

JURNAL

Elektronika dan Telekomunikasi

ISSN 1411-8289

VOLUME 8, NOMOR 1

Januari - Juni 2008

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



LIPI

PUSAT PENELITIAN ELEKTRONIKA DAN TELEKOMUNIKASI
LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA

J. El. Kom	Vol. 8	No. 1	Hal. 1 - 54	Bandung Januari 2008	ISSN 1411-8289
------------	--------	-------	-------------	-------------------------	-------------------

JURNAL

Elektronika

dan Telekomunikasi

SUSUNAN REDAKSI

Penanggung Jawab : Kepala Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI

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

Redaksi Pelaksana :
Ketua : Ir. Yuyu Wahyu, MT

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

Sirkulasi : Poppy Sumarni

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

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

DAFTAR ISI

Kata Pengantar

1. An Algorithm to Select the Best Set of Frequencies
in Stepped-Frequency Continuous-Wave Radars 1–5
(*Andrian B. Suksmono, A. Andaya L, A.A Pramudita, Endon Bharata, Nana Rachmana*)
2. Analisis Gangguan Sambungan Telepon pada Sistem Jarlokot 6–11
(*Ros Sariningrum, Teguh Praludi, Arief Suryadi .S*)
3. Pembebanan Resistif untuk Menekan Level Coupling antar Elemen pada Antena Array
untuk GPR 12–16
(*A. Adya Pramudita, A. Kurniawan, Andriyan B. Suksmono, A Andaya Lestari*)
4. Pembuatan Magnet NiZn Ferit dengan Metoda Sol Gel 17–21
(*Novrita Idayanti dan Dedi*)
5. Perhitungan Kuantitas Medan RF (Radio Frekuensi untuk Komunikasi
Microwave dan Radar 22 – 27
(*Sri Hardiati dan Pamungkas Daud*)
6. Rancangan dan Penerapan Rangkaian Elektronika untuk Pembacaan Volume
dan Harga Pemakaian Air pada Meteran Air secara Digital 28–33
(*Ahyar Supani, dan Niksen Alfarizal*)
7. Rancang Bangun Serta Unjuk Kerja Antena Mikrostrip Sirkular Beam Konika
pada Frekuensi S. Band 34–41
(*Yuyu Wahyu dan Deni Permana*)
8. Sistem Pengendali Tegangan Baterai pada Perangkat Uninterruptible
Power Supply (UPS) 42–49
(*Deni Permana dan Pamungkas Daud*)
9. Pembuatan Detonation Gun untuk Pelapisan Tipis 50–54
(*Masbah R.T Siregar dan Farid W. Machmud*)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Salam Sejahtera untuk kita semua

Pembaca Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi yang budiman

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

Pada terbitan Volume 8 nomor 1 tahun 2008 ini meliputi bidang komponen mikroelektronika, bidang elektronika dan bidang telekomunikasi sesuai dengan bidang kompetensi kami dengan judul-judul antara lain :

An Algorithm to Select the Best Set of Frequencies in Stepped-Frequency Continuous-Wave Radars, Analisis Gangguan Sambungan Telepon pada Sistem Jarlokot, Pembebanan Resistif untuk Menekan Level Coupling antar Elemen pada Antena Array untuk GPR, Pembuatan Magnet NiZn Ferit dengan Metoda Sol Gel, Perhitungan Kuantitas Medan RF (Radio Frekuensi) untuk Komunikasi Microwave dan Radar, Rancangan dan Penerapan Rangkaian Elektronika untuk Pembacaan Volume dan Harga Pemakaian Air pada Meteran Air secara Digital, Rancang Bangun Serta Unjuk Kerja Antena Mikrostrip Sirkular Beam Konika pada Frekuensi S. Band, Sistem Pengendali Tegangan Baterai pada Perangkat Uninterruptible Power Supply (UPS) Dan Pembuatan Detonation Gun untuk Pelapisan Tipis.

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

Redaksi

An Algorithm to Select the Best Set of Frequencies in Stepped-Frequency Continuous-Wave Radars

Andriyan B. Suksmono, A. Andaya L, A. Pramudita,
dan Endon Bharata, Nana Rachmana

School of Electrical Engineering and Informatics and the IRCTR-Indonesia Branch,
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10, Bandung, Indonesia,
Phone:+62-22-2501661, Fax:+62-22-2534133,
Email: suksmono@yahoo.com, suksmono@ltrgm.ee.itb.ac.id

Abstrak

Radars pensintesa frekuensi (SFCW-Stepped Frequency Continuous Wave) bekerja tidak dengan cara mengirimkan impuls EM (elektromagnetik), melainkan mengirimkan sekumpulan gelombang EM kontinu secara bertahap pada rentang frekuensi kerja tertentu. Gema radar diperoleh dengan cara mensintesis sinyal impuls kawasan-waktu berdasarkan hasil pengukuran magnitudo dan fasa gelombang yang diterima melalui transformasi Fourier. Makalah ini menyajikan cara memilih sekumpulan frekuensi terbaik yang memaksimalkan kinerja SNR (Signal to Noise Ratio) dari radar SFCW, jika diberikan jumlah langkah dan lebar pita yang telah ditetapkan. Makalah ini mengajukan prinsip ekuipartisi energi sebagai prinsip yang lebih fundamental dibandingkan dengan prinsip ekuipartisi frekuensi pada radar SFCW konvensional. Sebagai akibatnya, secara umum spasi antar frekuensi yang terpilih tidak lagi seragam. Algoritma pemilihan sekumpulan frekuensi ini dijelaskan didalam makalah. Suatu impuls siklus-tunggal (monocycle) dipakai untuk mensimulasikan radar SFCW yang bekerja pada rentang frekuensi 0-2048 MHz. Hasil percobaan dengan impuls yang disimulasikan menunjukkan kebenaran metoda yang diajukan dan memberikan kemungkinan implementasi radar kompresif.

Kata Kunci: Radar, SFCW, pencuplikan tak-seragam, ekuipartisi energi, transformasi Fourier, pencitraan gelombang mikro, UWB.

Abstract

In a stepped-frequency continuous wave (SFCW) radar, instead of sending out impulses, the system transmits a set of frequencies covering radar's bandwidth. Based on the measurement data of the reflected waves, it then reconstructs a time-domain waveform through inverse Fourier transform. This paper proposes a method to select the best set of frequencies in SFCW radars that maximize the signal to noise ratio (SNR) for a given number of frequencies (number of steps). We propose equipartition of energy as a more fundamental principle, rather than the equipartition of frequency assumed in conventional SFCW radar design. This principle implies that the frequency spacing will generally be a non-uniform one, where uniformity is just a special case when the number of steps is large. An algorithm to select the set of frequencies for a given impulse waveform and given number of steps is also presented. A monocycle impulse is used as an example to simulate a 0-2048 MHz SFCW radar. The results verify the validity of proposed method and enable the possibility to implement compressive SFCW radars.

Keywords: Radar, SFCW, Non-uniform Sampling, equipartition of energy, Fourier Transform, Microwave Imaging, UWB

1. Introduction

The SFCW (Stepped-Frequency Continuous Wave) is a frequency-domain impulse synthesis technique that has been widely used in radar systems, e.g., in the GPR (Ground Penetrating

Radars) [1], [2]. An advantage in using SFCW in a radar system is the possibility to compensate the imperfections of RF electronics, antenna, and feed system through post-processing of the collected measurement data. This merit is hardly

implementable in impulse radar, which makes the SFCW an attractive technology.

However, step-wise scan over a band of frequencies requires long acquisition time, which in many cases hinders the possibility of using SFCW to detect or image moving targets. This problem can be reduced by simultaneous transmission of the frequencies [3] or by decreasing the number of the frequency steps. The former solution may increase the cost of electronic components, while the later will degrade the range resolution unless significant progress on low-step number reconstruction is achieved.

This paper describes a new framework of frequency selection scheme in an SFCW system. The improvement is achieved by the optimization of frequency-domain sampling, i.e., given a particular number of sample point, we select a best set of frequencies that maximize the quality of the reconstructed time-domain signal. This technique enables a possibility to reduce the number of samples or steps, which in turn will improve the speed of scanning without scarifying the range resolution.

The most fundamental difference with the existing method is that we replace the equipartition of frequency assumed in conventional SFCW radar design with the equipartition of energy. Accordingly, the spacing of frequencies in the new scheme will generally be a non-uniform one. It also implies that every impulse waveform will generally have its own optimum frequency spacing. As the number of steps is increased, the performance of the new scheme will approaching the uniform spacing method.

The rest of the paper is organized as follows. Section II describes a short review on SFCW radar system and the explanation of the proposed scheme. Analysis and simulation with a monocycle impulse is described in Section III, Section IV will conclude the paper.

2. The SFCW Radars and Frequency Spacing Schemes

2.1 Basic Principle of The Stepped-Frequency Continuous Wave Radar

In an SFCW radar, equally spaced frequencies $\{\Omega_k\}$ spanning from the lowest frequency (Ω_L) to the highest one (Ω_U) are transmitted to a target. Then, a processor performs inversion process that transforming measured collected frequency-domain data into a time-domain one. Therefore, Fourier transform is the most important governing equation in SFCW radars, which for a particular time-domain signal $s(t)$ is given as follows:

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} S(\Omega) \exp(j\Omega t) d\Omega \quad (1.a)$$

and its inverse is

$$S(\Omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \exp(-j\Omega t) dt \quad (1.b)$$

where $j = \sqrt{-1}$, $s(t)$ is the time-domain signal, and $S(\Omega)$ is the frequency domain one.

Since the frequency is transmitted discretely, a more appropriate form to be used in SFCW is the following pair of discrete Fourier transform:

$$s(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} S(k) \exp\left(j \frac{2\pi k}{N} n\right) \quad (2.a)$$

$$S(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \exp\left(-j \frac{2\pi n}{N} k\right) \quad (2.b)$$

In an SFCW radar system, frequency synthesizer generates a set of frequencies that are transmitted through an (ultrawideband) antenna. Reflection from a target is then captured by the receiver subsystem that quadratically demodulates the signal, and producing inphase (I) and quadrature (Q) data. Those data yields a complex-valued Fourier coefficient for the corresponding k -th frequency in Eq.(2) as follow

$$S(k) = I(k) + jQ(k) \quad (3)$$

After conversion into digital domain by an ADC, an inverse discrete Fourier transform (IFFT) is applied to obtain a time-domain signal.

2.2 Frequency Spacing Schemes: Equipartition of Frequency Vs Equipartition of Energy

The N -steps conventional SFCW radars divide a frequency bands into N sub-bands uniformly. Therefore the following relation is hold

$$\Delta\Omega_1 = \dots = \Delta\Omega_i = \dots = \Delta\Omega_N \quad (4)$$

Such scheme will be called the equipartition of frequency. We propose a different approach to get a better time-domain reconstruction results, i.e., by proportionally counting the contribution of the energy in each frequency sub-bands, which is illustrated in Fig.1. The left part of the figure shows a time-domain impulse $s(t)$, a monocycle for example, while the right part is its energy spectrum $|S(\Omega)|^2$ obtained from the Fourier transform of $s(t)$.

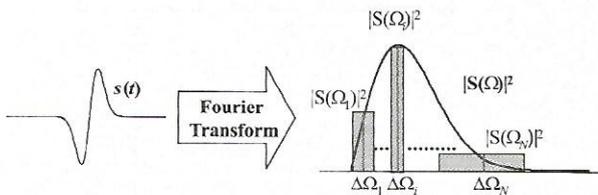


Fig 1 : Non uniform frequency spacing scheme based on equipartition of the energy

The main idea in the new scheme is to select sub-bands of frequencies and its range $[\Omega_i - \Delta\Omega_i/2, \Omega_i + \Delta\Omega_i/2)$, so that the energies in the $\Delta\Omega_i$ intervals are identical. It is shown in the figure as dashed bars that have identical areas. The center of the sub bands $\{\Omega_i\}$ will become the selected frequencies to be used in the radar system.

To determine each frequency range, first we note the following Parseval's relation

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |s(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |S(\Omega)|^2 d\Omega \quad (5)$$

which guarantee that the amount of energy in time domain will be equal to the amount of the energy in the frequency domain. For a given working frequency band bounded by Ω_L , and Ω_U , approximation of the energy in each dashed area, ϵ , is given by:

$$\epsilon = \frac{\hat{E}}{N}, \text{ where } \hat{E} = \int_{\Omega_L}^{\Omega_U} |S(\Omega)|^2 d\Omega \quad (6)$$

Based on the Parseval's expressed in (5), the energy of a given frequency interval is directly related to the equal amount of energy contribution in the time domain—which is the objective that we are looking for. Accordingly, we have the following relation:

$$\begin{aligned} \Delta\Omega_1 |S(\Omega_1)|^2 &= \dots = \Delta\Omega_i |S(\Omega_i)|^2 \\ &= \dots = \Delta\Omega_N |S(\Omega_N)|^2 \end{aligned} \quad (7)$$

Best Set of Frequencies Selection Algorithm

1. Define frequency range $[\Omega_L, \Omega_U]$ of the SFCW radar and the number of steps N .
2. Define an impulse waveform $s(t)$ that is to be synthesized in the radar that corresponding to the frequency range.
3. Compute the spectrum of the impulse $S(\Omega)$ by FFT, its energy density $|S(\Omega)|^2$, and the total sum of energy, E , in the frequency range.
4. Compute the average energy per step: $\epsilon = E/N$.
5. Starting from the lowest frequency to the highest one:
 - a. Integrate $E(\Omega)$ over an interval $\Delta\Omega_i$ such that the total energy in the interval equal to ϵ . The middle of the interval is the selected frequency.
 - b. Repeat Step 5.a until all frequencies in the set $\{\Omega_i | i=1, \dots, N\}$ are found.

Fig.2 : Algorithm to Determine the Best set of Frequencies in SFCW Rad

This new scheme will be called the equipartition of the energy. Consequently, we obtain the i -th frequency Ω_i , corresponding range of frequency

$$\left(\Omega_L + \sum_{k=1}^i \Delta\Omega_k - \Delta\Omega_i/2 \right) \leq \Omega_i < \left(\Omega_L + \sum_{k=1}^i \Delta\Omega_k + \Delta\Omega_i/2 \right) \quad (8)$$

and the width of the i -th step

$$\Delta\Omega_i = \varepsilon / |S(\Omega_i)|^2 \quad (9)$$

According to (8) and (9), to determine the set of frequencies $\{\Omega_i\}$ we need the power spectrum of the impulse $|S(\Omega)|^2$ and the given number of steps N . A simple algorithm to determine the set of frequencies in a non-uniform frequency spacing scheme for a given impulse can directly be derived. This algorithm is presented in Fig.2.

3. Experiments and Analysis

In the experiment, we use a monocycle impulse $m(t)$, which is the first derivative of a Gaussian function $g(t)$, i.e.,

$$m(t) = \frac{d}{dt} \{g(t)\} = \frac{1}{\sigma^3 \sqrt{2\pi}} (t - \tau) e^{-\frac{(t-\tau)^2}{2\sigma^2}} \quad (10)$$

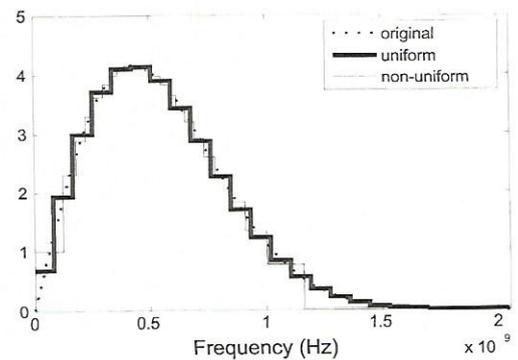
where

$$g(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\tau)^2}{2\sigma^2}} \quad (11)$$

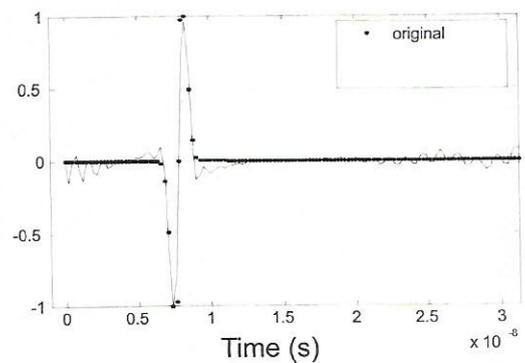
In the equations, τ is the mean value and σ^2 is the variance of the distribution. An SFCW system that works on 0-2048 MHz frequency band is then simulated. The set of frequencies for non-uniform spacing scheme are determined by algorithm explained in the previous Section, while the frequencies in the uniform scheme can be directly determined by dividing the frequency band into equal intervals and take the middle of the intervals as the selected frequencies.

First, we designed a 24 frequency step radar.

Figure 3 shows (a) comparison of the energy spectrum approximated by both methods and (b) the time-domain reconstruction results. It is observed in Fig. 3(a) that the non-uniform sampling allocates most of the frequency in the high energy areas. It implies in the reconstruction results displayed in Fig.3(b), showing that non-uniform spacing schemes better approximates the monocycle than the uniform one. Computation of the SNR gives -2.9 dB for the uniform scheme and 9.6 dB for the non uniform one.



(a)



(b)

Fig.3 : Comparison uniform and non-uniform frequency spacing scheme for a 24 step number SFCW radar: (a) energy spectrum and (b) reconstructed time-domain impulse waveform.

Quantitative performance analysis is then conducted for various number of frequency steps. The metric that is used to measure performance is the signal to noise ratio (SNR). Figure 4 shows the results of performance evaluations for 16, 32, 64,

128, 256 and 512 number of frequencies used in the simulated radar. According to the figure, non-uniform sampling method outperforms the uniform one, especially for low sampling number. The performance is then approached by the uniform method as the number of step is increased. Therefore, we have shown that non-uniform sampling scheme contributes to the improvement of the performance.

4. Conclusions

A method to select the best set of frequencies in SFCW radars has been proposed. The principle of energy equipartition has been applied to compute locations of the best frequencies. Experiment with a monocyte impulse shows that non-uniform frequency spacing method outperforms the uniform one, especially in the low step number regions, and approaching the uniform one when the number of the step is increased.

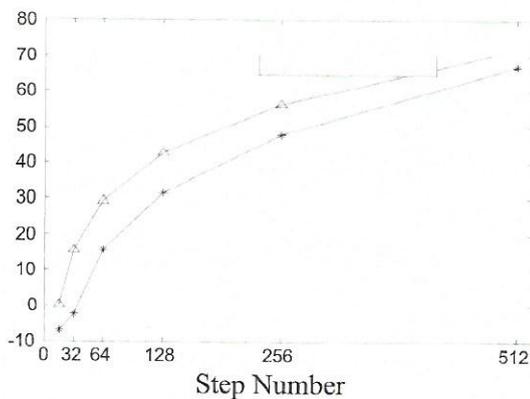


Fig. 4 : Performance Curve of SFCW Radars with Uniform and Non-Uniform Frequency Spacing Scheme for Various Number of Steps.

Acknowledgements

This work is supported by ITB International Research Grant 2008 and The IRCTR Indonesia Branch.

5. References

1. K. Iizuka, A.P. Freundorfer, K.H. Wu, J. Mori, H. Igura, V-K. Nguyen, "Step-frequency radar," *J. Appl. Phys.* 56, 2572-2583 (1984).
2. D.J. Daniels, *Ground Penetrating Radar*, 2nd Ed., IET Publisher.
3. P. van Genderen, J. Zijderfeld, P. Hakkaart, J. van Heijenoort, "A multi frequency SFCW radar for humanitarian demining," *Proc. IEE Radar 2002 Conference*, Edinburgh, UK, Oct. 2002.
4. A.B. Suksmono, A. A. Pramudita, E. Bharata, A.A. Lestari, and N. Rachmana, "A Novel Design of the Stepped Frequency Continuous Wave Radars Based on Non-Uniform Frequency Sampling Scheme," *Proc. of ICEEI 2007*.
5. A.A. Lestari, *Antennas for Improved Ground Penetrating Radar: Modeling Tools, Analysis and Design*, PhD Dissertation, Delft University of Technology, The Netherlands, 2003.
6. A.A. Lestari, Y.A. Kirana, A.B. Suksmono, A. Kurniawan, E. Bharata, "Applied research on Ground Penetrating Radar, Bow-tie Antenna, GPR antenna, Adaptive antenna, Ultra-wideband antennas," *Final Report*, No. IRCTR-S-031-04, IRCTR, Delft University of Technology, The Netherlands, October 2004.
7. J.E. Bracken, D.-K. Sun, and Z.J. Cendes, "S-domain methods for simultaneous time and frequency characterization of electromagnetic devices," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 46, No. 9, pp. 1277-1290, Sept. 1998.

Analisis Gangguan Sambungan Telepon Pada Sistem Jarlokot

Ros Sariningrum¹⁾, Teguh Praludi²⁾, Arief Suryadi S.³⁾

Puslit Elektronika dan Telekomunikasi LIPI

Jl. Sangkuriang Komplek LIPI Gd. 20 Lt. IV, Bandung, 40135

Email : ¹⁾ros@ppet.lipi.go.id, ²⁾praludi@ppet.lipi.go.id, ³⁾arief@ppet.lipi.go.id

Abstract

The cable access local network (jarlokot) is one of communication media which is mostly used due to its low cost and multi service. However, physically disturbances can not be avoided in this network. This paper presented the type of disturbances on telephone lines based at the costumer's site. The measurement concluded that by measuring the unbalance of a capacitance value of the cable, the disturbance can be localized at the telephone lines.

Key words : jarlokot, work instructions, measurement conclusion, type of disturbances

Abstrak

Jaringan lokal akses kawat tembaga (jarlokot) adalah salah satu media komunikasi yang masih banyak karena harganya yang murah dan multi service, namun jarlokot sendiri tak lepas dari gangguan fisik. Pada tulisan ini disampaikan jenis gangguan pada sambungan telepon dititik pelanggan. Dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran nilai kapasitansi yang akan menentukan jenis aktifitas perbaikan dan melokalisir gangguan pada sambungan pesawat telepon.

Kata kunci : jarlokot, instruksi kerja, kesimpulan ukur, jenis gangguan

1. Pendahuluan

Pada sistem komunikasi jaringan lokal akses kawat tembaga (jarlokot), pendistribusian atau pencatuan jaringan dari sentral ke pesawat telepon digunakan saluran kabel [1]. Kabel tersebut ada yang terpasang di atas tanah (kabel udara) dan di bawah tanah (kabel tanah). Dilihat dari lokasi pemasangannya sistem komunikasi jarlokot sangat rawan akan terjadinya gangguan [2].

Gangguan pada suatu jaringan fisik adalah suatu hal yang biasa terjadi. Gangguan-gangguan ini dapat terjadi karena adanya suatu kesalahan pada jaringan tersebut. Gangguan dapat diartikan sebagai suatu keadaan tidak normal atau tidak sesuainya saluran dengan ketentuan teknis yang dapat mengakibatkan suatu hubungan menjadi turun mutunya atau bahkan putus sama sekali [3].

Untuk mengatasi gangguan tersebut maka diperlukan pelayanan-pelayanan khusus yaitu dengan cara menekan terjadinya gangguan lebih

lanjut (preventif). Adapun tujuan dari penekanan gangguan [4] adalah :

- a. Meningkatkan *service excellent*.
- b. Mengurangi bahkan menghilangkan *loss opportunity*.

Kecepatan memperbaiki gangguan (*trouble*) berhubungan dengan MTTR (*Mean Time To Repair*) yaitu waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk perbaikan [5]. Hubungan antara MTTR dengan *service excellent* dan *loss opportunity* adalah :

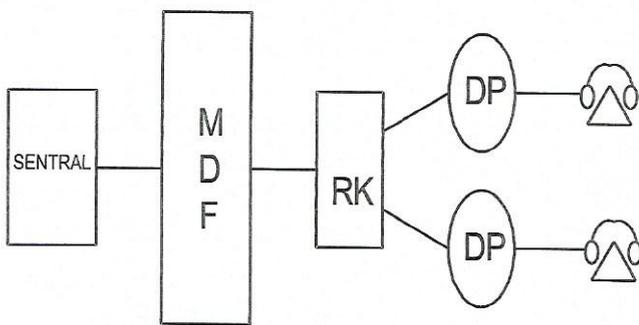
- a. Semakin tinggi MTTR maka *service excellent* menurun dan *loss opportunity* bertambah tinggi.
- b. Semakin rendah MTTR maka *service excellent* bertambah tinggi dan *loss opportunity* semakin rendah.

Hal-hal yang menyebabkan MTTR tinggi antara lain :

- a. Hambatan pelanggan misalnya rumah yang

- penghuninya tidak ada di tempat.
- b. Sulit mendapat izin galian dari Pemerintah Daerah.
- c. Keterlambatan material yang sudah dipesan.
- d. Kekurangan material yang akan digunakan untuk perbaikan.
- e. Cuaca buruk.
- f. Lokasi gangguan jauh.

2. Jaringan Lokal Akses Kawat Tembaga



Gambar 1. Distribusi jaringan lokal [1]

Komponen-komponen Jaringan Lokal seperti yang ditunjukkan pada gambar 1:

2.1. RPU (Rangka Pembagi Utama)/MDF

Fungsi dari MDF adalah sebagai tempat penyambungan kabel primer dengan kabel yang keluar dari sentral, disamping itu juga MDF berfungsi sebagai tempat pengetesan dalam melokalisir gangguan.

2.2. RK (Rumah Kabel)

RK (Rumah Kabel) adalah unit terminal kabel yang merupakan titik sambung kabel primer dengan kabel sekunder. RK juga berfungsi sebagai tempat yang pertama kali dilokalisir oleh petugas jaringan lokal saat terjadi gangguan.

2.3. Kotak Pembagi (Distribution Point)

Kotak pembagi adalah terminal kabel yang merupakan titik sambung kabel sekunder dan saluran penanggal. DP sebagai terminal awal

saluran penanggal sering dilakukan pengetesan karena saluran penanggal merupakan lokasi dominan terjadinya gangguan.

2.4. Kotak Terminal Batas (KTB)

Kotak terminal batas adalah perangkat terminasi kabel telepon yang dipasang pada rumah pelanggan dan digunakan untuk menyambung saluran penanggal dengan instalasi kabel telepon dalam rumah pelanggan. Saat terjadi gangguan, KTB merupakan batas wewenang antara TELKOM dan pelanggan.

2.5. Roset

Roset (papan sambung pesawat telepon) merupakan terminal atau titik persambungan terakhir sebelum sampai pada pesawat telepon.

3. Jenis Gangguan

Gangguan-gangguan yang biasa terjadi pada saluran telekomunikasi jaringan kabel berdasarkan pengaduan pelanggan yang diterima oleh 117 ditunjukkan oleh tabel 1 [4].

4. Kesimpulan Ukur

Setelah menerima pengaduan, dilakukan pengukuran, hasil ukur akan terlihat pada display alat ukur sesuai dengan parameter masing-masing sentral. Dari hasil ukur tersebut dapat disimpulkan status kerusakannya, baik atau rusak. Hasil ukur inilah yang disebut kesimpulan ukur seperti yang ditunjukkan pada tabel 2 [5].

Tabel 1 Jenis Gangguan Berdasarkan Pengaduan Pelanggan [4]

Jenis Gangguan berdasarkan Pengaduan Pelanggan		
1.	Gangguan Massal	terjadi karena adanya perbaikan perangkat jaringan kabel di Multi Fungsi Area Work Group (MF AWG).

2.	Telepon Mati	terjadi di mana saja baik sentral, MDF, jaringan lokal maupun pihak pelanggan sendiri. Oleh karena itu petugas harus mengecek tiap-tiap komponen untuk mengetahui lokasi gangguan.
3.	Hanya dapat dipanggil atau memanggil saja.	terjadi di lokasi sentral dan pesawat telepon. Untuk gangguan yang hanya dapat dipanggil bisa dikarenakan pesawat telepon masih dalam keadaan terkunci atau nomor telepon diblokir karena tunggakan tagihan dimana pelanggan tidak menyadarinya.
4.	Tidak dapat SLI / SLJJ	berlokasi di sentral dan pesawat telepon yang masih dalam keadaan terkunci.
5.	Suara berdengung / kemerosok (tidak jernih)	terjadi pada MDF, jaringan lokal dan pihak pelanggan.
6.	Suara lemah / putus-putus	terjadi pada MDF, jaringan lokal dan pihak pelanggan
7.	Sering / selalu salah sambung	terjadi pada MDF, jaringan lokal dan pihak pelanggan.
8.	Crosstalk / Interferensi	terjadi di Sentral, MDF dan jaringan lokal.
9.	Suara dering lemah	terjadi di pesawat telepon dan jaringan lokal.
10	Pesawat telepon rusak	terjadi pada pesawat telepon pelanggan

Tabel 2 Jenis Kesimpulan Ukur [5]

Kesimpulan Ukur		
1.	Open Hook	saat gagang telepon mulai terangkat dapat terjadi karena pelanggan salah meletakkan gagang telepon sehingga orang lain sulit untuk

		menghubungi nomor telepon tersebut dan melakukan pengaduan. Ini berarti tidak terjadi kerusakan pada sentral, MDF maupun jaringan lokal.
2.	Isolasi	terputusnya kawat-kawat kabel a atau b sehingga nilai tahanannya besar sekali. Ini menunjukkan adanya kerusakan pada jaringan lokal atau MDF.
3.	Kontak	terjadinya hubung singkat antara kawat a dan kawat b dalam satu klem yang menyebabkan terjadinya pembebanan. Ini menunjukkan terjadi kerusakan pada jaringan lokal atau MDF.
4.	Cakap silang (cross talk)	terjadinya hubung singkat antara kawat a dan kawat a atau kawat b dan kawat b pada klem yang berbeda. Indikasi yang terjadi adalah sering atau selalu salah sambung. Ini menunjukkan terjadi kerusakan pada jaringan lokal atau MDF.
5.	Induksi	Yaitu gangguan yang terjadi karena kawat a dan b terkena tegangan asing, misalnya dari tegangan listrik PLN atau induksi antar pasangan kawat dalam satu kabel. Ini menunjukkan terjadi kerusakan pada jaringan lokal atau MDF.
6.	Test Oke	tidak terjadi kerusakan di komponen manapun. Walaupun terjadi gangguan, hanya dalam

		waktu yang singkat dan akan baik dengan sendirinya
7.	Afleding	Yaitu terjadinya grounding pada kawat a dan b. Ini menunjukkan terjadi kerusakan pada jaringan lokal atau MDF.
8.	Periksa pesawat / saluran	menunjukkan bahwa kerusakan terletak pada pesawat telepon dan saluran di dalamnya.
9.	Afleding dan induksi	Terjadi karena kawat a dan b terkena tegangan asing dan kawat terkena tanah (<i>grounding</i>). Ini menunjukkan terjadi kerusakan pada jaringan lokal atau MDF
10.	Afleding dan isolasi	Terjadi karena terputusnya kawat-kawat a dan b dan adanya grounding pada kawat a dan b. Ini menunjukkan terjadi kerusakan pada jaringan lokal atau MDF.
11.	Afleding dan korsleting	Terjadinya hubung singkat antara kawat a dan b dalam satu klem dan disertai grounding pada kawat a dan b.
12.	Gangguan sentral	Ini menunjukkan adanya kerusakan pada sentral dan sentral mempunyai kewenangan sendiri dalam hal perbaikan.
13.	Saluran internal rusak	Ini menunjukkan kerusakan terjadi pada saluran internal atau instalasi pada suatu kantor / rumah.

5. Parameter Kapasistansi

❖ **Kapasitansi bersama**

Harga rata-rata kapasitansi bersama dari setiap pasang yang diukur pada frekuensi 800 Hz tidak

boleh melampaui 55 nF.Km^{-1} untuk kabel dengan diameter penghantar 0,6 dan 0,8 mm, atau 62 nF.Km^{-1} untuk kabel dengan diameter penghantar 1,0 mm.

❖ **Ketidak seimbangan kapasistansi**

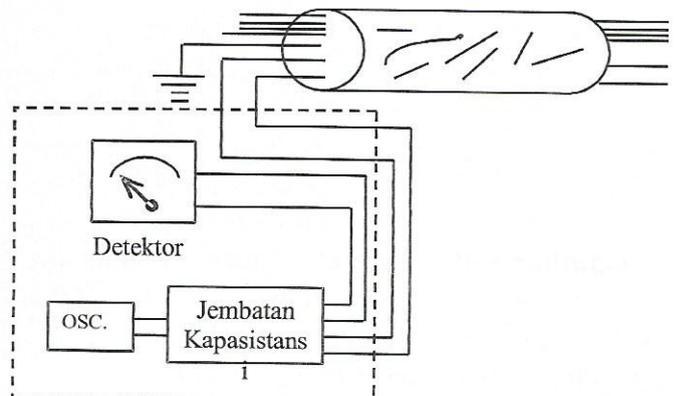
Ketidak seimbangan kapasistansi ini diukur pada frekuensi 800 Hz. Selama pengukuran, penghantar yang sedang tidak diukur dibundel bersama lapisan alumunium dan ditanahkan. Ketidakseimbangan kapasistansi tidak boleh melebihi :

- a. PF + 5% antar dua pair dalam satu quad, dan maksimum 800 PF
- b. PF antara dua pair dari quad yang berbeda
- c. PF antara setiap pair dengan lapisan alumunium yang ditanahkan.

Bila menggunakan acuan panjang kabel maka panjang kabel adalah 300 m. Bila panjang kabel L meter maka hasil pengukuran dikalikan faktor koreksi = $300/L$. Kalau panjang kabel kurang dari 200 meter dihitung sebagai 200 meter [3].

5.1 Pengukuran Kapasistansi Bersama

Alat yang digunakan adalah *Capacitance Meter* pada frekuensi 300 Hz. Alat ukur ini biasanya terdiri atas tiga bagian pokok, yaitu generator frekuensi, jembatan kapasistansi (*bridge capacitance*), dan detektor. Set up pengukuran dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Pengukuran Kapasistansi Bersama

Sedangkan cara pengukurannya adalah sebagai berikut:

- a. Seluruh urat kabel pada satu ujung dibundel dengan pelindung elektrisnya, dan dihubungkan ke orde alat ukurnya sendiri, kecuali pasangan yang akan diukur.
- b. Pasangan yang akan diukur dihubungkan dengan jembatan kapasistansi, sedangkan ujung yang lain dibiarkan terbuka.

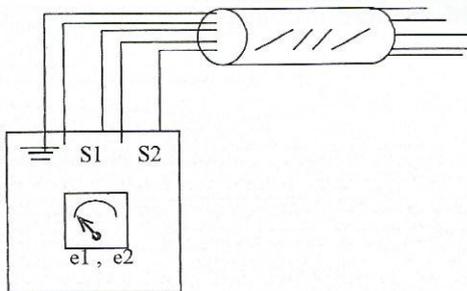
Standar nilai kapasistansi bersama (C_o) tidak sama untuk semua kabel, hal ini bergantung kepada diameter kabel yang digunakan. Standar nilai itu dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3 Nilai Kapasistansi Bersama

Diameter (mm)	Co Maksimum (Nf/Km)
0,4	50
0,6	55
0,8	55

5.2 Pengukuran Ketidakseimbangan Kapasistansi

Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur Unbalance *Capacitance Meter* pada frekuensi 800 Hz. Penyambungan alat ukur dengan kabel yang akan diukur terlihat seperti yang diperlihatkan pada gambar 3 di bawah ini :



Gambar 3. Pengukuran Ketidakseimbangan Kapasistansi

Pengukuran dilakukan sebagai berikut

- a. Semua urat kabel dibundel dengan pelindung elektrisnya, dan dihubungkan dengan alat

ukurannya kecuali pasangan yang akan diukur.

- b. Pasangan yang akan diukur dihubungkan dengan terminal S1 dan S2, sedangkan ujung saluran yang lain dibiarkan terbuka.

Komponen atau item yang diukur terlihat dalam tabel 4 di bawah ini yaitu :

- a. Ketidakseimbangan kapasistansi antar pasangan dalam satu quad/empatan (K1)
- b. Ketidak seimbangan kapasistansi antar pasangan dari quad atau empatan yang berbeda (K9,K10,K11, dan K12)
- c. Ketidakseimbangan kapasistansi antara pasangan dengan pelindung elektrisnya ($e1,e2$)

Tabel 4 Ketidakseimbangan Kapasistansi

ITEM	EMPATAN 1		EMPATAN 2		PELINDUNG ELEKTRIS
	Psg 1	Psg 2	Psg 1	Psg 2	
K-1	v	v	x	x	x
K-9	v	x	x	x	x
K10	v	x	x	v	x
K-11	x	v	v	x	x
K-12	x	v	x	v	x
e-1	v	x	x	x	v
e-2	x	v	x	x	v

Standar nilai ketidakseimbangan kapasistansi untuk K1, maksimum 300 PF/300 meter. Sedangkan untuk K9,K10,K11, dan K12 maksimum 400 PF/300 meter. Demikian pula standar nilai untuk e1 dan e2 maksimum 400 PF/300 m, tetapi 5 % dari kapasitas kabel boleh mencapai 800 PF/ 300m, sedangkan untuk kabel yang panjangnya kurang dari 300 m dianggap mempunyai panjang 300 m.

6. Analisis jenis pengaduan terhadap kesimpulan ukur

Analisis dibuat berdasarkan pengaduan dari pelanggan, untuk jenis pengaduan tertentu dihasilkan beberapa kesimpulan ukur yaitu :

- a. Telepon Mati, maka kesimpulan ukur yang

dihasilkan adalah ; isolasi, kontak, afleding & isolasi, afleding & hubung singkat, gangguan sentral, dan saluran internal/pesawat.

- b. Hanya dapat dipanggil dan memanggil, kesimpulan ukur yang dihasilkan adalah Test OK, gangguan sentral, dan saluran internal/pesawat.
- c. Tidak dapat SLJJ/SLI, kesimpulan ukur yang dihasilkan adalah Test OK, gangguan sentral, saluran internal/pesawat.
- d. Suara tidak jernih, kesimpulan ukur yang dihasilkan adalah afleding & induksi, saluran internal/pesawat, induksi, dan afleding.
- e. Suara lemah/putus-putus, kesimpulan ukur yang dihasilkan adalah afleding & induksi, afleding & isolasi, afleding & hubung singkat, saluran internal/pesawat, induksi, dan afleding.
- f. Sering salah sambung, kesimpulan ukur yang dihasilkan adalah gangguan sentral.
- g. *Crosstalk*/interferensi, kesimpulan ukur yang dihasilkan adalah afleding & induksi, afleding & isolasi, afleding & hubung singkat, dan gangguan sentral.
- h. afleding & induksi, afleding & isolasi, afleding & hubung singkat, gangguan sentral.
- i. Suara dering lemah, kesimpulan ukur yang dihasilkan adalah afleding & induksi, afleding & isolasi, afleding & hubung singkat, saluran internal/pesawat, induksi, dan afleding.
- j. Pesawat telepon rusak, kesimpulan ukur yang dihasilkan adalah open hook dan saluran internal/pesawat.

7. Analisis Parameter C (kapasistansi)

Parameter C (kapasistansi) akan muncul jika kesimpulan ukur bukan pada gangguan sentral dan rusaknya pesawat telepon (nilai C adalah nol), sedangkan jika ada suatu harga kapasistansi yang terukur maka akan diperoleh beberapa kesimpulan ukur yaitu :

- ❖ Kesimpulan ukur isolasi
- ❖ Kesimpulan ukur kontak
- ❖ Kesimpulan ukur afleding & induksi

- ❖ Kesimpulan ukur afleding dan isolasi
- ❖ Kesimpulan ukur induksi
- ❖ Kesimpulan ukur cakap silang
- ❖ Kesimpulan ukur afleding.

8. Kesimpulan

- Gangguan pada telepon dapat terjadi karena adanya kesalahan pada jaringan yang disebabkan oleh gangguan alam, tegangan liar, binatang, manusia, pihak ketiga, instalasi dan material yang kurang baik, daya listrik tidak stabil atau baterai habis.
- Dengan melakukan pengukuran parameter C (kapasistansi), maka aktifitas perbaikan dapat segera dilakukan dan letak gangguan bisa dilokalisir.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Erika Yulanda, ST., PT Telkom atas kerja samanya dan kepada Kegiatan Tematik DIPA 2006 PPET-LIPI atas pendanaannya sehingga penulisan paper ini dapat diselesaikan.

9. Daftar Pustaka

1. Gouzali. Saydam, "Prinsip Dasar Teknologi Jaringan Telekomunikasi", *Penerbit Angkasa*, Bandung, 1997.
2. Smale. P H, "Sistem Telekomunikasi Edisi Kedua", *Penerbit Erlangga*, Jakarta, 1996.
3. Tim Penulis, "Pengukuran Saluran dan Harga Elektris", *PT. Telekomunikasi Indonesia*, Bandung, 1995.
4. Tim Penulis, "Dokumen Prosedur Pelayanan Gangguan Telepon Akses Jarkab", *PT. Telekomunikasi Indonesia, Tbk Kantor Unit KSO DIVRE IV*, Semarang, 2000.
5. Tim Penulis, "Dokumen Instruksi Kerja Lokalisir dan Perbaikan Gangguan Telepon Akses Jarkab", *PT. Telekomunikasi Indonesia, Tbk Kantor Unit KSO DIVRE IV*, Semarang, 2000.

Pembebanan Resistif untuk Menekan Level Coupling Antar Elemen Pada Antena Array untuk GPR

A. Adya Pramudita^{1,2}, A. Kurniawan¹, A. Bayu Suksmono¹, A. Andaya Lestari¹

¹International Research Centre for Telecommunications and Radar Indonesian Branch (IRCTR-IB) STEI - ITB, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

²Unika Atmajaya Jakarta Indonesia
pramudita@atmajaya.ac.id

Abstract

Coupling level between elements in array antenna for Ground penetrating radar (GPR) application is important problem. The coupling level between elements should be as small as possible. The Array antenna for GPR application will degrade its performance when coupling level between elements is significant. Resistive loading is proposed as coupling reduction method that applied for array antenna for GPR application. The proposed method is investigated and proofed by combining Method of Moment and N-port network equation. Simulation result shown that Resistive loading reduces the coupling level between array elements successfully. The simulation result have verified by laboratory measurement.

Keywords : *coupling, resistive loading, array antenna, GPR*

Abstrak

Coupling antar elemen pada Antena Array yang dirancang untuk aplikasi Ground Penetrating Radar (GPR), menjadi suatu permasalahan yang perlu diatasi. Level coupling yang tinggi akan menurunkan kinerja dari sistem Antena array tersebut untuk aplikasi GPR. Coupling antar elemen pada antenna array perlu ditekan seminimal mungkin. Pembebanan resistif pada setiap elemen array diusulkan sebagai metode untuk menekan level coupling antar elemen pada antenna array. Metode ini dianalisa dan dibuktikan dengan kombinasi metode moment dan N-port network equation. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pembebanan resistif dapat mengurangi coupling antar elemen pada mikrostrip dipole array secara signifikan. Hasil simulasi tersebut juga telah diverifikasi dengan pengukuran laboratorium.

Kata Kunci : *coupling, resistive loading, array antenna, GPR*

1. Pendahuluan

Parameter yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan antena array untuk aplikasi GPR adalah level *coupling* antar elemen pada antenna array tersebut. Level *coupling* yang tinggi menyebabkan menurunnya kinerja sistem antena pada saat melakukan pengaturan karakteristiknya guna beradaptasi terhadap kondisi tanah yang berubah-ubah [1],[2]. Level *coupling* antar elemen pada array tersebut perlu ditekan seminimal mungkin.

Secara konvensional level *coupling* akan berkurang jika jarak antar elemen diperbesar. Namun dengan memperbesar jarak antar elemen maka metode ini tidak akan efektif untuk mendapatkan bentuk desain yang kompak.

Beberapa peneliti sebelumnya telah mengusulkan beberapa teknik penekanan *coupling*. *Coupling* antar microstrip dipole dapat ditekan dengan melapisi bagian radiator dengan suatu substrat dielektrik[2]. Namun teknik ini akan memiliki kompleksitas dalam fabrikasi. Teknik lain adalah dengan menambahkan potongan *slit* dan menambahkan *metal fence* penghalang[3]. Penambahan potongan *slit* hanya efektif untuk menekan level *coupling* pada susunan *endfire*, sedangkan untuk menekan level *coupling* pada susunan *broadside* maka dilakukan dengan penambahan *metal fence*. Walaupun metode ini dapat menekan level *coupling* sampai dibawah -30dB namun metode ini tidak efektif untuk mendapatkan desain yang kompak.

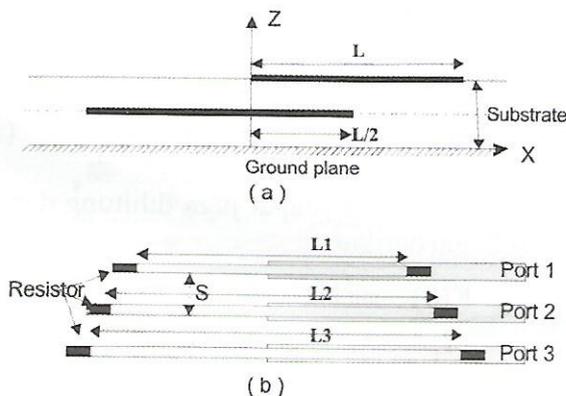
Pada paper ini, *resistive loading* diusulkan sebagai teknik untuk menekan level *coupling* antar element array. Dengan ,menambahkan *resistive loading* maka arus induksi dari elemen yang aktif ke elemen yang pasif akan diserap oleh beban resistif, sehingga elemen pasif tidak efektif meradiasi. Disisi lain *Resistive loading* akan mengurangi efisiensi radiasi, namun hal ini akan dengan mudah diatasi dengan menaikkan daya sinyal atau pada *post processing*.

Analisa yang digunakan untuk membuktikan kemampuan metode resistive loading untuk menekan *coupling* adalah kombinasi antar metode *Method of Moment (MoM)* dan *N-port Network Equation*. Dari kombinasi kedua metode tersebut akan dihitung parameter *Scattering*. *Scattering parameters*,, dimana menunjukkan level *coupling* antara elemn n dan elemen m.

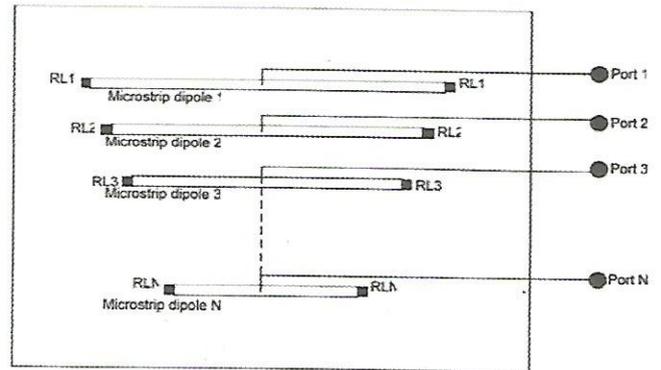
Hasil simulasi perlu diverifikasi dengan suatu pengukuran laboratorium. Pada paper ini juga ditunjukkan hasil pengukuran laboratorium level *coupling* antar elemen.

2. Metode Penelitian

Pada paper ini dianalisa coupling level antar elemen pada microstrip dipole array yang didesain pada substrat dielektrik FR-4 Epoxy dengan $\epsilon_r = 4.4$ dan ketebalan substrat 3.2mm. Microstrip dipole array ditunjukkan pada gambar 1. Pembebanan resistif diletakan pada ujung-ujung microstrip dipole.



Gambar 1 : Microstrip Dipole Array



Gambar 2 : N-Element Array sebagai N-port Network

2.1 Integral Equation Of Microstrips Dipole Array with Resistive Loading

Persamaan medan listrik dapat direpresentasikan sebagai fungsi dari vector potensial magnetic A . Sehingga medan Listrik yang diradiasikan oleh antenna dapat ditulis sebagai berikut.

$$E_s^p = -j\omega A^p - \nabla \nabla \cdot A^p \tag{1}$$

Dimana adalah

$$A^p = \iint_s g^p(r, r_o) J^p(r_o) ds_o \tag{2}$$

$g^p(r, r_o)$ adalah *green function* yang didefinisikan untuk medium ϵ_r , J^p adalah rapat arus, r_o adalah vektor posisi dari rapat arus J^p dan r adalah vektor posisi untuk fungsi green yang didefinisikan. Sehingga persamaan (1) dapat ditulis sebagai :

$$E_s^p = -j\omega \iint_s g^p(r, r_o) J^p(r_o) ds_o - \nabla \nabla \cdot \left[\frac{j\omega}{k^2} \iint_s g^p(r, r_o) J^p(r_o) ds_o \right] \tag{3}$$

Karena semua bagian metal dari antenna diasumsikan konduktor sempurna, maka komponen intensitas medan listrik pada arah tangensial terhadap antenna adalah nol pada permukaannya.

$$a_n^p \times E_{tot}^p = a_n^p \times (E_{ex}^p + E_s^p) = 0 \tag{4}$$

E_s^p menunjukkan intensitas medan listrik dari gelombang yang dipancarkan oleh antenna E_{ex}^p adalah intensitas medan listrik dari gelombang yang diterima oleh antenna dan E_{tot}^p adalah intensitas medan listrik total pada daerah batas.

Komponen tangensial medan listrik pada permukaan radiator adalah nol selain pada titik catu dan pada titik dimana beban resistif terpasang yang berhubungan dengan tegangan pada generator dan

tegangan jatuh pada beban resistif.

$$E_{ex}^{\rho} = V_o \delta(x_o, y_o) + \sum_{l=1}^N [Z_L I_l(x_l, y_l) \delta(x-x_l, y-y_l) - Z_L I_l(x_l, y_l) \delta(x+x_l, y+y_l)] \quad (5)$$

Dimana $\delta(x_o, y_o)$ adalah fungsi dirac delta dan $I_l(x_l, y_l)$ adalah arus pada beban resistif yang terpasang. Dengan mensubstitusikan (3) dan (5) ke (4) maka didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$E_s^{\rho} = -E_{ex}^{\rho} - j\omega \iint_s \rho(r, r_o) J(r_o) ds_o - \nabla \left[\frac{j\omega}{k^2} \nabla \cdot \iint_s \rho(r, r_o) J(r_o) ds_o \right] - V_o \delta(x_o, y_o) + \sum_{l=1}^N [Z_L I_l(x_l, y_l) \delta(x-x_l, y-y_l) + Z_L I_l(x_l, y_l) \delta(x+x_l, y+y_l)] \quad (6)$$

2.3. Metode Momen

Metode Moment digunakan sebagai metode numerik untuk menyelesaikan persamaan intergral pada (6) pada kawasan frekuensi. Langkah pertama adalah melakukan aproksimasi rapat arus ρJ dengan suatu fungsi basis yang telah diketahui/dipilih sebelumnya (ρJ_n).

$$J(x, y, z) = \sum_{n=1}^N I_n J_n(x, y, z) \quad (7)$$

Persamaan (3) dapat ditulis sebagai berikut :

$$E_s = \sum_{n=1}^N I_n E_{sn}^{\rho} \quad (8)$$

,dimana E_{sn}^{ρ} adalah

$$E_{sn}^{\rho} = \int_s \rho(x, y, x_n, y_n) J_n(x_n, y_n) dx_n dy_n - \int_s \left[\frac{j}{k^2} \cdot \rho(x, y, x_n, y_n) J_n(x_n, y_n) dx_n dy_n \right] \quad (9)$$

Persamaan (6) dapat dituliskan kembali menjadi

$$\sum_{n=1}^N I_n E_{sn}^{\rho} = -V_o \delta(x_o, y_o) + \sum_{l=1}^N [Z_L I_l(x_l, y_l) \delta(x-x_l, y-y_l) + Z_L I_l(x_l, y_l) \delta(x+x_l, y+y_l)] \quad (10)$$

Langkah berikutnya adalah melakukan inner product terhadap kedua sisi persamaan (10) dengan fungsi pembobot. Berdasarkan metode Galerkin fungsi pembobot dipilih sama dengan fungsi basis ekspansi yang digunakan sebelumnya.

$$J_m^{\rho} = J_n^{\rho} \cdot \langle E_s^{\rho}, J_m^{\rho} \rangle = \langle E_{ex}^{\rho}, J_m^{\rho} \rangle \quad (11)$$

Matrix MoM untuk antenna yang dianalisa dapat ditentukan sebagai berikut

$$Z_{mn} I_n = V_m \quad (12)$$

Dengan melakukan inverse matrik pada (12) maka komponen distribusi arus pada titik ke-n dapat dihitung.

$$I_n = Z_{mn}^{-1} V_m \quad (13)$$

2.4. Matrik Impedansi dan Matrik Scattering

Suatu N-element array dapat dianggap sebagai N-port network. Zii adalah impedansi input pada port ke-i. Zij dimana i tidak sama dengan j adalah mutual impedansi antara port i dan port j. Sehingga persamaan N-port Network dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\begin{matrix} V_1 & Z_{11} I_1 & Z_{12} I_2 & \dots & Z_{1n} I_n \\ V_2 & Z_{21} I_1 & Z_{22} I_2 & \dots & Z_{2n} I_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ V_n & Z_{n1} I_1 & Z_{n2} I_2 & \dots & Z_{nn} I_n \end{matrix} \quad (14)$$

Dimana Vi adalah tegangan eksitasi pada port ke i dan Ii adalah arus pada port i.

Dari pers 14 maka Input impedance in port 1 dapat dihitung sebagai berikut

$$Z_{in1} = \frac{V_1}{I_1} = Z_{11} \frac{I_1}{I_1} + Z_{12} \frac{I_2}{I_1} + \dots + Z_{1n} \frac{I_n}{I_1} \quad (15)$$

Input impedance Z_{in1} dapat juga dihitung dengan MoM, sebagai berikut :

$$Z_{in1} = \frac{V(0)}{I_1} \quad (16)$$

Dengan kombinasi MoM dan persamaan N-port network maka dapat dihitung parameter scattering

dari antenna. N-port network matrik dapat ditulissebagai berikut:

$$[Z_{in}] = [A][Z] \tag{17}$$

Dimana [A] adalah matrik scattering . [Zin] adalah matrik impedansi input pada titik port setiap elemen array [Z] adalah matrik impedansi .

$$[Z_{in}] = \begin{bmatrix} [zin]1 \\ [zin]2 \\ \vdots \\ [zin]n \end{bmatrix} \quad [A] = \begin{bmatrix} [a]_1 & [0] & L & [0] \\ [0] & [a]_2 & L & [0] \\ M & M & O & M \\ [0] & [0] & L & [a]_n \end{bmatrix}$$

$$[Z] = \begin{bmatrix} [z]1 \\ [z]2 \\ \vdots \\ [z]n \end{bmatrix} \tag{18}$$

[zin]' adalah elemen matrik yang menunjukkan impedansi input pada port i.

[a]; adalah matrik dengan elemen

$$a_{ijn} = \frac{I_{jn}}{I_{in}}, (j, k = 1, \dots, N) \tag{19}$$

Dimana I_{jn} dan I_{in} adalah arus pada port j and port i. Sehingga $a_{ijn} = S_{ij}$ ($i \neq j$) yang menunjukkan level coupling antara elemen i dan lemen j.

3. Hasil dan Pembahasan

Skema simulasi microstrip dipole array yang digunakan untuk melakukan kajian level coupling antar elemen pada array ditunjukkan pada gambar 3. Beban resistive dilelakkan pada ujung-ujung setiap elemen microstrip dipole. Pada paper ini disimulasikan susunan 3 microstrip dipole. Sij dimana i tidak sama dengan j menunjukkan level coupling antara elemen i dan elemen j.

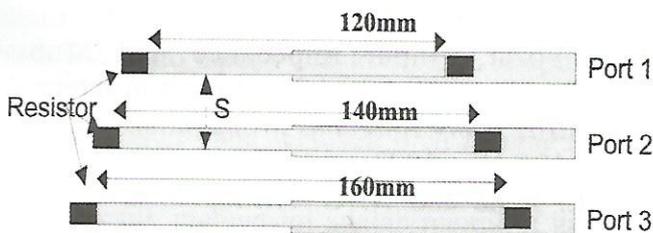


Figure 3 : Simulation Scheme of Microstrip Dipole Array

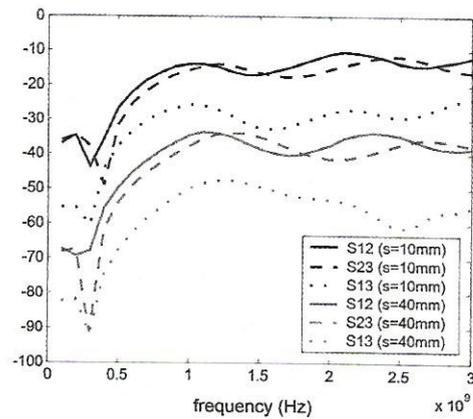


Figure 4 : S_{12} , S_{13} dan S_{23} Microstrip Dipole Array tanpa Pembebanan Resistif.

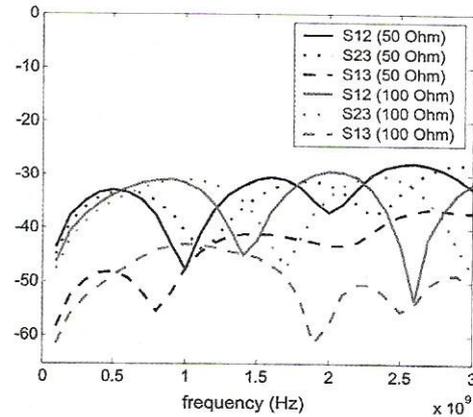


Figure 5 : S_{12} , S_{13} dan S_{23} Microstrip Dipole Array dengan Pembebanan Resistif, dengan s=15mm.

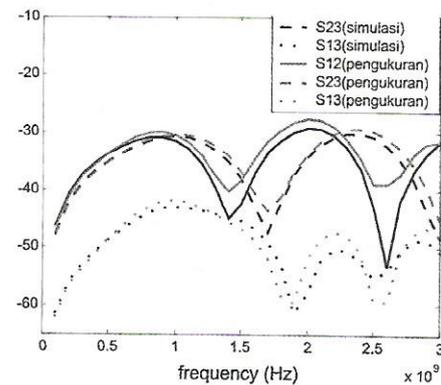


Figure 6 : Perbandingan Simulasi dan Hasil Pengukuran S_{12} , S_{13} dan S_{23} Microstrip Dipole Array dengan Pembebanan Resistif 100Ohm, dengan s=15mm.

Hasil simulasi pada gambar 4 menunjukkan bahwa tanpa pembebanan resistif, coupling level

antara elemen berdekatan rata-rata masih diatas -20 dB saat jarak antar elemen 10mm. Level coupling antar elemen berdekatan rata-rata turun menjadi -33 db saat jarak antar elemen ditambah menjadi 40mm. Penambahan jarak antar elemen memang akan menurunkan level coupling namun solusi ini tidak mendukung untuk mendapatkan desain yang kompak dengan menambahkan beban resistive pada ujung-ujungnya setiap elemen microstrip dipole maka level coupling dapat diturunkan. Hal ini ditunjukkan pada hasil simulasi gambar 5. Saat salah satu elemen pada array aktif/dicatu, maka arus induksi dari elemen yang aktif kepada elemen yang tidak dicatu akan diserap oleh beban resistive sehingga elemen yang tidak dicatu tidak efektif meradiasi. Saat jarak antar elemen 15 mm maka dengan memberikan beban pada setiap ujung-ujung elemen microstrip dipole sebesar 50 Ohm maka level coupling dapat ditekan sampai pada level rata-rata -33 dB. Saat beban diganti dengan 100 Ohm maka level coupling dapat ditekan pada level rata-rata -30dB. Hasil simulasi diatas menunjukkan bahwa pembebanan resistive dapat digunakan untuk menekan level coupling secara signifikan tanpa harus memperbesar jarak antar elemen array. Hasil pengukuran menunjukkan kesimpulan yang serupa dengan hasil simulasi yang telah dilakukan. Metode ini memiliki potensi yang besar untuk mendukung bentuk desain array yang kompak. Disisi lain, metode pembebanan resistif akan menurunkan efisiensi radiasi. Pembebanan resistif dengan *Wu-king profile* menyebabkan efisiensi turun sampai 50%. Namun pada sistem GPR faktor efisiensi antena dapat diatasi dengan menaikkan daya sinyal eksitasi dengan syarat kondisi matching antara sumber eksitasi dan antena harus tetap optimal. Permasalahan tersebut dapat diatasi juga pada sisi postprocessing.

4. Kesimpulan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pembebanan resistif dapat menekan level coupling secara signifikan tanpa harus memperbesar jarak antar elemen array sehingga metode ini juga akan mendukung untuk mendapatkan desain array yang kompak. Metode ini juga relative lebih simple

dalam proses fabrikasi dibanding metode-metode yang telah diusulkan sebelumnya. Perlu dilakukan pengkajian besarnya beban yang dipakai sedemikian hingga pembebanan akan efektif menekan coupling dengan pengurangan efisiensi antena sekecil mungkin.

5. Daftar Pustaka

1. A.A. Lestari, "Antennas for Improved Ground Penetrating Radar: Modeling Tools, Analysis and Design", *Ph.D Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands*, 2003.
2. Pisti B Katehi, "Mutual Coupling Between Microstrip Dipoles in Multielement Arrays", *IEEE Transaction Antenna And Propagation*. Vol 37, No. 3, March 1989.
3. Tatsuo Itoh, "Planar Antenna Arrays for Ku/Q Bands", *Department of Electrical Engineering, University of California, Los Angeles, California 90095*. Final Report 2000-2001 for MICRO Project 00-041: Rockwell Science Center.
4. K. R. Carver and J. W. Mink. "Microstrip Antenna Technology." *IEEE Trans. Antennas Propagation*. vol 4P-29, pp. 2-24. Jan. 1981.
5. R. S. Elliott and G. J. Stern. "The Design of Microstrip Dipole Arrays Including Mutual Coupling, Part I: Theori ." *IEFE Trans Antennas Propagation*. vol ,4P-29. pp. 757-760. Sept. 1981.
6. G. J. Stern and R. S. Elliott, "The Design of Microstrip Dipole Arrays Including Mutual Coupling, Part 11: Experiment." *IEEE Trans. Antennas Propagation..* vol. AP-29. pp. 761-165. Sept. 1981.
7. N.G. Alexopoulos and I. E. Rana. "Mutual Impedance Computation between Printed Dipoles.". *IEEE Trans. Antennas Propagation*. vol. AP-1981.
8. Pozar, "Input Impedance and Mutual Coupling of Rectangular Microstrip antenna", *IEEE Trans. Anrennas Propagation*. pp. 1191-1196. Nov. 1982.
9. E. Rana and N. G. Alexopoulos, "Current Distribution and Input Impedance of Printed Dipole," *IEEE Trans. Antennas Propagation* vol. AP-29. pp. 99-105, Jan 1981.

Pembuatan Magnet NiZn Ferit dengan Metoda Sol Gel

Novrita Idayanti dan Dedi

Pusat Penelitian Elektronika & Telekomunikasi (PPET) - LIPI

Jl. Sangkuriang Komp.LIPI Gd.20 Bandung

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

Email : novrita@ppet.lip.go.id

Abstract

Experiment of making NiZn ferrite magnet have been done by sol gel method. The main materials using are Nickel Nitrate ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), Zinc Nitrate ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), and Iron Nitrate ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$). Ethanol was applied as a solvent and TEOS and H_2O were added in a certain molar ratio. Citric acid and hydrazine were used as fuel in the process. Ammonia was added to make pH solution around 5-7. Drying process at 100°C and calcination temperature was varried at 600 and 800°C . In the experiment, micro structure characterization was performed by using scanning electron microscope (SEM) and magnetic characterization using Remacomp.

The best result of magnetic characteristic in this process was obtain at calcination temperature of 600°C with hydrazin as a fuel, where maximum field strength (H_{max}) = $0,590 \text{ Acm}^{-1}$, maximum flux density (B_{max}) = 0,769 Tesla, remanence induction (B_r) = 0,706 Tesla, coercivity (H_c) = $0,532 \text{ Acm}^{-1}$. The highest density at calcination temperature of 800°C .

Keywords : NiZn ferrite magnet, sol gel method, magnetic characteristic

Abstrak

Percobaan pembuatan magnet ferit NiZn telah dilakukan dengan metoda sol gel. Bahan baku utama yang digunakan adalah Nickel Nitrat ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), Zinc Nitrat ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), dan Iron Nitrat ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$). Pelarut yang dipakai adalah etanol, kemudian ditambahkan TEOS dan H_2O dalam ratio molar tertentu. Pereaksi yang digunakan untuk membantu proses reaksi adalah asam sitrat dan hidrazin. Ammonia ditambahkan untuk mengkondisikan pH larutan sekitar 5-7. Proses pengeringan pada temperatur 100°C dan temperatur kalsinasi divariasikan pada 600°C dan 800°C . Karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisa struktur mikro dengan scanning electron microscope (SEM) dan sifat magnet dengan Remacomp.

Karakteristik magnet yang terbaik yang didapat dari hasil percobaan ini adalah pada kondisi temperatur kalsinasi 600°C dengan pereaksi hidrazin dengan nilai kuat medan maksimum (H_{max}) = $0,590 \text{ Acm}^{-1}$, rapat flux maksimum (B_{max}) = 0,769 Tesla, induksi remanen (B_r) = 0,706 Tesla, koersifitas (H_c) = $0,532 \text{ Acm}^{-1}$. Densitas tertinggi pada temperatur kalsinasi 800°C .

Kata kunci : magnet ferit NiZn, metoda sol gel, karakteristik magnet.

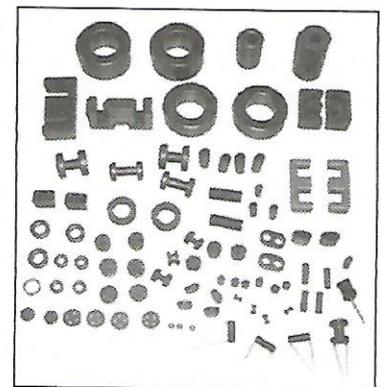
1. Pendahuluan

Ferit NiZn adalah salah satu material magnet lunak nonmetal yang banyak sekali digunakan pada instrumen elektronika dan telekomunikasi, seperti pada TV, radio tape, VCD, komputer, telepon, inti transformator dll [1]. Magnet NiZn memiliki struktur spinel yang tersusun oleh *inverse spinel* (NiFe_2O_4) dan *normal spinel* ($\text{Zn Fe}_2\text{O}_4$) [2]. Karakteristik magnet ini adalah memiliki induksi magnet dan resistivitas yang tinggi, *low dielectric loss*, temperatur curie tinggi dan memiliki kestabilan kima yang baik, oleh sebab itu sangat

baik bila diaplikasikan pada frekuensi tinggi [3].

Berbagai macam bentuk magnet NiZn ferit yang biasa berada di pasaran dapat dilihat pada gambar 1 di samping ini.

Gambar 1: Magnet Ferit NiZn di pasaran [4].



Magnet ferit telah dikembangkan sejak tahun 1950 dengan menggunakan proses metalurgi serbuk (*powder metallurgy*) yang dapat menghasilkan jenis magnet isotropik dan anisotropik. Magnet ferit sangat disukai, karena memiliki sifat magnet yang baik dan harga lebih murah bila dibandingkan dengan magnet logam [5]. Saat ini orang mulai membuat magnet ferit dengan metoda sol gel, dimana dengan metoda ini diharapkan dapat lebih meningkatkan karakteristik magnet dan mempersingkat waktu proses reaksi. Beberapa peneliti dari Taiwan, Korea dan Brazil telah melakukan penelitian pembuatan magnet ferit NiZn dengan metoda sol gel. Wu [3, 6] melakukan penelitian pembuatan magnet NiZn ferit dengan metoda sol gel *auto-combustion* dengan menambahkan SiO_2 untuk meningkatkan karakteristik magnet, Albuquerque [7] mempelajari struktur nano kristalin dari magnet ferit NiZn yang dihasilkan dari metoda sol gel dan Lee [8] mengamati sifat superparamagnetik NiZn ferit untuk aplikasi nano bio fusion.

Pada makalah ini akan disampaikan penelitian pembuatan magnet ferit NiZn dengan metoda sol gel dengan memvariasikan pereaksi dan temperatur kalsinasi pada 600 dan 800°C.

2. Percobaan

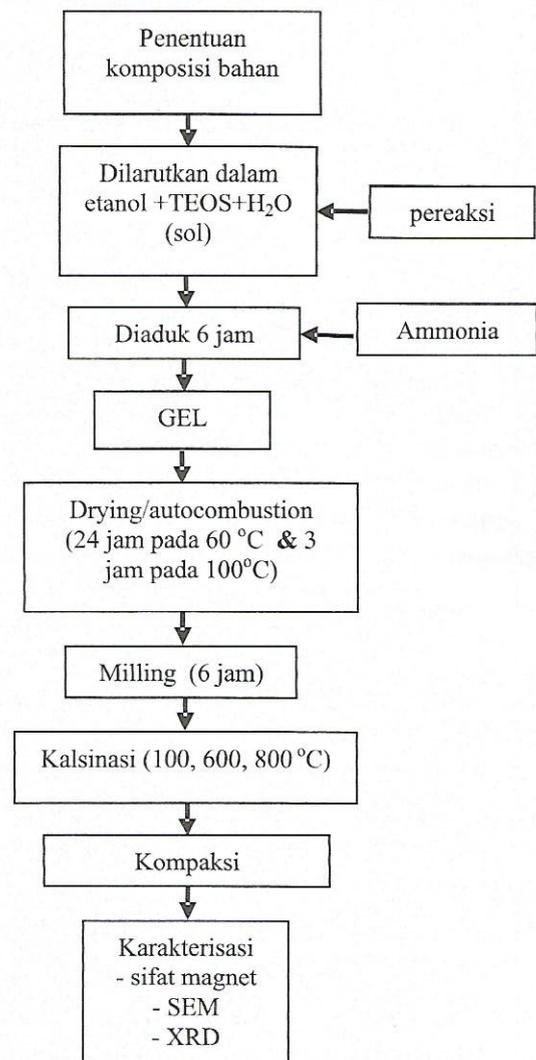
Komposisi kimia magnet ferit NiZn yang akan dibuat adalah $\text{Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ dengan perbandingan molar Ni : Zn : Fe = 1 : 1 : 4.

Dicampurkan 2 gram $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 2.05 gram $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan 11.12 gram $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ kedalam etanol, kemudian dimasukkan 20 % berat dari TEOS dan H_2O (dalam perbandingan molar 1:4) dan pereaksi asam sitrat/hydrazin ditambahkan kedalam larutan tersebut. Perbandingan molar larutan nitrat terhadap pereaksi/ adalah 1:1. Amoniak diteteskan ke dalam larutan sampai nilai pH sekitar 5. Campuran tersebut dipanaskan di atas hot plate dengan magnetic stirer selama 6 jam pada temperatur 70°C. Kemudian campuran dituangkan ke atas wadah

tahan panas (petri dish) dan dipanaskan lagi selama 24 jam pada 60°C dan 3 jam pada 100°C untuk memperoleh gel kering. Campuran akan panas dan terbakar pada temperatur tersebut, sehingga semua gel menjadi kering.

Setelah didapat serbuk yang kering, kemudian serbuk digiling selama enam jam dengan menggunakan ball mill. Proses selanjutnya adalah pengeringan/ kalsinasi pada temperatur 100, 600 dan 800°C.

Selanjutnya sampel dicetak pada tekanan 50 kgcm^{-2} dalam bentuk *torroidal ring*, kemudian dikarakterisasi, yang menyangkut sifat magnet, struktur mikro dan struktur molekul.



Gambar 2: Diagram Alir Proses Sol Gel

3. Hasil dan Pembahasan

Sifat magnet ferit NiZn yang diukur dengan menggunakan Remacomp Magnet Physik Germany dan hasil pengukurannya dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini berupa H_{max} , B_{max} , B_r dan H_c . Parameter proses yang divariasikan adalah temperatur kalsinasi dan pereaksi yang digunakan.

Tabel 1. Sifat magnet NiZn ferit

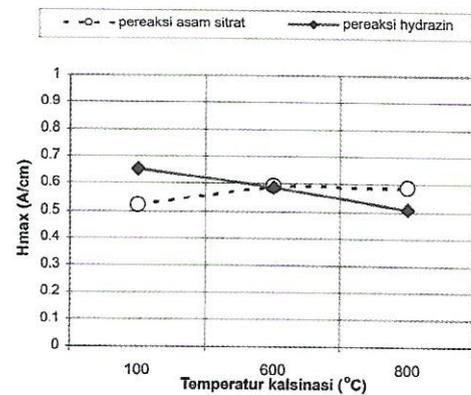
Karakteristik Magnet	Asam sitrat (A)			Hydrazin (B)		
	Kalsinasi (°C)			Kalsinasi (°C)		
	100	600	800	100	600	800
H_{max} (Acm ⁻¹)	0,522	0,594	0,589	0,654	0,590	0,509
B_{max} (Tesla)	0,321	0,744	0,397	0,640	0,769	0,284
B_r (Tesla)	0,269	0,589	0,299	0,581	0,706	0,213
H_c (Acm ⁻¹)	0,384	0,449	0,482	0,530	0,532	0,353
Density (gcm ⁻³)	1,53	1,53	1,62	1,91	1,95	1,98

Tujuan dari proses kalsinasi adalah untuk menguraikan garam-garam menjadi oksida, selain itu kalsinasi dimaksudkan juga untuk proses pengasaran butir. Pada proses pengasaran butir terjadi pembentukan agregat yaitu hasil proses penggabungan beberapa butiran.

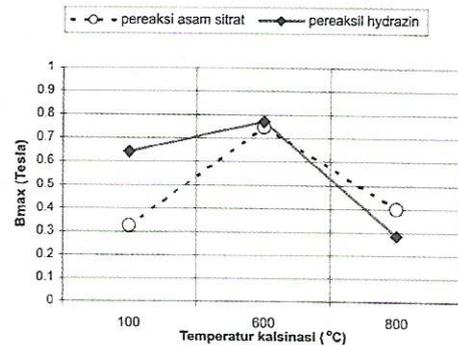
Tampak dari hasil percobaan tabel 1 dan grafik pada gambar 3, dengan pereaksi asam sitrat, sifat magnet meningkat dari temperatur kalsinasi 100°C ke temperatur 600°C. Nilai H_{max} tidak menunjukkan peningkatan yang cukup tinggi dari 0,522 A/cm menjadi 0,594 A/cm, namun nilai B_{max} , B_r dan H_c meningkat cukup tinggi. Nilai densitas tidak mengalami peningkatan yaitu tetap pada angka 1,53 g/cm³. Pada temperatur kalsinasi 800 °C sifat magnet mulai turun cukup banyak, tetapi densitas meningkat dari 1,53 g/cm³ menjadi 1,62 g/cm³.

Peningkatan dan penurunan sifat magnet yang terjadi pada magnet NiZn dengan pereaksi asam sitrat sama dengan magnet NiZn yang menggunakan pereaksi hydrazine, seperti dapat dilihat pada gambar 3 (3a-3e) garis hitam untuk pereaksi asam sitrat dan garis merah untuk pereaksi hydrazin, dimana sifat magnet meningkat pada temperatur kalsinasi 600° dan turun pada

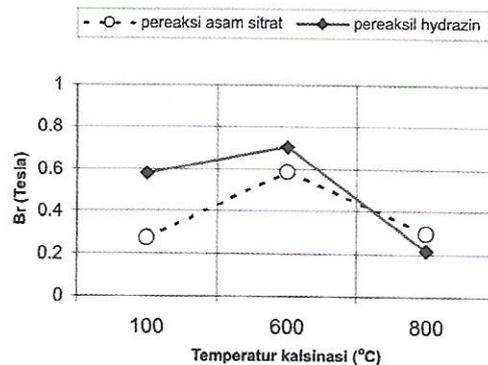
temperatur 800°C. Hal ini mungkin disebabkan karena pada temperatur 600° adalah temperatur optimal yang dapat menguraikan garam-garam menjadi oksida, sedangkan pada temperatur 800°C reaksi menguraikan garam menjadi oksida sudah selesai akan tetapi pembentukan ferit NiZn yang diinginkan belum sempurna. Beberapa penelitian yang telah dilakukan melaporkan bahwa, ferit NiZn baru dapat terbentuk sempurna setelah proses sintering pada temperatur antara 1150 - 1250°C [9].



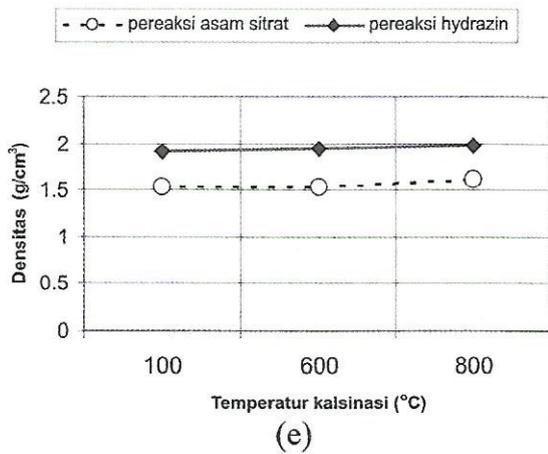
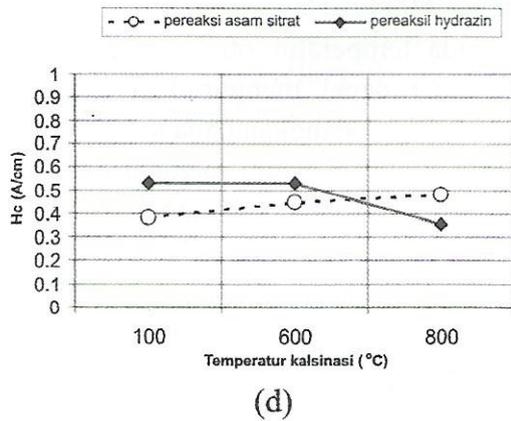
(a)



(b)



(c)

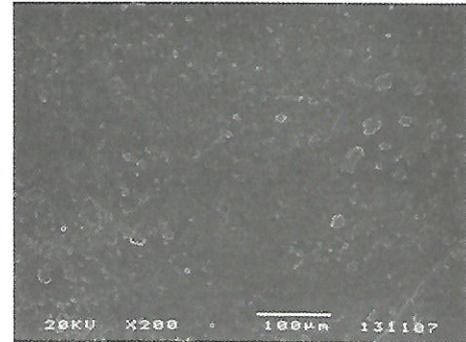


Gambar 3: Nilai H_{max} , B_{max} , B_r , H_c dan Densitas sebagai Fungsi Temperatur Kalsinasi.

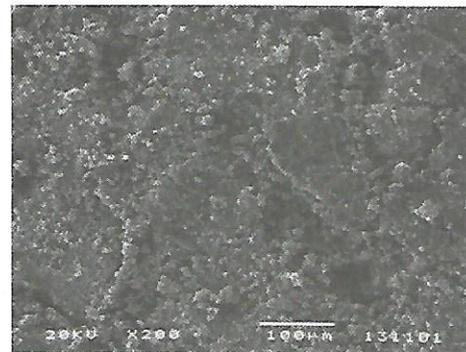
Dari gambar 3e, dapat dilihat bahwa densitas meningkat dengan meningkatnya temperatur kalsinasi, hal ini disebabkan karena pertumbuhan butir sehingga menyebabkan porositas menjadi berkurang. Bila porositas berkurang volume sampel akan berkurang sehingga densitas meningkat karena densitas didapat dari hukum Archimedes, yaitu densitas = berat / volume [10].

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa sifat magnet NiZn rata-rata yang menggunakan pereaksi hidrazin sedikit lebih baik (lebih tinggi) dari magnet NiZn yang menggunakan pereaksi asam sitrat, sehingga dapat dikatakan bahwa pereaksi yang lebih baik digunakan pada proses ini adalah hidrazin. Hal ini disebabkan karena hidrazin dapat lebih mudah bereaksi dan sangat reaktif

dibandingkan dengan asam sitrat, walaupun pada temperatur kamar.



(a)



(b)

Gambar 4: Struktur Mikro.

Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa ukuran butir magnet NiZn dengan pereaksi hidrazin lebih besar dibandingkan dengan magnet NiZn dengan pereaksi asam sitrat. Ukuran butir yang tampak pada gambar belum memiliki ukuran dan bentuk yang homogen. Struktur spinel yang dimiliki oleh magnet NiZn belum dapat terlihat pada gambar tersebut karena struktur butir baru dapat terlihat dengan menggunakan Transmission Electron Microscopy (TEM).

4. Kesimpulan

1. Temperatur kalsinasi dan pereaksi yang digunakan dapat mempengaruhi karakteristik magnet NiZn ferit yang dihasilkan.

2. Temperatur kalsinasi yang paling optimal adalah pada temperatur 600 °C.
3. Pereaksi yang dapat menghasilkan karakteristik magnet yang paling optimal adalah hidrazin.
4. Struktur mikro memperlihatkan bahwa ukuran partikel magnet dengan pereaksi asam sitrat lebih halus dibandingkan dengan magnet yang menggunakan pereaksi hidrazin.
5. Karakteristik magnet terbaik didapat pada temperatur kalsinasi 600 °C dengan menggunakan pereaksi hidrazin dengan nilai $H_{max} = 0,590 \text{ Acm}^{-1}$, $B_{max} = 0,769 \text{ Tesla}$, $B_r = 0,706 \text{ Tesla}$ dan $H_c = 0,532 \text{ Acm}^{-1}$. Densitas tertinggi yang dicapai setelah dikalsinasi pada 800 °C adalah $1,98 \text{ gcm}^{-3}$.
3. K.H.Wu., "Effect of SiO₂ content and solution pH in raw materials on Ni-Zn ferrite magnetic properties", *Elsevier, journal of magnetism and magnetic materials* 283, 2 Juli 2004, p 380-384.
4. Germes LLC. All rights reserved, "Ferrite core", <http://www.germesonline.com/catalog/17/24/397/page3/>. 1999-2005.
5. China national electronics company, "Sintered ferrite", <http://www.magtek.cn/SF.html>.
6. K.H.Wu., "preparation of NiZn ferrite/SiO₂ nanocomposite powders by sol gel auto-combustion method", *Elsevier, journal of magnetism and magnetic materials* 269, 30 mei 2003, p 150-155.
7. Adriana S. Albuquerque., "A study of nanocrystalline NiZn-ferrite-SiO₂ synthesized by sol gel", *Elsevier, journal of magnetism and magnetic materials* 192, 15 February 1999, p 277-280.
8. Seung Wha Lee., "preparation of NiZn ferrite/SiO₂ nanocomposite powders by sol gel auto-combustion method", *Elsevier, journal of magnetism and magnetic materials* 269, 2006, p 150-155.
9. Yin-Ju Yang., "Si-Ca species modification and microwave sintering for NiZn ferrites", *Elsevier, journal of magnetism and magnetic materials* 284, 2004, p 220-226.
10. N.Idayanti, Pembuatan magnet barium ferit, tesis program studi teknik material ITB, 2006, p 72.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai melalui kegiatan Tematik LIPI tahun anggaran 2007. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) - LIPI, yang telah memberi kesempatan untuk melakukan penelitian ini.

5. Daftar Pustaka

1. China national electronics company, "Soft ferrite core", <http://www.magtek.cn/SFC.html>.
2. Yin Ju yang., "Si-Ca species modification and microwave sintering for NiZn ferrites", *Elsevier, journal of magnetism and magnetic materials* 284, 21 Juli 2004, p 220-226.
3. K.H.Wu., "Effect of SiO₂ content and solution pH in raw materials on Ni-Zn ferrite magnetic properties", *Elsevier, journal of magnetism and magnetic materials* 283, 2 Juli 2004, p 380-384.
4. Germes LLC. All rights reserved, "Ferrite core", <http://www.germesonline.com/catalog/17/24/397/page3/>. 1999-2005.
5. China national electronics company, "Sintered ferrite", <http://www.magtek.cn/SF.html>.
6. K.H.Wu., "preparation of NiZn ferrite/SiO₂ nanocomposite powders by sol gel auto-combustion method", *Elsevier, journal of magnetism and magnetic materials* 269, 30 mei 2003, p 150-155.
7. Adriana S. Albuquerque., "A study of nanocrystalline NiZn-ferrite-SiO₂ synthesized by sol gel", *Elsevier, journal of magnetism and magnetic materials* 192, 15 February 1999, p 277-280.
8. Seung Wha Lee., "preparation of NiZn ferrite/SiO₂ nanocomposite powders by sol gel auto-combustion method", *Elsevier, journal of magnetism and magnetic materials* 269, 2006, p 150-155.
9. Yin-Ju Yang., "Si-Ca species modification and microwave sintering for NiZn ferrites", *Elsevier, journal of magnetism and magnetic materials* 284, 2004, p 220-226.
10. N.Idayanti, Pembuatan magnet barium ferit, tesis program studi teknik material ITB, 2006, p 72.

Perhitungan Kuantitas Medan RF (Radio Frequency) untuk Komunikasi Microwave dan Radar.

Sri Hardiati^{*)}, Pamungkas Daud^{*)}

*) Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI.
 Jl. Sangkuriang Bandung 40135, komp LIPI
 Telp (022) 250 4660, (022) 2504661 Fax . (022) 250 4659
 Email : ash_egt@yahoo.com

Abstract

RF (Radio Frequency) signals in microwave communications and Radar system are emitted through a parabolic reflector antenna with rectangular, circular or elliptical aperture. The Antenna aperture is attributed with the power density calculation of the transmitted signals. The power density is influenced by the applicable frequency and power level. In this paper, the power density of the RF emission from the communication and Radar systems are computed theoretically. This computation is required to estimate the level of the power flux density in order to meet the specifications of the systems and health radiation regulations. The systems are also required not to introduce electromagnetic interference. The computed RF field quantities are used to find out the level of RF energy absorbed by the human body, recognized as "Specific Absorption Rate" or "SAR" which is expressed in Watt per kilogram (W/kg) or milliwatt per gram (mW/g).

KeyWords: microwave, signal, radiation, communication

Abstrak

Peralatan komunikasi microwave dan radar dalam mentransmisikan sinyal RF (Radio Frequency) biasanya menggunakan antena reflektor parabola dengan aperture yang berbentuk rectangular, circular atau ellips. Bentuk aperture antena berhubungan dengan perhitungan rapat daya (power density) dari sinyal yang ditransmisikan. Dengan suatu metode yang dipengaruhi oleh karakteristik antena yaitu pada frekuensi dan level daya yang digunakan. Kuantitas medan pancaran sinyal RF dari peralatan komunikasi microwave dan radar perlu diketahui dengan melakukan perhitungan secara teori mengenai rapat daya dari pancaran sinyal RF tersebut. Perhitungan tersebut diperlukan untuk memperkirakan besarnya power flux density atau kuantitas medan untuk memenuhi spesifikasi kinerja peralatan dan aspek radiasi terhadap kesehatan, serta tidak menimbulkan interferensi terhadap lingkungan. Kuantitas medan RF ini digunakan untuk mengetahui banyaknya energi RF yang terserap dalam tubuh manusia yang dikenal dengan nama "Specific Absorption Rate" atau "SAR" yang dinyatakan dalam unit Watt per kilogram (W/Kg) atau milliwatt per gram (mW/g).

Kata Kunci : gelombang mikro, sinyal, radiasi, komunikasi.

1. Pendahuluan.

Bentuk sistem transmisi radio antara lain meliputi komunikasi satelit, Radar, *microwave link, mobile telephone*. Frekuensi radio yang digunakan untuk komunikasi *microwave* dan radar biasanya berada dalam range frekuensi 300 MHz - 300GHz yaitu *Ultra High Frequency* (UHF) dan *Super High Frequency* (SHF), dimana pada frekuensi tersebut sinyal RF akan membangkitkan medan RF (*Radio Frequency*), yang merupakan bagian dari spektrum elektromagnet. Energi RF sangat penting untuk keperluan telekomunikasi

sebagai contoh penggunaan energi RF yang diterapkan untuk komunikasi *microwave* dan radar. Peralatan ini menghasilkan pancaran RF, dimana medan RF dapat menyebabkan induksi atau pemanasan arus listrik dalam jaringan tubuh manusia apabila terjadi pemaparan oleh pancaran RF.

Suatu standard keamanan (*safety*) terhadap kesehatan, secara praktis menggunakan referensi dari nilai *power density*, medan listrik dan medan magnet, untuk keperluan tersebut diperlukan suatu perhitungan secara teori mengenai nilai dari

besarnya power density, yang dipandang dari bentuk atau model antena, yang digunakan untuk komunikasi *microwave* dan radar. Perhitungan secara teori ini akan memberikan informasi terhadap antena dalam situasi yang ideal, yang digunakan untuk memberikan perkiraan *power flux density* atau kuantitas medan yang lain, sehingga dapat menentukan suatu kinerja (*performance*) dan situasi yang diharapkan. Pengukuran kuat medan listrik dinyatakan V/m dan A/m untuk menyatakan kuat medan magnet. Karakteristik medan RF yang dinamakan dengan *Power Density* ditentukan sebagai power unit area dan dinyatakan dalam bentuk mw/cm^2 atau w/cm^2 . Watt merupakan pengukuran dari power yang dipandang dari kecepatan energi yang diserap atau dipancarkan. Untuk menjamin pancaran RF dari peralatan-peralatan komunikasi *microwave* dan radar agar tidak mengganggu kondisi sekitarnya, maka diperlukan untuk mengetahui kuantitas medan RF dari peralatan komunikasi *microwave* dan radar. Kuantitas digunakan untuk mengukur banyaknya energi RF yang benar-benar diserap dalam tubuh yang dinamakan "*Specific Absorption Rate* atau *SAR*" yang dinyatakan dalam unit Watt per kilogram (W/Kg) atau milliwatt per gram (mW/g). Dalam menentukan kuantitas medan RF ini merupakan hal yang vital sehingga perlu diadakan perhitungan untuk memberikan perkiraan kuantitas medan RF yang andal, sehingga dapat digunakan sebagai pegangan dari batas-batas peralatan *microwave* maupun radar untuk tujuan keselamatan terhadap lingkungan.

2. Diskripsi Energi RF.

Energi RF (*Radio Frequency*) adalah nama lain dari gelombang radio. Gelombang radio timbul karena gerakan dari muatan listrik (*electrical charge*) dalam antena yang akan menimbulkan gelombang radiasi yang jauh dari antena. Jadi arus RF yang dicatu ke antena, akan timbul suatu medan elektromagnet yang dipropagasi melalui ruang angkasa (*space*), yang mana gelombang

elektromagnet berjalan dengan kecepatan cahaya (*light*). RF merupakan beberapa frekuensi di dalam spektrum elektromagnet yang tergabung dengan propagasi gelombang radio. Dimana RF mencakup semua frekuensi yang digunakan untuk komunikasi, radar, satelit dan sebagainya yang mempunyai batas nominal sampai dengan 300 GHz. Medan RF yang merupakan bagian dari spektrum elektromagnet yang berada dalam jangkauan frekuensi 0.3 KHz 300 GHz, dapat timbul secara alami dan dapat juga dibangkitkan karena dibuat oleh manusia dengan frekuensi yang berbeda-beda. Gelombang RF yang memancar dari Antena, akan menimbulkan gelombang elektromagnet yang ditandai dengan panjang gelombang dan suatu frekuensi. Panjang gelombang adalah jarak yang dicakup oleh putaran (*cycle*) lengkap dari gelombang elektromagnet, dan frekuensi adalah jumlah gelombang elektromagnet yang melewati suatu point yang diberikan dalam 1 detik..

Sinyal *microwave* suatu kategori tertentu dari gelombang radio yang dapat ditentukan sebagai energi RF, dimana jangkauan frekuensi dari beberapa ratus MHz sampai dengan beberapa GHz. Energi RF banyak digunakan untuk menyediakan pelayanan telekomunikasi terutama dalam hal radiasi RF pada frekuensi *microwave*. Radiasi elektromagnet adalah mengalirnya energi pada kecepatan dari cahaya (*light*) yang merupakan bagian yang sangat kecil dari spektrum elektromagnet, dengan melalui medium atau suatu vacuum. Energi ini terdiri dari medan listrik dan magnet dan mempunyai bermacam-macam tipe dari radiasi elektromagnet yang dipisahkan sesuai dengan frekuensi dan gelombang. Pengukuran radiasi RF dapat ditentukan dari Gelombang elektromagnet RF atau medan RF yang mempunyai komponen magnet dan listrik (medan listrik dan medan magnet) dan ini selalu tepat untuk menyatakan intensitas dari lingkungan RF pada suatu lokasi yang diberikan, dan dipandang dari unit spesifik untuk masing-masing komponen. Untuk contoh unit "volts per meter" (V/m)

digunakan untuk mengukur kekuatan dari medan listrik (*electric field strength*), dan unit amper per meter dari medan magnet (*magnetic "field strength"*). Dan karakteristik medan RF dinyatakan dengan *power density* yang ditentukan sebagai power unit area dan dinyatakan dalam bentuk mW/cm^2 atau W/cm^2 . Watt merupakan power pengukuran dari power yang dipandang dari kecepatan energi yang diserap atau dipancarkan. Dalam kondisi Gelombang datar dengan impedansi *free space* dapat dinyatakan [9;1]:

$$Z_0 = \frac{|E|}{|H|} \quad (1)$$

$$S = \frac{E^2}{Z_0} = H^2 \times Z_0 \quad (2)$$

E dan H merupakan medan listrik dan medan magnet dengan nilai Vm^{-1} dan Am^{-1} .

S adalah Power flux density dalam Wm^{-2} .

3. Perhitungan Kerapatan Daya (*Power Density*) Radiasi RF.

Radiasi RF terjadi dengan adanya pemancar dengan daya (power) tinggi, maka perlu mengetahui sifat alami sumber RF yang dapat dipandang antara lain dari *power rating*, tipe modulasi yang digunakan, karakteristik pulsa, juga frekuensi yang digunakan. Hal-hal tersebut perlu diketahui, dengan tujuan untuk menentukan situasi kondisi yang buruk terhadap radiasi RF. Secara umum radiasi antenna dalam *free space* dapat diidentifikasi menjadi 4 daerah yaitu.

- Daerah medan dekat (*near field*) non radiasi reaktif dengan jangkauan sangat pendek dari bagian suatu panjang gelombang. Daerah ini tidak *significance* dalam spektrum *microwave*.
- Daerah radiasi medan dekat. Disini medan bermacam macam dipertimbangkan dengan jarak dari antenna. Untuk *safety* digunakan pendekatan dari tinggi amplitudo power density yang dilakukan pengukuran pada daerah tertentu.

- Daerah medan menengah. (*Intermediate Zone*).
- Daerah medan jauh (*Far Field zone*).

Semua bentuk energi elektromagnet berhubungan sebagai spektrum elektromagnet. Seperti halnya Gelombang radio dan microwave yang dipancarkan dari peralatan-peralatan adalah suatu bentuk dari energi elektromagnet yang secara kolektif berhubungan sebagai "*Radio Frequency*" atau energi radiasi RF. Peralatan radar memancarkan sinyal microwave, dimana frekuensi microwave digunakan untuk sistem radar yang digunakan untuk menentukan posisi dan kecepatan bermacam-macam obyek. Sistem radar merupakan sumber dari energi radiasi, energi ini dapat gelombang berkesinambungan yang dikenal CW (continuous-wave) atau pulsa, dan struktur amplitudo dan frekuensinya, dapat direncanakan untuk memenuhi syarat tertentu dari sistem radar.

4. Metode Perhitungan Kuantitas medan RF.

Perhitungan kuantitas medan RF dapat dipandang dari jenis atau model antenna, dimana dalam perhitungan transmisi gelombang microwave digunakan suatu *parabolic reflector* dengan model *aperture rectangular, circular* atau *elliptical*. Metode perhitungan ini sebagian besar digunakan oleh sistem antenna yang diterapkan pada komunikasi *microwave* dan radar.

4.1. Antena dengan *aperture circular*.

Tipe antenna microwave sebagian besar permukaannya *parabolic* dan dibatasi dengan bentuk lingkaran (*circular*) dengan suatu *waveguide* atau dipole yang dicatu pada *focus*. Maka dalam hal ini harus menentukan :

- Medan jauh dari antenna.
- Tinggi antenna.
- Diameter antenna.
- Rayleigh distance (R).

R adalah $\frac{D^2}{2D}$, dimana ini untuk *aperture* antenna *circular*.

D : adalah diameter antenna.

λ : adalah panjang gelombang.

Medan dari tipe antena terdiri dari 2 daerah yaitu :

- daerah medan dekat (*near field*) antara antena dan R
- daerah medan jauh (*far field*) daerah yang lebih besar dari jarak R.

Maka daya yang dipancarkan dan *power density* diberikan oleh medan jauh dapat diberikan rumus [1]:

$$S_{FF} = P T + G + 10 \log(4r^2) \text{dBWm}^{-2} \quad (3)$$

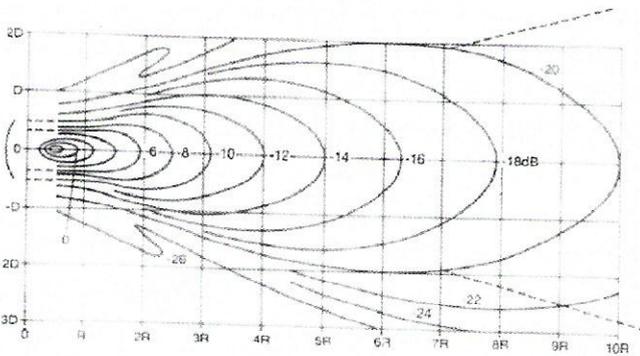
P = Daya Pancar yang keluar dinyatakan dalam dBW.

T = Rugi-rugi (*loss*) antara keluaran pancaran dan input antena dalam dB.

G = Gain antena dalam dB, yaitu dB yang relatif terhadap *isotropic*.

r = jarak dalam m dari antena pada jarak yang lebih besar dari R.

Dengan memperhatikan Gb: 1 [1]



Gambar :1 Medan jauh dari antena *aperture circular*

Sumbu vertikal menyatakan tinggi diatas poros antena dan sumbu mendatar menyatakan jarak dari depan antena. Nilai referensi menunjukkan zero pada diagram dan *contour* yang berderet dengan tingkat perbedaan 2 dB. Adapun faktor perubahan untuk chart antena bila direncanakan dengan *power density* dapat diberikan sesuai tabel : 1.[1]

Tabel : 1

Faktor perubahan chart antena dalam bentuk *power density*

Counter decibles	Kelipatan nilai referensi	Counter decibles	Kelipatan nilai referensi
-2	0.63	-12	0.063
-4	0.4	-14	0.04
-6	0.25	-16	0.025
-8	0.16	-18	0.016
-10	0.1	-20	0.01

Bila diasumsikan sistem merupakan gelombang berkesinambungan (*continues wave/CW*) mempunyai karakteristik daya pancar (P) sebesar 1 kW, Redaman antara Pemancar dan penerima (T) sebesar 0 dBi, Gain Antena yang diukur pada input Antena(G) 30 dB dan diameter antena 3m berbentuk *circular* bekerja pada frekuensi 3000 MHz, maka $\lambda = 0.1\text{m}$. Maka

$$R = D^2 / 2\lambda = 9 / (2 \times 0.1) = 45 \text{ m.}$$

Nilai referensi *power flux*(L) dapat dihitung[1]:

$$\begin{aligned} L &= P - T + G - 10 \log(4\pi R^2) \text{dBWm}^{-2} \\ &= 30 - 0 + 30 - 10 \log(4\pi \times 45 \times 45) \\ &= 15,944 \text{ dBWm}^{-2}. \end{aligned}$$

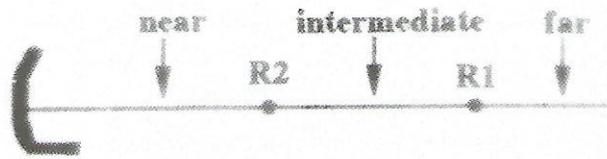
$$\begin{aligned} \text{Power density (S)} &= \text{antilog}(15,944/10) \\ &= 39,30 \text{ Wm}^{-2} \end{aligned}$$

Hasil ini dapat digambarkan dengan level referensi $39,30 \text{ Wm}^{-2}$, maka nilai *contour* dapat dicapai dengan mengalikan faktor sesuai tabel : 1.

4.2. Antena dengan Aperture Ellips dan Rectangular.

Dalam hal *aperture* berbentuk *ellip* dan *rectangular* salah satu dimensi biasanya lebih besar dari diameter yang lain. Tinggi *aperture* cukup lebih besar dari lebar *aperture*. Medan dapat diuraikan menjadi 3 daerah yang teridentifikasi seperti ditunjukkan pada gambar : 2 dan untuk menghitung *power flux* dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Daerah medan dekat yaitu daerah antara antena sampai dengan jarak Rayleigh adalah $R_2 = B^2 / \lambda$. B adalah dimensi *aperture* antena terkecil



Gambar 2 : Daerah radiasi Antena Aperture elips /rectangular

2. Daerah medan jauh pada jarak yang lebih besar dari $R_1 = A^2 / 2\lambda$.

Power flux pada medan jauh dengan persamaan [1]:

$$S_{FF} = P - T + G + 10 \log(4\pi r)^2 \text{ dBWm}^{-2} \quad (4)$$

Power flux adalah *power spread out* dan *power density* pada sumbu.

3. Daerah medan menengah (*intermediate*) antara R_2 dan R_1 , dimana power merupakan pancaran (*spreading out*) dalam arah B bukan arah A. Bila gain tidak diketahui, maka dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut [1]:

$$G = 8 + 10 \log \text{dB}_1 \left(\frac{AB}{D^2} \right) \quad (5)$$

A = Dimensi Aperture Besar.

B = Dimensi Aperture terkecil.

Untuk mendapatkan *power density* dalam medan jauh, dapat menggunakan $G_b:1$ dan nilai referensi L dapat dihitung dengan cara sama seperti antena *aperture circular*.

5. Pembahasan

Perhitungan dari *power density* yang didapatkan semakin kecil bila dilihat dari *contour decibel*, dimana perhitungan secara teori ini diperlukan dalam komunikasi *microwave* dan radar untuk keperluan standard keamanan (*safety*) radiasi terhadap lingkungan. Hasil dari *power density* dan waktu pemaparan terhadap suatu obyek menghasilkan energi density yang dinyatakan

dalam watt-hour atau joule unit. Jadi sebagai contoh batas berkesinambungan *Power density* $39,30 \text{ Wm}^{-2}$, maka batas yang diijinkan dinyatakan : $39,30 \times 360 \text{ detik} = 14148 \text{ Jm}^{-2}$. Batas-batas keamanan yang terukur diperlukan dalam menentukan batas-batas yang diambil dalam kaitannya dengan batas-batas berupa angka dari *power density* dan komponen medan listrik dan magnet yang akan memastikan bahwa SAR (*Specific Absorption Rate*) yang ditetapkan tidak terlewati.

Medan RF menghasilkan efek yang berbeda pada sistem biologi seperti tumbuh-tumbuhan, binatang atau manusia dan kondisi sekitarnya. Efek tersebut tergantung pada frekuensi dan intensitas pada medan RF, yang dipandang akan merugikan kondisi sekitarnya. Efek secara langsung pada manusia adalah *thermal effect*. *Thermal effect* adalah transfer energi medan elektromagnet terhadap tubuh. Adapun efek medan RF terhadap lingkungan yang lain yaitu dapat mengganggu peralatan elektronik lain yang berada disekitar pancaran medan RF SAR (*Specific absorption rate*) merupakan suatu ukuran dari kecepatan energi RF yang terserap oleh tubuh, bila medan elektromagnet frekuensi radiasi (RF) dipaparkan terhadap tubuh manusia yang dapat diperhitungkan, yang berhubungan dengan medan listrik dan dapat dinyatakan sebagai berikut [4;8]:

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} \quad (6)$$

σ : conductivity dari jaringan tubuh (Siemen/m).

ρ : massa density dari jaringan tubuh (kg/m^3).

E : Kuat medan listrik (V/m)

6. Kesimpulan

Medan RF (Radio Frekuensi) dan medan elektromagnet dapat digunakan untuk menunjukkan adanya energi RF atau elektromagnet. Energi RF meliputi gelombang RF dengan frekuensi 3 kHz

sampai dengan 300 GHz yang sangat penting untuk keperluan peralatan komunikasi *microwave* dan radar dan bertalian dengan karakteristik medan elektromagnet RF yaitu *Power Density*. Peralatan komunikasi *microwave* dan radar menghasilkan pancaran RF, dimana medan RF dapat menyebabkan induksi atau pemanasan arus listrik dalam tubuh manusia dan juga mengganggu lingkungan sekitarnya.

Untuk menjamin pancaran tidak mengganggu lingkungan sekitarnya diperlukan dengan mengetahui kuantitas medan RF yang dilakukan dengan perhitungan secara teori dari peralatan komunikasi *microwave* dan radar, agar dapat memperkirakan hasil kuantitas medan RF untuk dapat mengikuti, dalam memenuhi standard-standard yang sudah berlaku di lingkungan internasional.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PPET-LIPI yang telah membiayai penelitian ini melalui anggaran DIPA th 2007 sampai makalah ini dapat dipublikasikan.

7. Daftar Pustaka.

1. Ronald Kitchen, "*RF & Microwave Radiation Safety*" Newnes; second edition, 2001.
2. Clayton R Paul ; "*Introduction TO Electromagnetic Compability*" John wiley & Sons, INC th1992.
3. Robert E. Colin, "*Fondation For Microwave Engineering*" Mc Graw-Hill International Edition th 1992.
4. John D. Kraus Ronald J. Marhefka, "*Antennas For all Applications*" Mc Graw Hill, Third Edition 2002.
5. Louis N. Ridenour, "*Radar System Engineering*" Mc Graw-Hill Book Company, INC 1947.
6. Paul F. Combes , "*Microwave Transmission for Telecommunication*" John Wiley & Sons 1991.
7. David Seabury, "*An Update on SAR Standards and The Basic Requirements For SAR Assessment*", ETS- Lindgren, April 2005.
8. Clayton R. Paul , "*Electromagnetics for Engineers with applications*" John Wiley & Sons, INC 2004.
9. Kraus/Fleisch , "*Electromagnetics with applications*" Mc Graw-Hill, 1999.
10. Akira Ishimaru , "*Electromagnetic Wave Propagation, Radiation, and Scattering*" Prentice Hall International, Inc, 1991.

Rancangan dan Penerapan Rangkaian Elektronika untuk Pembacaan Volume dan Harga Pemakaian Air pada Meteran Air secara digital

Ahyar Supani, MT.¹⁾, Niksen Alfarizal, ST.²⁾

^{1)&2)}Dosen Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl . Srijaya Negara Bukit Besar Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia

Email: ahyarsupani@polisriwijaya.ac.id

Abstract

Design and Application of electronic circuit for reading water volume as digital attached by water rate for aiding more water customers of water treatment company as called PDAM approximating water useful rate. The Problem is ever from customers of PDAM claiming high water payment rate. This digital water meter made by means of converting analogue water meter to digital water meter and memory of water useful rate and volume. Result of reading and testing of digital water meter is 100 % that similar to analogue meter.

Keywords : *Period, rotation per cubic.*

Abstrak

Tulisan ini membahas Rancangan dan Penerapan Rangkaian Elektronika untuk membaca kubik air secara digital yang dilengkapi tarif harga untuk membantu para pelanggan air pada perusahaan daerah air minum (PDAM) menaksir tarif pemakaian air. Alat ini dilengkapi dengan cara mengkonversikan meteran air analog ke meteran air digital. Meteran air digital ini dibuat memori penyimpanan data volume dan tarif pemakaian air digital. Pengujian menunjukkan bahwa hasil pembacaan dalam pengujian meteran air digital 100 % sama dengan pembacaan meteran analog.

Kata Kunci : *Prioda, rotation per cubic.*

1. Pendahuluan

Saat ini hampir seluruh aspek kehidupan telah memanfaatkan teknologi elektronika sebagai faktor pendukung untuk menyelesaikan dan mempermudah pekerjaan di semua bidang seperti gerakan lift [4], dan pengendali suhu [5]. Teknologi elektronika dan digital juga dapat diterapkan untuk pembacaan meteran air di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Pembacaan meteran air saat ini masih menggunakan teknologi mekanik murni, analog dan belum mempunyai tampilan pembacaan harga pemakaian air, penyimpanan data volume dan harga pemakaian air. Hal ini menjadi kendala bagi konsumen rumah tangga maupun kantor-kantor untuk menaksir harga pemakaian air setiap bulan. Banyak pengaduan masyarakat ke pihak PDAM mengenai jumlah tagihan pemakaian air yang terlalu besar

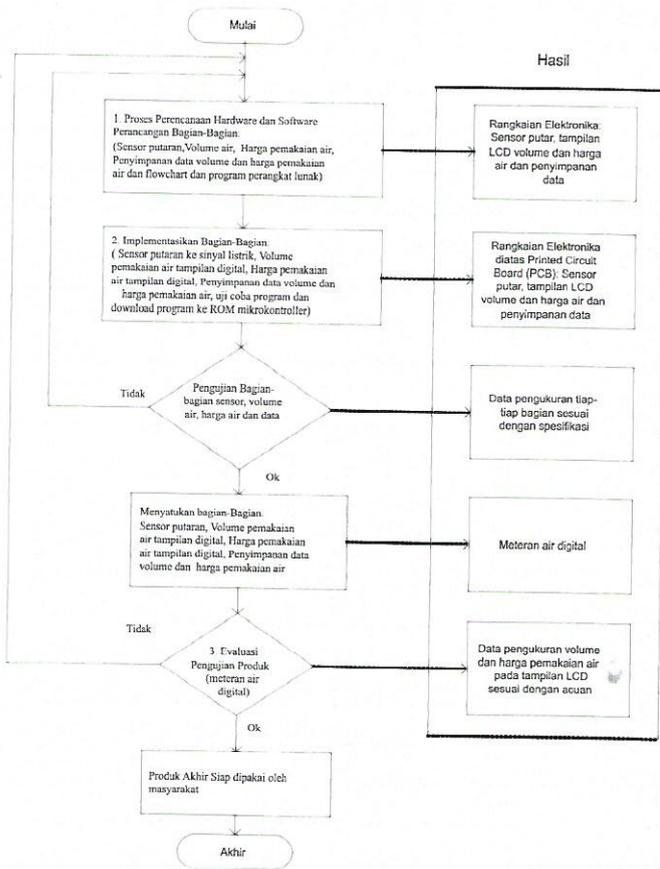
disebabkan mereka tidak dapat mengontrol volume pemakaian air. Perubahan tampilan pembacaan meteran air akan mempermudah konsumen dalam mengontrol pemakaian air dalam tiap bulannya karena pembacaan meteran disertai dengan harga pembayaran pemakaian air dan dilengkapi memori data. Memori data ini akan menunjukkan kepada konsumen untuk melihat data harga dan volume pemakaian air dalam bulan itu /sebelumnya.

Rangkaian elektronika yang telah digunakan dalam penelitian ini menggunakan mikrokontroler seri AT89S52 yang memiliki 8 kilo *Read Only Memory* (ROM) dan *Random Access Memory* (RAM) eksternal. Proses konversi analog putaran mekanik ke digital sinyal listrik menggunakan sensor *Light Emitting Diode* (LED) infra merah dan transistor photo atau optocoupler [1, 2], diantara LED dan transistor photo disisipi sebuah jarum [4],

yang berfungsi untuk mencacah setiap satu kubik air. Sinyal listrik (digital) ini merupakan data masukan yang diproses oleh mikrokontroller dan akan dikeluarkan dengan tampilan digital menggunakan *Liquid Crystal Display* (LCD) dan juga dapat disimpan di memori (RAM) menggunakan komponen 24C16 [6].

2. Metoda Penelitian

Tahapan-tahapan pembuatan meteran air digital dapat dilihat pada (gambar 1).



Gambar 1: Tahapan-tahapan Membangun Meteran Air Digital

Kotak sebelah kanan pada (gambar 1) merupakan indikator hasil dari tiap-tiap tahap.

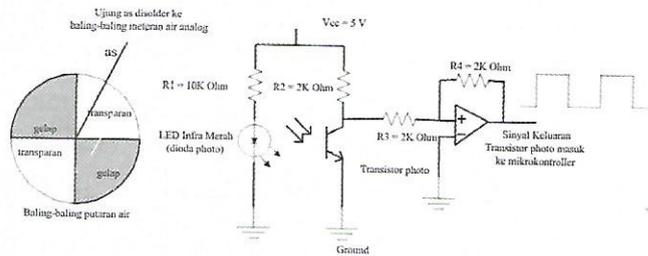
1. Proses Perencanaan

Proses Perencanaan terdiri dari perencanaan rangkaian elektronika sensor untuk mengubah putaran air menjadi sinyal listrik digital,

volume pemakaian air secara digital, harga pemakaian air secara digital dan penyimpanan data volume dan harga pemakaian air tiap bulan selama satu tahun pemakaian.

- Perencanaan rangkaian elektronika sensor putaran digital

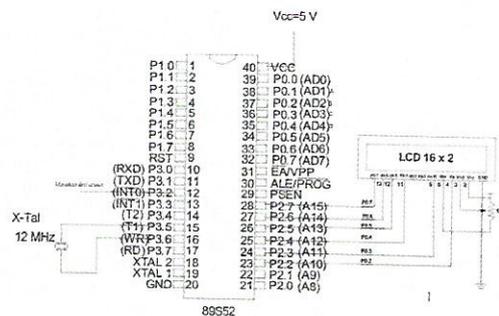
Pada bagian sensor putaran air dibutuhkan sebuah baling-baling yang terbuat dari plastik atau fiber transparan atau jarum. Sensor putaran ini menggunakan photo transistor [2] dan LED atau optocoupler (gambar 2) [4].



Gambar 2: Rangkaian sensor putaran air dan baling-baling putaran air

- Perancangan Rangkaian Elektronika Volume dan harga pemakaian air secara Digital

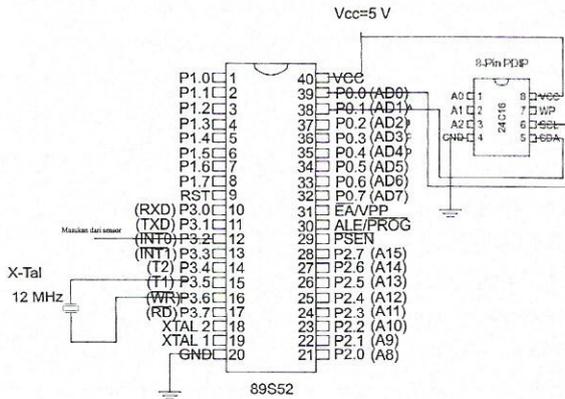
Perancangan volume dan harga pemakaian air secara digital menggunakan mikrokontroler 89S52 dan LCD 16 x 2 baris dengan tampilan masing-masing sebanyak 16 digit untuk menampilkan volume air dan harga pemakaian air (gambar 3) [3].



Gambar 3: Rangkaian Elektronika Tampilan Volume dan Tarif Air Digital

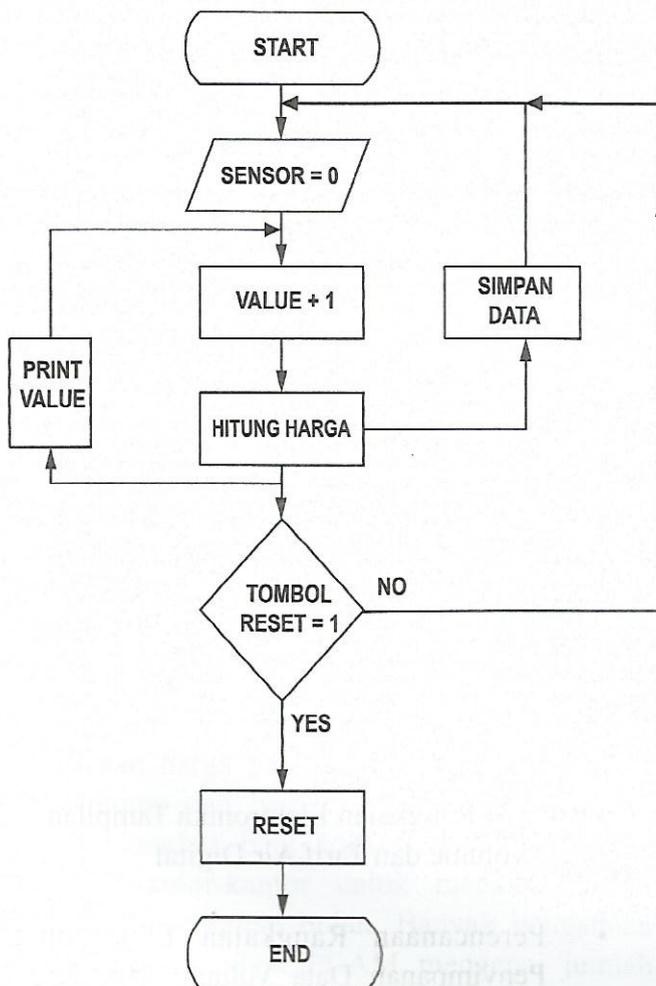
- Perencanaan Rangkaian Elektronika Penyimpanan Data Volume dan Harga Pemakaian Air

Rangkaian elektronika untuk menyimpan data volume dan harga pemakaian air tiap bulan (gambar 4) menggunakan 24C16.



Gambar 4: Rangkaian penyimpanan data

Flowchart pemrograman adalah sebagai berikut:



3. Implementasi

Implementasi adalah merealisasikan rancangan rangkaian elektronika dengan cara merakit komponen-komponen elektronika sesuai dengan rancangan pada *printed circuit board* (PCB). Tahap implementasi ini meliputi perakitan rangkaian elektronika sensor putar, Perakitan rangkaian elektronika pembacaan volume pemakaian air, perakitan rangkaian elektronika pembacaan harga pemakaian air dan perakitan rangkaian penyimpanan data volume dan harga air.

4. Evaluasi dan pengujian

Evaluasi dan pengujian alat terbagi dua tahap yaitu pengujian tiap-tiap bagian yang dirancang / diimplementasikan dan pengujian setelah semua bagian disatukan yang berbentuk produk meteran air digital/pengujian sistem.

- Pengujian tiap-tiap bagian dirancang/diimplementasikan

Pengujian tiap bagian yang dirancang meliputi bagian sensor putar air, volume pemakaian air, harga pemakaian air dan penyimpanan data.

Pengujian bagian sensor putar untuk mengamati dan menganalisa keberhasilan bagian sensor putar. Indikator keberhasilan pengujian ini adalah data keluarannya sinyal listrik berbentuk pulsa digital.

Pengujian bagian volume pemakaian air untuk mengamati dan menganalisa keberhasilan proses pembacaan volume pemakaian air secara digital. Indikator keberhasilan bagian ini adalah data volume air pada tampilan digital.

Pengujian bagian harga pemakaian air untuk mengamati dan menganalisa keberhasilan proses pembacaan harga pemakaian air secara digital. Indikator keberhasilan bagian ini adalah data harga air pada tampilan digital.

Pengujian bagian penyimpanan data volume dan harga pemakaian air untuk mengamati dan menganalisa data volume dan harga air tiap-tiap bulan pemakaian selama satu tahun yang dapat

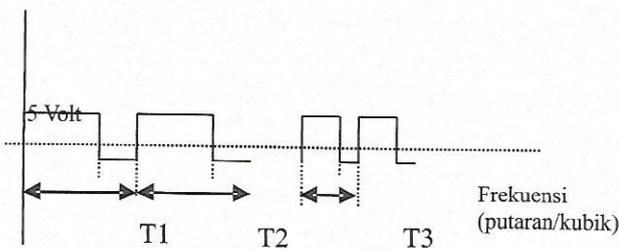
disimpan. Indikator keberhasilan bagian ini adalah data tampilan volume dan harga pemakaian air yang dapat ditampilkan selama satu bulan pemakaian.

Pengujian system adalah pengujian produk meteran air digital. Meteran air digital ini adalah produk akhir penelitian. Pengujian dilakukan dengan memasang meteran ini dialiran pipa ledeng (pengujian lapangan). Untuk menunjukkan meteran digital ini menghasilkan data yang benar diperlukan acuan meteran analog. Kedua meteran air ini analog dan digital dipasang bersama-sama secara seri pada satu pipa ledeng. Pengujian dilakukan dengan mengalirkan air pada pipa lalu mengamati nilai pembacaan pada tampilan kedua meteran tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

Air yang dialirkan ke meteran akan memutar baling-baling meteran analog, kemudian putaran baling-baling diteruskan ke sensor optocoupler atau phototransistor yang menghasilkan sinyal digital seperti pada (gambar 5).



Gambar 5: Sinyal digital keluaran sensor putaran air

Hasil pengujian dibuat empat range yaitu 0- 10 M³, 11 20 M³, 21 30 M³ dan > 30 M³. Tampilan menunjukkan hasil pengukuran volume air sedangkan harga pemakaian air dan meteran air analog hanya menampilkan volume air saja.

Hasil pengujian meteran air digital menampilkan volume dan harga air secara digital dan meteran air analog hanya menampilkan volume air saja dari range 0 10 M³(tabel 1).

Tabel 1: Hasil pengujian data volume dan harga air dari 0 10 M³

Meteran Air Analog	Meteran Air Digital	
Volume (M ³)	Volume (M ³)	Harga Pemakaian (Rp)
0	0	9250
1	1	10925
2	2	12600
3	3	14275
4	4	15950
5	5	17625
6	6	19300
7	7	20975
8	8	22650
9	9	24325
10	10	26000

Hasil pengujian meteran air digital dan meteran air analog untuk range volume 11 20 M³ (tabel 2).

Tabel 2: Hasil pengujian data volume dan harga air mulai 11-20 M³

Meteran Air Analog	Meteran Air Digital	
Volume (M ³)	Volume (M ³)	Harga Pemakaian (Rp)
11	11	28475
12	12	30950
13	13	33425
14	14	35900
15	15	38375
16	16	40850
17	17	43325
18	18	45800
19	19	48275
20	20	50750

Meteran air analog untuk range volume 21 30 M³ (tabel 3).

Tabel 3: Hasil pengujian data volume dan harga air mulai 21-30 M³

Meteran Air Analog	Meteran Air Digital	
Volume (M ³)	Volume (M ³)	Harga Pemakaian (Rp)
21	21	53770
22	22	56790
23	23	59810
24	24	62830
25	25	65850
26	26	68870
27	27	71890
28	28	74910
29	29	77930
30	30	80950

Hasil pengujian meteran air digital dan meteran air analog untuk range volume > 30 M³ (tabel 4).

Tabel 4. Hasil pengujian data volume dan harga air mulai > 30 M³

Meteran Air Analog	Meteran Air Digital	
Volume (M ³)	Volume (M ³)	Harga Pemakaian (Rp)
31	31	84800
32	32	88650
33	33	92500
34	34	96350
35	35	100200

Grafik sinyal listrik digital (gambar 5) merupakan keluaran sensor putaran air. T1 dan T2 adalah priode atau frekuensi yang dicacah oleh mikrokontroler untuk menghitung volume air. Air mengalir melalui meteran air ditunjukkan oleh T1, T2 dan T3. Satu prioda T1 menunjukkan satu putaran jarum meteran air yang disensor oleh transistor photo dan juga satu perioda T1 menghasilkan air yang lewat meteran satu kubik. Prioda T1 dan T2 pada grafik gambar 5 bernilai sama menghasilkan dua kubik air yang lewat meteran. Semakin cepat air mengalir lewat meteran maka akan menghasilkan prioda yang semakin rapat (T3).

Setiap range hasil pengujian meteran air mempunyai tarif harga pemakaian air per kubik berbeda berdasarkan harga PDAM Tirta Musi Palembang. Tarif pemakaian air yang telah ditentukan oleh PDAM Tirta Musi dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5: Tarif pemakaian air per kubik pada PDAM Tirta Musi Palembang

Range 0 – 10 (Rp)	Range 11 – 20 (Rp)	Range 21 – 30 (Rp)	Range >30 (Rp)
1.675	2.475	3.020	3.850

Sumber: PT. Tirta Musi Palembang

Perhitungan harga secara manual pemakaian air untuk membuktikan pengukuran dengan meteran air digital dapat diambil contoh pemakaian air > 30 kubik, yaitu 33 kubik (tabel 5). Nilai pemakaian air 33 kubik langsung ditampilkan oleh meteran air digital dan sekaligus harga pemakaian air dihitung juga ditampilkan. Jika dihitung secara manual 10 kubik pertama bernilai 10 x Rp 1675 = Rp 16750, 10 kubik kedua bernilai 10 x Rp 2475 = Rp 24750, 10 kubik ketiga bernilai 10 x Rp 3020 = Rp 30200 dan 3 kubik bernilai 3 x Rp 3850 = Rp 11550. Total yang harus dibayar oleh konsumen adalah Rp 16750 + Rp 24750 + Rp 30200 + Rp 11550 + Rp 9250 (beban tetap) = Rp 92500,-.

Nilai yang dihitung secara manual untuk 33 kubik air sebesar Rp. 92500,- dan nilai ini sama dengan yang ditampilkan oleh meteran air digital setelah pengukuran, ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran meteran air digital sama dengan hasil pengukuran meteran analog.

Nilai volume dan tarif air pemakaian selalu disimpan di memori (RAM) AT24C16. Nilai tampilan ini selalu tersimpan walaupun nilai masukan tidak bertambah, jika tampilan ini kembali nilai ke nol (nilai awal) hanya menekan tombol reset, maka pengukuran kembali mulai dari awal. Keadaan ini membuktikan bahwa data volume dan jumlah biaya yang dihitung oleh alat ukur meteran air digital telah disimpan di memori.

4. Kesimpulan

1. Aliran air yang diukur oleh meteran air digital dicacah berdasarkan banyaknya putaran per kubik yang dikonversikan ke sinyal listrik sebagai banyaknya pulsa per kubik, semakin cepat air mengalir maka semakin banyak pulsa yang dihasilkan.
2. Nilai volume dan tarif air yang ditampilkan meteran air digital selalu sama dengan hasil hitungan.
3. Nilai volume dan tarif air yang dihitung oleh meteran air digital dapat disimpan di memori.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan alat dan laporan, serta kepada seluruh staf P3M Politeknik Negeri Sriwijaya, mahasiswa bimbingan Prodi Teknik Elektronika dan staf Lab Elektronika POLSRI dan dana bantuan Dosen Muda DIKTI dengan nomor kontrak No : 02/ SP2H/ PP/ DP2M/ III/ 2007 tanggal 29 Maret 2007.

5. Daftar Pustaka

1. Bolton, W. "Programmable Logic Controller (PLC)". England. Elsevier, 2003.
2. Hidayat, Indra, "Sensor Pengontrol Eskalator Menggunakan Cahaya Infra Merah". *Laporan Akhir D3. Politeknik Negeri Sriwijaya*, 2005.
3. Khairurrijal, "Teori dan Praktek Mikrokontroller MCS-51". Bandung. *Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Departemen Fisika Institut Teknologi Bandung*, 2004.
4. Supani, A., "Perancangan Protipe Tangga Lift Dengan Pengendali Motor DC Menggunakan Metode PID Pada AT89C51". *Laporan Penelitian. Politeknik Negeri Sriwijaya*, 2004.
5. Syahrul, M., "Perancangan Sistem Pengendali Suhu Mesin Diesel Pembangkit Listrik di Industri menggunakan Mikrokontroler AT89C51". *Laporan Akhir D3. Politeknik Negeri Sriwijaya*, 2005.
6. "Memory AT24C16. html" <http://www.old-datasheet.com/>
Diakses tgl : 13 Juni 2007

Rancang Bangun serta Unjuk Kerja Antena Mikrostrip Sirkular Beam Konika pada Frekuensi S. Band

Yuyu Wahyu dan Deni Permana

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

Abstract

Satellite communications systems like radio broadcasting, digital audio radio satellite (DARS) and land mobile maritime use an antenna konikal beam type, to avoid the need of tracking and to have a low figure of merit. For that purpose, in this research it has been made a microstrip konikal beam circular antenna operating at S band with bandwidth of 20 MHz, using materials from dielectric FR4. The operation mode used is TM_{5p} , the simulation step is using cavity resonator method (magnetic cavity resonator), and at the calculation step is using MoM method (Moment Of Method). To yield a circular polarization, it has been used four power supply connected to a power divider 1 to 4.

Keywords : *communications satellite, mikrostrip sirkular, beam konika, method of resonator cavity.*

Abstrak

Sistem komunikasi satelit seperti radio broadcasting, digital audio radio satellite (DARS) dan land mobile maritime menggunakan jenis antena dengan bentuk beam konikal, supaya tidak memerlukan tracking dan mempunyai figure of merit yang rendah. Untuk keperluan itu, dalam penelitian ini telah dibuat antena mikrostrip sirkular beam konikal yang beroperasi pada pita S band dengan bandwidth 20 MHz, dengan bahan dielektrik FR4. Mode operasi yang digunakan adalah mode TM_{5p} , pada tahap simulasi digunakan metode resonator rongga (magnetic cavity resonator), dan pada tahap perhitungan digunakan metode MoM (Moment of Method). Untuk menghasilkan polarisasi yang sirkular, telah dibuat empat buah catuan yang dihubungkan ke mikrostrip power divider 1 to 4.

Kata kunci : *komunikasi satelit, mikrostrip sirkular, beam konika, metoda resonator rongga.*

1. Pendahuluan

Pada sistem komunikasi satelit, transmisi data dapat dioptimalisasi dengan menggunakan jenis antena tertentu dengan jenis pola radiasi yang dapat mengkompensasi *loss-path* di mana pola radiasi yang digunakan pada dasarnya adalah *inverse* dari *path-loss profile* [1].

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena dengan karakteristik yang baik untuk aplikasi sistem komunikasi satelit. Dengan ukuran yang kecil dan ringan, *conformal* (dapat menyesuaikan dengan tempat dimana antena tersebut diletakkan), antena mikrostrip dapat digunakan pada stasiun bumi ataupun untuk satelit itu sendiri. Akan tetapi, antena mikrostrip mempunyai kekurangan, yaitu tingkat penguatan

atau gain yang rendah dan bandwidth yang sempit.

Kekurangan tersebut dapat dikompensasi menggunakan perangkat *transceiver* yang lebih handal, misalnya menggunakan *low noise amplifier* (LNA) dengan sensitivitas tinggi. Antena mikrostrip sirkular *beam* konikal mempunyai *figure of merit* (G/T) yang rendah. Bentuk pola radiasi yang konikal membuat antena tidak memerlukan tracking dan dapat mengkompensasi *loss-path* sehingga cocok digunakan untuk aplikasi sistem komunikasi satelit [1].

2. Teori Dasar

Secara garis besar metoda analisis pada sistem simulasi antena dibagi ke dalam dua grup. Pada grup pertama, metode didasarkan pada

distribusi arus magnetik sekeliling tepi *patch*. Ada tiga teknik yaitu *model transmission line*, terbatas digunakan untuk antena berbentuk segiempat atau rektanguler, *model cavity*, cocok untuk diterapkan pada antena mikrostrip sirkular. Pada grup kedua, metode didasarkan pada distribusi arus listrik pada *patch* dan *groundplane*. Metode kedua ini biasanya digunakan untuk antena yang memiliki solusi kompleks, seperti membahas efek-efek gelombang permukaan, syarat batas antena, dan kopling gandeng. Ada empat metoda yang dipakai yaitu *The method of moments* (MoM), *The finite-element method* (FEM), *The spectral domain technique method* (SDT), dan *The finite-difference time domain* (FDTD) *method* [2].

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya antara lain, *low-profile*, ringan serta ukuran kecil dan *compact, low-fabrication*, pabrikasi mudah dan murah, dan diproduksi dengan menggunakan teknik *printed-circuit*, bisa menghasilkan polarisasi sirkular maupun linier, bisa dibuat *compact* sehingga cocok untuk sistem komunikasi bergerak, dan bisa beroperasi pada single, dual, ataupun multi band. Kekurangannya antara lain, bandwidth yang kecil, <1%, gain yang rendah, kemampuan pengaturan daya yang rendah.

Antena mikrostrip terdiri atas tiga bagian penting:

- Conducting patch*, *patch* ini berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara, terletak paling atas dari keseluruhan sistem antena. *Patch* terbuat dari bahan konduktor, misal tembaga. Bentuk *patch* bisa bermacam-macam, lingkaran, segiempat, segitiga, ataupun bentuk cincin.
- Substrat dielektrik*, berfungsi sebagai media penyalur GEM dari catuan. Karakteristik substrat sangat berpengaruh pada besar parameter-parameter antena. Pada antena mikrostrip sirkular, semakin tinggi besar permitivitas relatif, ukuran *conducting patch* akan semakin kecil dan akibatnya daerah

radiasi semakin kecil. Pengaruh ketebalan substrat dielektrik terhadap parameter antena adalah pada bandwidth. Penambahan ketebalan substrat akan memperbesar bandwidth.

- Groundplane*, antena mikrostrip bisa terbuat dari bahan konduktor [2].

Bentuk dari antena mikrostrip sirkular dikarakterisasi oleh parameter tunggal yang dinamakan radius. Antena mikrostrip sirkular merupakan bentuk antena mikrostrip yang paling sederhana dalam perancangan karena hanya membutuhkan satu parameter dalam perancangannya. Analisis matematis didasarkan pada *Fungsi Bessel* yang menggunakan metoda *cavity* dalam perhitungannya. Metode *cavity* merupakan metode yang memodelkan antena sebagai resonator rongga. Diasumsikan bahwa *patch* antena dan *groundplane* merupakan dinding elektrik, dan bidang tegak lurus *patch* merupakan dinding magnetik. Untuk menentukan medan di antara rongga, solusi dari ketidakbersamaan persamaan gelombang sangat diperlukan. Sehingga metode *cavity* merupakan cara paling sederhana untuk digunakan.

Medan elektrik dari mode resonansi TM_{mn} dalam *cavity* dari *patch* circular adalah sebagai berikut:

$$E_z = E_0 J_n(k_{nm} q) \cos n\phi \quad (1)$$

Di mana q dan ϕ adalah koordinat radial dan azimuth, E_0 adalah medan E (konstan), J_n adalah fungsi Bessel ke n , dan

$$k_{nm} = \frac{X_{nm}}{a} \quad (2)$$

Ukuran *patch* lingkaran secara fisik dapat dicari dengan menentukan dimensi *patch* efektif dari antena. *Patch* efektif antena dapat diperoleh dengan menggunakan rumus di bawah ini

$$f_{mn} = \frac{X_{mn} c}{2\pi a_c \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

di mana f_{nm} merupakan frekuensi kerja pada antena mode TM_{mn} , a_e merupakan dimensi efektif antena, ϵ_r merupakan permitivitas bahan dielektrik, dan X_{mn} merupakan akar-akar persamaan turunan Fungsi Bessel untuk mode TM_{mn} , m dan n merupakan mode propagasi yang digunakan. Selanjutnya menghitung dimensi fisik *patch* antena dengan menggunakan persamaan di bawah ini

$$a_e = a \left[1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} \left(\ln \frac{\pi a}{2h} + 1,7726 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

di mana a merupakan dimensi fisik *patch* antena dan h merupakan ketebalan substrat dielektrik yang digunakan. Dalam perancangan, ukuran yang digunakan untuk jari-jari *patch* adalah a yang merupakan jari-jari fisik antena. Pada metoda *cavity* beberapa asumsi di bawah ini harus diperhatikan:

1. Karena substrat diasumsikan tipis, maka medan di dalam rongga tidak berubah terhadap z .
2. Adanya medan *fringing* dapat dihitung dengan menambah sedikit panjang pada tepian *patch*.
3. Medan elektrik hanya terdapat pada komponen z , dan medan magnetik hanya terdapat pada komponen transversal pada daerah yang dibatasi oleh *conducting patch* dan *groundplane*.
4. Karena arus elektrik pada mikrostrip tidak harus mempunyai komponen normal pada tepian *patch*, yang didapat dari persamaan Maxwell maka komponen tangensial dan sepanjang tepian *patch* dapat dihilangkan [2].

Metode permodelan resonator rongga mengikuti persamaan Maxwell. Persamaan Maxwell untuk daerah di bawah *patch* diberikan sebagai berikut:

$$\nabla \times E = -j\omega\mu_0 H \quad (5)$$

$$\nabla \times H = j\omega\epsilon E + J \quad (6)$$

$$\nabla \cdot E = \frac{Q}{\epsilon} \quad (7)$$

$$\nabla \cdot H = 0 \quad (8)$$

ϵ pada persamaan (6) dan (7) merupakan permitivitas dari substrat, permeabilitas dari substrat diasumsikan μ_0 . Rapat arus J pada persamaan (6) merupakan catuan, yang biasanya berupa koaxial atau saluran strip. Q merupakan jumlah distribusi medan listrik yang menembus suatu ruang tertutup S .

Teknik pencatuan antena mikrostrip sirkular dapat dilakukan secara langsung menggunakan teknik *probe* koaxial. Pada teknik pencatuan *probe* koaxial, konduktor pusat dari konektor koaxial langsung dihubungkan dengan *patch* antena lalu disolder. Keuntungan teknik ini adalah penempatan konektor bisa dimana saja pada *patch* untuk menghasilkan impedansi beban dalam hal ini antena yang match dengan impedansi input konektor sehingga tidak perlu lagi rangkaian penyepadan. Selain itu, karena kabel koaxial dihubungkan langsung dengan *patch* maka kopling catuan dengan *patch* bisa diminimalisasi. Akan tetapi akibat dilakukannya pelubangan terhadap *patch*, struktur antena tidak planar lagi dan juga tingkat keakuratan penentuan titik catu sangat tinggi sehingga sulit ditentukan. Pada substrat yang tipis teknik pencatuan ini akan menghasilkan impedansi input yang lebih induktif.

3. Perencanaan Sistem

Pada perancangan antena mikrostrip sirkular beam konikal ada empat tahap yang dilakukan. Tahap pertama adalah simulasi dengan menggunakan software Ansoft Ensemble Version 7[3]. Tahap kedua adalah menentukan spesifikasi antena dan menghitung dimensi fisik dari antena dengan menggunakan rumus. Tahap ketiga adalah perancangan antena secara fisik. Tahap terakhir adalah pembuatan *microstrip power divider*.

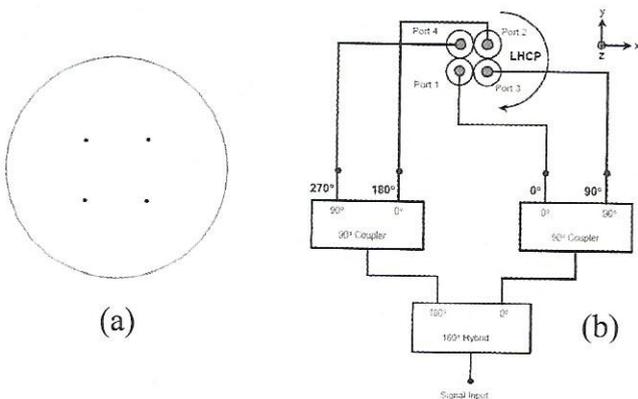
Tahap pertama yang dilakukan dalam perancangan adalah menentukan spesifikasi antena yang akan dirancang.

1. Frekuensi kerja : 2,3 GHz
2. Impedansi : 50 Ohm
3. Pola Radiasi : directional

- 4. VSWR : $\leq 1,5$
- 5. Bandwidth : 20 MHz
- 6. Polarisasi : sirkular
- 7. Gain : ≥ 6 dBi

Gambaran umum antenna dapat dilihat pada gambar 1. Antena tersusun atas dua bagian yaitu antenna dan *microstrip power divider 1 to 4*. Konektor dalam hal ini disebut probe 50 ohm dipasang pada *groundplane* dengan teknik pencatuan *inner* atau *probe* koaxial sebanyak empat buah. Lalu dihubungkan dengan *microstrip power divider 1 to 4*. Pemasangan empat buah probe ini dimaksudkan untuk menghasilkan polarisasi sirkular.

Dengan memasukkan nilai-nilai $f=2,3$ GHz, $\epsilon_r = 4,4$, $h=1$ mm, $T_{TM51} = 6.415$ ke dalam persamaan (3), diperoleh nilai dimensi efektif patch antenna sebesar 63.4928 mm. Ukuran yang digunakan dalam mendesain antenna mikrostrip sirkular adalah ukuran dimensi fisik. dimensi fisik adalah dimensi sebenarnya dari antenna. Dimensi fisik diperoleh dari persamaan (4) dengan memasukkan nilai-nilai a_e 63,4928mm, $h=1$ mm melalui beberapa kali iterasi sehingga diperoleh $a_p=63,0338$ mm.

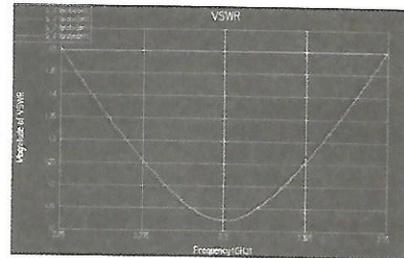


Gambar 1: (a)Dimensi Patch Antena (b) Microstrip Power Divider 1 to 4

Pada perhitungan dimensi antenna digunakan mode TM_{51} [4]. Parameter yang perlu dihitung selanjutnya adalah letak titik catu. Dalam beberapa literatur dan percobaan yang pernah dilakukan,

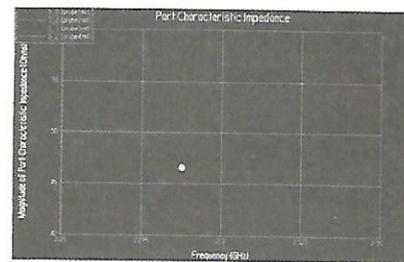
biasanya posisi 50 ohm berada pada sepertiga bagian dari jari-jari antenna, yaitu pada 21.0113 mm. Setelah dilakukan simulasi dengan software Ansoft Ensemble Version 7 ternyata untuk menghasilkan impedansi 50 ohm catuan diletakkan di titik 21.0113 mm dari pusat antenna.

Setelah perhitungan dimensi antenna dilakukan, maka akan diperoleh dimensi fisik antenna, yang kemudian akan disimulasikan ke dalam software.

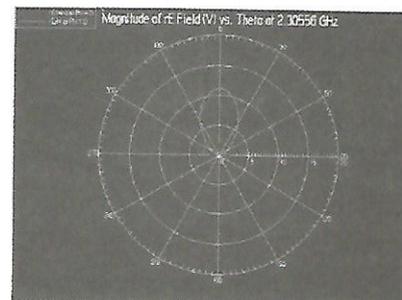


Gambar 2 : Grafik SWR Terhadap Frekuensi Hasil Simulasi

SWR minimum tepat pada $f_1=2,3$ GHz sebesar 1,125, SWR 1,5 tercapai pada $f_1=2,25$ GHz dan $f_2=2,35$ GHz, diperoleh bandwidth 100 MHz.



Gambar 3 : Impedansi Antena Hasil Simulasi



Gambar 4: Pola Pancar Hasil Simulasi

Pola pancar yang dihasilkan beamnya berbentuk konikal, sesuai dengan yang diharapkan. Pola pancar di atas dalam bentuk polar dimana medan terkuatnya pada sudut 30° dan 330°.

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada pembuatan antenna adalah sebagai berikut :

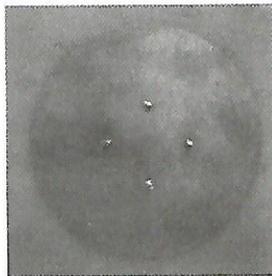
a. Pemilihan Bahan

Bahan yang dipilih dalam pembuatan antenna ini adalah PCB FR4. PCB ini mempunyai nilai permitivitas relatif sebesar 4,4 dan ketebalan 1 mm. FR4 cukup handal untuk digunakan dalam pembuatan antenna pada frekuensi orde GHz.

b. Pemilihan Konektor

Jenis konektor yang digunakan dalam pembuatan antenna yaitu konektor SMA. Jumlah konektor yang dibutuhkan empat buah.

c. Pabrikasi antenna

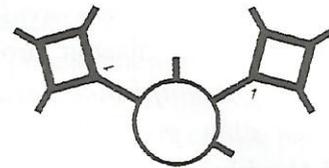


Gambar 5 : Antena Mikrostrip Sirkular pada Frekuensi 2,3 GHz

Konektor yang dipasang pada antenna sebanyak empat buah dengan jarak 2,0967 cm dari pusat. Konektor diletakan pada susunan sudut 0°, 90°, 180°, 270°. Pemasangan empat buah konektor dengan susunan sudut seperti ini dilakukan agar polarisasi yang dihasilkan sirkular. Konektor dipasang dengan cara ditembus ke dalam *groundplane* dan melewati bahan dielektrik hingga mencapai *patch*. Pemasangan konektor diperkuat dengan menyolder ujung konektor pada *patch*.

Pada pembuatan *power divider* (digunakan sebagai pembagi daya), bahan yang digunakan adalah FR4. Digunakan dua jenis *power divider*, pertama adalah *90° coupler* yang berfungsi sebagai pembagi daya yang menghasilkan beda fasa 90°.

Dibutuhkan dua buah *90° coupler 1 to 2* yang akan mengasilkan beda fasa 90° untuk dihubungkan dengan keluaran. *Power divider* kedua yaitu *rate race 180° hybrid*. *Power divider rate race 180° hybrid 1 to 2* merupakan pembagi daya yang menghasilkan keluaran yang berbeda fasa 180°.



Gambar 6 : Desain Microstrip Power Divide

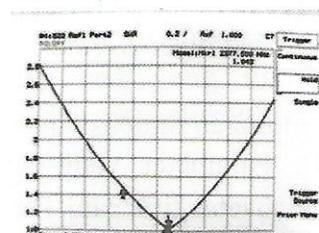
Konektor yang digunakan sebanyak delapan buah, diantaranya :

1. Sebuah konektor N *female* yang digunakan sebagai *input*
2. Empat buah konetor N to SMA yang digunakan sebagai *output*
3. Tiga buah *probe* terminasi 50 ohm sebagai *ground*

Secara garis besar antenna mikrostrip sirkular *beam* konikal merupakan suatu kesatuan sistem antenna yang terdiri atas dua buah perangkat yaitu antenna dan *microstrip power divider* yang saling dihubungkan [5]. Nantinya ke empat *output* akan dihubungkan ke empat port antenna menggunakan kabel coaxial semirigid. Sehingga *input microstrip power divider* adalah sebagai *input* dari keseluruhan sistem antenna mikrostrip sirkular *beam* konikal. *Probe input* ini yang nantinya akan dihubungkan ke perangkat *transceiver*.

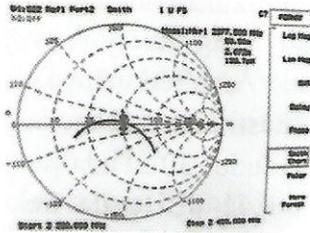
4. Realisasi dan Pengukuran

1. Pengukuran SWR diperoleh hasil 1,043 pada frekuensi 2377,5 MHz.



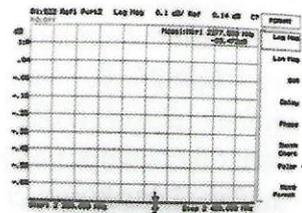
Gambar 7 : Grafik Hasil Pengukuran SWR

2. Pengukuran Impedansi diperoleh hasil sebesar $50,5 \Omega$ pada frekuensi $2377,5 \text{ MHz}$.



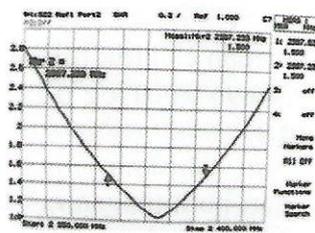
Gambar 8 : Gambar Hasil Pengukuran Impedansi

3. Pengukuran *Return Loss* sebesar $-33,472 \text{ dB}$ pada frekuensi kerja $2377,5 \text{ MHz}$.



Gambar 9 : Grafik Hasil Pengukuran *Return Loss*

4. Pengukuran Bandwidth



Gambar 10 : Grafik Hasil Pengukuran Bandwidth

Dari hasil pengukuran diperoleh frekuensi bawah (f_l) $2367,63 \text{ MHz}$ dan frekuensi atas (f_u) $2387,23 \text{ MHz}$.

$$BW = f_u - f_l \tag{9}$$

$$= 2387,23 - 2367,63 = 19,6 \text{ MHz}$$

Dalam bentuk persentase

$$BW = \frac{f_u - f_l}{f_o} \cdot 100\% \tag{10}$$

$$= \frac{19,6}{2300} \cdot 100\%$$

$$= 0,85217 \% < 1\%$$

Pengukuran dimensi antenna menggunakan alat ukur yang *Profile Projector Nikon V-12B*.

	kanan	kiri	atas	bawah
	61.137	61.7395	61.0795	60.655
jumlah	122.8765		121.735	
rata-rata (mm)	122.30575			

Tabel 1 : Tabel Hasil Pengukuran Dimensi Antena

Untuk pengukuran SWR diperoleh hasil yang mendekati SWR ideal = 1 yaitu sebesar $1,043$ pada frekuensi kerja $2377,5 \text{ MHz}$. Akan tetapi terjadi penyimpangan frekuensi sebesar $77,5 \text{ MHz}$. Kondisi yang terjadi frekuensi menjadi lebih besar, ukuran dimensi antenna setelah diukur adalah 122.30575 mm . Terjadi penyimpangan sebesar $3,76185 \text{ mm}$ dari yang seharusnya jari-jarinya sebesar mm dan diameter 126.0676 mm . Pengukuran bandwidth antenna adalah $0,85217 \% < 1\%$ bersifat *narrow band* $19,6 \text{ MHz}$.

Pada pengukuran pola radiasi, gain, dan polarisasi dilakukan di luar ruangan (*outdoor*). Pengukuran dilakukan di medan jauh. Dari persamaan 11 diperoleh medan jauh untuk antenna yang telah dirancang sebesar $0,2427 \text{ m}$ dengan memasukan nilai-nilai $D=126,0676 \text{ mm}$ dan $f=2,3 \text{ GHz}$, dengan jarak $2 \text{ m} > 1,93 \text{ m}$.

$$E = \frac{2D^2}{\lambda} \tag{11}$$

Untuk menghitung besarnya gain antenna dipergunakan persamaan :

$$G_{ANT(dBi)} = P_{ANT(dBm)} - P_{ref(dBm)} - G_{ref(dBi)} \tag{12}$$

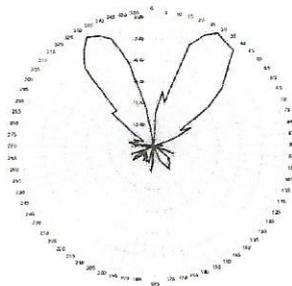
Di mana,

$G_{ANT(dBi)}$ = gain antenna yang diukur terhadap isotropis

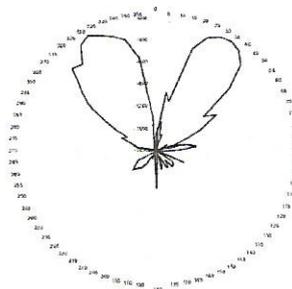
$P_{ANT(dBm)}$ = level daya terima

$P_{ref(dBm)}$ = level daya terima antenna referensi (*sleeve dipole*)

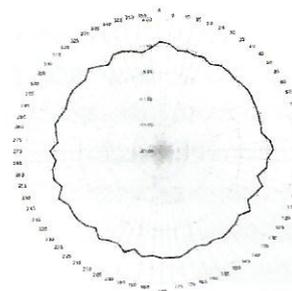
$G_{ref(dBi)}$ = gain antenna referensi (*sleeve dipole*) terhadap isotropis



Gambar 11 : Pola Radiasi Arah Azimuth



Gambar 12 : Pola Radiasi Arah Elevasi



Gambar 13 : Hasil Pengukuran Polarisasi

Pola radiasi pada arah azimuth dan elevasi hampir sama. Pada *mainlobe* arah azimuth, HPBW yang diperoleh sebesar 81,5° dan FNBW yang diperoleh sebesar 125°. Sedangkan pada arah

elevasi, HPBW yang diperoleh sebesar 94° dan FNBW yang diperoleh sebesar 150°. Bentuk beam dari hasil pengukuran mendekati ideal dan mendekati hasil yang diinginkan yaitu bentuk kerucut (konikal). Arah terkuatnya pada saat sudut 35°. Sedangkan hasil simulasi menunjukkan medan terkuatnya pada sudut 30°. Pada pengukuran gain diperoleh hasil 7,41 dBi pada frekuensi bawah 2367,63 GHz, 9,17 dBi pada frekuensi kerja 2377.5 GHz, 7,32 dBi. pada frekuensi atas 2387,23 GHz. Pada pengukuran polarisasi Dari hasil pengukuran didapatkan data rata-rata untuk kedua polarisasi linear vertikal maupun horizontal sebagai berikut:

1. Daya terima minimum (sumbu minor) = -54, 15 dBm = 3,8459x10⁻⁶ watt
2. Daya terima minimum (sumbu mayor) = -52,00 dBm = 6,3096x10⁻⁶ watt

Dengan Analisis Rasio (AR) kuat medan elektrik, maka dapat diketahui tipe polarisasinya.

Rasio kuat medan elektrik(numerik)

$$AR \equiv \frac{Major}{Minor} \equiv \sqrt{\frac{P_{watt\ major} \times 377}{A_e}} \div \sqrt{\frac{P_{watt\ minor} \times 377}{A_e}} \tag{13}$$

$$\frac{\sqrt{P_{watt\ major} \times 377}}{\sqrt{P_{watt\ minor} \times 377}} = \frac{\sqrt{6,0396 \times 10^{-6} \times 377}}{\sqrt{3,8459 \times 10^{-6} \times 377}} = \frac{0,9469}{0,7393} = 1,281$$

Rasio kuat medan elektrik (dB)

$$= (10 \log 0,9469) - (10 \log 0,7393) = 1,0748 \text{ dB}$$

Sehingga dari perhitungan rasio kuat medan elektrik dapat diketahui bahwa *Antenna Under Test* (AUT) tidak berpolarisasi sirkular akan tetapi berpolarisasi ellips dengan AR =1,281. Hal ini disebabkan oleh ruang pengukuran yang kurang mendukung yang mengakibatkan banyaknya sinyal penginterferensi

5. Kesimpulan

1. Frekuensi kerja yang diperoleh adalah 2,3775 GHz, frekuensi ini mendekati frekuensi yang direncanakan sebesar 2,3 GHz. Impedansi pada frekuensi tersebut sebesar 50,5 ohm.

Terjadi penyimpangan yang dikarenakan penyimpangan dalam pabrikan antenna dan kekurangan ketelitian dalam pembacaan hasil pengukuran. Bandwidth yang diperoleh sebesar 19,6 MHz., sesuai dengan karakteristik antenna mikrostrip yang bersifat *narrowband* $\leq 1\%$.

2. Pada pola radiasi yang dihasilkan, beam mendekati bentuk konikal dengan daya maksimum di sudut 35° dan gain yang dihasilkan sebesar 9,17 dBi pada frekuensi kerja 2377.5 GHz, hasil ini sesuai dengan tipikal karakteristik antenna mikrostrip dimana untuk satu *patch* antenna mikrostrip mempunyai gain ± 8 dBi. Polarisasi yang dihasilkan mendekati sirkular dimana polarisasinya berupa ellips dengan $AR = 1 < 1,281 < \infty$. Segala penyimpangan yang terjadi diakibatkan oleh kondisi pengukuran yang kurang ideal dimana terdapat banyak *obstacle* dan banyaknya sinyal penginterferensi di ruang pengukuran dan kurang ketelitian dalam membaca hasil pengukuran.
3. Teknik pencatutan probe coaxial adalah metode yang paling mudah dan cocok digunakan untuk memudahkan dalam matching impedansi. Hal ini bisa dilihat dengan besar impedansi input = 50,5 ohm mendekati kondisi matching sebesar 50 ohm. Akan tetapi metode ini menghasilkan bandwidth yang relatif sempit.
4. Polarisasi sirkular diperoleh dengan menggunakan empat buah catuan pada antenna yang akan dihubungkan ke keluaran *microstrip power divider*.
5. *Microstrip power divider* yang digunakan adalah *power divider 90° coupler 1 to 2* yang akan menghasilkan beda fasa 90° untuk dihubungkan dengan keluaran power divider kedua yaitu *power divider rate race 180° hybrid 1 to 2* merupakan pembagi daya yang menghasilkan keluaran yang berbeda fasa 180° .

6. Baik metode *cavity* maupun metode MoM valid untuk diterapkan dalam perancangan antenna mikrostrip sirkular karena kedua metode tersebut menghasilkan karakteristik antenna yang hampir sama.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Program Kompetitif LIPI tahun anggaran 2007. Dalam kesempatan ini kami sampaikan ucapan terima kasih atas kesempatan yang diberikan untuk mempublikasikan hasil penelitian ini. Ucapan yang sama kami sampaikan juga kepada rekan-rekan yang telah memberikan bantuan dalam penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

1. Balanis; Constantine A., "Antenna Theory", *Harper and Row*, New York, 1982.
2. Iskander; Magdi F., "Electromagnetic Field & Wave", *Prentice Hall*, Englewood Cliffs, New Jersey, 1992.
3. Munson, R.E., "Single Slot Cavity Antenna Assembly, U.S. Patent no. 3713162, 1973", *Ansoft Corporation*, Ansoft Ensemble Version 7.
4. Kumar, A., "Microstrip Antennas Guide Satellite Data Transmissions", <http://www.mwrf.com/Articles/ArticleID/10756/10756.html>, 2003.
5. Firmadi; Adhi., "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Dual-Band pada Frekuensi Kerja 1,8 GHz dan 2,4 GHz", *Sekolah Tinggi Teknologi Telkom*, Tugas Akhir, Bandung, 2006.
6. James, J.R; and Hall, P.S., "Introduction (to Microstrip Antenna) Handbook of Microstrip Antennas IEE Electromagnetic Waves Series", *Peleginus Ltd*, London, 1989

Sistem Pengendali Tegangan Baterai pada Perangkat Uninterruptible Power Supply (UPS)

Deni Permana dan Pamungkas Daud

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

Abstract

Battery, which is functioned as a back-up power supply in electronic instruments, plays a very important role when the voltage from electrical outlets or power generator is cut off. Because of its role, the electrical charge inside the back-up battery must always be maintain in full condition (steady state), but it can not get over the rated capacity because it can destroy the cells of the battery and even can cause the battery to explode. To overcome this problem, in this research it has been built an electronic battery charger with automatic charging system which will operate when the battery power is low and stop operating when the battery power has been full.

Keywords : battery, electricity capacity, automatic charging, charging process

Abstrak

Baterai yang difungsikan sebagai cadangan (back-up) tegangan pada peralatan elektronika, memegang peranan sangat penting pada saat tegangan dari jala-jala listrik atau generator terputus. Karena peranan tersebut, maka muatan listrik yang ada dalam baterai cadangan harus selalu dijaga agar selalu dalam keadaan penuh (steady state), tetapi tidak boleh melebihi batas yang telah ditentukan, karena akan menyebabkan rusaknya sel-sel baterai, bahkan dapat mengakibatkan baterai meledak. Untuk mengatasi hal tersebut, maka dalam penelitian ini telah dibuat suatu alat pengisian baterai elektronik dengan sistem pengisian otomatis yang akan bekerja pada saat tegangan baterai rendah, dan terputus pada saat tegangan baterai sudah terisi penuh.

Kata kunci : baterai, muatan listrik, pengisian otomatis, proses pengisian

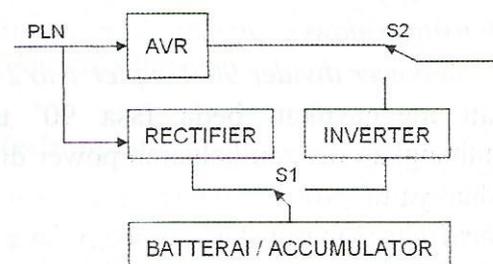
1. Pendahuluan

Hampir semua perangkat elektronika sekarang ini membutuhkan suplai tegangan yang kebanyakan diperoleh dari catuan daya listrik PLN. Tetapi sering kali terjadi suplai daya PLN tersebut terputus secara tiba-tiba atau kualitas suplai daya dari transformator jala-jala tidak normal, bisa juga akibat tegangan lebih, tegangan kurang atau tegangan kedip yang disebabkan karena gangguan petir atau penyebab dari gangguan yang lain. Untuk mengatasi hal tersebut, maka perangkat UPS (*Uninterruptible Power Supply*) sangat diperlukan untuk dapat mencegah dan melindungi perangkat elektronik dari kerusakan yang kemungkinan akan terjadi.

UPS adalah suatu perangkat elektronik yang berfungsi sebagai penyangga (*buffer*) diantara catu daya listrik PLN dengan

perangkat elektronik yang kita gunakan seperti komputer, peralatan ukur, perangkat telekomunikasi, dsb. Bila terjadi gangguan, atau suplai daya utama terputus, maka UPS akan bekerja untuk memback-up dan memberikan sumber daya baru, sehingga perangkat elektronik yang kita miliki tidak mengalami gangguan serta kerusakan.

Di bawah ini diperlihatkan blok diagram dari sebuah UPS.



Gambar 1: Diagram Blok UPS

Pada dasarnya UPS terdiri dari bagian AVR (*automatic voltage regulator*), *rectifier*, *inverter*, *baterai back-up*, serta *transfer switch*. Rectifier (penyearah) adalah bagian yang berfungsi sebagai penyerahan AC ke DC serta berfungsi dalam proses pengisian baterai. Inverter adalah bagian yang berfungsi untuk merubah tegangan DC (*tegangan searah*) menjadi AC (*tegangan bolak-balik*). Baterai back-up yang berfungsi sebagai catu daya yang akan dibutuhkan oleh inverter pada saat tegangan utama terganggu, serta transfer switch yang berfungsi pada saat terjadinya peralihan sumber catu daya dari catu daya utama ke catu daya back-up serta sebaliknya. Dengan demikian karakteristik dari setiap bagian yang mendukung sebuah sistem UPS, memegang peranan penting dalam performa UPS secara keseluruhan.

2. Proses Charge and Discharge

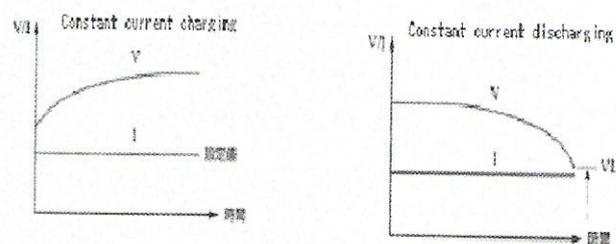
Baterai adalah salah satu komponen penting dalam sistem UPS, karena berfungsi sebagai cadangan tenaga listrik yang tersimpan dalam bentuk tenaga kimia.

Dikenal dua jenis elemen yang merupakan sumber arus searah (DC) dari proses kimiawi, yaitu elemen primer dan elemen sekunder. Elemen primer terdiri dari elemen basah dan elemen kering. Reaksi kimia pada elemen primer yang menyebabkan elektron mengalir dari elektroda negatif (katoda) ke elektroda positif (anoda) tidak dapat dibalik arahnya [1]. Maka jika muatannya habis, maka elemen primer tidak dapat dimuati kembali dan memerlukan penggantian bahan pereaksinya (elemen kering). Sehingga dilihat dari sisi ekonomis elemen primer dapat dikatakan cukup boros. Contoh elemen primer adalah batu baterai (dry cells). Elemen sekunder dalam pemakaiannya harus diberi muatan terlebih dahulu sebelum digunakan, yaitu dengan cara mengalirkan arus listrik (secara umum dikenal dengan istilah *charging*). Akan tetapi, tidak seperti elemen primer, elemen sekunder dapat dimuati kembali berulang kali. Elemen sekunder ini lebih dikenal dengan

baterai. Dalam sebuah baterai berlangsung proses elektrokimia yang bolak-balik (*reversibel*) dengan efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses *elektrokimia reversibel* yaitu di dalam baterai saat dipakai berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (*discharging*). Sedangkan saat diisi atau dimuati, terjadi proses tenaga listrik menjadi tenaga kimia (*charging*). Besar ggl yang dihasilkan satu sel baterai adalah 2 Volt. Sebuah baterai terdiri dari enam buah baterai yang disusun secara seri, sehingga ggl totalnya adalah 12 Volt. Kapasitas baterai ini biasa disebut Ampere-Hour/AH (Ampere-jam). Contohnya untuk baterai dengan kapasitas arus 45 AH, maka baterai tersebut dapat mencatu arus 45 Ampere selama 1 jam atau 1 Ampere selama 45 jam.

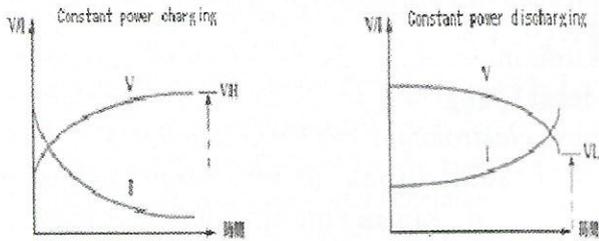
Penelitian atau percobaan tentang charge discharge telah menghasilkan banyak sekali metode yaitu antara lain :

- Proses charge discharge dengan arus konstan, akan berakhir ketika waktu yang telah diset terlampaui atau muatan baterai yang ditentukan telah terpenuhi.



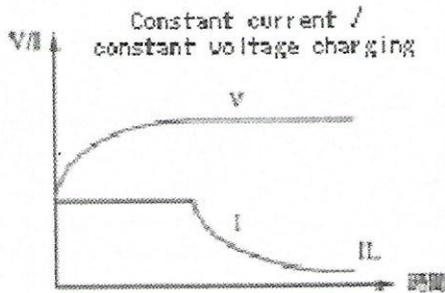
Gambar 2 : Proses Charge Discharge dengan Arus Konstan [1]

- Proses charge discharge dengan daya konstan, Charge dengan daya konstan dilakukan ketika tegangan naik dan arus turun, proses ini berakhir ketika set time terpenuhi atau tegangan pada baterai telah terpenuhi. Sedangkan discharge dengan daya konstan akan dimulai ketika tegangan baterai turun dan arus naik pada saat set time terlampaui atau tegangan beban terpenuhi.



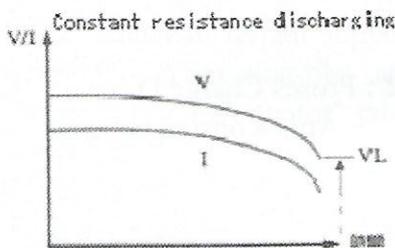
Gambar 3 : Proses Charge Discharge dengan Daya Konstan [1]

- Proses charge dengan arus konstan ketika tegangan terminal lebih rendah dari pada tegangan charge.



Gambar 4 : Proses Charge dengan Arus Konstan ketika Tegangan Terminal lebih rendah dari pada Tegangan Charge [1]

- Proses discharge dengan resistansi konstan ketika tegangan baterai turun dan arus juga turun.



Gambar 5 : Proses Discharge dengan Resistansi Konstan ketika Tegangan Baterai Turun dan Arus juga Turun [1]

Untuk mengetahui waktu dalam proses pengisian baterai, dapat menggunakan perhitungan dibawah ini,

- Lamanya pengisian Arus adalah :

$$T_a = \frac{Ah}{A} \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana :

- Ta = Lamanya pengisian arus (jam)
- Ah = Besarnya kapasitas baterai (Ampere hours)
- A = Besarnya arus pengisian ke baterai (Ampere)

- Lamanya pengisian Daya adalah :

$$T_d = \frac{\text{dayaAh}}{\text{dayaA}} \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana :

- Td = Lamanya pengisian Daya (jam)
- dayaAh = Besarnya energi yang didapat dari perkalian Ah dengan besar tegangan baterai (Watt hours)
- dayaA = Besarnya power yang didapat dari perkalian A dengan besar tegangan pengisian (Watt)

3. Teori Dasar Rangkaian

Dalam pembuatan sistem pengendali tegangan baterai ini dipergunakan sebuah operasional amplifier (*op-amp*) yang difungsikan sebagai pembanding. Dalam sistem pembanding, tegangan isyarat pada salah satu masukan akan dibandingkan dengan suatu tegangan acuan pada masukan yang lain [3].

Untuk membuat sebuah rangkaian *op-amp* yang akan difungsikan sebagai pembanding, dipergunakan rangkaian *umpan balik positif*, dimana sebagian tegangan V_o diumpan-balikkan ke masukan (+) nya, sehingga bila $V_o = +V_{sat}$ tegangan umpan-balik tersebut dinamakan *tegangan ambang-atas* V_{UT} . V_{UT} dinyatakan dari pembagi tegangan sebagai ;

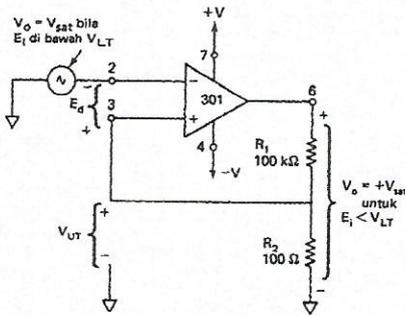
$$V_{UT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (V_{SAT}) \dots\dots\dots (3-1)$$

Dimana :

- V_{UT} = Tegangan ambang-atas
- R_1 dan R_2 = Tahanan pembagi pada keluaran

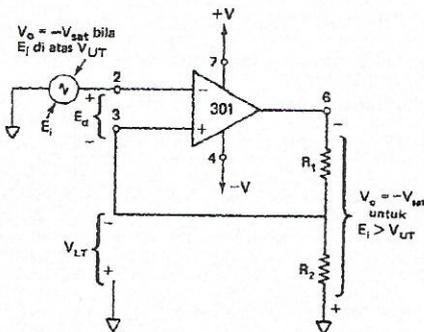
$+V_{sat}$ = Tegangan jenuh (saturasi) atas

Untuk harga-harga *Isyarat masukan* (E_i) di bawah V_{UT} , dimana tegangan pada masukan (+) nya lebih besar dari tegangan pada masukan (-) nya. Karena itu V_o terkunci di $+V_{sat}$.



Gambar 6 : Tegangan Ambang-Atas, V_{UT} [2]

Jika sekarang E_i dibuat sedikit lebih positif dari V_{UT} , maka polaritas dari *tegangan antara masukan (+) dengan masukan (-) atau* (E_d), menjadi terbalik sebagaimana diperlihatkan dalam gambar 6, dan V_o mulai turun harganya. Sekarang sebagian dari V_o yang diumpun-balikkan ke masukan positifnya menjadi lebih kecil, sehingga E_d menjadi lebih besar. Harga V_o bahkan akan turun lebih cepat dan bergerak dengan cepat ke V_{sat} . Selanjutnya rangkaian tersebut menjadi stabil pada keadaan yang terlihat dalam gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7 : Tegangan Ambang-Bawah V_{LT} [2]

Bila sekarang V_o ada pada $-V_{sat}$, sementara tegangan yang diumpun-balikkan ke masukan (+) nya, maka keadaan tersebut dinamakan *tegangan ambang-bawah* V_{LT} ;

$$V_{LT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (V_{SAT}) \dots \dots \dots (3 \quad 2)$$

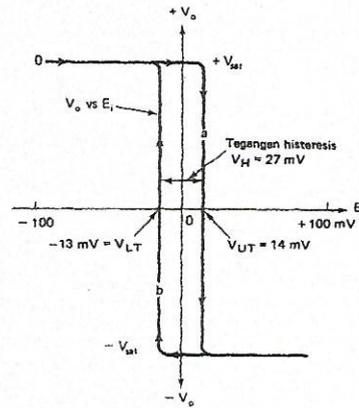
Dimana :

V_{LT} = Tegangan ambang-bawah

$-V_{sat}$ = Tegangan jenuh (saturasi) bawah

Dengan kondisi V_{LT} yang mempunyai harga negatif terhadap ground, maka V_o akan tetap pada V_{sat} selama E_i di atas atau positif terhadap V_{LT} . Harga V_o akan menjadi terbalik berpindah ke $+V_{sat}$ pada saat harga E_i menjadi lebih negatif dari atau di bawah V_{LT} .

Dengan menggambarkan E_i pada sumbu datar dan V_o pada sumbu tegak, maka akan terlihat ciri tegangan keluaran-masukannya, seperti diperlihatkan pada gambar di bawah ;



Gambar 8 : Tegangan Histeresis dalam Sebuah Rangkaian Pembanding [2]

Untuk E_i yang lebih kecil dari V_{LT} , $V_o = +V_{sat}$. Garis tegak (a) memperlihatkan V_o yang bergerak dari $+V_{sat}$ ke V_{sat} pada waktu E_i menjadi lebih besar dari V_{UT} . Garis tegak (b) memperlihatkan V_o yang berubah dari V_{sat} ke $+V_{sat}$ ketika E_i menjadi lebih kecil dari V_{LT} . Perbedaan tegangan antara V_{UT} dan V_{LT} disebut *tegangan histeresis*, V_H .

Bilamana suatu rangkaian berubah dari satu keadaan ke keadaan kedua pada suatu isyarat masukan dan kemudian kembali dari keadaan kedua ke keadaan pertama pada isyarat masukan yang *berbeda*, maka rangkaian itu dikatakan memperlihatkan *histeresis*. Dalam umpun-balik

positif, untuk mengetahui perbedaan isyarat masukan antara tegangan ambang-atas dengan tegangan ambang-bawah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan ;

$$V_H = V_{UT} - V_{LT} \dots \dots \dots (3 \quad 3)$$

Dimana :

V_H = Tegangan histeresis

Tegangan histeresis V_H akan dipusatkan pada rata-rata dari V_{UT} dan V_{LT} . Rata-rata ini disebut *tegangan tengah* (V_{ctr}), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan ;

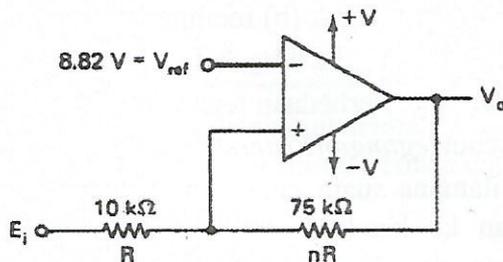
$$V_{ctr} = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2} \dots \dots \dots (3 \quad 4)$$

Dimana :

V_{ctr} = Tegangan tengah

Dalam sebuah rangkaian *detektor taraf-tegangan* diharapkan memiliki empat syarat utama ; (1) sebuah tahanan yang bisa disetel untuk menetapkan dan menghaluskan harga V_H , (2) sebuah tahanan terpisah yang dapat disetel untuk menetapkan harga V_{ctr} , (3) penyetelan V_H dan V_{ctr} tidak akan saling mempengaruhi, (4) tegangan tengah V_{ctr} akan sama atau dapat dihubungkan dengan suatu tegangan acuan luar V_{ref} .

Tahanan umpan-balik positif dari keluaran ke masukan (+) menunjukkan adanya histeresis dalam rangkaian seperti pada gambar 9. E_i diterapkan melalui R ke masukan (+) nya, sehingga rangkainnya tak-membalik.



Gambar 9 : Tegangan Tengah V_{ctr} dan Tegangan Histeresis V_H yang Tergantung pada Perbandingan n [2]

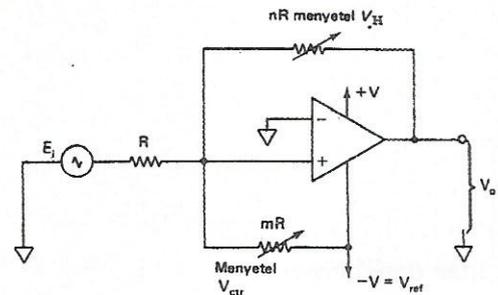
Tegangan acuan V_{ref} ditetapkan pada masukan (-) sementara isyarat masukan harus merupakan sumber berimpedansi-rendah atau keluaran dari sebuah pengikut tegangan, atau dari penguat *operational amplifier (op-amp)*. Dengan adanya harga perbandingan nR terhadap R atau n dan V_{ref} , maka hal ini akan mempengaruhi harga V_{UT} , V_{LT} , V_H , dan V_{ctr} , sehingga tegangan histeresis V_H dinyatakan oleh persamaan ;

$$V_H = V_{UT} - V_{LT} = \frac{(V_{sat}^+) - (V_{sat}^-)}{n} \dots \dots \dots (3 \quad 5)$$

Dimana :

n = Faktor perbandingan

Rangkaian pada gambar 10 adalah sebuah detektor taraf-tegangan tak-membalik dengan pengaturan bebas dari tegangan histeresis dan tegangan tengah.



Gambar 10 : Pembanding dengan Pengaturan Bebas Histeresis dan Tegangan Tengah [2]

Dari rangkaian detektor taraf-tegangan tak-membalik di atas, tegangan tengah V_{ctr} ditentukan oleh tahanan mR dan tegangan acuan V_{ref} , dimana tegangan acuan bisa merupakan tegangan suplai +V maupun V. Dengan demikian, maka tegangan histeresis V_H dapat diatur dengan bebas tanpa akan mempengaruhi V_{ctr} , demikian juga pada saat mengatur tahanan mR berarti melakukan pengaturan V_{ctr} tanpa mempengaruhi V_H . Keadaan tersebut dapat dipenuhi selama isyarat masukannya merupakan sebuah sumber yang mempunyai impedansi rendah.

Dengan beranggapan besarnya tegangan saturasi atas ($+V_{sat}$) dengan tegangan saturasi

bawah (V_{sat}) adalah simetris, maka besarnya tegangan tengah V_{ctr} yang dapat diatur oleh mR dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan ;

$$V_{ctr} = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2} \dots\dots\dots(3-6a)$$

$$V_{ctr} = -\frac{V_{ref}}{m} - \frac{+V_{sat} + (-V_{sat})}{2n} \dots\dots\dots(3-6b)$$

$$V_{ctr} = -\frac{V_{ref}}{m} \dots\dots\dots(3-6c)$$

Jadi dengan demikian harga tegangan tengah V_{ctr} hanya tergantung kepada faktor perbandingan m , sedangkan tegangan histeresis V_H tergantung kepada faktor n saja.

4. Perencanaan Sistem

Untuk merancang sistem pengisian otomatis tegangan nominal baterai sebesar 12 Volt, dimana tegangan ambang-bawah adalah 10.2 Volt dengan tegangan ambang-atas 13.8 Volt. Tegangan suplai sistem pengisian otomatis adalah simetris ± 15 Volt. Dengan persyaratan seperti diatas, berarti pada saat tegangan baterai mencapai 13.8 Volt (115%), sistem pengisian akan berhenti dan akan kembali melakukan proses pengisian pada saat tegangan baterai turun 85%-nya atau 10.2 Volt. Dengan menggunakan persamaan yang telah dibahas, serta dengan mengacu kepada salah satu rangkaian sederhana seperti pada gambar 10, kemudian keluarannya diumpankan kepada sebuah rangkaian transistor saklar dengan sebuah relay antara kaki kolektor dengan tegangan sumber[4], maka sebuah rangkaian pengendali pengisian baterai dapat dibuat dengan mudah. Relay pada rangkaian ini difungsikan sebagai alat yang memutuskan dan menyambungkan rangkaian pengisian dengan baterai.

Untuk menentukan besarnya tegangan histeresis V_H , dipergunakan persamaan (3-3).

$$V_H = V_{UT} - V_{LT}$$

$$V_H = 13.8 - 10.2 \Rightarrow 3.6 Volt$$

Untuk menentukan besarnya tegangan tengah V_{ctr} , dipergunakan persamaan (3-4).

$$V_{ctr} = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2}$$

$$V_{ctr} = \frac{13.8 + 10.2}{2} \Rightarrow 12 Volt$$

Dari perhitungan diatas, terlihat bahwa V_{ctr} adalah tegangan nominal dari baterai.

Sekarang dengan menentukan besarnya harga tahanan yang umum dipakai, misalnya tahanan sebesar 10K Ω , sementara tegangan acuan V_{ref} mempunyai nilai yang sama dengan tegangan suplai sebesar -15 Volt, maka dengan mengatur kembali persamaan (3-6c) besarnya faktor m dapat diketahui.

$$V_{ctr} = -\frac{V_{ref}}{m}$$

$$m = -\frac{V_{ref}}{V_{ctr}} \equiv -\frac{(-15)}{12} \Rightarrow 1.25$$

$$mR = 1.25 \times 10K\Omega \Rightarrow 12.5K\Omega$$

Untuk menentukan besarnya hambatan nR dipergunakan persamaan (3-5), dimana faktor n harus dihitung terlebih dahulu. Tegangan jenuh V_{sat} sama dengan tegangan keluaran V_o serta sama dengan tegangan suplai.

$$V_H = V_{UT} - V_{LT} = \frac{(+V_{sat}) - (-V_{sat})}{n}$$

$$n = \frac{(+V_{sat}) - (-V_{sat})}{V_H} \Rightarrow \frac{(15) - (-15)}{3.6}$$

$$n = 8.33$$

$$nR = 8.33 \times 10K\Omega \Rightarrow 83.3K\Omega$$

Dengan diketahuinya harga-harga dari tahanan masukan, keluaran, nR sebagai tahanan yang menentukan tegangan histeresis, mR sebagai tahanan yang menentukan besarnya tegangan tengah, maka sekarang prototipe sistem pengendali tegangan baterai ini dapat direalisasikan.

5. Realisasi dan Pengukuran

Dengan menggunakan peralatan ukur *Programmable DC PSU 35V 10A, Daiwa DC Power supply 915/30A Model PS-300B, Multimeter Krisbow type KW06-272, Protek 560 Digital Multimeter*, maka peralatan yang dibuat dilakukan pengukuran skala laboratorium. Untuk mengetahui unjuk kerja dari rangkaian yang dibuat, tegangan input (E_i) diberikan oleh sebuah Power Supply Model PS-300B sebagai pengganti baterai. Hasil-hasil pengukuran yang didapat diperlihatkan seperti di bawah ini :

Tabel 1. Pengukuran Tegangan Output (V_o) dengan Tegangan Input (E_i) yang Variable

E_i	V_o	V_{base}	Relay	Led
10,01 V	-13,06 V	-1,31 V	OFF	ON
10,20 V	-13,06 V	-1,30 V	OFF	ON
10,41 V	-13,04 V	-1,32 V	OFF	ON
10,61 V	-13,04 V	-1,32 V	OFF	ON
10,82 V	-13,06 V	-1,32 V	OFF	ON
11,00 V	-13,05 V	-1,32 V	OFF	ON
11,20 V	-13,06 V	-1,33 V	OFF	ON
11,40 V	-13,07 V	-1,33 V	OFF	ON
11,62 V	-13,04 V	-1,31 V	OFF	ON
11,81 V	-13,06 V	-1,33 V	OFF	ON
12,01 V	-13,05 V	-1,30 V	OFF	ON
12,22 V	-13,05 V	-1,32 V	OFF	ON
12,41 V	-13,05 V	-1,32V	OFF	ON
12,63 V	-13,06 V	-1,32 V	OFF	ON
12,82 V	-13,04 V	-1,33 V	OFF	ON
13,02 V	-13,06 V	-1,30 V	OFF	ON
13,21 V	-13,07V	-1,31 V	OFF	ON
13,41 V	-13,05 V	-1,31 V	OFF	ON
13,60 V	-13,06 V	-1,30 V	OFF	ON
13,83 V	13,83 V	0,649 V	ON	OFF
14,02 V	13,82 V	0,649 V	ON	OFF

Pada Tabel diatas teramati bahwa pada saat tegangan input (E_i) 10,2 Volt, maka besarnya tegangan keluaran (V_o) akan memiliki harga negatif. Hal ini akan mengakibatkan tansistor sakelar (*type NPN*) tidak mendapatkan tegangan positif pada kaki base sehingga transistor dalam

keadaan *cut-off*, relay tidak bekerja. Dengan kondisi ini, maka relay (*dengan konfigurasi normal OFF*) akan menyambungkan rangkaian pengisian dengan baterai.

Pada saat tegangan input (E_i) 13,8 Volt, maka besarnya tegangan keluaran (V_o) akan memiliki harga positif. Hal ini akan mengakibatkan tansistor (*type NPN*) bekerja, dan relay (*dengan konfigurasi normal OFF*) akan memutuskan rangkaian pengisian dengan baterai.



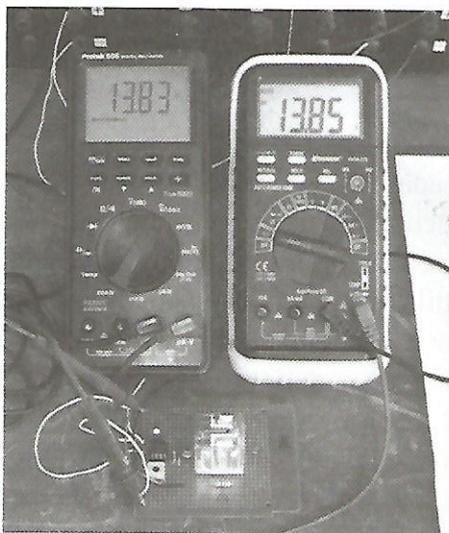
Gambar 11 : Set-up Pengukuran dengan $E_i = 10,20$ V serta $V_o = -13,06$ V



Gambar 12 : Set-up Pengukuran dengan $E_i = 13,83$ V serta $V_o = 13,83$ V

Tabel 2. Pengukuran Tegangan Output (V_o) dengan Tegangan Input (E_i) yang Variable

E_i	V_o	V_{base}	Relay	Led
14,01 V	13,86 V	0,651 V	ON	OFF
13,83 V	13,85 V	0,650 V	ON	OFF
13,61 V	13,85 V	0,649 V	ON	OFF
13,40 V	13,87 V	0,650 V	ON	OFF
13,21 V	13,86 V	0,649 V	ON	OFF
13,03 V	13,85 V	0,649 V	ON	OFF
12,81 V	13,84 V	0,648 V	ON	OFF
12,62 V	13,84 V	0,651 V	ON	OFF
12,41 V	13,85 V	0,650 V	ON	OFF
12,21 V	13,84 V	0,650 V	ON	OFF
12,02 V	13,84 V	0,649 V	ON	OFF
11,81 V	13,86 V	0,649 V	ON	OFF
11,60 V	13,85 V	0,651 V	ON	OFF
11,40 V	13,85 V	0,649 V	ON	OFF
11,20 V	13,86 V	0,650 V	ON	OFF
11,00 V	13,84 V	0,651 V	ON	OFF
10,81 V	13,83 V	0,650 V	ON	OFF
10,60 V	13,85 V	0,650 V	ON	OFF
10,40 V	13,85 V	0,652 V	ON	OFF
10,20 V	-13,06 V	-1,30 V	OFF	ON
10,01 V	-13,06 V	-1,30 V	OFF	ON



Gambar 13 : Set-up Pengukuran dengan $E_i = 13,83$ V serta $V_o = 13,85$ V

6. Kesimpulan

Dalam pembuatan prototipe sistem pengendali tegangan baterai ini, dapat ditarik kesimpulan secara umum alat pengendali yang dibuat ini dapat berfungsi dengan baik, hal ini dibuktikan dengan hasil pengukuran dalam skala laboratorium maupun uji coba peralatan di lapangan. Dengan demikian peralatan elektronik untuk pengendali tegangan ini, dapat memberikan perlindungan dari pembebanan akibat tegangan lebih (over load voltage) serta dapat menjaga baterai agar selalu dalam kondisi penuh (steady state).

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai melalui DIPA Program Tematik LIPI tahun anggaran 2006. Dalam kesempatan ini juga Kami sampaikan ucapan terima kasih atas kesempatan yang diberikan untuk mempublikasikan hasil penelitian ini. Ucapan yang sama Kami sampaikan juga kepada rekan-rekan yang telah memberikan bantuan dalam penelitian ini.

7. Daftar Pustaka

1. NITTETSU ELEX CO.,LTD.,NS Cycle Tester (Accumulator Charge and Discharge Test System), Japan, <http://www.google.com>.
2. Syam Hardy, 1983, "Dasar-dasar Teknik Aliran Rata (1)", PT. Bina Aksara - Jakarta, Hal 72.
3. Robert F. Coughlin; Frederick F. driscoll; S. Herman Widodo, "Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linier", Erlangga - Jakarta, Edisi Kedua, 1992, Hal 53- 67
4. Deni Permana, Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi, Volume III, Nomor 1, Bulan Oktober November 2002, Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI, Hal 23 30.

Pembuatan Detonation Gun untuk Pelapisan Tipis

Masbah R.T. Siregar dan Farid W. Machmud

Pusat Penelitian Fisika
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Komplek PUSPIPTEK Serpong, Tangerang, Banten 15314
E-mail : masb001@lipi.go.id

Abstract

A detonation gun (D-Gun) apparatus has been designed and constructed for thin films coatings. The D-Gun has been integrated to another part such as powder feeder, electronic controller, gas distributor, water cooling and target holder for ceramic coating on metal substrates. In this paper several aspects of the design and the construction of D-Gun will be discussed with an emphasis on the fuel gas-oxygen mixture and geometry of the barrel. Testing of the performance of the D-Gun was done in the detonation aspect as well as the coating. The testing results show that the D-Gun apparatus is functioning well for deposition of alumina.

Keywords : *detonation gun, thin film*

Abstrak

Telah dilakukan perancangan dan pembuatan alat Detonation Gun (D-Gun) untuk pelapisan tipis. D-Gun tersebut telah diintegrasikan dengan bagian-bagian lain seperti powder feeder, kontrol elektronik, distributor gas, pendingin air dan holder target untuk pelapisan bahan keramik pada berbagai substrat logam. Dalam makalah ini ditinjau berbagai aspek dalam perancangan dan pembuatan D-Gun, terutama yang menyangkut campuran bahan bakar gas-oksigen dan geometri laras/pipa. Juga telah dilakukan pengujian terhadap kinerja alat pelapis D-Gun, baik yang menyangkut aspek detonasinya maupun dari aspek pelapisannya. Hasil-hasil pengujian menunjukkan bahwa alat pelapis D-Gun ini telah berfungsi dengan baik pada pelapisan alumina.

Kata Kunci : *detonation gun, film tipis*

1. Pendahuluan

Teknologi pelapisan tipis telah berkembang maju sesuai dengan kebutuhan dan aplikasinya. Beberapa teknologi mempunyai keunggulan tertentu sehingga tidak dapat digunakan untuk semua kebutuhan. Detonation gun dengan teknologi spray termal mempunyai keunggulan dengan menggunakan bahan pelapisan berbentuk serbuk (powder) yang mempunyai temperatur tinggi. Hal-hal ini memberikan keunggulan untuk pelapisan bahan-bahan isolator berupa keramik maupun gelas.

Keunggulan lain dari *spray termal* ini adalah dapat menghasilkan lapisan yang berkualitas tinggi [1], khususnya untuk bahan-bahan yang memerlukan ketahanan terhadap panas, aus dan

korosi pada bahan substrat. Proses ini mencakup proses lucutan listrik, pembakaran gas dan plasma. Proses pembakaran campuran gas dalam spray termal dilakukan dalam suatu ruang bakar dan dikenal sebagai detonation gun (D-Gun).

Keunggulan dari proses ini mencakup suhu pembakaran yang tinggi (~ 5000 K) dan tekanan dalam ruang bakar dapat mencapai sekitar 7 Mpa [2]. Suhu dan tekanan tinggi ini dapat menghasilkan gelombang detonasi yang disalurkan melalui pipa ke suatu target. Partikel berukuran micron atau powder yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar akan meleleh atau mendekati titik leleh dan bersama gelombang detonasi akan menuju target dengan kecepatan 600-1200 m/s [3]. Berbagai bahan berbentuk powder dapat dilapiskan seperti logam, alloy, carbide, keramik dan cermet [4].

Transisi ke detonasi, penjaralan dan transmisi gelombang detonasi sangat bergantung pada campuran bahan bakar gas-oksigen dan geometri di mana gas-gas tersebut diinjeksikan, yakni ruang bakar dan laras/pipa yang disebut saluran pemercepat [5]. Agar transisi dari penyalaan ke detonasi dapat diwujudkan, dibutuhkan pengetahuan tentang dinamika gas dan termodinamika aliran gas-partikel di dalam alat tersebut.

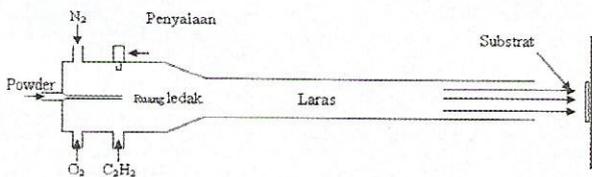
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melengkapi dan mewujudkan sebuah fasilitas spray termal untuk pelapisan tipis baik pada bidang elektronika maupun bidang lainnya dalam lingkungan laboratorium Puslit Fisika-LIPI.

2. Latar Belakang Teori

Gambar 1 menunjukkan gambar diagram dari D Gun. Dalam gambar tersebut terlihat ruang ledak, laras, saluran masukan gas dan powder serta target yang berupa substrat yang akan dilapisi. Ruang ledak (ruang bakar) merupakan tempat di mana gelombang detonasi dibangkitkan melalui reaksi pembakaran (untuk contoh digunakan gas acetylene):



yang menghasilkan energi 1,3 MJ/mol [6]. Gelombang ini menjalar sepanjang laras menuju substrat.



Gambar 1: Diagram D Gun

Gelombang detonasi dijelaskan secara teori oleh Chapman dan Jourguet. Teori mereka menggunakan persamaan kekekalan massa, momentum dan energi pada gelombang 1 dimensi, yang memberikan solusi tentang kecepatan detonasi, dan keadaan pembakaran di belakang gelombang detonasi [7]. Teori ini dapat

menghitung kecepatan gelombang detonasi, tekanan, temperatur dan lain-lain bila campuran gas diketahui. Hasilnya adalah :

$$e = Q = n_1 R T_1 (1 + P_2/P_1)(1 - \rho_1/\rho_2)/(2 M_r)$$

Kecepatan gelombang detonasi :

$$u^2 = (P_2/P_1 - 1)(1 - \rho_1/\rho_2) P_1/\rho_1$$

Tekanan produk detonasi :

$$P_2 = 2 \gamma_1 (\gamma_2 - 1) Q P_1 / c_v^2$$

Temperatur reaksi :

$$T_2 = 2 \gamma_2 Q / \{ (\gamma_2 + 1) c_v^2 \}$$

di mana :

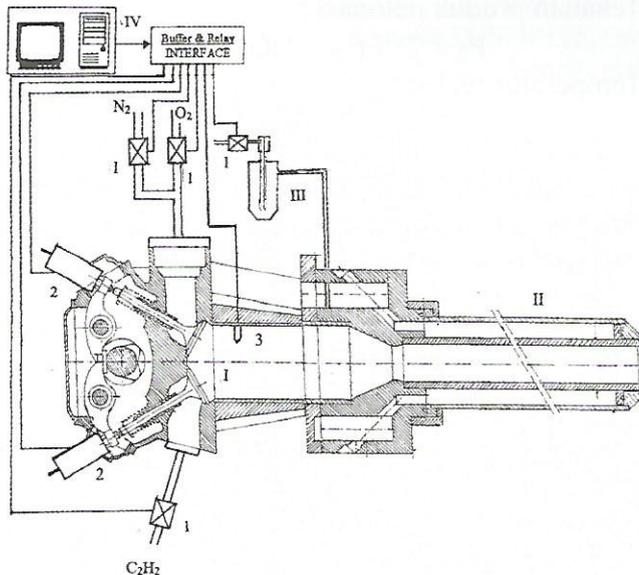
- e = perubahan energi dalam reaksi
- n = jumlah mol
- M_r = massa atom relatif
- R = tetapan universal gas
- P = tekanan
- T = temperatur
- γ = koefisien c_p/c_v
- ρ = massa jenis, kg/m³

Indeks 1, 2 adalah besaran sebelum dan setelah detonasi.

3. Perancangan dan Pembuatan

Dalam perancangan ini digunakan model gas acetylene-oksigen sebagai campuran bahan bakar. Kondisi terjadinya detonasi dinyatakan oleh Q/c_v² > 1, dan ini dipenuhi oleh campuran gas acetylene-oksigen [2]. Parameter lainnya adalah jarak *run time* atau jarak predetonasi. Jika diameter dan panjang laras meningkat, maka jarak predetonasi meningkat. Perhitungan menunjukkan bahwa untuk tabung laras yang licin, perbandingan antara panjang laras dengan diameter laras adalah 20-40. Salah satu masalah dalam perancangan adalah efek *backfiring*, yakni kecenderungan gelombang detonasi menjalar ke segala arah, termasuk membalik ke arah suplai gas, yang dapat menyebabkan ledakan berbahaya. Untuk memperhitungkan efek *backfiring* ini dalam perancangan, maka digunakan ruang bakar dari sepeda motor, di mana terdapat saluran inlet dan pembuangan, kemudian dimodifikasi sehingga

keduanya adalah inlet, yaitu dengan memasang tuas elektromagnetik pada kedua klepnya. Selanjutnya, gerakan buka tutup dikontrol dari sebuah komputer. Dengan menggunakan konstruksi sebuah blok SS, ruang bakar ini disambung ke laras.



Gambar 2 : Gambar konstruksi D-Gun

Konstruksi dari D-Gun ditunjukkan dalam Gambar 2, terdiri dari bagian-bagian utama dari D-Gun adalah ruang bakar (I) dan laras dinding ganda (II). Kedua bagian ini diintegrasikan dengan powder feeder (III), kontroller elektronik (IV), distributor gas (V), substrat holder, tabung-tabung penyuplai gas dan penyuplai air pendingin.



Gambar 3 : Gambar D-Gun

4. Percobaan

Proses pelapisan dengan D-Gun dengan menggunakan powder alumina (Al_2O_3) telah dicoba dengan tahapan berikut :

1. Campuran gas acetylene-oksigen diinjeksikan melalui kedua inlet ke ruang bakar
2. Pada saat pertengahan injeksi gas-gas tersebut, powder diinjeksikan melalui inlet lainnya ke ruang bakar.
3. Kemudian, pembangkitan ledakan dalam ruang bakar oleh penyalan busi.
4. Pembilasan dengan gas nitrogen melalui inlet oksigen ke ruang bakar untuk memadamkan bara-bara yang tersisa.
5. kembali ke langkah 1.

Dalam proses ini, diulangi dengan frekuensi yang dapat divariasikan antara 1 - 8 Hz. Akibatnya adalah bakaran campuran gas yang menghasilkan detonasi dan gelombang detonasi bertekanan tinggi sambil mempercepat partikel powder ke arah target. Dalam hal ini, partikel powder yang digunakan adalah powder alumina (Al_2O_3). Gambar 4 menunjukkan percobaan pelapisan tersebut, dimana gelombang detonation gun yang merupakan plasma alumina (Al_2O_3) yang ditunjukkan dengan cahaya terang pada gambar.

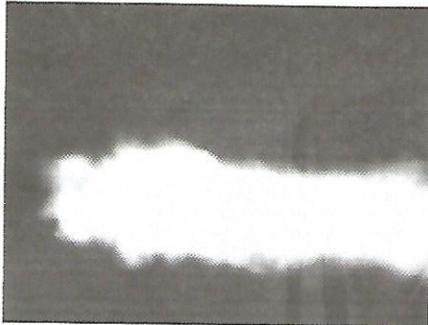


Gambar 4 : Pelapisan dengan D-Gun.

5. Hasil-hasil dan Pembahasan

Pelapis D-Gun ini telah diuji coba dalam berbagai rasio campuran gas acetylene-oksigen. Salah satu hasilnya ditunjukkan oleh sebuah nyala dalam perbandingan acetylene-oksigen 7 : 10 pada

gambar 5. Dalam berbagai gambar yang diambil, campuran oksigen yang kurang menyebabkan nyala yang terbentuk seperti nyala biasa dan akhirnya tidak terjadi ledakan pada perbandingan 9 : 4. Sebaliknya, nyala akan lebih baik bila rasio gas O₂ lebih besar atau sama dengan gas C₂H₂. Percobaan juga telah dilakukan dengan mengatur frekuensi dan jarak ujung laras dengan target.



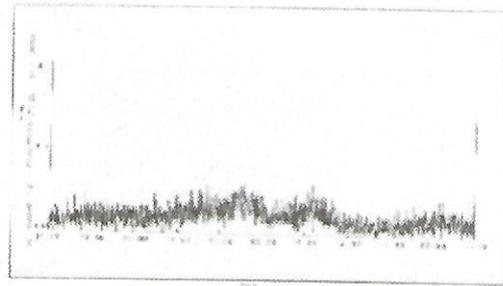
Gambar 5 : Nyala yang Terbentuk pada Rasio C₂H₂ : O₂ = 7 : 10

Percobaan pelapisan alumina juga telah dilakukan dalam kondisi operasi berupa pengaturan tekanan O₂, C₂H₂, N₂, dan tekanan carrier gas. Pengaturan adalah pengaturan jarak tembakan dan frekwensi tembakan yang diberikan pada tabel 5. Bahan powder alumina (Al₂O₃) yang dimasukkan melalui inlet adalah bahan yang akan dilapiskan pada substrat besi dengan dimensi 6 x 6 x 0.3 cm³.

Table 1. Kondisi Operation D- Gun

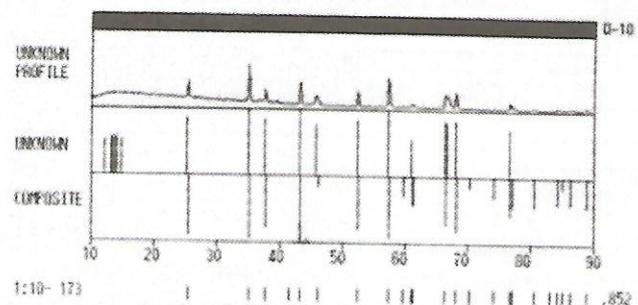
Parameter	Nilai
Tekanan O ₂ (kg/cm ²)	2.0
Tekanan C ₂ H ₂ (kg/cm ²)	0.8
Tekanan N ₂ (kg/cm ²)	3.0
Tekanan Carrier gas (Psi)	4 - 7
Jarak tembakan (mm)	150
Frekuensi tembakan (Hz)	1 - 8

Hasil pemeriksaan diffraksi sinar X untuk contoh hasil pelapisan seperti diperlihatkan pada gambar 6 untuk powder alumina yang digunakan sebelum percobaan dan gambar 7 adalah hasil lapisan dalam percobaan ini dengan detonation gun pada frekwensi 1 Hz.



Gambar 6 : Pola diffraksi sinar X dari contoh alumina sebelum pelapisan

Gambar 6 diatas memperlihatkan pola diffraksi sinar X untuk contoh alumina sebelum proses penembakan. Dari gambar tersebut terlihat bahwa contoh alumina yang digunakan masih dalam bentuk amorf. Jadi belum mengidentifikasi adanya kristal. Sementara pada gambar 7, memperlihatkan pola diffraksi sinar X untuk hasil pelapisan tipis alumina.

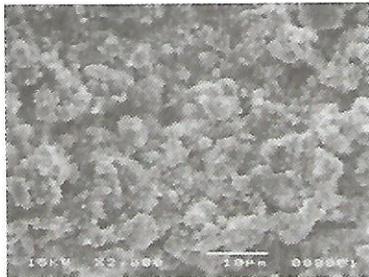


Gambar 7 : Hasil diffraksi sinar X dari contoh Pelapisan Alumina

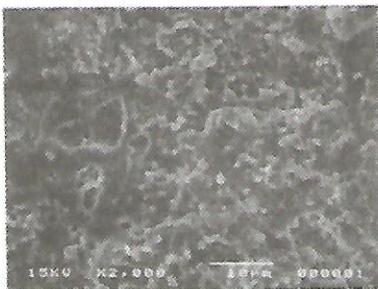
Pada gambar 7 yang menampilkan hasil diffraksi sinar X untuk contoh alumina hasil pelapisan, terlihat dengan mulai terbentuknya kristal yang ditandai dengan adanya puncak-puncak yang terbentuk. Dengan memprediksi bahwa struktur kristal yang akan dicari (unknown) adalah struktur Alumina (Al₂O₃), dari hasil analisis dan pemeriksaan menunjukkan bahwa 85 % dari puncak yang ada mengidentifikasi adanya struktur Alumina, sementara 15 % lagi adalah senyawa-senyawa lain.

Gambar 8 dan 9 memperlihatkan foto SEM dari contoh hasil pelapisan powder alumina pada

plat besi dengan frekuensi 1 Hz dan 3 Hz dengan perbesaran 2000 x.



Gambar 8 : Foto SEM hasil pelapisan alumina dengan frekuensi 1 Hz pada perbesaran 2000 x



Gambar 9 : Foto SEM hasil pelapisan alumina dengan frekuensi 3 Hz pada perbesaran 2000 x

Dari foto tersebut terlihat Hasil foto SEM untuk frekuensi pelapisan 3 Hz menunjukkan hasil yang baik dimana pada frekuensi ini hasil pelapisannya terlihat dengan struktur yang lebih rapat dan rata. Ketebalan pelapisan dapat dilakukan dengan mengatur waktu detonasi pada frekwensi tertentu yang telah ditetapkan.

6. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil-hasil dan pembahasan maka berdasarkan perancangan telah berhasil dibuat detonation gun dengan melakukan pengujian pelapisan alumina (Al_2O_3). Dari hasil-hasil yang diperoleh dapat disimpulkan:

1. Ujicoba percobaan detonasi menunjukkan bahwa alat pelapis D-Gun telah bekerja dengan baik. Hal ini ditunjukkan oleh hasil-hasil pemotretan yang menunjukkan optimasi rasio C_2H_2 O_2 pada perbandingan 7:10.
2. Ujicoba pelapisan alumina menunjukkan kinerja pelapisan yang memenuhi syarat, yang

terlihat dari hasil karakterisasi XRD yang menunjukkan terbentuknya lapisan kristal dan SEM yang menunjukkan densiti kristal tersebut.

Dalam aplikasi bidang elektronika untuk dapat dilakukan dengan teknologi ini terutama untuk bahan-bahan isolator yang mempunyai titik lebur tinggi dan bahan-bahan semi-konduktor yang berbentuk bubuk seperti yang telah dilakukan dalam uji coba pelapisan bahan alumina dalam percobaan ini.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Program Kompetitif Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Fisika yang telah memfasilitasi penelitian ini.

7. Daftar Pustaka

1. P. Saravanan, V. Selvarajan, D.S. Rao, S.V. Joshi, G. Sundararajan, "Influence of process variables on the quality of detonation gun sprayed alumina coatings, *Surface and Coatings Technology* 123" (2000) 44-54.
2. E.Kadyrov, "Gas-particle interaction in detonation spraying systems", *Journal of Thermal Spray Technology* 5 (2) (1996) 185-195.
3. T. Babul, A. Nakonieczny, "Gas detonation technology of surface hardening", *The 7th International Conference on Shot Peening*, Warsaw, 419-425.
4. R.C. Tucker, "Detonation gun coatings", *Journal of Metals*, February (1986) 66-67.
5. K. van Wingerden, at. al, "Detonation in Pipes and the Open", *Christian Michelsen Research*, Bergen, Norway.
6. Perry's Chemical Engineering Handbook 7ed.
7. J.A. Owczarck, "Fundamental of Gas Dynamics", *International Textbook Company*, hal. 17

Aturan Penulisan Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi PPET LIPI

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



LIPI

JURNAL

ELEKTRONIKA dan TELEKOMUNIKASI

PUSAT PENELITIAN ELEKTRONIKA DAN TELEKOMUNIKASI - LIPI

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

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