

PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA ULTRA-WIDEBAND 800-2400 MHZ UNTUK APLIKASI KOGNITIF RADIO

DESIGN AND REALIZATION ULTRA-WIDEBAND ANTENNA 800-2400 MHZ FOR RADIO COGNITIVE APPLICATION

Putra Kurniawan¹, Heroe Wijanto², Yuyu Wahyu³

^{1,2}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bandung

¹putrakarua@students.telkomuniversity.ac.id, ²heroew@telkomuniversity.ac.id,
³yuyuwahyuas@gmail.com

Abstrak

Keperluan masyarakat akan komunikasi nirkabel atau *wireless* belakangan ini semakin meningkat dan sudah seperti kebutuhan utama. Dengan adanya sarana telekomunikasi yang handal dan murah membuat masyarakat menjadi lebih mudah untuk melakukan komunikasi. Karena itu, informasi yang dapat di transmisikan mulai berubah dari komunikasi suara menuju data dan multimedia. Namun ketersediaan spektrum frekuensi berbanding terbalik dengan kebutuhan masyarakat. Untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yang tinggi akan sarana telekomunikasi nirkabel, maka *bandwidth* yang dibutuhkan semakin besar. Tetapi, sebagian besar spektrum frekuensi sudah dialokasikan pengguna tertentu, atau layanan tertentu. Masih jarang tersedianya jenis antena yang mampu mendukung teknologi *cognitive radio* dikarenakan Bandwidth yang kecil.

Dalam tugas akhir ini, dengan menggunakan simulator elektromagnetik, akan dirancang dan disimulasikan antena mikrostrip UWB dengan *coplanar waveguide* untuk aplikasi *Radio Cognitive* yang dapat digunakan pada frekuensi 800-2400 MHz. Hasil dari perancangan dan realisasi antena yang bekerja dari frekuensi 800-2400 MHz dengan pola radiasi *omnidirectional*; $gain \geq 3\text{dBi}$; impedansi input = 50Ω ; dan $VSWR \leq 2.0$.

Kata kunci : *cognitive radio, antenna microstrip, antenna UWB with coplanar waveguide.*

Abstract

Public necessity about wireless communications or wireless nowadays is increasing and already as main necessity. With the telecommunications facilities that are reliable and cheap to make people become easier for communication. Therefore, information can be transmitted began to change from data and voice communications towards multimedia. But the availability of frequency spectrum is inversely proportional to the needs of society. To fulfill the needs of society about wireless telecommunications facilities, the greater of bandwidth is required. However, most of the frequency spectrum already allocated to specific user, or a particular service. The availability of this type of antenna which capable of supporting cognitive radio technologies due to the small bandwidth is rarely available

In this final project, using electromagnetic simulator, designed and simulate microstrip UWB with coplanar waveguide antenna for Radio Cognitive applications that can be used at a 800-2400 MHz frequency. The results of the design and realization antenna that worked at 800-2400 Mhz frequency with omnidirectional radiation pattern; $gain \geq 3\text{dBi}$; input impedance = 50Ω ; and $VSWR \leq 2.0$.

Keywords: *Cognitive Radio, Antenna Microstrip, Antenna UWB with coplanar waveguide..*

1. Pendahuluan

Kebutuhan masyarakat akan komunikasi nirkabel atau *wireless* belakangan ini semakin meningkat. Dengan adanya sarana telekomunikasi yang handal dan murah membuat masyarakat menjadi lebih mudah untuk melakukan komunikasi. Selain itu, informasi yang dapat ditransmisikan mulai berubah dari komunikasi suara menjadi data dan multimedia. Namun ketersediaan spektrum frekuensi berbanding terbalik dengan kebutuhan masyarakat. Untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yang tinggi akan sarana telekomunikasi nirkabel, maka *bandwidth* yang dibutuhkan semakin besar. Tetapi sebagian besar spektrum frekuensi sudah dialokasikan ke pengguna tertentu atau layanan tertentu.

Saat ini, spektrum radio secara statis dialokasikan dan dibagi antara frekuensi berlisensi dan tidak berlisensi. Karena kebijakan peraturan fleksibel ini, terjadi kelangkaan pada beberapa band frekuensi. Sementara sebagian besar dari seluruh spektrum radio tetap tidak terpakai secara independen dari segi waktu dan lokasi. Kognitif radio adalah paradigma jaringan baru yang memungkinkan penggunaan yang lebih fleksibel dan efisien dari spektrum

radio. Pada dasarnya, hal ini bertujuan untuk memungkinkan perangkat nirkabel untuk mengakses oportunistik bagian dari seluruh spektrum radio tanpa menyebabkan gangguan yang membahayakan bagi pengguna berlisensi [1]

Dalam pengoperasiannya diperlukan tentunya suatu antena yang kompatibel terhadap beberapa jaringan. Dengan menggunakan Broadband Antenna Substrat Fr₄ diharapkan frekuensi dapat melewati band CDMA(800), GSM(900Mhz), 3G (1900Mhz), LTE(1800), maupun WiFi(2400Mhz).

2. Ultra Wideband system (UWB)

Ultra-Wideband (juga dikenal sebagai UWB) adalah teknologi radio yang dipelopori oleh Robert A Scholtz dll, yang dapat menggunakan tingkat energi yang sangat rendah untuk jarak pendek. UWB secara teknis didefinisikan sebagai teknologi radio yang memiliki spektrum yang mampu menempati bandwidth lebih besar dari 20 persen dari frekuensi pusat, atau bandwidth minimal 500 MHz.

UWB dipakai karena memiliki banyak keuntungan, diantara lain:

- Data Rate yang tinggi
- Pathloss yang rendah dan lebih tahan terhadap multipath propagation
- Transceiver yang lebih sederhana dan murah
- Daya kirim yang rendah dan *low interference*
- Keamanan Transmisi

Sejauh ini teknologi *ultra wideband (UWB)* telah banyak di implementasikan dalam berbagai bidang dan berbagai pengaplikasian, seperti sistem komunikasi nirkabel, sistem anti tabrakan pada kendaraan bermotor, penentuan lokasi objek di dalam ruangan dan sebagainya [10]

$$f_h - f_l > 500 \text{ MHz} \quad (2.a)$$

Atau memiliki fractional bandwidth,

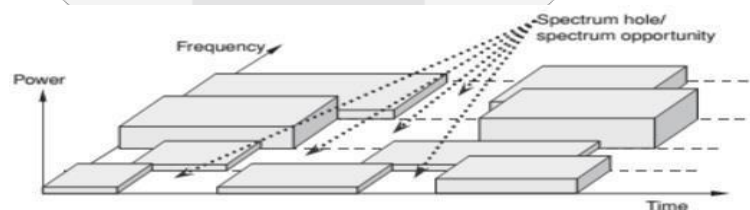
$$\beta = \frac{f_h - f_l}{f_c} > 0,2 \quad (2.b)$$

Dimana f_l dan f_h merupakan frekuensi terendah dan tertinggi pada level -10 dB dari level tertingginya. [11]

2.1 Cognitive Radio

Istilah "*Cognitive Radio*" (CR) dikemukakan oleh Joe Mitola pada tahun 1999-2000 dan dipublikasi pada beberapa media dan buku tesisnya. Istilah ini menggambarkan suatu gelombang radio 'cerdas' yang mandiri dan mampu membuat keputusan menggunakan kumpulan informasi tentang frekuensi dari lingkungan di sekitarnya. *Cognitive Radio* merupakan suatu teknologi yang bisa dijadikan solusi untuk mengatasi keterbatasannya sumber daya spektrum frekuensi. *Cognitive Radio* mampu menyesuaikan frekuensi yang dibutuhkan sesuai dengan kondisi lingkungan sekitar [3].

Radio kognitif sendiri adalah suatu bentuk komunikasi nirkabel dimana transceiver mampu mendeteksi saluran komunikasi yang digunakan dan yang tidak, dan langsung berpindah ke saluran yang tidak terpakai sambil menghindari saluran yang sedang diduduki. Hal ini mengoptimalkan penggunaan ketersediaan frekuensi radio spektrum, sementara gangguan diminimalkan untuk pengguna lain. Teknologi CR adalah paradigma untuk komunikasi nirkabel dimana pengiriman atau penerimaan parameter jaringan atau node nirkabel berubah untuk menghindari gangguan komunikasi dengan pengguna berlisensi atau yang tidak berlisensi[3].

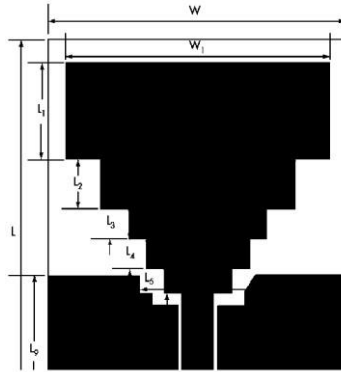


Gambar 1 Lubang Spektrum

Sebuah lubang spektrum (Gambar2.1) umumnya adalah sebuah konsep yang merupakan peluang aman dalam menggunakan spektrum sebagai *non-interfering* dan dianggap sebagai daerah multidimensi dalam frekuensi, waktu, dan ruang. Tantangan utama untuk sistem radio sekunder adalah untuk dapat merasakan ketika mereka berada dalam lubang spektrum tersebut [3]. Teknologi *Cognitive Radio* (CR) merupakan sebuah sistem komunikasi nirkabel 'cerdas' yang mampu menyadari kondisi lingkungan sekitarnya. Informasi tersebut dipakai untuk melakukan perubahan parameter operasi tertentu seperti daya transmisi, frekuensi carrier, ataupun strategi modulasi [6]. Apabila ditemukan kanal kosong (spektrum yang sedang tidak digunakan oleh PU / *Primary User*) maka spektrum tersebut dapat digunakan oleh SU/ *Secondary User* untuk mentransmisikan informasi dengan terlebih dahulu melakukan tahap penyesuaian. Teknologi ini juga mampu membaca kehadiran kembali dari spektrum frekuensi tertentu PU di suatu area sehingga dapat menghentikan transmisi datanya.

3. Antena Mikrostrip

Antena merupakan bagian yang penting dalam suatu sistem komunikasi yang digunakan untuk mentransfer gelombang elektromagnetik yang terbimbing menjadi gelombang yang diradiasikan dalam medium yang bebas untuk dipancarkan ke antena penerima. Antena adalah perangkat yang sangat bergantung dengan frekuensi. Setiap antena dirancang untuk kebutuhan frekuensi tertentu [4].



Gambar 2 Struktur Antena Mikrostrip UWB with coplanar waveguide^[9]

Antena mikrostrip ternyata juga memiliki kekurangan, diantaranya memiliki *bandwidth* yang sempit, memiliki *gain* yang kecil, serta memiliki efisiensi daya yang rendah. Oleh karena itu, perlu beberapa pertimbangan dalam mengatasi hal tersebut.

3.1. Dimensi Untuk Patch UWB dengan Coplanar Waveguide^[13]

Untuk menentukan dimensi dari antena mikrostrip patch UWB, terlebih dahulu harus ditentukan frekuensi tengahnya (*fc*) dimana dapat ditentukan dengan menentukan rentang frekuensi yang akan dipakai. Dimana pada antena ini rentang frekuensi yang digunakan mulai dari 800-2400 Mhz.

$$f_c = \frac{f_1 + f_5}{2} \tag{2.1}$$

Setelah didapat nilai *Fc* (*Frequency Center*) maka frekuensi tersebut dibagi menjadi 5 bagian (*f1, f2, f3, f4, f5*) untuk bisa mencari (*fc1, fc2, fc3, fc4, fc5*) yang dapat ditentukan dengan.

$$f_1 = \frac{f_c}{5} \tag{2.2}$$

$$f_2 = \frac{2f_c}{5} \tag{2.3}$$

$$f_3 = \frac{3f_c}{5} \tag{2.4}$$

$$f_4 = \frac{4f_c}{5} \tag{2.5}$$

$$f_5 = \frac{5f_c}{5} \tag{2.6}$$

Setelah itu dicari nilai *l* material bahan ($\lambda_{g1}, \lambda_{g2}, \lambda_{g3}, \lambda_{g4}, \lambda_{g5}$), dimana

$$\lambda_{g1} = \frac{c}{f_1 \sqrt{\epsilon_r}} \tag{2.7}$$

$$\lambda_{g2} = \frac{c}{f_2 \sqrt{\epsilon_r}} \tag{2.8}$$

$$\lambda_{g3} = \frac{c}{f_3 \sqrt{\epsilon_r}} \tag{2.9}$$

$$\lambda_{g4} = \frac{c}{f_4 \sqrt{\epsilon_r}} \tag{2.10}$$

$$\lambda_{g5} = \frac{c}{f_5 \sqrt{\epsilon_r}} \tag{2.11}$$

Setelah itu barulah menentukan panjang dan lebar patch (*W & L*)

$$W1 = \frac{\lambda_{g1}}{2 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \tag{2.12}$$

$$W2 = \frac{\lambda_{g2}}{2 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \tag{2.13}$$

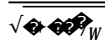
$$W3 = \frac{\lambda_{g3}}{2 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \tag{2.14}$$

$$W4 = \frac{\lambda_{g4}}{2 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \tag{2.15}$$

$$W5 = \frac{\lambda_{g5}}{2 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \tag{2.16}$$

Maka:

$$L = \left(\frac{c}{f_1 \sqrt{\epsilon_r}} \right) + \left(\frac{c}{f_2 \sqrt{\epsilon_r}} \right) + \left(\frac{c}{f_3 \sqrt{\epsilon_r}} \right) + \left(\frac{c}{f_4 \sqrt{\epsilon_r}} \right) + \left(\frac{c}{f_5 \sqrt{\epsilon_r}} \right) \tag{2.17}$$



Dimana: $h = 1,6$; $W = W_1, W_2, W_3, W_4, W_5$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{h}{h + 0.264} \quad (2.18)$$

$$\Delta L = 0.412 h \left(\epsilon_{eff} + 0.258 \right) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right) \quad (2.19)$$

Setelah mendapat nilai ϵ_{eff} dan ΔL maka bisa ditentukan nilai L

$$L = L_{physical} - \Delta L \quad (2.20)$$

Kemudian didapat nilai L_1, L_2, L_3, L_4, L_5 dengan persamaan diatas.

Selain mencari L dan W , pada *patch UWB with coplanar waveguide* ini, kita juga harus menentukan dimensi dari *Stripline* yang dapat dicari dengan cara berikut.

$$L = \frac{2\sqrt{2}(\epsilon_r + 1)}{119.9} + 0.5 \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left(\frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \left(\frac{L}{h} \right)^4 \right) \quad (2.21)$$

Kemudian dicari nilai L . Sehingga ditemukan nilai W

$$\frac{W}{h} = \left[\frac{L}{h} - \frac{1}{4} \right]^{-1} \quad (2.22)$$

Atau bisa juga dilakukan dengan teknik pencatuan *Microstrip Line* seperti penjelasan dibawah.

4. Teknik Pencatuan *Microstrip Line*^[7]

Sebelum menentukan dimensi panjang saluran catuan, periksa terlebih dahulu karakteristik *microstrip line* pada perbandingan lebar saluran catuan terhadap tebal substrat, nilai W/h dan h yang dapat dirumuskan,

Untuk $W/h \leq 1$:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{h}{h + 0.264} + \frac{W}{h} \left(\frac{h}{h + 0.264} + \frac{W}{h} \right) \right) \quad (2.22)$$

$$L = \frac{L_{physical}}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[\frac{h}{W} + \frac{W}{h} \right] \quad (2.23)$$

Untuk $W/h \geq 1$:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{h}{h + 0.264} + \frac{W}{h} \right] \quad (2.24)$$

$$L = \frac{L_{physical}}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[\frac{h}{W} + \frac{W}{h} \right] \quad (2.25)$$

Lebar saluran catuan antenna dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$W = \frac{L}{\pi} \left\{ \frac{2}{\epsilon_r} \left[\frac{L}{h} - \frac{1}{4} \right]^{-1} + \frac{L}{h} \left[\frac{L}{h} - \frac{1}{4} \right]^{-1} \right\} \quad (2.26)$$

Dimana :

$$L = \frac{L_{physical}}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.27)$$

Pada Tugas Akhir ini digunakan transformator $\lambda/4$ sebagai teknik *matching impedance* pada saluran transmisi. Panjang saluran transformator $\lambda/4$ didapatkan dengan persamaan berikut [9]:

$$l = \frac{\lambda}{4} \quad (2.28)$$

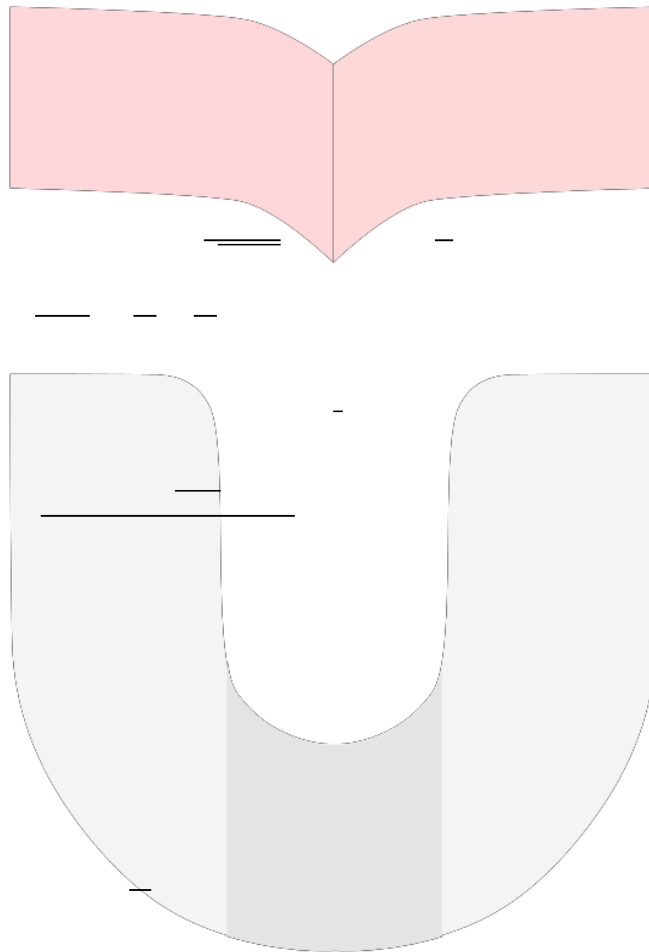
Dimana λ merupakan panjang gelombang dielektrik, didapat dari persamaan

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r} f} \quad (2.29)$$

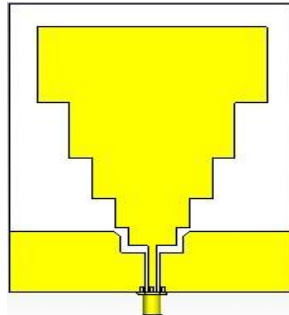
5. Perancangan dan Simulasi

Berikut spesifikasi antena yang akan dibuat^[12]:

- Frekuensi kerja : 0,8– 2,4 GHz
- Frekuensi Tengah : 1,6 GHz
- *Bandwidth* : 1600 MHz
- Pola radiasi : *Omnidirectional*
- Polarisasi : Linier
- VSWR : ≤ 2



- *Return Loss* : < -10 dB
 - *Gain* : ≥ 3 dBi
 - Impedansi input : 50 Ω
- Bahan dielektrik yang digunakan sebagai substrat yaitu, FR4 dengan karakteristik sebagai berikut :
- Permittivitas relative, ϵ_r : 4,4
 - Ketebalan dielektrik, h : 1,6 mm
 - Ketebalan konduktor : 0,035 mm

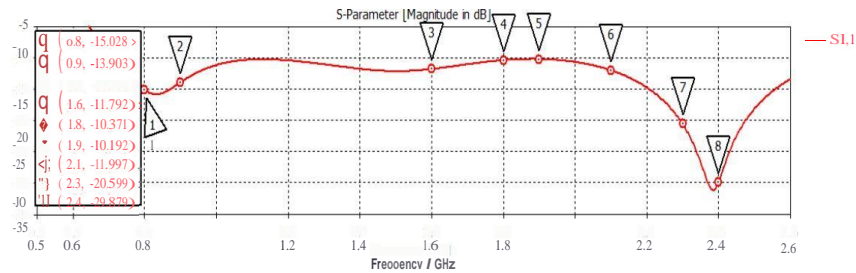


Gambar 3 Perancangan Antena UWB *coplanar waveguide* dengan *connector*

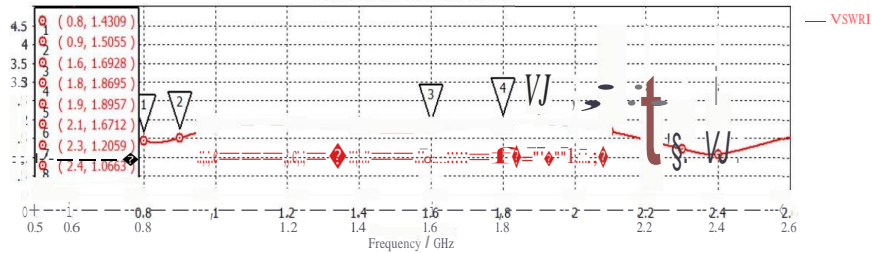
Tabel 2 Perancangan Ulang Dimensi Antena UWB *coplanar waveguide* dengan *connector*

Parameter	Dimensi (mm)	Keterangan	Parameter	Dimensi	Keterangan
	0.9	Gap stripline	L1	33	Panjang Patch 1
	2	Konektor atas	L2	24	Panjang Patch 2
	10	Konektor bawah	L3	17.5	Panjang Patch 3
	1	Konektor ground	L4	12.5	Panjang Patch 4
	1.2	Konektor iner	L5	8	Panjang Patch 5
	1	Konektor solder	L6	20	Panjang Stripline
	4.1	Konektor teflon	L7	17	Panjang Ground 1
	10	Kuping konektor	L8	24	Panjang Ground 2
Patch	0.035	Tebal Patch	L9	26	Panjang Ground 3
Substrat	1.6	Tebal substrat	W5	16	Lebar Patch 5
Substrat_atas	10	Panjang Substrat	W6	10	Jarak Ground 1 ke 2
W1	76	Lebar Patch 1	W7	37	Lebar Ground 1
W2	55	Lebar Patch 2	W8	37	Lebar Ground 2
W3	40	Lebar Patch 3	W9	45	Lebar Ground 3
W4	25	Lebar Patch 4	W10	2,95	Lebar Stripline

5.1. VSWR dan Parameter S_{1,1}



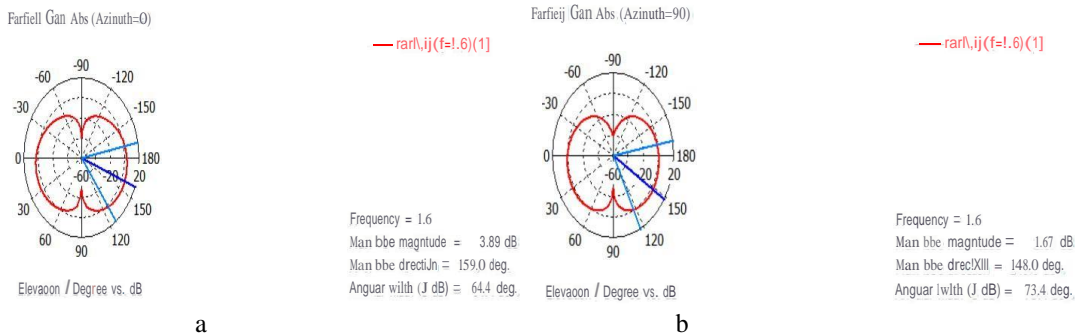
Gambar 4 Grafik Parameter S1,1 Antena UWB Hasil Optimasi



Gambar 5 VSWR Antena UWB coplanar waveguide Hasil Optimasi

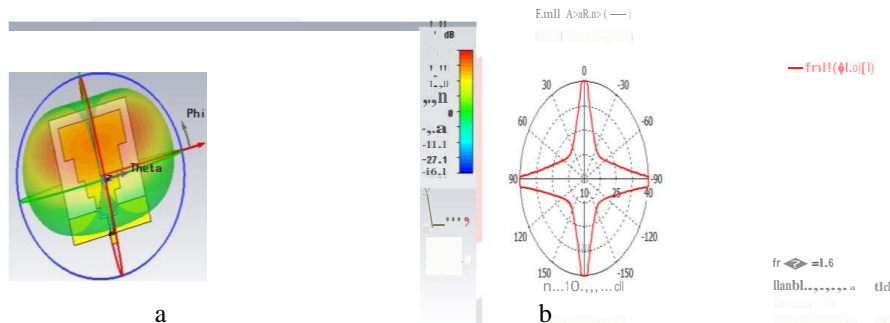
Nilai S1,1 pada perancangan UWB with coplanar waveguide antenna setelah disusun pada frekuensi 1,6 GHz menjadi -11,792 dB. Begitu juga dengan VSWR nilainya adalah 1,628. Sehingga, bandwidth pada antenna telah memenuhi spesifikasi yang diperlukan.

5.2. Pola Radiasi



Gambar 6 a) Pola Radiasi Antena UWB coplanar waveguide Dalam $\phi=(0^\circ, 180^\circ)$, b) Pola Radiasi Antena UWB coplanar waveguide Dalam $\phi=(90^\circ, 270^\circ)$

5.3. Penguatan (Gain) dan Polarisasi



Gambar 7 a) Gain Antena Antena UWB coplanar waveguide, b) Polarisasi Antena UWB Nilai axial ratio pada Antena UWB coplanar waveguide berada pada nilai 40 dB. Nilai axial ratio pada Gambar 7 menunjukkan bahwa antenna memiliki polarisasi linier vertikal.

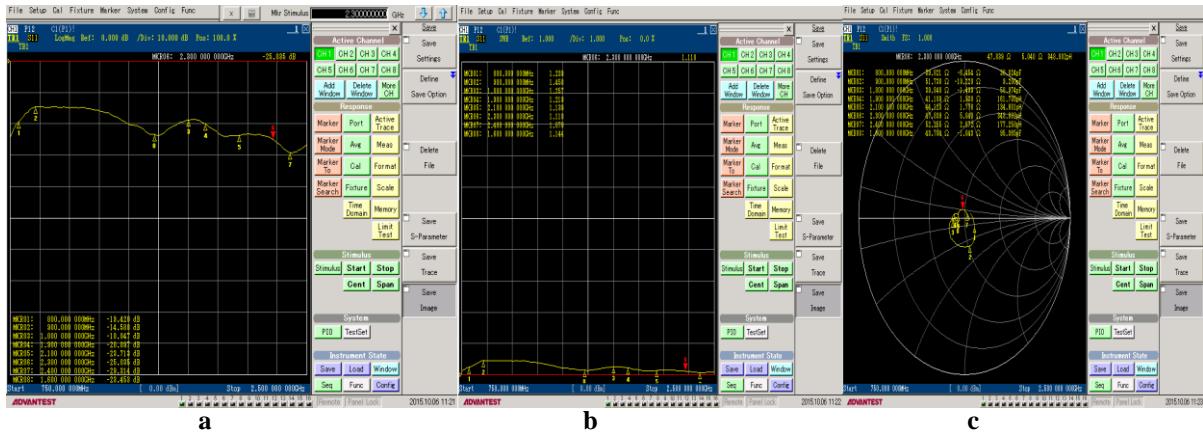
6. Pengukuran

6.1. Pengukuran VSWR, Return Loss, dan Impedansi

Tabel 3 Hasil Pengukuran VSWR, Return Loss, dan Impedansi

Frekuensi (GHz)	VSWR	Return Loss (dB)	Impedansi (Ω)	
			Riil	Imajiner

0,8 GHz	1,23	-19,42	59,82	-6,45
0,9 GHz	1,45	-14,58	51,73	-19,2
1,8 GHz	1,25	-18,84	39,84	-1,49
1,9 GHz	1,21	-20,09	41,18	2,94
2,1 GHz	1,13	-23,71	44,12	1,77
2,3 GHz	1,11	-25,03	47,83	5,04
2,4 GHz	1,07	-29,32	52,25	2,67



Gambar 10 Hasil Pengukuran a)Return Loss, b)VSWR, c)Impedansi

Perbedaan hasil pengukuran ini dapat diakibatkan beberapa hal seperti proses penyolderan, kondisi tempat pengukuran yang tidak ideal, serta ketidak presisian dimensi baut yang digunakan sebagai penyangga antenna.

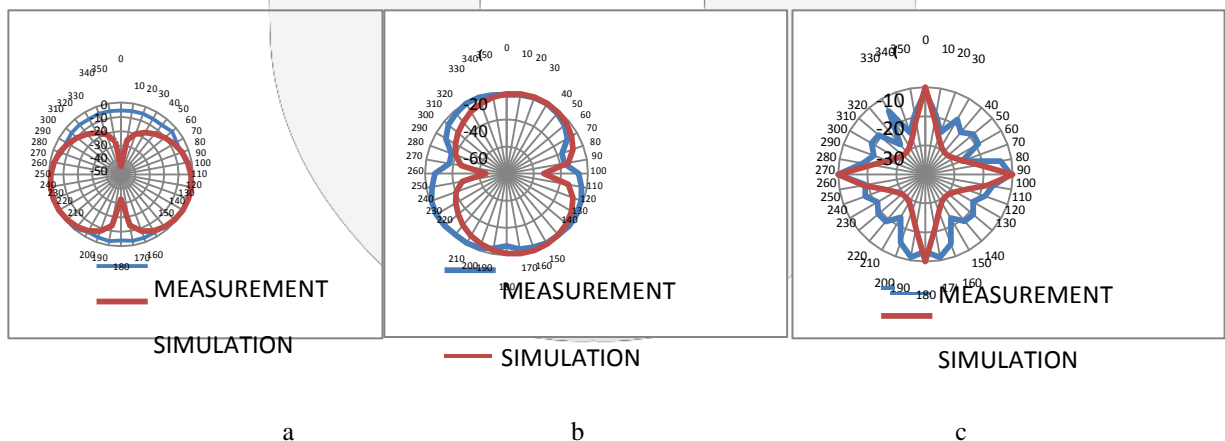
6.2. Pengukuran Pola Radiasi, Polarisasi, dan Gain.

Cara untuk memperoleh gain antenna adalah dengan membandingkan antara daya yang dipancarkan antenna Tx dengan daya yang diterima oleh antenna Rx kemudian hasil pengukuran dihitung dengan menggunakan persamaan,

$$G_{AUT(dBi)} = P_{AUT(dBm)} - P_{REF(dBm)} + 12 \text{ dBi}$$

Tabel 4 Hasil Pengukuran Gain Antenna

No	P _{AUT} (dBm)	P _{REF} (dBm)
1	-29,12	-20,32
2	-28,96	-20,47
3	-28,59	-19,87
4	-29,22	-20,16
5	-29,17	-19,84
Rata-Rata	-29,12	-20,32
Gain (dBi)		3,2



Gambar 11 Hasil Pengukuran a) Pola Radiasi Azimuth, b) Pola Radiasi Elevasi, c) Polarisasi

6.3. Perbandingan Spesifikasi Awal, Simulasi, dan Realisasi

Tabel 5 Perbandingan Spesifikasi Awal, Simulasi, dan Realisasi

Parameter	Spesifikasi Awal	Simulasi	Realisasi
Frekuensi Kerja (GHz)	0,8-2,4	0,8-2,4	0,8-2,4
Frekuensi Tengah (GHz)	1,6	1,6	1,6028
Return Loss (dB)	< - 10	-11.792	-16,68
VSWR	< 1,5	1,69	1,343
Bandwidth (MHz)	1600	1600	1600
Impedansi (Ω)	50	47,37 + j1,98	52,092 – j1,543
Gain (dBi)	≥ 3	3,89	3,2
Pola Radiasi	Omnidirectional	Omnidirectional	Omnidirectional
Polarisasi	Linier	Linier	Linier

9. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil pengukuran dan simulasi nilai VSWR pada frekuensi tengah dalam simulasi adalah 1,69 dan pada pengukuran 1,343. Sedangkan nilai Return Loss pada simulasi -11,792 dB dan pada pengukuran -16,68 dB. Nilai Gain pada simulasi adalah 3,89 dB dan pada hasil pengukuran adalah 3,2 dBi. Lebar Bandwidth pada hasil simulasi dan pengukuran adalah 1,6GHz. Pola radiasi yang dihasilkan antenna pada simulasi dan realisasi adalah omnidireksional. Sedangkan polarisasi yang dihasilkan antenna pada pengukuran adalah elips.

Secara keseluruhan spesifikasi antenna mikrostrip yang dirancang sudah sesuai dengan spesifikasi dari antenna *Ultra-Wideband*, yaitu memiliki *bandwidth > 500MHz* dan dapat bekerja pada frekuensi selular yang diharapkan, sehingga antenna ini dapat diimplementasikan untuk aplikasi *Radio Cognitive (RC)*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E.M.M. Jose, "Cognitive Radio: Technology Survey and Future Research Directions," p.1, 2011
- [2] Y.Tawk and C.G. Christodoulo, A new reconfigurable Antenna design for Cognitive Radio, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letter, Vol.8, pp1378-1381.2009
- [3] S. Haykin, "Cognitive Radio: Brain -Empowered Wireless Communications", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 23, NO. 2, Feb. 2005, pp. 201-220.
- [4] Chen, Zhi Ning., Luk Kwai-Man, *Antennas for Base Stations in Wireless Communications*, Mc Graw Hill Book Company, 1988.
- [5] Nugraha, Rawan. (2013). Perancangan dan Realisasi Rectenna (Rectifier Antena) untuk Frekuensi 900 MHz – 5 GHz Sebagai Sumber Daya Alternatif untuk Mengisi Baterai Handphone.
- [6] Anderson, C.R dan Cameron, C.B. 2008. "How empty is empty ? Weak-Signal Spectrum Survey Measurement and Analysis for Cognitive Radio," SDR Technical Conference. 2008.
- [7] Ramadhita, Suci. Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Patch Persegi dengan Substrat Alumina pada frekuensi 3,3-3,4 GHz untuk Aplikasi WiMAX. (Tugas Akhir). Institut Teknologi Telkom.
- [8] Ramadhan, M. Faizal. Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Array Patch Segitiga Sama Sisi untuk S-Band Transmitter Satelit Mikro. (Tugas Akhir). Universitas Telkom.
- [9] BoGao, Jia-YuHuo dkk.2013.*Plannar Antenna Aids UWB communications*.China, p.1 2013
- [10] Aftanas, Michael Ing. 2009. "THROUGH WALL IMAGING WITH UWB RADAR SYSTEM". Thesis of University of Ko'sice
- [11] Alaydrus, Mudrik DR-Ing. 2012 "Antena Prinsip & Aplikasi". Yogyakarta : Graha Ilmu.
- [12] Nofianti, Dwi. "SIMULASI KINERJA WPAN 802.15.4 (ZIGBEE) DENGAN ALGORITMA ROUTING AODV dan DSR. Thesis Magister FT UNDIP, Semarang.
- [13] Wahab, Mashury. Yuyu Wahyu, dan Yussi Perdana Saputra, "Small Antenna using Transmission Line Uniform for X-Band Navigation Radar". Research Centre for Electronics and Telecommunication of The Indonesian Institut of Science..
- [14] Krauss, John .D. 2002 "Antenna For All Applications" International Editor. New York.