

## KARAKTERISASI DOMAIN WAKTU ANTENA BOWTIE UJUNG SIRKULER 1- 2 GHZ DENGAN RESPON IMPULS TERNORMALISASI

Joko Suryana, Andriyan B. Suksmono, dan Tati R. Mengko

Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132, Indonesia

E-mail: [joko@ltrgm.ee.itb.ac.id](mailto:joko@ltrgm.ee.itb.ac.id), [jokosuryana90@yahoo.com](mailto:jokosuryana90@yahoo.com)

### Abstrak

Analisis domain frekuensi dapat memberikan informasi karakteristik antena yang cukup kompak, baik untuk parameter *gain* terhadap frekuensi, parameter pola radiasi terhadap frekuensi, maupun impedansi masukan terhadap frekuensi. Namun demikian, dalam aplikasi dimana waktu atau ruang menjadi perhatian utama, analisis domain waktu menjadi sangat penting, terutama untuk aplikasi GPR, penentuan waktu pantul dan profil *range* dari pencitraan target memerlukan bantuan analisis domain waktu / ruang. Dalam paper ini, akan dipaparkan teori klasik karakterisasi sistem dalam domain waktu, kemudian dipaparkan permodelan matematik untuk penerapannya pada karakterisasi antena *Bowtie* ujung Sirkuler yang bekerja pada frekuensi 1 – 2 GHz. Dari hasil pengukuran respon impuls ternormalisasi, diperoleh kesimpulan bahwa antena *Bowtie* yang telah diimplementasikan ini memiliki respon impuls ternormalisasi yang baik dengan *ringing* yang kecil, sehingga sesuai untuk aplikasi GPR.

### Abstract

**Time Domain Characterization of 1-2 GHz Circular-ended Bowtie Antenna Using Normalized Impulse Response.** Frequency domain analysis is a powerful and compact tool for characterizing the antenna parameters such as gain, radiation pattern and the impedance as a function of frequency. However, if time or space is a major concern, such as in the GPR application, the time domain analysis would be a very important tool due to their unique capability for determining the echo delay and range profile of target image. In this paper, we will describe the classical theory of system characterization in time domain, and then also propose the mathematical model for characterizing the 1 – 2 GHz circular-ended Bowtie antenna. From the measurement results, we concluded that the implemented Bowtie antenna has good normalized impulse response with very small ringing, so it is suitable for GPR applications.

*Keywords: time domain analysis, circular ended bowtie, normalized impulse response*

### 1. Pendahuluan

Pada saat antena dieksitasi dengan suatu gelombang, kebergantungan frekuensi dari parameter-parameter antena lebih sering dianalisis dalam domain frekuensi pada lebar pita kerja operasinya. Analisis domain frekuensi memang menyediakan informasi karakteristik antena yang cukup kompak baik untuk parameter *gain* terhadap frekuensi, parameter pola radiasi terhadap frekuensi serta impedansi masukan terhadap frekuensi [1]. Namun demikian, dalam aplikasi dimana waktu atau ruang menjadi perhatian utama, analisis domain waktu menjadi sangat penting.

Sebagai contoh, dalam aplikasi GPR, penentuan waktu pantul dan profil *range* dari pencitraan target memerlukan bantuan analisis domain waktu/ruang [2].

Sehingga, untuk aplikasi GPR, parameter antena seperti *gain*, atau pola radiasi menjadi kurang penting dibandingkan dengan karakteristik *ringing* antena [3,4], amplituda maksimum yang boleh diterima antena ataupun durasi respons. Oleh karena itu, dalam perkembangannya, analisis domain waktu dari karakteristik antena menjadi kajian yang serius untuk peningkatan kinerja dari penginderaan dengan gelombang mikro.

### 2. Metode Penelitian

Dalam paper ini, akan dipaparkan teori klasik karakterisasi sistem dalam domain waktu, kemudian dipaparkan permodelan matematik untuk penerapannya pada karakterisasi antena *Bowtie* ujung Sirkuler yang bekerja pada frekuensi 1 – 2 GHz.

Antena dapat dikategorikan sebagai sistem linier, dimana karakteristiknya dapat dideskripsikan dalam respons impuls (domain waktu) maupun fungsi transfer (domain frekuensi). Secara matematis hubungan keluaran dan masukan antena mengikuti persamaan integral konvolusi sebagai berikut [5]:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau) \cdot x(t - \tau) d\tau \quad (1)$$

Dengan:

$x(t)$  adalah sinyal masukan antena

$y(t)$  adalah sinyal keluaran antena

$h(t)$  adalah respon impuls dari antenna

Persamaan diatas juga dapat ditulis dalam notasi operator konvolusi '\*':

$$y(t) = h(t) * x(t)$$

Sedangkan dalam domain frekuensi persamaan di atas dapat ditulis sebagai:

$$Y(\omega) = H(\omega) \cdot X(\omega)$$

Dengan  $Y(\omega)$  dan  $X(\omega)$  merupakan transformasi Fourier dari keluaran  $y(t)$  dan masukan  $x(t)$  dan  $H(\omega)$  merupakan fungsi transfer antena yang persamaannya diperoleh dari transformasi Fourier atas respon impuls  $h(t)$  [5].

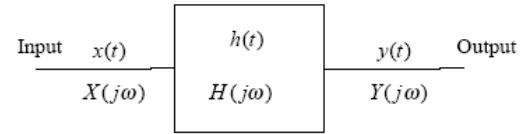
$$H(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} h(t) \cdot e^{-j\omega t} dt \quad (2)$$

Representasi karakterisasi antena dalam domain waktu dan domain frekuensi dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 1.

Gambar 2 memperlihatkan model antena pemancar sebagai sistem linier [1] yang terletak pada koordinat asal di titik  $r = 0$ .

Suatu tegangan sebesar  $V_s$  ke antena diumpangkan sebagai masukan. Medan yang teradiasi yaitu  $E_{rad}(r, t)$  di titik  $P$  pada medan jauh dapat ditulis sebagai [1]:

$$E_{rad}(r, t) = \frac{1}{2\pi r c f_s} \cdot \frac{dh_{tx}(a_r, t)}{dt} * V_{ant} * \partial(t - t_{d,tx}) \quad (3)$$



Gambar 1. Representasi sistem linier

dengan:

$$V_{ant} = \tau_{tx} \cdot V_s$$

$$\tau_{tx} = \frac{2Z_a}{Z_c + Z_a}$$

$$f_g = \frac{Z_a}{Z_0}$$

Dimana  $h_{tx}(a_r, t)$  didefinisikan sebagai respon impuls dari antena pemancar pada arah  $a_r$ ,  $V_{ant}$  merupakan tegangan eksitasi ke antena  $\tau_{tx}$  merupakan koefisien transmisi tegangan dari kabel ke antena  $Z_a$  merupakan impedansi masukan antena dan  $Z_c$  adalah impedansi saluran.

Sedangkan konvolusi persamaan terhadap fungsi Dirac  $\delta(t - t_{d,tx})$  merupakan *delay* akibat waktu propagasi dari antena ke titik  $P$ , dimana harga  $E_{rad}$  dievaluasi.

Bila kita hanya meninjau polarisasi linier saja maka persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi:

$$E_{rad}(r, t) = \frac{\tau_{tx}}{2\pi r c f_s} \cdot h_{tx}(a_r, t) * \frac{dV_s(t)}{dt} * \partial(t - t_{d,tx}) \quad (4)$$

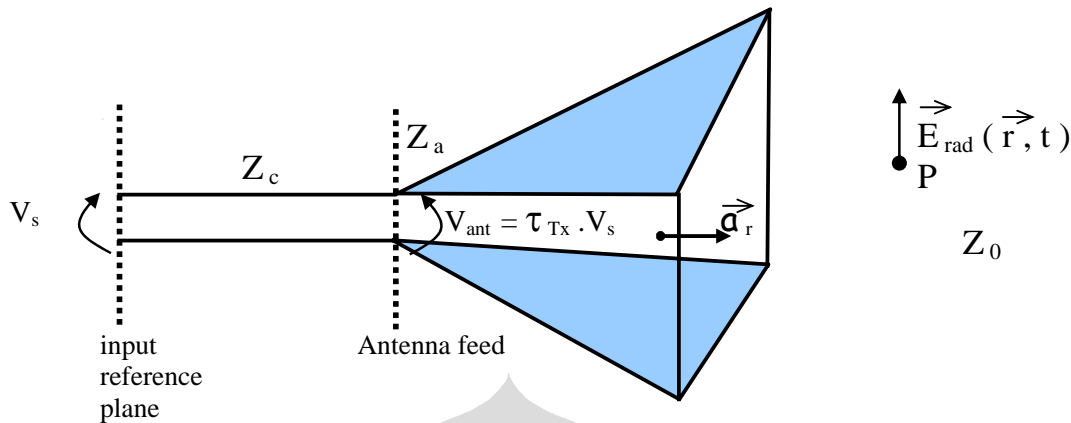
Sedangkan pada kasus antena penerima, model antena yang digunakan untuk penurunan persamaan sinyal terima antena adalah seperti dilukiskan pada Gambar 3 [1].

Pada kondisi, dimana polarisasi didominasi oleh polarisasi linier, maka tegangan keluaran  $V_{rec}(t)$  yang terukur oleh osiloskop oleh suatu medan datang adalah [1]:

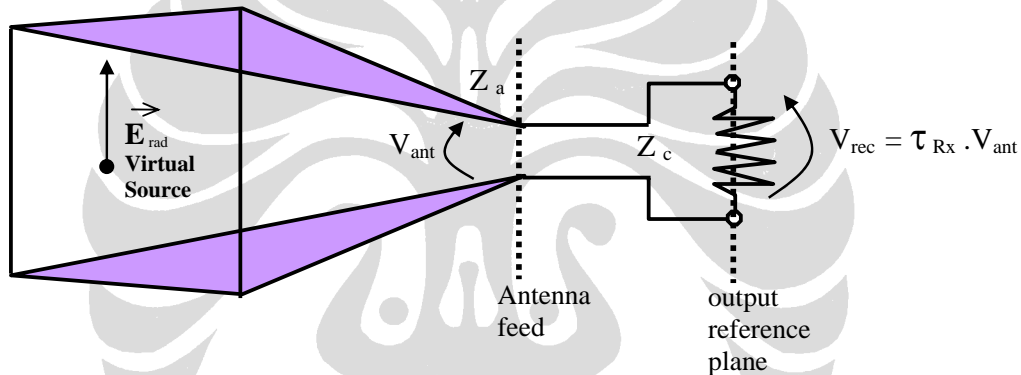
$$V_{rec}(t) = \tau_{rx} \cdot h_{rx}(-a_r, t) * E_{inc,vs}(t) * \partial(t - t_{d,rx}) \quad (5)$$

dengan:

$$\tau_{rx} = \frac{2Z_c}{Z_c + Z_a}$$



Gambar 2. Model antenna pemancar sebagai sistem linier [1]



Gambar 3. Model antenna penerima sebagai sistem linier [2]

Dalam hal ini,  $h_{rx}(-a_r, t)$  merupakan respon impuls dari antenna penerima pada arah  $-a_r$  dan  $t_{d,tx}$  merepresentasikan waktu propagasi antara sumber dengan titik referensi penerimaan yaitu posisi dimana  $V_{rec}(t)$  terukur. Bila antenna pemancar dan penerima merupakan sepasang antenna yang identik, maka  $h_{tx} = h_{rx}$ .

Kelemahan penggunaan persamaan respon impuls antenna pemancar dan antenna penerima diatas (persamaan 4 dan 5) adalah bahwa secara realitas harga  $Z_a$  bergantung pada frekuensi, sehingga  $\tau_{tx}$ ,  $\tau_{rx}$  dan  $f_g$  tidak berharga konstan. Oleh karena itu, diperlukan persamaan respon impuls ternormalisasi untuk mengatasi kelemahan ini.

Normalisasi persamaan respon impuls antenna pemancar dan penerima dilakukan dengan pembagian persamaan-persamaan sebelumnya oleh impedansi karakteristik lokal, sehingga persamaan menjadi:

$$\frac{E_{rad}(r, t)}{\sqrt{Z_o}} = \frac{1}{2\pi rc} h_{N,tx}(a_r, t) * \frac{1}{\sqrt{Z_c}} \frac{dV_s(t)}{dt} * \partial(t - t_{d,tx}) \quad (6)$$

$$\frac{V_{rec}(t)}{\sqrt{Z_c}} = h_{N,rx}(-a_r, t) * \frac{E_{inc,vs}(t)}{\sqrt{Z_o}} * \partial(t - t_{d,rx}) \quad (7)$$

Dengan  $h_{N,tx}$  dan  $h_{N,rx}$  merupakan respon impuls antenna pemancar dan penerima yang ternormalisasi sebagai:

$$V_{rec}(t) = \frac{1}{2\pi Rc} h_{N,tx}(a_r, t) * h_{N,rx}(-a_r, t) * \frac{dV_s(t)}{dt} * \partial(t - t_{d,tx} - t_{d,rx}) \quad (8)$$

dengan persamaan  $h_{N,tx}$  dan  $h_{N,rx}$  ( respon impuls antenna pemancar dan penerima yang ternormalisasi):

$$h_{N,tx} = \sqrt{\frac{Z_c}{Z_a}} \frac{\tau_{rx}}{\sqrt{f_g}} h_{rx}$$

$$h_{N,rx} = \sqrt{\frac{Z_a}{Z_c}} \frac{\tau_{rx}}{\sqrt{f_g}} h_{rx}$$

Bila kedua antenna identik, maka kombinasi persamaan-persamaan diatas menjadi:

$$\frac{V_{rec}(t)}{\sqrt{Z_c}} = h_{N,rx}(-a_r, t) * \frac{E_{inc,vs}(t)}{\sqrt{Z_o}} * \partial(t - t_{d,rx}) \tag{9}$$

Alat ukur yang dipergunakan dalam pengukuran respon impuls antenna ternormalisasi adalah *Vector Network Analyzer*. Karena VNA mengukur besaran dalam domain frekuensi, maka persamaan kombinasi di atas harus diformulasikan juga ke dalam persamaan domain waktu dengan melakukan transformasi Fourier.

Untuk kasus dimana kedua antenna identik maka diperoleh fungsi transfer antenna:

$$H_N(\omega) = \sqrt{\frac{2\pi R_c V_{rec}(\omega)}{j\omega V_s(\omega)}} e^{j\omega(t_{d,tx} + t_{d,rx})} \tag{10}$$

Dalam hal ini, *delay total* yaitu  $t_{d,tx} + t_{d,rx}$  dapat diganti dengan  $R/c$ , sedangkan parameter  $V_{rec}(\omega) / V_s(\omega)$  merupakan parameter  $S_{21}$  antara port 1 dan port 2 VNA. Sehingga persamaan diatas dapat ditulis kembali dalam bentuk yang lebih kompak:

$$H_N(\omega) = \sqrt{\frac{2\pi R_c}{j\omega}} S_{21} e^{j\omega \frac{R}{c}} \tag{11}$$

Begitu  $S_{21}$  terukur, maka kita mempunyai fungsi transfer antenna ternormalisasi, dan setelah melakukan inverse transformasi Fourier, respon impuls antenna ternormalisasi bisa diperoleh.

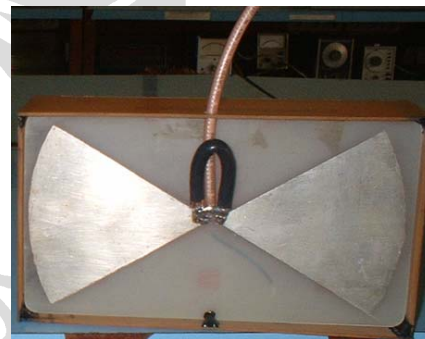
Dalam eksperimen ini, diimplementasikan antenna *bowtie* dengan tepian sirkuler dengan sudut *flare* 70° sebagaimana dilukiskan pada Gambar 4. Antena *bowtie* merupakan keluarga antenna *bicone* [6] dalam bentuk planar 2D yang memiliki *bandwidth* frekuensi kerja yang sangat lebar. Pemilihan antenna *bowtie* pada sistem SFR ini selain didasarkan pada sifat lebar pita frekuensi kerja, juga karena kesederhanaan dalam implementasinya [3]. Dalam desain dan implementasi

antenna *bowtie*, parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja antenna adalah dimensi fisik, yaitu panjang dan lebar efektif antenna, sudut *flare* dari lengan antenna, profil pinggiran antenna, baik sisi maupun ujungnya

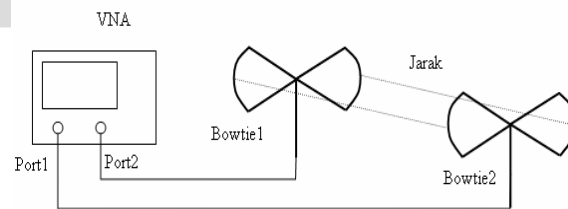
Untuk kebutuhan aplikasi GPR dengan frekuensi kerja 1-2 GHz, antenna *Bowtie* dengan profil ujung antenna sirkuler, sudut *flare* 70° serta dimensi panjang efektif 25 cm sudah memenuhi daerah kerja yang dipersyaratkan.

Pengukuran  $S_{21}$  dilakukan untuk mengetahui karakteristik transmisi dari sistem. Dalam hal ini, dua buah antenna *Bowtie* ujung sirkuler identik digunakan untuk *transmitter* dan *receiver* dengan susunan perangkat seperti pada Gambar 5.

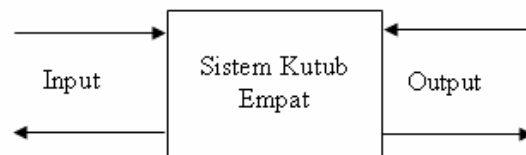
Parameter yang diukur adalah perbandingan daya yang diteruskan ke keluaran (*output*) dengan daya yang datang ke masukan (*input*) sistem. Sistem antenna pada pengukuran ini dapat dimodelkan sebagai kutub empat sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 6.



Gambar 4. Foto antenna *Bowtie* ujung Sirkuler yang diimplementasikan



Gambar 5. Skema pengukuran  $S_{21}$  dengan VNA



Gambar 6. Model Kutub Empat

Karena antenna ini didisain untuk aplikasi GPR pada *range* frekuensi 1 – 2 GHz maka pengukuran parameter  $S_{21}$  ini juga dilakukan pada range frekuensi yang sama, yaitu 1 – 2 GHz dengan jumlah sampel 511 titik untuk jarak antar antenna : 4 cm, 10 cm dan 16 cm.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Berikut ini adalah hasil pengukuran parameter  $S_{21}$  dalam domain waktu beserta respon impuls ternormalisasi antenna *Bowtie* ujung sirkuler untuk jarak kedua antenna 4 cm, 10 cm dan 16 cm seperti terlihat pada Gambar 7.

Untuk membandingkan ketiga respon impuls ternormalisasi tersebut dapat digunakan beberapa parameter penting lebar impuls pada setengah tegangan, luas impuls dan fluktuasi ekor impuls.

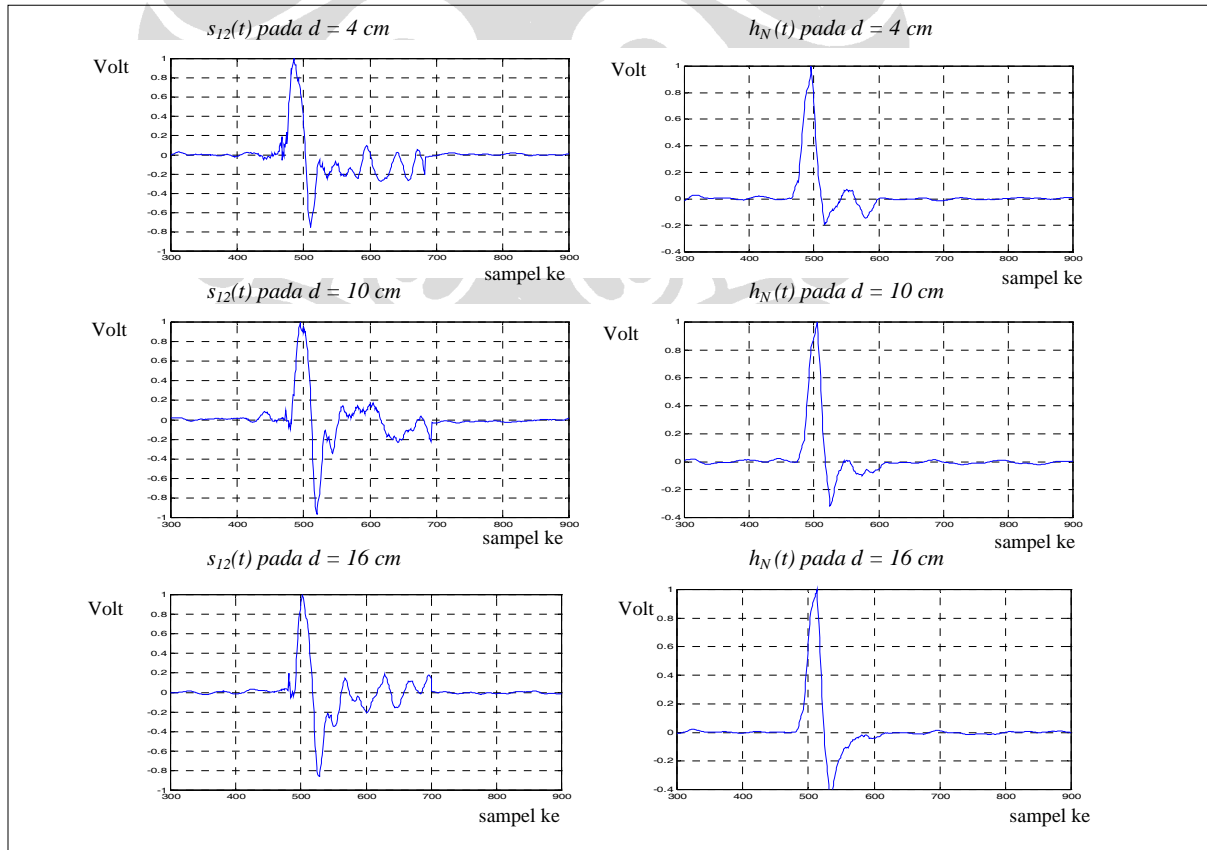
Tabel 1 memperlihatkan perbandingan ketiga karakteristik respon impuls ternormalisasi pada 4 cm, 10 cm dan 16 cm. Pada pengukuran respon impuls ternormalisasi tersebut, faktor jarak dari kedua antenna memberikan pengaruh pada bentuk sinyal, karena pada jarak 4 , 10 dan 16 cm ini, kedua antenna masih dalam

daerah medan dekat [6], dimana interaksi (kopling, pantulan berulang) kedua antenna tersebut masih terasa.

Dari grafik hasil pengukuran respon impuls ternormalisasi diatas juga dapat dibandingkan posisi impuls berbeda sebesar 9 -10 sampel dari untuk beda jarak antar antenna sebesar 6 cm. Hasil ini sangat berdekatan dengan hasil perhitungan terorisit bahwa untuk lebar pita 1 GHz, panjang  $\lambda$  di ruang bebas adalah 30 cm, dimana satu *monocycle* adalah 46 sampel sehingga untuk jarak 6 cm = 0.2  $\lambda$  ekivalen dengan 9 buah sampel.

**Tabel 1. Perbandingan Karakteristik Respon Impuls ternormalisasi pada jarak antar antenna 4 cm, 10 cm dan 16 cm.**

Jarak	Lebar Impuls (sampel)	Luas Impuls (satuan luas)	Fluktuasi Ekor (%)
4 cm	20	0.7	20%
10cm	20	0.65	30%
16cm	17	0.65	40%



**Gambar 7. Hasil pengukuran parameter  $S_{21}(t)$  dan respon impuls ternormalisasi  $h_N(t)$  untuk jarak kedua antenna masing-masing 4 cm, 10 cm dan 16 cm**

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil pengukuran respon impuls ternormalisasi antena *Bowtie* ujung Sirkuler 1 – 2 GHz tersebut dapat disimpulkan bahwa antena ini memiliki *ringing* yang cukup kecil, sehingga sesuai untuk aplikasi GPR. Antena *bowtie* tipe ini tidak berkontribusi pada degradasi *waveform* sinyal kirim dan *echo* GPR, tetapi hanya berfungsi sebagai *convolver* tipe unit *delay* dari sinyal yang dipancarkan oleh GPR dan juga berfungsi unit *delay* pada saat penerimaan sinyal pantul.

#### Daftar Acuan

- [1] B. Scheers, Ph.D Dissertation, Universite Catholique De Louvain Laboratoire D'Hyperfrequences, Belgia, 2001.
- [2] D.J. Daniels, Surface Penetrating Radar, The Institution of Electrical Engineers, London, 1996.
- [3] A.A. Lestari, Ph.D Dissertation, TU-Delft, The Netherland, 2003.
- [4] A.G. Yarovoy, P. J. Aubry, L.P.Ligthart, Proceedings of Millennium Conference on Antennas & Propagation, Davos, Switzerland, 2000.
- [5] J.G. Proakis, D.G. Manolakis, Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications, 3rd ed., Prentice Hall, New Jersey, 1996.
- [6] C.A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design, John Wiley & Sons, New York, 1997.

