           | -21.31      | 260       | -59.26           | -20.76      |
| 90                  | -60.09           | -21.59      | 270       | -60.59           | -22.09      |
| 100                 | -57.22           | -18.72      | 280       | -61.72           | -23.22      |
| 110                 | -56.02           | -17.52      | 290       | -53.45           | -14.95      |
| 120                 | -61.44           | -22.94      | 300       | -58.2            | -19.7       |
| 130                 | -60.31           | -21.81      | 310       | -60.47           | -21.97      |
| 140                 | -58.57           | -20.07      | 320       | -55.08           | -16.58      |
| 150                 | -60.29           | -21.79      | 330       | -59.41           | -20.91      |
| 160                 | -59.73           | -21.23      | 340       | -56.92           | -18.42      |
| 170                 | -60.66           | -22.16      | 350       | -38.52           | -0.02       |

**4.3 Analisa Hasil Pengukuran Pola Radiasi**

Dari hasil plotting data-data hasil pengukuran pada frekuensi 3,8 GHz terlihat bahwa pola radiasinya unidirectional, polarisasinya horizontal ke depan *slot*. Pola radiasi yang didapat mempunyai bentuk yang kasar, hal ini dapat diakibatkan karena pengaruh lingkungan di sekitar lokasi pengukuran dan akibat pemutaran antena setiap 10°.

**4.4 Pengukuran Gain**

Pengukuran gain atau penguatan bertujuan untuk mengetahui besarnya penguatan antena *slot waveguide* dibanding dengan antena pembanding. Antena pembanding yang digunakan adalah antena dipole  $\frac{1}{2}\lambda$ .

Alat ukur yang digunakan sama dengan alat ukur untuk mengukur pola radiasi, hanya saja disini tidak diputar per 10° tetapi hanya diputar untuk mendapatkan level daya yang paling besar.

Level daya terbesar antena dipole : -47 dBm.  
Level daya terbesar antena *slot waveguide* : -38 dBm

$$\text{Penguatan} = -38 - (-47) = +9$$

Jadi penguatannya +9 dBd.

**4.5 Spesifikasi Hasil Pengukuran**

Dari rangkaian hasil pengukuran maka didapatkan spesifikasi akhir sebagai berikut:

**Tabel 3 :Data Hasil Pengukuran**

| Hasil Pengukuran antena <i>slot waveguide</i> |        |
|-----------------------------------------------|--------|
| VSWR Pada Frekuensi 3,800 GHz                 | 2,2706 |
| VSWR Pada Frekuensi 3,728 GHz                 | 1,087  |
| Gain                                          | 9 dBd  |

## 5. Kesimpulan

1. *VSWR* yang dihasilkan pada frekuensi tengah sebesar 2,2706
2. Frekuensi tengah bergeser sebesar 70 MHz. Antena ini bekerja baik pada frekuensi 3,730 GHz karena *VSWR* pada frekuensi tersebut adalah 1,087
3. Hasil perbandingan penguatan terhadap antena dipole  $\frac{1}{2}\lambda$  menghasilkan penguatan 9 dBd.
4. Proses pabrikan yang kurang sempurna menyebabkan frekuensi kerjanya bergeser.

## Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi yang telah

memberi kesempatan untuk menyusun makalah ini, juga kepada Dewan Redaksi Jurnal Elektronika yang telah memungkinkan tulisan ini dimuat.

## 6. Daftar Pustaka

1. Balanis, Constant A., "Antenna Theory : Analysis and Design", *Haper & Row, Publisher, New York, 1982.*
2. Roddy D., Coolen John dan Idris Kamal, "Komunikasi Elektronika Jilid 2 Edisi Ketiga", *Erlangga, Jakarta 1984*
3. Jasik H., "Antenna Engineering Handbook", *McGraw-Hill, New York, 1961*
4. Wade. Paul, "Microwave Antenna Book", <http://www.wlghz.org/antbook/Contents.htm>

# Pengaruh Biologis Medan-Medan Listrik dan Magnetik Pada Frekuensi Amat Rendah

Yahya Syukri

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi - LIPI

Jl. Sangkuriang Komplek LIPI 40135 Bandung

Tlp/Fax : (022) 2504660, 2504661 (022) 2504659

Email : sjukri@ppet.lipi.go.id

## Abstract

*We are exposed to ELF (Extremely Low Frequency) electric and magnetic fields that might come from many sources: transmission lines carrying electricity from generating plants to communities, distribution lines and cables that bring electricity to homes, schools, and workplaces, substations, transformers, wiring in homes and building, transportation, and various electrical appliances.*

*A biological effect occurs mght when an object is exposed to EM fields which might causes some noticeable or detectable physiological change in a living system. Such an effect may sometimes, but not always, lead to an adverse health effect, which means a physiological change that exceeds normal range for a brief period of time. It occurs when the biological effect is outside the normal range for the body to compensate, and therefore leads to some detrimental health condition. Health effects are often the result of biological effects that accumulate over time and depend on exposure dose. Therefore, detailed knowledge of the biological effects is important to avoid the generated health risks.*

**Key words :** magnetic, electricity, biological effect

## Abstrak

*Medan-medan listrik dan magnetik berfrekuensi amat rendah (ELF) dapat berasal dari berbagai sumber, antara lain, saluran-saluran transmisi daya listrik dari stasiun pembangkit kemasayarakat pengguna, saluran-saluran distribusi dan kabel yang menyalurkan listrik kerumah-rumah, sekolah-sekolah dan tempat-tempat bekerja; stasiun-stasiun cabang, transformator-transformator, sistim pengkabelan dirumah-rumah dan bangunan-bangunan, transportasi dan berbagai perangkat-perangkat listrik.*

*Suatu efek biologis terjadi bila medan-medan elektromagnetik menyebabkan perubahan fisiologis yang nyata atau dapat dipantau pada sistim kehidupan. Efek demikian ini kadang-kadang, tetapi tidak selalu, dapat mempengaruhi kesehatan, perubahanberupa fisiologis yang melampaui batas normal untuk jangka waktu yang pendek. Ini dapat terjadi bila efek biologis ada diatas batas ambang yang dapat dipertahankni tubuh, sehingga merusak kondisi kesehatan. Pengaruh pengaruh ini pada kesehatan kerap kali merupakan akibat dari efek-efek biologis yang terkumpul dalam rentang waktu dan bergantung kepada tingkat penyingkapan atau expose. Karena itu pengetahuan yang lebih rinci tentang pengaruh biologis akibat gelombang elektromagnetik penting diketahui untuk menghindari risiko-risiko kesehatan yang timbul.*

**Kata kunci :** magnetik, listrik, efek biologi

## 1. Pendahuluan

Pengaruh listrik terhadap kehayatian (*biology*) telah diamati sejak abad kedelapanbelas. Abad kesembilan belas membawa perkembangan-perkembangan cepat dalam penggunaan listrik dan

magnet guna pemanfaatan medis dan pengaruh-pengaruh fisiologis. Spekulasi-spekulasi mengenai kemungkinan pengaruh biologis sebagai akibat penyingkapan oleh medan-medan elektromagnetik telah dimulai pada saat itu, akan tetapi

penyelidikan-penyelidikan yang lebih mendalam baru dimulai setelah akhir perang dunia II. Sampai pertengahan tahun 1970, banyak keprihatinan yang diarahkan pada kemungkinan risiko-risiko terhadap kesehatan yang disebabkan oleh radiasi frekuensi radio (RFR). Pada tahun-tahun berikutnya, karena pengaruh media, keprihatinan umum beranjak dari RFR kepada medan-medan frekuensi amat rendah (ELF extremely low frequency). Selain itu, perhatian bergeser dari medan-medan listrik yang kuat didekat saluran penghantar tegangan tinggi kepada medan-medan magnetik yang relatif lemah yang berasal dari saluran-saluran distribusi yang menghantarkan listrik kerumah-rumah. Selama tahun-tahun terakhir ini, keprihatinan terhadap penyingkapan pada frekuensi radio (RF) yang berasal dari telepon-telepon seluler meningkat dengan cepat. Keprihatinan ini timbul karena penggunaan alat ini tersebar secara luas diseluruh dunia. Keprihatinan ini banyak dilontarkan oleh kenyataan bahwa telepon seluler dipergunakan dekat sekali dengan kepala.

Pengamatan pengaruh listrik dan medan-medan elektromagnetik, terhadap sistim-sistim biologis akan berlanjut secara lebih kompleks yang melibatkan berbagai disiplin ilmu seperti fisika, ilmu teknik, biologi, obat-obatan, kesehatan, lingkungan, toksikologi serta pengendalian dan penilaian risiko.

## **2. Medan Elektromagnetik Frekuensi Amat Rendah (ELF)**

Manusia terexpose oleh medan-medan frekuensi amat rendah (ELF extremely low frequency) yang berasal dari banyak sumber, termasuk saluran-saluran transmisi, saluran-saluran distribusi, stasiun-stasiun cabang dengan

transformator-transformatornya, dan berbagai alat-alat listrik. Biasanya pengaruh akibat medan ELF terjadi dalam jarak-jarak yang jauh lebih pendek dari panjang gelombang radiasi ELF. Hal ini membawa implikasi-implikasi yang penting, karena pada keadaan-keadaan demikian, medan-medan listrik dan magnetik tidak terkait antara satu dengan lainnya. Ini berbeda dengan yang didapati pada RFR, dimana medan-medan listrik dan magnetiknya tidak dapat dipisahkan. Karena itu para peneliti mempelajari interaksi antara sistim kehidupan dengan medan-medan listrik dan interaksi sistim kehidupan dengan medan magnetik secara terpisah, guna mengetahui risiko masing-masing terhadap kesehatan.

Para ilmuwan telah mencoba membuktikan teori-teori interaksi ELF sejak bertahun-tahun[1]. Meskipun enersi photon pada pita spektrum ELF lebih kecil dibandingkan yang diperlukan untuk memecahkan ikatan kimia yang paling lemah, ada mekanis yang baku bagi medan-medan listrik dan magnetik untuk menghasilkan efek-efek biologis tanpa memecahkan ikatan-ikatan kimia. Medan-medan listrik dapat mengerahkan tenaga-tenaga terhadap molekul-molekul yang bermuatan atau tidak bermuatan atau struktur struktur seluler didalam sistim-sistim yang hidup. Daya-daya ini dapat menyebabkan pergerakan dari partikel-partikel bermuatan, mengarahkan atau merubah bentuk struktur-struktur seluler, mengarahkan molekul-molekul dipolar, atau menginduksikan tegangan-tegangan melintasi selaput-selaput sel. Medan-medan magnetik dapat pula mengerahkan daya-daya terhadap struktur-struktur seluler, akan tetapi karena bahan-bahan biologis kebanyakan tidak magnetik, daya-daya ini biasanya amat lemah. Selain itu medan-medan magnetik dapat menginduksikan medan-medan listrik didalam tubuh.

Meskipun medan listrik dan medan magnetik kerap kali didapati bersama, perhatian saat berhadapan dengan kedua medan-medan ini, kebanyakan hanya lebih diarahkan pada kemungkinan pengaruh pada kesehatan yang berasal dari medan-medan magnetik. Alasannya adalah karena medan-medan magnetik sulit untuk dibendung, dan dapat dengan mudah menembus media-media maupun manusia. Sebaliknya medan-medan listrik tidak dapat dengan mudah menembus bangunan-bangunan bahkan juga kulit manusia.

Medan-medan listrik dan magnetik pada rentang ELF umum didapati disekitar rumah-rumah dan lingkungan kerja. Dirumah-rumah sumber-sumber langsung dari medan-medan ini meliputi alat pengering rambut, pencukur listrik, pesawat-pesawat televisi, VDT, PC, sistim-sistim stereo, pendingin-pendingin udara, lampu-lampu neon, lemari-lemari es, peralatan dapur seperti 'blender', mesin-mesin cuci, setrika listrik dan peralatan-peralatan lainnya. Dilingkungan kerja medan-medan ini berasal dari antara lain, komputer-komputer, mesin-mesin fax, mesin-mesin photo-copy, lampu-lampu neon, pencetak (printer), 'scanner-scanner', sistim-sistim sambungan telepon (PBX), motor-motor dan berbagai perangkat listrik lainnya.

Kehadiran sumber-sumber ini dilingkungan manusia telah ada sejak seratus tahun terakhir. Sebelumnya hanya didapati medan-medan yang berasal dari sumber-sumber alami terutama matahari dan badai-badai guntur, yang karakteristik-karakteristiknya jauh berbeda dari yang dibuat manusia. Medan-medan alami magnetik dan listrik yang lemah dan berfrekuensi rendah ini bersama-sama dengan medan geomagnetik statis bumi menetapkan lingkungan

elektromagnetik bumi yang ikut menunjang kehidupan dibumi.

Sumber-sumber medan magnetik yang merupakan keprihatinan, ditinjau dari pengaruhnya terhadap kesehatan, adalah arus listrik bolak-balik (AC), atau medan-medan yang berubah dengan waktu yang kekuatan dan arahnya berubah secara teratur sepanjang waktu. Medan-medan ini terutama dihasilkan oleh sumber-sumber buatan manusia, khususnya pembangkit-pembangkit listrik, saluran-saluran penghantar listrik tegangan tinggi, perangkat-perangkat listrik, dan sistim-sistim komunikasi.

Medan-medan magnetik bumi yang alami, kuat dan tetap, kerap diambil sebagai perbandingan. Akan tetapi anggapan ini tidak tepat sebab pengaruh medan-medan yang berubah dengan waktu dan pengaruh medan-medan statis (yang tidak berubah dengan waktu) terhadap materi amat berbeda. Gangguan-gangguan geomagnetik alami yang berkaitan dengan gejala geologis dan meteorologis memang ada dan dapat merusak, akan tetapi dianggap tidak berbahaya, bahkan kehadirannya telah diketahui diperlukan bagi lingkungan makhluk hidup dibumi ini.

Kebanyakan dari keprihatinan masyarakat terarah pada kedekatan letak-letak pembangkit-pembangkit dan penyalur daya listrik dengan tempat-tempat tinggal, tempat-tempat kerja, dan sekolah-sekolah. Kini, kekhawatiran-kekhawatiran malah berkisar juga disekitar medan-medan dengan tingkat-tingkat yang lebih rendah yang diperkirakan, dengan berdasarkan sejumlah penyelidikan epidemiologi terhadap sejumlah kelompok-kelompok besar orang, menimbulkan efek-efek buruk terhadap kesehatan. Akan tetapi bukti-bukti fisik dan biologis yang terkumpul berkenaan dengan mekanisme kaitan medan-

medan ELF dengan penyakit-penyakit masih belum jelas kepastiannya, karena itu perhatian masyarakat dan usaha-usaha penelitian secara internasional tetap berjalan. Sebagian dari usaha-usaha ini telah terkumpul dan dipergunakan untuk menetapkan sejumlah petunjuk untuk perlindungan akibat terexpose oleh medan-medan itu, meskipun hasil-hasilnya masih ada yang bertentangan. Hal ini antara lain beranjak dari kebutuhan akan perancangan tata cara penelitian yang peka dan canggih karena melibatkan besaran-besaran medan elektromagnetik yang sangat lemah pada sistem-sistem biologis.

### 3. Batas-batas Radiasi Gelombang (ELF) Yang Dbolehkan

Beranjak dari pengalaman profesional beberapa badan Internasional dan Swasta dan tinjauan literatur-literatur riset kini, maka dapat disusun suatu daftar limit penyingkapan (exposure) yang dibolehkan akibat medan elektromagnetik frekuensi rendah.

Saat ini belum ada standar-standar bagi medan listrik dan magnetik frekuensi rendah dan jala-jala daya listrik dibanyak negara. Kebanyakan dari negara-negara ini belum menerapkan tingkat-tingkat maksimum medan-medan listrik dan magnetik yang dapat diterima. Selain itu, dari data-data dibawah tampak bahwa belum ada kesesuaian umum bagi batas radiasi yang aman.

Keterangan terbaru dari limit penyingkapan dapat dicari melalui Internet, misalnya dihalaman web FEB The Swedish Association for the Electro Sensitive.

Limit penyingkapan Internasional bagi Medan-medan Magnetik :

#10nT panduan biologis untuk kamar-tidur Aronia.

#100nT limit singkap(expose) Aronia.

#1000nT -- radiasi maksimum bagi masyarakat umum, sebagian pakar menganggap kuat medan ini berbahaya. Merubah melatonin.

Diumumkan tahun 1996 oleh NCRP.

#10000nT Diumumkan oleh NCRP pada tahun 1996 sebagai batas radiasi maksimum bagi pekerja.

#100000nT Batas radiasi di-Jerman dan dianjurkan sebagai limit penyingkapan bagi masyarakat oleh IRPA/INIRC.

Batas penyingkapan bagi orang yang menggunakan pemacu jantung menurut ketentuan ACGIH.

#500000nT Batas radiasi bagi masyarakat menurut IRPA/NIRC.

#1000000nT Batas radiasi bagi para pekerja menurut IRPA/NIRC.

#5000000nT Batas radiasi bagi para pekerja untuk waktu dua jam menurut IRPA/NIRC.

100000nT = 0.1mT = 10000mG = 10 Gauss

10 nT = 0.1 mG

NCRP = National Council of radiation Protection and Measurement

ACGIH = American Conference of Governmental Industrial Hygienists

IRPA/NIRC = International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

Limit Penyingkapan Internasional bagi Medan Listrik :

#1 V/m Batas terexpose Aronia. Arahan biologis untuk kamar-tidur.

Arahan bagi SAGU-emmission Swedia.

#10 V/m diumumkan oleh NCRP ditahun 1996 sebagai batas terexpose maksimum bagi masyarakat.

#100 V/m Batas terexpose maksimum bagi

pekerja, yang diumumkan NCRP ditahun 1996. Merubah melatonin, sebagian pakar menganggap kuat medan ini berbahaya.

#1000 V/m Batas terexpose dari ACGIH bagi mereka yang menggunakan pemacu jantung.

Akan digunakan sebagai standar Federal USA.

#5000 V/m Batas terexpose di-Jerman dan direkomendasikan sebagai batas terexposr bagi masyarakat oleh IRPA/INIRC.

#10000 V/m Batas terexpose bagi para pekerja menurut IRPA/INIRC.

#25000 V/m Batas terexpose bagi para pekerja menurut ACGIH.

#30000 V/m batas terexpose untuk waktu hingga 2 jam /hari untuk para pekerja menurut IRPA/INIRC.

Beberapa contoh penyingkapan yang diukur dari jauh:

Dibawah saluran penghantar listrik tegangan tinggi,

Medan listrik : 5000 Volt/meter

Medan magnetik : 10000 nT

Pada jarak 100 meter dari saluran tegangan tinggi,

Medan listrik : 100 Volt/meter

Medan magnetik : 200 nT

#### 4. Analisa, Pembahasan dan Kesimpulan

Data-data diatas menunjukkan bahwa belum didapat kepastian tentang limit aman bagi pancaran gelombang elektromagnetik frekuensi rendah. Kecenderungan adalah untuk menetapkannya serendah mungkin, akan tetapi karena ini selain menyangkut keamanan disatu fihak, juga berkaitan dengan kepentingan pemanfaatan dilain fihak, tiap negara cenderung menentukan batas masing-masing sesuai dengan kepentingannya. Dari suatu

hasil pemantauan (willthomas.net) diketahui bahwa masyarakat yang lingkungannya lebih jenuh elektromagnetik lebih rentan terhadap pengaruh pancaran ini, sehingga memerlukan batas singkap yang lebih rendah.

Penyelidikan-penyelidikan dilabolatorium telah memperlihatkan bahwa polusi elektromagnetik dapat mempengaruhi sel-sel yang hidup, akan tetapi masih belum jelas apakah pengaruh-pengaruh ini sungguh-sungguh dapat merusak sel-sel tubuh manusia [2,3,4].

Sejumlah penyelidikan bidang epidemiologi telah dipaparkan bahwa ada kemungkinan hubungan antara kanker dan polusi elektromagnetik, yang disebabkan antara lain, oleh efek-efek genetika.

Pengamatan-pengamatan lainnya menunjukkan bahwa sel tubuh manusia yang terexpose secara berkelanjutan pada tingkat penyinaran hingga serendah 20 nT pun dapat rusak.

Penelitian - penelitian yang sampai saat ini masih terus berlanjut diharapkan dapat memberikan jawaban-jawaban yang lebih banyak tentang kemungkinan pengaruh-pengaruh terhadap kesehatan dalam beberapa tahun mendatang. Sementara itu lebih baik bermain aman dan tetap selalu memantau tingkat polusi elektromagnetik dilingkungan hidup kita.

Gejala-gejala tertentu yang terpantau akibat polusi elektromagnetik antara lain yang berakibat :

- Kelelahan
- Sakit mata
- Sakit kepala
- Mual-mual
- Bingung
- Keguguran
- Kanker

Pada tingkat yang lebih tinggi, pengaruh polusi gelombang elektromagnetik ini dapat mengakibatkan:

- Leukemia bagi anak-anak
- Penyakit Alzheimer
- Kelelahan yang kronis (M.E).

#### Ucapan Terimakasih

Dalam kesempatan ini penulis ucapkan terimakasih kepada Puslit PPET-LIPI yang telah memuat tulisan saya ini

#### 5. Daftar Pustaka

1. Valberg, P. A., R. Kavet, and C. N. Rafferty, "Can Low Level 50/60 Hz Electric and magnetic Fields Cause Biological Effects". *Radiation Researc 148*, pp2-21, 1997.
2. Foster, K. R., "Electromagnetic Field Effects and Mechanisms", *IEEE Engineering in Medicine and Biology 15*, pp. 50-56, 1996.
3. King, R. W. P., "The Interaction of Power Line Electromagnetic Fields with the Human Body", *IEEE Engineering in Medicine and Biology 17*, pp. 67-78, 1998.
4. Magnussen, T., "Electromagnetic Fields", *EMX Corporation*, 1999.

# Slot Waveguide untuk Aplikasi Antena Wifi Pada Frekuensi 2,4 GHz

Yudi Yuliyus M<sup>1)</sup>, Yuyu Wahyu<sup>2)</sup>

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

Jl. Sangkuriang (Komplek LIPI Gd 20) Bandung 40135

Phone : 022-2504660 Fax : 022-2504659 Email : yudi@ppet.lipi.go.id

## Abstract

*A slot waveguide for the antenna WiFi application operating at frequency band of 2,4 GHz and VSWR < 1,25 has been designed and realized. Slot waveguide antenna consist of waveguide it self, waveguide end plate, and N connector. Slot waveguide is developed with the slot positioned longitudinally in order to make fabricating easier, where each slot has  $\lambda_g/2$  of length. The distance between the center of slot one to another is  $\lambda_g/2$ . A number of slot which arranged symmetrically will improve gain more the correspond to number of the slot increasing.*

**Keyword :** Slot in waveguide, wavelegth in free space, wavelength in waveguide

## Abstrak

*Telah dirancang dan direalisasikan sebuah slot waveguide yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan VSWR < 1,25 untuk aplikasi antena WiFi. Slot waveguide merupakan antena yang tersusun dari sebuah waveguide, waveguide end plate, dan N connector. Slot waveguide ini dengan posisi slot dibuat membujur untuk memberikan kemudahan dalam merealisasikan, di mana panjang masing-masing slot  $\lambda_g/2$ . Jarak antara center slot yang satu dengan yang lain adalah  $\lambda_g/2$ . Beberapa slot yang dibuat simetrik akan meningkatkan penguatan, dimana semakin banyak slot semakin tinggi gain.*

**Kata Kunci :** Slot pada waveguide, panjang gelombang di udara, panjang gelombang di waveguide

## 1. Pendahuluan

*Wireless Fidelity* atau disingkat dengan *WiFi* merupakan salah satu layanan titik catu (*hotspot*) di beberapa tempat seperti di mal, hotel, kampus serta tempat yang berpotensi dalam pengumpulan massa. Dengan adanya *WiFi* dipermudah akses internet. Untuk dapat berkomunikasi secara *wireless* dibutuhkan suatu antena yang mendukung fasilitas tersebut.

Antena merupakan komponen yang sangat penting dalam telekomunikasi khususnya komunikasi radio, baik yang bersifat *broadcast*, *point to point* maupun seluler. Antena berfungsi sebagai *transducer* yang memiliki frekuensi kerja tertentu.

Ilmu pengetahuan mengenai antena terus masih dikembangkan untuk aplikasi-aplikasi

komunikasi, khususnya di Indonesia. Salah satu contoh antena yang perlu dikembangkan adalah slot waveguide, dengan kemajuan teknologi khususnya teknologi *wireless* saat ini yang terus berkembang.

Antena *slot waveguide* yang sedang dikembangkan ini akan digunakan sebagai antena penerima untuk sistem *wireless* internet.

Dasar dari slot ini adalah merupakan pelewatan berkas gelombang melalui celah pada *waveguide* yang panjangnya  $\frac{1}{2}$  panjang gelombang. Untuk itu umumnya dibuat beberapa slot yang simetrik. Slot pada *waveguide* berfungsi seperti busur kawat yang panjangnya sesuai dengan panjang bentuk slot tersebut.

Pada kegiatan ini dirancang dan direalisasikan antena *slot waveguide*, yang terdiri atas empat buah

slot yang diposisikan vertikal untuk memberikan kemudahan dalam merancang dan membuat antena tersebut. Panjang masing-masing slot yaitu  $\frac{1}{2}$  panjang gelombang di udara ( $\lambda_0$ ) dan jarak antara slot yang satu dengan yang lain yaitu  $\frac{1}{2}$  panjang gelombang *waveguide* ( $\lambda_g$ ). Beberapa slot yang dibuat simetrik akan meningkatkan penguatan, semakin banyak slot semakin tinggi gain, tetapi ada batas kejenuhan dari jumlah slot yang membuat kenaikan gain tidak signifikan lagi. Beberapa alasan mengapa dipilih *slot waveguide* sebagai antena yaitu :

- (1). Harganya murah
- (2). Mudah untuk dibuat dan untuk pemasangan
- (3). Cocok untuk pengintegrasian
- (4). Mempunyai cross-polarisasi rendah
- (5). Ringan dan mekaniknya sempurna

### 2.1. Antena Slot Waveguide

*Slot array* ditemukan pada tahun 1943 di universitas McGill, Montreal Canada. Fitur yang unik dari antena ini adalah polarisasinya horizontal dan penguatannya omnidirectional sekitar azimuth. dan juga, slot antena mempunyai konstruksi yang sederhana, sehingga mudah untuk di bangun. Antena *slot waveguide*, biasanya slot antena array untuk gain yang besar dan digunakan pada frekuensi  $> 1$  GHz<sup>[3]</sup>.

### 2.2 Slot Array Pada Waveguide

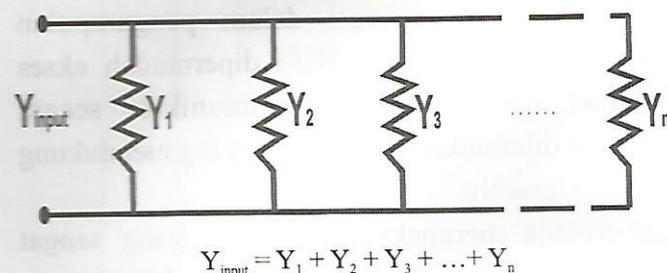
Kita dapat mencari bentuk radiasi untuk sebuah dipole array seperti halnya sebuah dipole. Teknik yang digunakan yaitu mengalikan pola sebuah dipole dengan pola dari sebuah radiator ideal array. Sebuah slot array dapat di konfigurasi untuk memiliki pola radiasi yang diinginkan.

Sebuah antena *slot waveguide* mempunyai deretan slot vertikal bersama dengan panjang dari *waveguide* vertikal, dengan slot array dapat

ditingkatkan penguatan dengan meratakan beam vertikal. Pada saat slot diposisikan vertikal mengikuti panjang dari *waveguide* vertikal, polarisasinya menjadi horizontal. Jumlah yang ditingkatkan slot dapat memberikan penguatan yang lebih tetapi dengan beam yang lebih rata pada sebuah sudut elevasi yang lebih dekat. Karena deretan slot pada satu sisi fisik (dilihat dari depan) *waveguide* tidak meradiasikan ke dua belah sisinya, sebuah barisan simetris dari slot ditambahkan pada sisi yang lain dari *waveguide* untuk membuat pola radiasi lebih seragam.

Perancangan sebuah antenna array memerlukan beberapa ketelitian yaitu: membuat elemen untuk resonansi, memberikan jarak elemen dengan tepat, membagi daya untuk didistribusikan pada tiap elemen, dan memberikan *fasa* pada tiap elemen dengan memanfaatkan saluran transmisi. Untuk array tradisional, masing-masing elemen ini dapat dipecahkan secara terpisah, tetapi antenna *slot waveguide* mengkombinasikan semuanya pada sebuah potongan *waveguide*.

Sketsa dari sebuah antenna *slot waveguide* dengan dimensi pendekatan digambarkan pada gambar 2.1 Pertimbangan design pertama yaitu slot menjadi resonan supaya dapat memberikan beban *resistive* pada (*waveguide*) saluran transmisi.



Gambar 1: Skematik antenna *slot waveguide*

Menentukan fasa slot dengan memberikan jarak tengahnya pada interval setengah panjang gelombang *electric* sepanjang *waveguide*. Panjang

gelombang *electric* pada *waveguide* lebih panjang daripada di udara bebas, jadi kita harus menghitung  $\lambda_g$ .

Jika penentuan jarak salah atau jika frekuensi berubah, maka jarak tidak lagi  $\lambda_g/2$ , jadi slot tidak akan memiliki fasa dan beam yang miring.

Setengah panjang gelombang dari saluran transmisi mempunyai sifat yang berguna yaitu pengulangan impedansi input dan impedansi output adalah sama. Sebagai hasilnya impedansi atau admitansi dari semua slot tampak secara parallel. Gambar 2.1 memperlihatkan ini secara skematik. Masing-masing resistor parallel mempresentasikan satu slot, jadi disana harus terdapat N resistansi secara parallel. tengah dari slot terakhir adalah sebuah *waveguide*  $1/4$  panjang gelombang dari ujung tertutup *waveguide*. Kita mengetahui sebuah *short circuit*  $1/4$  panjang gelombang stub dari saluran transmisi terlihat seperti sebuah *open circuit*, jadi ujung tertutup tidak memiliki pengaruh terhadap impedansi. Kadang-kadang ujung tertutup diberi jarak  $3/4\lambda_g$  untuk alasan mekanik, tambahan  $1/2$  panjang gelombang adalah transparan.

Dengan mengasumsikan bahwa kita berhasil dalam membuat slot resonan dan memberikan jarak pada *slot waveguide* dengan benar yaitu  $\lambda_g/2$ , kemudian admitansi Y murni resistif dan menambahkan N admitansi identik secara bersama-sama, dimana N adalah jumlah dari slot.

Jarak slot pada interval  $1/2\lambda_g$  pada *waveguide* adalah sebuah jarak elektrik  $180^\circ$ , slot yang satu benar-benar berbeda fasa dengan slot yang lain, supaya radiasi masing-masing slot tidak saling mengganggu satu sama lain. Slot pada sisi yang berlawanan dari garis tengah *waveguide* akan diluar fasa ( $180^\circ$ ), sehingga dapat memberikan alternatif pemberian tempat pada slot disekitar garis tengah yang memiliki perbedaan fasa total

$360^\circ$  antara slot untuk memberikan deretan slot kembali pada fasa.

### 2.3 Impedansi Slot Pada Waveguide

Sebuah slot dengan posisi membujur memotong dinding dari *waveguide* menyela aliran arus yang bergerak melintang pada dinding dan memaksa arus untuk berjalan ke sekitar slot, yang mana menyebabkan sebuah daerah elektrik pada slot. Posisi dari slot pada *waveguide* menentukan aliran arus. sehingga posisi menentukan impedansi yang diberikan pada saluran transmisi dan jumlah energi yang diberikan ke slot dari sebuah *slot waveguide* persegi.

### 2.4 Dimensi Slot

Rumus berikut digunakan untuk menghitung penempatan slot, berasal dari Stevenson<sup>[2]</sup> :

$$G_{slot} = \frac{1}{N_{slot}} \tag{1}$$

$$G_1 = 2,09 \frac{\lambda_g}{\lambda_0} \left( \frac{a}{b} \right) \cos^2 \frac{\pi\lambda_0}{2\lambda_g} \tag{2}$$

$$Y = \frac{G_{slot}}{G_1} \tag{3}$$

$$offset : x = \frac{a}{\pi} \sqrt{\arcsin Y (rad)} \tag{4}$$

Dimana :

Panjang slot :  $\lambda_0/2$  (5)

Lebar slot :  $\lambda_g/20$  (6)

Jarak antar *center slot* :  $\lambda_g/2$  (7)

*End spacing* atas :  $\lambda_g/4$  (8)

Lebar slot seharusnya seperdua puluh panjang gelombang *waveguide* ( $\lambda_g/20$ ). Karena dalam pemotongan sudah disesuaikan dengan ukuran tertentu, sehingga dapat memilih ukuran lebih kecil yang terdekat untuk lebar slot.

### 3. Perancangan

Antena *slot waveguide* yang dirancang mempunyai spesifikasi yaitu slot yang satu dan yang lainnya beresonansi, pemberian jarak antar slot masing-masing  $\frac{1}{2}\lambda_g$ , frekuensi kerja 2,4 GHz, VSWR : < 1,25 dan Gain : 4,1 dB.

Bahan yang digunakan adalah *rectangular waveguide* aluminium dengan dimensi besar dari *waveguide* : a=98,5mm dan dimensi kecil dari *waveguide*: b=41,5mm jadi total panjang dari aluminium=500mm (sesuai tabel dimensi *waveguide*)

Tabel 3.1 dimensi *waveguide*

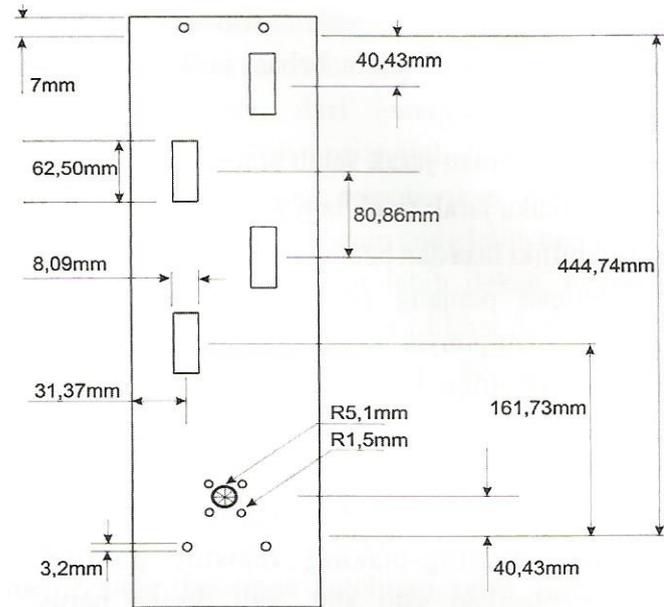
| Frekuensi Yang Digunakan (GHz) | Tipe Waveguide | Dimensi Panjang "a" (inci) | Dimensi Pendek "b" (inci) |
|--------------------------------|----------------|----------------------------|---------------------------|
| 1,12-1,7                       | WR650          | 6,500                      | 3,250                     |
| 1,7-2,6                        | WR430          | 4,300                      | 2,150                     |
| 2,2-2,3                        | WR340          | 3,400                      | 1,700                     |
| 2,6-3,95                       | WR284          | 2,840                      | 1,340                     |
| 3,3-4,9                        | WR229          | 2,290                      | 1,145                     |
| 3,95-5,85                      | WR187          | 1,872                      | 0,872                     |
| 4,9-7,05                       | WR159          | 1,590                      | 0,759                     |
| 7-11                           | WR102          | 1,020                      | 0,510                     |
| 8,2-12,4                       | WR90           | 0,900                      | 0,400                     |
| 10-15                          | WR75           | 0,750                      | 0,375                     |
| 18-26,5                        | WR42           | 0,420                      | 0,170                     |

#### 3.1 Perhitungan

Dari rumus perhitungan diatas maka didapat :

- Panjang tiap slot = 62,5 mm
- Lebar slot = 8,09 mm
- Jarak antar center slot = 80,86 mm
- Jarak Slot Dari Center Line = 17,88 mm
- End Spacing atas = 40.43
- Gain = 4,1 dB
- Beamwidth = 39,2°

maka gambar perancangan antenanya sebagai berikut



Gambar 2: sketsa antena 4-slot *waveguide* pada frekuensi 2,4 GHz

### 4. Hasil Pengukuran

#### 4.1 Return Loss

Pengukuran *return loss* bertujuan untuk mengukur perbandingan daya pantul terhadap daya datang, dari hasil pengukuran return loss kita akan mendapatkan parameter-parameter antena seperti VSWR. VSWR merupakan suatu bilangan yang menunjukkan kualitas dari suatu antena terhadap gelombang berdiri yang terjadi di saluran pencatu antena.



Gambar 3 : Hasil pengukuran return loss

Gambar 4.1 menunjukkan *return loss* (RL) dari antenna *slot waveguide* pada frekuensi 2,4 GHz yaitu -22,079 dB.

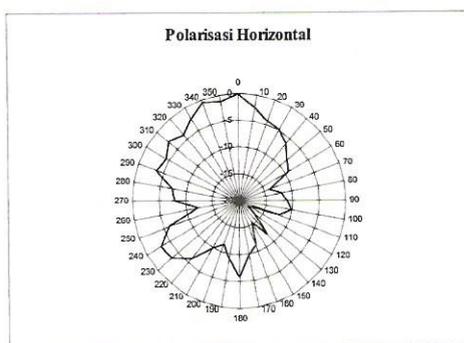
Nilai VSWR yang didapat adalah 1,1709

Dibandingkan dengan VSWR dari spesifikasi perancangan, VSWR hasil pengukuran lebih bagus. Hal ini antenna *slot waveguide* menerima hampir seluruh daya yang diberikan oleh sumber.

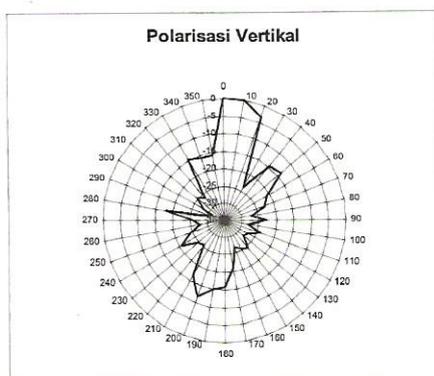
#### 4.2 Pola Radiasi

Pengukuran pola radiasi bertujuan untuk mengetahui pola radiasi pancaran dari antenna *slot waveguide*. Hasil dari pola radiasi tersebut akan dilihat kesesuaiannya dengan pola radiasi secara teori.

Data hasil pengukuran polarisasi horisontal dan vertikal dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4 : Hasil pengukuran pola radiasi horizontal



Gambar 5 : Hasil pengukuran pola radiasi vertikal

Pola radiasi yang dihasilkan dari plotting data-data pengukuran pada frekuensi 2,4 GHz menunjukkan pola radiasi directional. Pola radiasi yang didapatkan memiliki bentuk yang kasar, hal ini dapat diakibatkan oleh pengaruh lingkungan disekitar lokasi pengukuran dan akibat pemutaran antenna.

#### 4.3 Pengukuran Gain

Pengukuran gain bertujuan untuk mengetahui besarnya penguatan antenna *slot waveguide* dibanding dengan antenna pembanding (antenna referensi). Antenna pembanding yang digunakan adalah antenna dipole  $\frac{1}{2} \lambda$ .

Level daya terbesar antenna dipole : -32 dBm

Level daya terbesar antenna *slot waveguide* : -23 dBm

Penguatan =  $-23 - (-32) = +9$ , Jadi penguatannya +9 dBd.

#### 5. Kesimpulan

- Telah berhasil dirancang dan direalisasikan antenna *slot waveguide* memenuhi karakteristik-karakteristik yang diharapkan.
- Hasil VSWR sudah sesuai yang diharapkan pada frekuensi 2,4 GHz sebesar 1,1709, tetapi untuk mendapatkan VSWR yang lebih kecil lagi frekuensi bergeser 50 MHz ke arah 2,45 GHz sebesar 1,0701. Pergeseran diakibatkan kurang tepatnya nilai  $\lambda_g/2$  pada proses perancangan dan fabrikasi.
- Antenna *slot waveguide* ini mempunyai penguatan sebesar 9 dBd. Hal ini sudah melebihi gain yang diharapkan yaitu 4,1 dBd

#### Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terimakasih kepada Puslit Elektronika dan Telekomunikasi LIPI yang telah memberikan kesempatan mempublikasikan hasil penelitian dan semua pihak yang telah membantu

### 7. Daftar Pustaka

1. A Balanis Constantine, "Antenna Theory Analysis And Design", *Harper and Row*, 1982.
2. Stevenson, A.F. "Theory of slots in rectangular waveguides," *J. Appl. Phys.*, January 1948, pp. 24-38.
3. H. Jasik, "Antenna Engineering Handbook", *McGraw-Hill*, 1961.
4. H.G. Booker, "Slot Aerials and Their Relation to Complementary Wire Aerials," *J. IEE*, 1946, pp. 620-626.
5. D. Kraus John, dan Ronald J. Marhefka, "Antenna For All Application", *McGraw-Hill Companies, Inc*, 2002.
6. O. Nell, K. Solbach & J. Dreier, DG8SG, "Omnidirectional Waveguide Slot Antenna for Horizontal Polarisation," *VHF Communications*, 4/1991, pp. 200-205 and 1/1992, pp. 11-17.
7. R.E. Collin & F.J. Zucker, "Antenna Theory, part 1", *McGraw-Hill*, 1969, pp. 565-567

### LAMPIRAN

Data hasil pengukuran polarisasi horizontal

| Polarisasi Horizontal |                  |             |
|-----------------------|------------------|-------------|
| Sudut (°)             | Level Daya (dBm) | Normalisasi |
| 10                    | -47,65           | -2,29       |
| 30                    | -50,2            | -4,84       |
| 50                    | -53,8            | -8,44       |
| 70                    | -59,36           | -14         |
| 90                    | -56,35           | -10,99      |
| 110                   | -57,36           | -12         |
| 130                   | -61,65           | -16,29      |
| 150                   | -60,67           | -15,31      |
| 170                   | -55,26           | -9,9        |
| 190                   | -54,36           | -9          |
| 210                   | -55,21           | -9,85       |
| 230                   | -48,88           | -3,52       |
| 250                   | -51,33           | -5,97       |
| 270                   | -53,36           | -8          |
| 290                   | -48,86           | -3,5        |
| 310                   | -48,23           | -2,87       |
| 330                   | -47,65           | -2,29       |
| 350                   | -46,56           | -1,2        |

Data hasil pengukuran polarisasi vertikal

| Polarisasi Vertikal |                  |             |
|---------------------|------------------|-------------|
| Sudut (°)           | Level Daya (dBm) | Normalisasi |
| 10                  | -23,62           | -0,21       |
| 30                  | -47,22           | -23,81      |
| 50                  | -37,12           | -13,71      |
| 70                  | -46,22           | -22,81      |
| 90                  | -46,41           | -23         |
| 110                 | -47,42           | -24,01      |
| 130                 | -51,62           | -28,21      |
| 150                 | -49,11           | -25,7       |
| 170                 | -44,62           | -21,21      |
| 190                 | -38,65           | -15,24      |
| 210                 | -40,33           | -16,92      |
| 230                 | -48,36           | -24,95      |
| 250                 | -47,88           | -24,47      |
| 270                 | -49,33           | -25,92      |
| 290                 | -54,73           | -31,32      |
| 310                 | -48,41           | -25         |
| 330                 | -38,22           | -14,81      |
| 350                 | -39,36           | -15,95      |

# Sestim Pelindung Peralatan Elektronik terhadap Gangguan Elektromagnetik (Electromagnetic Interference/ EMI)

Sri Hardiati<sup>\*)</sup>, Yahya Sukri<sup>\*)</sup>

\*) Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi

Jl Cisit 21/154D(Komplek LIPI Gd :20) 40135 INDONESIA

Phone:022 2504660 Fax :022 2504659 Email : sri.hardiati@ppet.lipi.go.id

## Abstract

*Modern electronic products which operate at high frequencies, such as the proliferation of electronic equipments is used in telecommunication system using the radio wave medium would be risking toward electromagnetic compatibility (EMC) problems.*

*System in electronic equipment is required to overcome these problems, especially if it is operated on high frequencies, in order not disturb or to be disturbed by its environment. The shielded enclosure of electronic equipment is one of good solution to control radiated emission and to improve immunity to radio-frequency interference by placing shielding system that have a conductive layer can be reflected and absorbed in which electromagnetic waves.*

**Key words** : EMI, shield enclosure, telecommunication

## Abstrak

*Produk-produk elektronik modern yang beroperasi pada frekuensi tinggi seperti pertumbuhan peralatan elektronik yang digunakan dalam sistem telekomunikasi menggunakan media gelombang radio yang secara kontinyu, akan mempunyai risiko terhadap persoalan-persoalan kerukunan elektromagnetik (EMC).*

*Untuk menanggulangi hal-hal ini diperlukan suatu sistem dalam memproduksi peralatan-peralatan elektronika terutama yang beroperasi pada frekuensi tinggi, agar tidak mengganggu atau terganggu lingkungan sekitarnya. Ruang lindung (shielded enclosure) peralatan elektronik, merupakan salah satu pemecahan persoalan yang baik untuk mengendalikan pancaran radiasi dan memperbaiki ketebalan terhadap gangguan frekuensi radio, dengan menempatkan sistem pelindung yang mempunyai permukaan lapisan konduktif sehingga dapat merefleksikan dan menyerap sinyal gelombang elektromagnetik.*

**Kata Kunci** : EMI, Ruang Lindung, telekomunikasi

## 1. Pendahuluan

Peralatan-peralatan elektronik yang modern sebagian besar memanfaatkan spectrum gelombang elektromagnetik terutama dalam sistem telekomunikasi untuk pengiriman sinyal informasi berupa data, suara dan gambar. Penambahan penggunaan sistem telekomunikasi bergerak menunjukkan penambahan tingkat gangguan baik terhadap peralatan elektronik maupun listrik yang

berada disekitarnya, hal ini dikarenakan sifat alami dari sinyal telepon bergerak digital antara lain GSM/ PCN/TDMA dipandang paling utama mengganggu peralatan lain

Peralatan telekomunikasi pengoperasian-nya banyak diterapkan untuk beberapa jenis lingkungan yang meliputi pemukiman, usaha komersil, pabrik, industri, rumah sakit dan lain sebagainya, yang selalu dituntut untuk memberikan pelayanan dengan keandalan tinggi.

Peralatan-peralatan elektronik diatas pembuatannya (*manufacturing*) banyak menggunakan teknologi *Integrated Circuit* (IC) yang kompleks yang merupakan rangkaian analog dan digital yang terintegrasi menjadi satu.

Rangkaian analog biasanya peka (*susceptible*) terhadap konduksi EMI (*electromagnetic interference*) atau RFI (*Radio Frequency Interference*) yang pada saat bersamaan rangkaian digital menunjukkan kepekaan tinggi terhadap konduksi gangguan pulsa. Gangguan yang terkumpul menyebabkan kerugian atau merusak yang mengakibatkan gangguan pada rangkaian tersebut dan peralatan lainnya

Untuk itu peralatan elektronik yang difabrikasi disamping pancaran gangguan elektromagnetik harus dibatasi untuk menghindari EMI baik yang datang dari luar peralatan atau peralatan itu sendiri dan agar tidak mengganggu peralatan lain, maka diperlukan suatu pelindung (*shielding*). Pelindung harus mempunyai sifat dapat meredam radiasi dari pancaran dan atau untuk meredam radiasi yang dapat mengganggu rangkaian yang bertindak sebagai penerima energi RF.

Ruang lindung (*shield enclosure*) harus dibuat dari material yang dapat ditembus suatu sinyal hal ini diperlukan untuk memproteksi rangkaian yang sensitif dan juga memproteksi sistim komponen terhadap gangguan yang dibangkitkan dari dalam atau dari luar. Material dan konstruksi dari kotak (*Box*) elektronik akan menentukan sifat-sifat yang dimiliki sebagai pelindung.

Ruang lindung peralatan elektronik harus memenuhi syarat spesifikasi *shielding performance* dari standarstandar antara lain MIL-STD-285, NSA 65-6 dan NSA 73-2A, agar dapat andal dalam pengoperasi-annnya dan *compatible* terhadap lingkungan yang di kehendaki .

## 2. Electromagnetic Interference (EMI)

*Electromagnetic Interference* (EMI) adalah beberapa gangguan elektromagnetik yang mengganggu, merintang atau menurunkan kinerja efektif dari peralatan elektronik/listrik. EMI dapat terjadi dengan tidak disengaja atau disengaja. Bentuk EMI yang disengaja seperti bentuk peralatan perang elektronik dan bentuk EMI yang tidak disengaja sebagai hasil pancaran acak, intermodulasi suatu produk dan sejenis lainnya.

EMI juga dapat disebabkan oleh gejala atmosphere seperti kilat dan peralatan-peralatan yang bukan telekomunikasi seperti alat angkutan dan industri mesin. EMI dapat didefinisikan sebagai beberapa gangguan elektromagnetik, gejala elektromagnetik, sinyal elektromagnetik atau pancaran elektromagnetik yang menyebabkan suatu respon yang tidak diinginkan dari peralatan elektronik atau listrik.

*Radio-Frequency Interference* (RFI) merupakan masalah EMI yang serius pada saat ini karena keberadaan pemancar radio yang semakin besar daya pancarnya seperti *broadcast communication*, radar, peralatan daya rendah seperti radio genggam dan telepon seluler (*cellular telephone*). Rangkaian digital biasanya merupakan sumber utama yang menghasilkan gangguan elektromagnetik.

Sumber-sumber EMI dari suatu peralatan-peralatan tersebut dapat berupa pancaran, proses distribusi beberapa bentuk energi listrik dimana aspek dari pengoperasiannya membangkitkan sinyal konduksi dan radiasi yang dapat menyebabkan penurunan kinerja peralatan atau bahkan kerusakan peralatan.

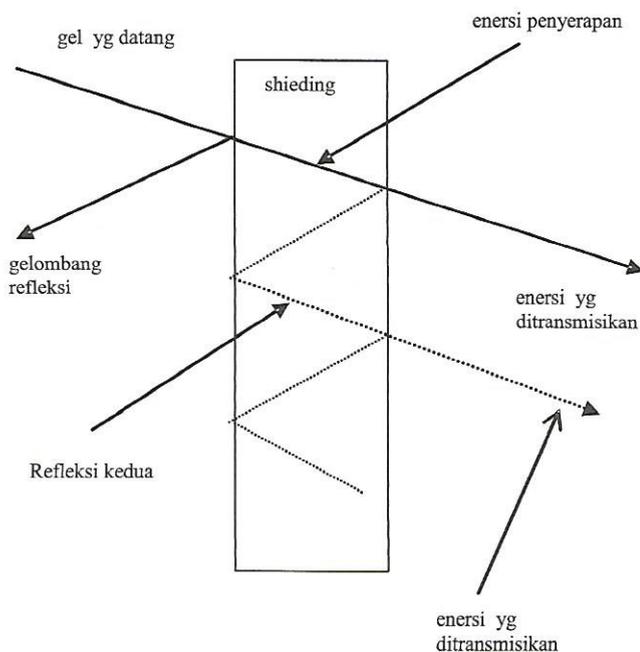
### 3. Prinsip-prinsip Pelindung Peralatan Elektronik

#### 3.1 Fungsi Pelindung

Secara teori, pelindung (*shield*) adalah suatu penghambat transmisi gelombang elektromagnetik yang berjalan melalui ruang bebas yang terdiri atas komponen listrik dan mekanik. Gambar : 1 menggambarkan suatu gelombang elektromagnetik yang menghadapi penghambat . Bentuk pelindung (*shielding*) biasanya berhubungan dengan pembatas yang menutup sempurna suatu produk elektronik. Pelindung peralatan elektronik secara konsep yaitu penghambat terhadap gelombang elektromagnetik yang ditransmisikan, berupa pancaran radiasi dan konduksi.

Tujuan dari pelindung yaitu :

- a. Mencegah pancaran elektronik dari produk yang merupakan bagian suatu produk itu, karena memancarkan sinyal radiasi diluar batas produk yang ditentukan.



**Gambar 1 :** Interaksi material penghalang dengan medan elektomagnetik.

- b. Mencegah pancaran radiasi dari produk luar yang mengkopel produk-produk elektronik, hingga dapat menyebabkan gangguan dalam suatu produk.

Ruang lindung (*shield enclosure*) merupakan salah satu syarat untuk memenuhi persyaratan *Electromagnetic Compatibility (EMC)*, yaitu pancaran radiasi dan kepekaan terhadap radiasi, dimana ruang lindung merupakan syarat yang berbentuk fisik, agar produk-produk elektronik dapat *compatible* antara sistem elektronik dengan sistem elektronik yang lain maupun produk elektronik yang akan menghadapi lingkungan dimana produk elektronik tersebut beroperasi. Ruang lindung peralatan elektronik mempunyai kemampuan bertindak sebagai pelindung yang dapat merefleksikan atau menyerap gelombang elektromagnetik tersebut yang bertujuan dapat memperlemah gangguan elektromagnetik yang tidak diinginkan.

#### 3.2. Kinerja Ruang Lindung.

Perencanaan ruang lindung perlu kinerja yang diperlukan sebagai proteksi peralatan-peralatan elektronik dan gangguan elektromagnetik dan memerlukan suatu evaluasi *performance shielding*, dimana kinerja ini berhubungan dengan hasil *shielding effectiveness (SE)*.

*Shielding effectiveness* ruang lindung merupakan pengukuran kemampuan untuk meredam energi gelombang elektromagnetik yaitu perbandingan dari 2 nilai suatu kuat medan elektromagnet dimana kuat medan tersebut merupakan perbandingan antara sebelum dan sesudah pelindung ditempatkan, dan standard unit pengukuran dinyatakan dalam decibel (dB) dan didefinisikan sbb :

$$\text{Medan H, } SE_{\text{dB}} = 20 \log_{10} (H_1/H_2) \quad (1)$$

$$\text{Medan E, } SE_{\text{dB}} = 20 \log_{10} (H_1/H_2) \quad (2)$$

Rugi-rugi kuat medan penghalang pelindung (*shielding barrier*) merupakan fungsi material penghalang yaitu: permeabilitas, konduktivitas dan ketebalan), frekuensi dan jarak sumber gangguan elektromagnetik terhadap pelindung. Dalam kondisi material serba sama (*homogeneous*) *shielding effectiveness* total dapat ditunjukkan oleh persamaan 3.

$$SE_{\text{dB}} = (R+A+B) \text{ decibel} \quad (3)$$

dimana :

R = *Reflection loss* total.

A = *Absorption loss* total.

B = *Re-Reflection loss* total.

*Reflection loss* terjadi karena impedansi yang tidak sesuai pada antarmuka (*interface*) yang diberikan oleh material, dimana *absorption loss* fungsi ketebalan dan frekuensi yang diberikan oleh material.

### 3.3. Material Ruang Lindung (Shield Enclosure).

Material yang digunakan untuk pelindung dipilih material yang bersifat konduktif sehingga dapat mengurangi gangguan elektromagnetik dengan merefleksikan atau menyerap gangguan elektromagnetik. Pelindung dapat terbuat dari metal atau lapisan konduktif yang tipis pada plastik.

Dalam peralatan elektronik modern sebagian besar digunakan ruang lindung dari plastik, tetapi pelindung yang bagus dan mudah dikerjakan yaitu dengan menggunakan metal. Ruang lindung tradisional dibuat dari tipe lembaran metal yaitu tembaga (*copper*), aluminium, baja (*steel*).

Metal dipilih untuk pelindung terhadap gangguan elektromagnetik karena :

- Metal memiliki sifat konduktivitas yang tinggi sehingga mampu melindungi terhadap gangguan elektromagnetik.
- Harga material metal rendah.
- Metal mempunyai struktur bangunan kuat dengan perencanaan dinding yang tipis.

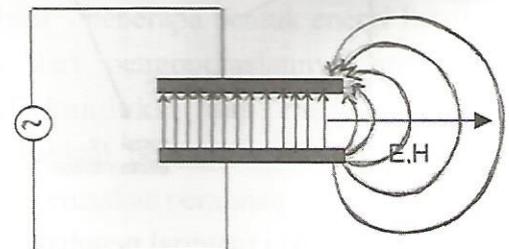
## 4. Proteksi EMI pada Ruang Lindung.

### 4.1. Pembangkitan dan Propagasi gelombang Elektromagnetik.

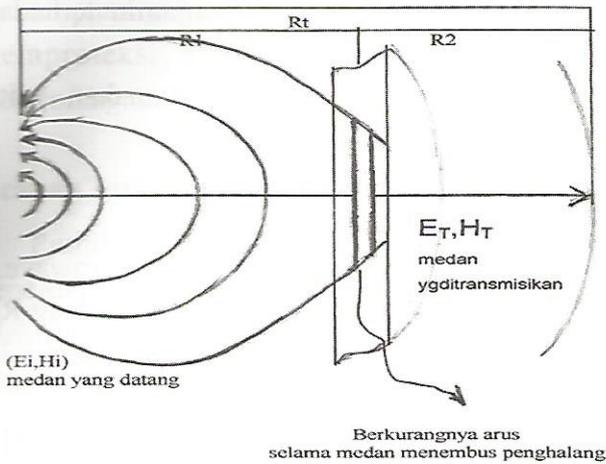
Kuat medan listrik (E) dibangkitkan antara dua konduktor pada potensi yang berbeda. Kuat dengan magnet (H) dibangkitkan sekitar konduktor yang membawa suatu arus.

Bila tegangan AC membangkitkan suatu arus AC melalui jaringan konduktor yang dipakai untuk beberapa rangkaian elektronik maka akan dihasilkan gelombang elektromagnetik yang dipropagasi sebagai kombinasi medan E dan medan H. medan radiasi elektromagnetik dapat dilihat pada gambar 2. Medan-medan yang dihasilkan tersebut caranya sama seperti yang dihasilkan *Printed circuit (PC) card*.

Bila medan elektromagnetik mengenai penghalang berlindung (*shielding barrier*) dari metal menyebabkan arus mengalir dalam penghalang. Medan yang menembus penghalang tersebut, arus akan diredam dan amplitudo berkurang dengan suatu gaya yang dinamakan *skin effect*.



Gambar 2 : Medan Elektromagnetik



Gambar 3 : Jarak Sumber Medan Radiasi

Daya medan yang terdapat pada penghalang kira-kira arus kuadrat ( $I^2$ ) dikalikan impedansi penghalang, yang dapat dinyatakan pada persamaan 4.

$$P = I^2 \times Z_p = \text{watt.m}^{-2} \tag{4}$$

Arus yang mengalir dalam penghalang berpelindung sebagai fungsi dari medan radiasi akan menembus penghalang tersebut yang menimbulkan suatu tegangan melalui jalur penyambung (*seam*), nilai tegangan tersebut sesuai dengan persamaan 5.

$$V = I \times Z_{seam} \tag{5}$$

Jalur penyambung menjadi suatu antena yang memancarkan dimana impedansi dan polanya serupa dengan kuat medan radiasi yang kondisinya sebagai berikut [1;6]:

- Jika daya yang ditransmisikan diketahui, maka kuat medan dapat diperhitungkan dengan menggunakan sistem dipole antena sesuai dengan persamaan 6.

$$P_R \approx \frac{1.6 P_t}{4 \pi R^2} \tag{6}$$

$P_R$  : Kuat medan pada jarak R ( $\text{W.m}^{-2}$ ).

$P_t$  : Daya yang ditransmisikan (W).

R : Jarak dari sumber radiasi (m)

- Jika daya tidak diketahui nilai kuat medan listrik dapat menggunakan persamaan 7.

$$E \approx \frac{e}{\pi R} \tag{7}$$

E : kuat medan listrik ( $\text{V.m}^{-1}$ )

e : tegangan melalui plates.

Kuat medan yang melalui pelindung secara teori pelindung (*shielding*) mempunyai tujuan medan yang kuat melalui penghalang akan diredam tetapi tidak berubah arah. Kuat medan pada jarak  $R_2$  dari penghalang sbb:6

$$P_{R2} = P_T \left( \frac{R_1}{R_T} \right)^2 \tag{8}$$

$P_{R2}$  : Kuat medan pada jarak  $R_2$  ( $\text{w.m}^{-2}$ ).

$P_T$  : Daya pancar ( $\text{W.m}^{-2}$ ).

$R_1, R_2$  dan  $R_T$  dalam meter.

#### 4.2. Unsur-unsur dalam proteksi gangguan ruang lindung.

Ruang lindung direncanakan untuk memproteksi peralatan elektronik dari penyaluran gelombang elektromagnetik baik langsung maupun tidak langsung. Pelindung digunakan untuk menutup perakitan yang sensitif terhadap lokasi yang dekat dengan suatu sumber elektromagnetik sehingga kuat medan didalam *box(enclosure)* berkurang. Bila pelindung menutupi sumber elektromagnetik maka kuat medan diluar pelindung akan berkurang.

Energi gangguan yang dilepas dalam merencanakan secara ideal tergantung kepada

faktor-faktor berikut:

- Frekuensi dan atau panjang gelombang.
- Polarisasi gelombang.
- Jarak dari radiasi.
- Tipe medan

Dari faktor-faktor tersebut diatas terbukti bahwa pelindung peralatan elektronik harus mempunyai sifat dasar yang berfungsi merefleksikan gejala elektromagnetik dari suatu permukaan konduktif dan menyerap gejala elektromagnetik terutama dalam sistim telekomunikasi, dimana industri telekomunikasi yang selalu berubah dengan cepat memberi pengaruh penting pada syarat ruang lindung (*shield enclosure*).

Ruang lindung elektronik selalu direncanakan untuk tempat komponen-komponen elektronik dan untuk memproteksi terhadap komponen-komponen elektronik yang sensitif, maka dalam perencanaan ruang lindung harus mempunyai sistim yang perlu diperhatikan yaitu :

- a. Material yang digunakan harus dapat ditempus medan magnet yang impedansinya rendah.
- b. *Enclosure* yang bertindak sebagai pancaran, harus direncanakan untuk rugi-rugi penyerapan (*absorption loss*) maksimum dari medan yang dipancarkan.
- c. *Enclosure* yang bertindak sebagai penerima harus direncanakan untuk rugi-rugi refleksi (*Reflection loss*) maksimum dari medan yang diterima.
- d. Ketidakberlanjutan harus dikurangi dan direncanakan untuk mencapai *shielding effectiveness* dengan lapisan yang tepat dan menggunakan *vent, filter*.

Agar ruang lindung mempunyai sistim proteksi yang andal dari gangguan elektromagnetik maka diperlukan suatu sistim pengujian ruang lindung untuk menentukan *performance enclosure*. Ini sangat penting yaitu *box* dievaluasi

dengan prosedur test untuk menjamin terhadap tujuan yang diharapkan.

Metode standar test yang digunakan yaitu Milstd 285 dan NSA 65-6 meliputi :

- a. Pengukuran medan magnet.
- b. Pengukuran medan listrik.
- c. Pengukuran gelombang datar dan microwave.

Syarat-syarat kinerja untuk ruang lindung RF yaitu kinerja ruang lindung yang jangkauannya 30 dB 120 dB.

Level yang dianjurkan adalah sebagai berikut : [4]

- a. Untuk pelindung yang cukup yaitu (30-50)dB: medan listrik dan gel datar dan beberapa magnetik.
- b. (50-80) dB: medan listrik dan gelombang datar, magnetik tinggi.
- c. 100dB pada 1GHz, batas keamanan yang bagus.
- d. Syarat-syarat NSA 65-6: fasilitas ini digunakan untuk pengembangan peralatan yang akan diganggu energi gelombang mikro.
- e. *High performance enclosure*: digunakan untuk instalasi yang sangat sensitif dengan *performace*: 120 dB.

## 5. Kesimpulan

Gejala elektromagnetik meliputi bermacam-macam terjadinya pembangkitan gangguan secara luas, baik yang disengaja maupun yang tidak disengaja. Salah satu dari sebagian besar syarat fisik yang harus dimiliki ruang lindung peralatan elektronik yaitu kemampuan bertindak sebagai pelindung dari ancaman gangguan elektromagnetik yang dapat memperlemah kinerja sistim elektronik.

Perencanaan sistem pelindung peralatan-peralatan elektronik perlu diperhatikan sehingga dapat mengendalikan gangguan-gangguan gelombang elektromagnetik. Pengukuran *shielding effectiveness* tidak menjamin

kemampuan yang andal sebagai pelindung untuk memproteksi secara pasti terhadap medan elektromagnetik.

### Ucapan Terima Kasih

Penulisan makalah ini dilakukan dari penelitian dengan biaya dari DIPA Pusat Penelitian Elektronika Telekomunikasi (PPET) - LIPI tahun anggaran 2006.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) - LIPI yang telah memberikan fasilitas sampai makalah ini dapat dipublikasikan.

### 6. Daftar Pustaka

1. Violette, J.L.N., White, D.R.J. Violette, M.F., "Electromagnetic Compatibility Handbook", *Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1987.*
2. Paul, C.R., "Introduction to Electro-magnetic Compatibility", *John Wiley & Sons Inc., New York., 1992.*
3. Kraus, J.D., Feisch, Daniel, A.F., "Electromagnetic with Applications" *McGraw-Hill, Boston, 1999.*
4. Hemming, L.H., "Architectural Electromagnetic Shielding Handbook A Design and Specification Guide", *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., New York, 1992.*
5. Williams, T., "EMC For Product Designers", *Newness, Oxford, 1996.*
6. Spira Manufacturing Corporation. "EMI Shielding Theory", [http://www.spiraemi/mainpages/thoery\\_main.htm](http://www.spiraemi/mainpages/thoery_main.htm).2002.
7. Broyde, F., Claveliar, E., "A Comparison of The Revised EMC directive With The Views of The Independent Study", <http://www.ecxcem.fr/papers/puemcex04.pdf>.



## 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**], instansi, alamat instansi, telepon, fax dan e-mail) ditulis dibawah judul makalah dengan huruf Times New Roman 10 spasi 1.
7. Judul **Abstrak** ditulis dengan huruf tebal di tengah, Times New Roman 12 spasi 1,5 terhadap isi 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.