

## ANTENA TEKSTIL *PATCH* SEGI EMPAT 5.8 GHz PADA TUBUH UNTUK APLIKASI JARINGAN NIRKABEL AREA TUBUH

### ON BODY TEXTILE ANTENNA SQUARE PATCH OF 5.8 GHz FOR SUPPORTING WIRELESS BODY AREA NETWORK (WBAN) APPLICATION

Mochamad Ryan Fajar Nurdin<sup>1</sup>, Trasma Yunita<sup>2</sup>, Levy Nur Olivia<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Telkom  
Jl. Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung 40257 Indonesia

<sup>1</sup>ryanmochamad.office@gmail.com, <sup>2</sup>trasmayunita@telkomuniversity.ac.id, <sup>3</sup>levyolivia@telkomuniversity.ac.id

#### Abstrak

Antena menjadi salah satu bagian penting dalam komunikasi nirkabel yaitu berperan sebagai pengirim dan penerima yang menghubungkan antara dua *node* atau lebih. Antena yang dapat mendukung aplikasi *Wireless Body Area Network* (WBAN) harus ringan dan mudah perawatan. Tugas akhir ini mengusulkan sebuah antena dengan *patch* segi empat berbahan jeans tekstil dengan nilai dielektrik substrat 1.7, ketebalan 1mm, dan nilai *loss tangent* sebesar 0.025. Antena tersebut dipasang di permukaan tubuh untuk mendukung aplikasi *Wireless Body Area Network* (WBAN) pada frekuensi 5.8 GHz dengan teknik pencatutan menggunakan metode *feeding line*. Dari hasil simulasi, didapatkan *bandwidth* sebesar 615 MHz dan nilai VSWR 1.1533 yang telah memenuhi syarat spesifikasi awal antena, *gain* pada antena simulasi bernilai 4.28 dB. Dari hasil pengukuran, didapatkan *bandwidth* yang telah memenuhi syarat VSWR < 1.6, yaitu 502 MHz, dengan nilai VSWR sebesar 1.145, dan *gain* pada antena mikrostrip bernilai 3.86 dB dengan *Specific Absorption Rate* (SAR) bernilai 0.53717 W/kg. Pola radiasi yang dihasilkan baik simulasi maupun pengukuran adalah *unidireksional*. Polarisasi yang dihasilkan adalah elips. Berdasarkan frekuensi, *bandwidth*, *gain*, nilai SAR dan dimensi antena yang dihasilkan, maka antena ini dapat digunakan sebagai antena untuk aplikasi *Wireless Body Area Network* (WBAN).

**Kata Kunci :** *Wearable Antenna, Wireless Body Area Network (WBAN), Patch Segi Empat.*

#### Abstract

Antenna becomes one of the important parts in wireless communication which acts as a sender and receiver that connects between two or more nodes. Antenna that can support *Wireless Body Area Network* (WBAN) applications must be light and easy to maintenance. This final project proposes an antenna with a rectangular patch of textile jeans with dielectric values of substrate 1.7, 1mm thickness, and tangent loss value of 0.025. The antenna is mounted on the surface of the body to support the application of *Wireless Body Area Network* (WBAN) at a frequency of 5.8 GHz with the technique of unification using *feeding line* method. From the simulation results, obtained bandwidth of 615 MHz and VSWR 1.1533 value that has met the initial antenna specification, the gain on the antenna simulation is 4.28 dB. From the result of measurement, got the bandwidth that has fulfilled the requirement of VSWR < 1.6, that is 502 MHz, the gain of microstrip antenna is 3.86 dB with *Specific Absorption Rate* (SAR) is 0.53717 W/kg. The radiation patterns results of both simulation and measurement are *unidirectional*. The polarization result is an ellipse. Based on frequency, bandwidth, gain, SAR value and antenna dimension, this antenna can be used as an antenna for *Wireless Body Area Network* (WBAN) application.

**Keyword :** *Wearable Antenna, Wireless Body Area Network (WBAN), Square Patch.*

#### BAB I Pendahuluan

Laju perkembangan teknologi berkembang dengan pesat, salah satunya dalam bidang telekomunikasi. Teknologi *Wireless Body Area Network* (WBAN) berpotensi untuk memberikan kesempatan atau peluang yang belum terjadi sebelumnya dimana perkembangan teknologi seperti layanan kesehatan *real-time*. [1]. Sejak antena dapat dipakai dan beroperasi di dekat tubuh manusia, efek pembebanan dari rugi-rugi yang ditimbulkan dari jaringan tubuh ditambah dengan pengaruh karakteristik bahan menjadi tantangan tersendiri dalam membuat antena dengan efisiensi yang baik. Tantangan ini semakin dikuatkan dengan antena yang ringan, tipis, *low cost*, bebas perawatan dan dapat bekerja dengan baik dipermukaan kulit dengan dampak yang minimum [2].

Tugas akhir ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan *on body textile antenna* berbentuk *patch* segi empat yang dapat dipakai atau beroperasi di permukaan kulit tubuh manusia yang memiliki efisiensi yang baik sehingga dapat

mendukung aplikasi *Wireless Body Area Network* (WBAN). Pada penelitian sebelumnya performansi antenna dapat bekerja dengan baik di permukaan kulit tubuh dengan jarak 5mm [2]. Yang menjadi fokus utama dalam penelitian *wearable antenna* untuk aplikasi *Wireless Body Area Network* (WBAN) adalah *patch* antenna, karena *directivity* relatif tinggi, sebagai akibat dari *ground plane* yang digunakan dalam desain. Selain *directivity*, *microstrip patch* antenna memiliki beberapa keuntungan sebagai *on-body wearable*, diantaranya: kemudahan konstruksi, *low cost*, dan memiliki

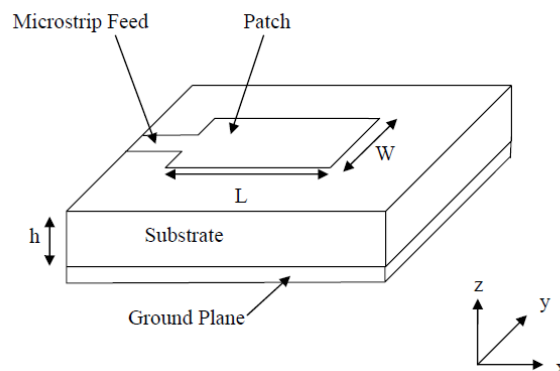
isolasi *relative* antara pancaran dan tubuh dikarenakan adanya *groundplane* sehingga energi atau pancaran yang diserap tubuh menurun signifikan [3].

Pada penelitian ini, akan direalisasikan suatu rancangan antenna *patch* segi empat *on body textile antenna* untuk mendukung aplikasi *Wireless Body Area Network* (WBAN) yang memiliki jarak yang dekat antara antenna dan permukaan kulit tubuh dengan nilai efisiensi yang baik.

## BAB II Dasar Teori

### A. Struktur Antena Mikrostrip

Gambar 1 menunjukkan struktur antenna mikrostrip secara umum yang terdiri dari 3 elemen penyusun yaitu, *patch*, substrat, dan *groundplane*.



Gambar 1 Struktur Antena mikrostrip

#### a. Patch Antenna

*Patch* antenna terletak paling atas dari lapisan substrat antenna mikrostrip. *Patch* berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara dan membentuk pola radiasi yang diinginkan. Adapun beragam bentuk *patch* yang dapat digunakan yaitu, persegi, persegi panjang, *elips*, lingkaran, segitiga dan lain-lain.

#### b. Substrat

Substrat berfungsi sebagai penyalur gelombang elektromagnetik dari catuan ke bagian bawah *patch*. Substrat memiliki nilai permitivitas *relative* dan ketebalan tertentu.

#### c. Groundplane

*Groundplane* berfungsi sebagai *reflector* yang memantulkan sinyal yang tidak diinginkan. *Groundplane* antenna mikrostrip biasanya terbuat dari bahan konduktor.

### B. Parameter Umum Antena Mikrostrip

Antena *microstrip* memiliki beberapa parameter agar dapat melihat hasil kerja dari antenna mikrostrip itu sendiri. Beberapa parameter umum dari antenna mikrostrip dijelaskan sebagai berikut,

#### Dimensi Antena

Untuk mengetahui dimensi dari antenna *microstrip* (W dan L), terlebih dahulu harus mengetahui parameter bahan yang akan digunakan, yaitu :

1. Tebal dielektrik (h)
2. Konstanta dielektrik ( $\epsilon$ )
3. Tebal konduktor (t)
4. Rugi-rugi bahan.

Panjang dari antenna *microstrip* akan berpengaruh, apabila terlalu panjang maka *bandwidth* akan menjadi sempit sedangkan jika terlalu pendek maka *bandwidth* akan menjadi lebar tetapi efisiensi radiasi akan menjadi kecil. Pengaturan lebar antenna *microstrip* ( $W$ ) akan merubah impedansi *input*.

Untuk mencari panjang dan lebar antenna *microstrip* dapat menggunakan persamaan:

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (2.1)$$

Dimana:  $W$  : Lebar konduktor  
 $\epsilon_r$  : Konstanta dielektrik  
 $c$  : Kecepatan cahaya di ruang bebas ( $3 \times 10^8$ )  
 $f_0$  : Frekuensi kerja antenna

Sedangkan untuk menentukan panjang *patch* ( $L$ ) diperlukan parameter  $\Delta L$  yang merupakan pertambahan panjang dari  $L$  akibat adanya *fringing effect*.

Pertambahan panjang dari  $L$  ( $\Delta L$ ) tersebut dirumuskan dengan [3].

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264\right)}{(\epsilon_{reff} + 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8\right)} \quad (2.2)$$

Dimana  $h$  merupakan tinggi substrat atau tebal substrat, dan  $\epsilon_{reff}$  merupakan konstanta dielektrik *relative* yang dirumuskan sebagai

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W}}} \right) \quad (2.3)$$

Dengan panjang *patch* ( $L$ ) dirumuskan oleh:

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (2.4)$$

Dimana  $L_{eff}$  merupakan panjang *patch* efektif yang dapat dirumuskan dengan:

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (2.5)$$

Untuk mencari nilai  $L_P$  (panjang *patch*) dan  $W_P$  (lebar *patch*) didapat dengan menggunakan rumus :

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (2.6)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (2.7)$$

Kemudian lebar dan panjang saluran transmisi didapat menggunakan rumus:

$$L_1 = h\lambda_g \quad (2.8)$$

$$L_2 = \frac{\lambda_g}{4} \quad (2.9)$$

Dimana nilai  $Z_0$  akan bernilai  $100\Omega$  untuk  $W_1$  dan  $50\Omega$  untuk  $W_2$ .

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \quad (2.10)$$

Dimana  $A$  :

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r}} (0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r}) \quad (2.11)$$

Panjang sisi *groundplane* ( $L_g$ ), Lebar sisi *groundplane* ( $W_g$ )

$$L_g \geq 3h + 1/2L + L_1 + L_2 \quad (2.12)$$

$$W_g \geq 6h + W \quad (2.13)$$

Keterangan :

$h$  = ketebalan substrat

$\epsilon_r$  = permitivitas dielektrik substrat

$f_r$  = frekuensi resonansi / frekuensi kerja

$c$	= konstanta cahaya di ruang bebas
$\lambda_0$	= panjang gelombang di udara
$\lambda_g$	= panjang gelombang pada bahan substrat
$W$	= lebar saluran transmisi
$L$	= panjang saluran transmisi

### **Specific Absorption Rate (SAR)**

SAR merupakan ukuran tingkat energi yang diserap oleh tubuh saat terkena frekuensi radio (RF) medan elektromagnetik. Dalam hal ini didefinisikan sebagai daya yang diserap per massa dari jaringan dan memiliki satuan watt per kilogram (W/kg). berdasarkan standar internasional ANSI/IEEE nilai SAR yang diperbolehkan sebesar 1.6 W/kg.

SAR sangat penting untuk desain antena, karena jika nilai SAR terlalu tinggi maka antena harus diganti. Biasanya, jika SAR terlalu tinggi maka daya pancar diturunkan, yang secara langsung menghasilkan SAR lebih rendah.

### **Phantom Body**

*Phantom body* merupakan pemodelan dari tubuh manusia yang digunakan pada simulasi antena. Phantom memiliki karakteristik permitivitas ( $\epsilon$ ), permeabilitas ( $\mu$ ) dan konduktivitas sesuai bagian tubuh tempat antena diletakkan [11]. Pemodelan *phantom* dapat disesuaikan dengan kebutuhan yang diperlukan. Pemodelan dari phantom ada dua jenis yaitu: *head phantom model* dan *body phantom model*. *Phantom* sangat penting dalam perancangan *on body textile* antena karena tubuh manusia memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap karakteristik antena yang akan dirancang.

### **Wireless Body Area Network (WBAN)**

*Wireless Body Area Network* (WBAN) dikembangkan dalam 15 tahun terakhir dari akibat penerapan *Wireless Personal Area Network* (WPAN) untuk komunikasi baik dekat maupun di sekitar tubuh manusia. *Wireless Body Area Network* (WBAN) merupakan kumpulan dari *node-node* berdaya rendah yang memantau fungsi tubuh manusia dan lingkungan sekitarnya. Teknologi BCWCs menjadi bagian penting dalam perkembangan sistem komunikasi *mobile* generasi ke-4 [1]. WBAN merupakan salah satu bagian dari teknologi BCWCs. WBAN terdiri dari beberapa unit sensor yang ditempatkan pada tubuh atau dekat tubuh manusia. Pengaplikasian dari teknologi WBAN sudah banyak, seperti *medical monitoring*, *wearable hardware*, dan pengolahan sinyal digital. Penggunaan teknologi WBAN paling banyak diterapkan dalam aplikasi kesehatan, seperti ECG, *blood pressure*, *wearable sensor* dan *oxygen level*. WBAN dikembangkan untuk kebutuhan medis dengan tujuan agar *monitoring* pasien dapat dilakukan secara kontinyu. Teknologi WBAN dikelompokkan menjadi 3 bagian, yaitu *off-body centric*, *on body centric*, dan *in-body centric* [6].

### **Tekstil Jeans**

Kain jeans merupakan kain yang tersusun dari katun yang dirajut, kain jeans sendiri memiliki karakteristik yang kuat karena rajutan dari katun yang rapat sehingga kain jenis ini tidak mudah rusak dibandingkan kain jenis lain.

Konstanta dielektrik substrat antena memiliki peran penting dalam perancangan antena. substrat yang berbeda yang memiliki konstanta dielektrik mempengaruhi kinerja antena dengan berbagai cara. Tekstil yang digunakan sebagai substrat antena dapat dibagi menjadi dua kategori utama, serat alami dan buatan manusia. Di sisi lain, bahan tekstil umumnya memiliki konstanta dielektrik yang sangat rendah yang mengurangi kerugian gelombang permukaan dan memperbaiki bandwidth impedansi antena.

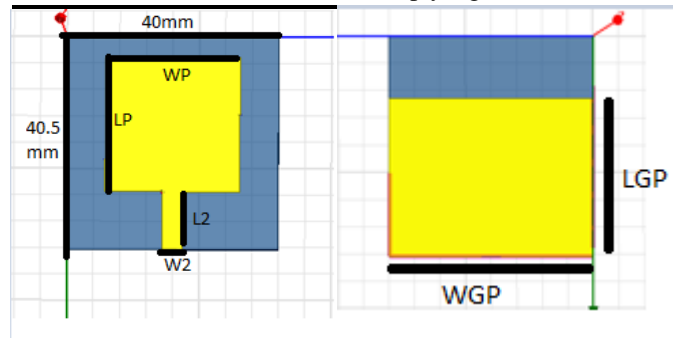
**Tabel 1** Nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) tekstil jeans <sup>[10]</sup>

Parameter	Value
Thickness	1 mm
Dielectric Constant	1.7
Loss tangent	0.025

### BAB III PERANCANGAN ANTENNA

#### A. Dimensi Antena

Berikut adalah bentuk susunan antena mikrostrip yang disimulasikan dengan *software*.



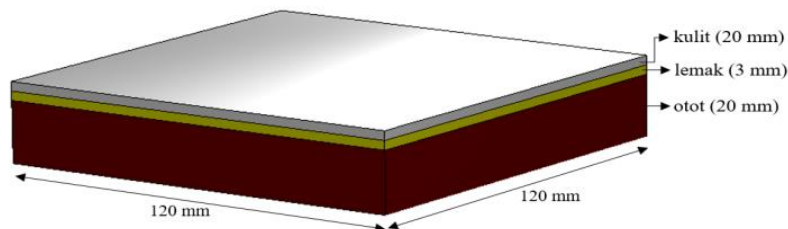
**Gambar 3.11** Antena *Microstrip* Tampak Depan (kiri), Tampak Belakang (kanan).

**Tabel 3.5** Dimensi Antena *Single Patch*

No.	Dimensi Antena (mm)	Ukuran Setelah Dioptimasi (mm)
1	LP (Panjang <i>Patch</i> )	25,5
2	WP (Lebar <i>Patch</i> )	25,5
3	L1 (Panjang <i>Feed</i> )	-
4	L2 (Panjang <i>Feed</i> )	11
5	W1 (Lebar <i>Feed</i> )	-
6	W2 (Lebar <i>Feed</i> )	3.74
7	WGP (Lebar <i>Groundplane</i> )	40
8	LGP (Panjang <i>Groundplane</i> )	29

#### B. Desain *Phantom Body*

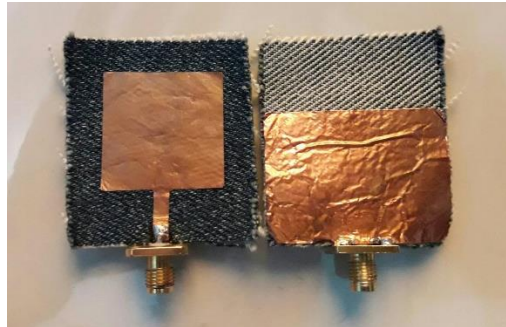
Pada tugas akhir ini dilakukan simulasi *phantom body* yang identik dengan bagian dada manusia. Dada manusia sendiri tersusun dari lapisan kulit, lemak dan otot. Desain *phantom body* berukuran 120mm x 120mm x 26mm terdiri dari lapisan kulit ( $\epsilon_r = 34.215$ ,  $\tan \delta = 4.6731$ ), lemak ( $\epsilon_r = 4.8606$ ,  $\tan \delta = 036327$ ), dan otot ( $\epsilon_r = 47.069$ ,  $\tan \delta = 6.2663$ ) sebagai simulasi tubuh manusia bagian dada [6].



**Gambar 2.4** Desain *Phantom Body*

**BAB IV HASIL DAN PENGUKURAN**

**A. Hasil Pabrikasi Antena**

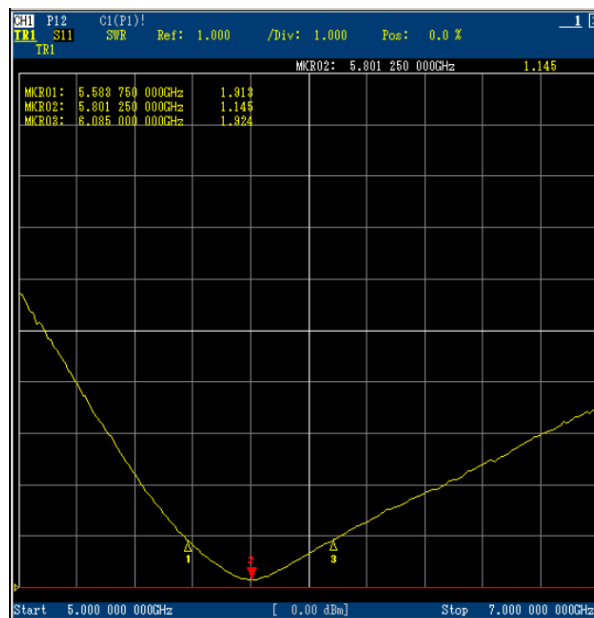


Gambar 4 Antena Hasil Realisasi

Hasil pengukuran dan analisis ditunjukkan pada gambar-gambar dibawah ini. Parameter yang diamati, meliputi VSWR, Impedansi, Pola Radiasi, dan Gain Antena.

**B. VSWR**

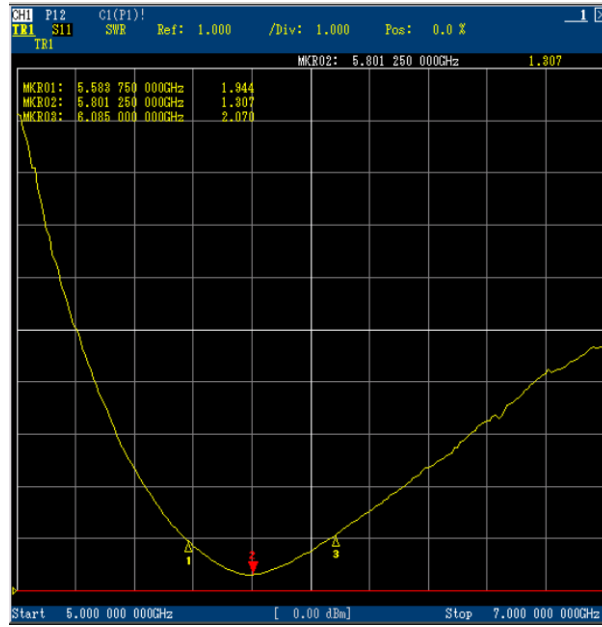
Pengukuran Parameter ini dilakukan dengan menggunakan *Network Analyzer*. Pengukuran VSWR dilakukan ketika antena dalam keadaan *free space* dan ketika antena berada pada jarak 1mm dari permukaan kulit dari tubuh,



Gambar 4.3 Grafik Pengukuran VSWR Saat Kondisi *Free Space*

Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran dan Simulasi VSWR

Frekuensi	Antena Mikrostrip	
5.8 GHz	1.1533	Simulasi
5.8 GHz	1.145	Pengukuran

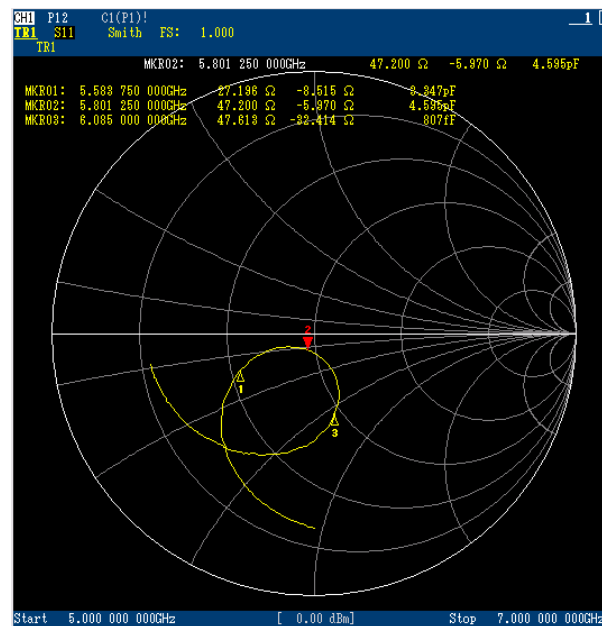


Gambar 4.10 Grafik Pengukuran VSWR Saat Berjarak 1 mm dari kulit

Tabel 4.8 Hasil Pengukuran dan Simulasi VSWR

Frekuensi	Antena Mikrostrip	
5.8 GHz	1.300	Simulasi
5.8 GHz	1.307	Pengukuran

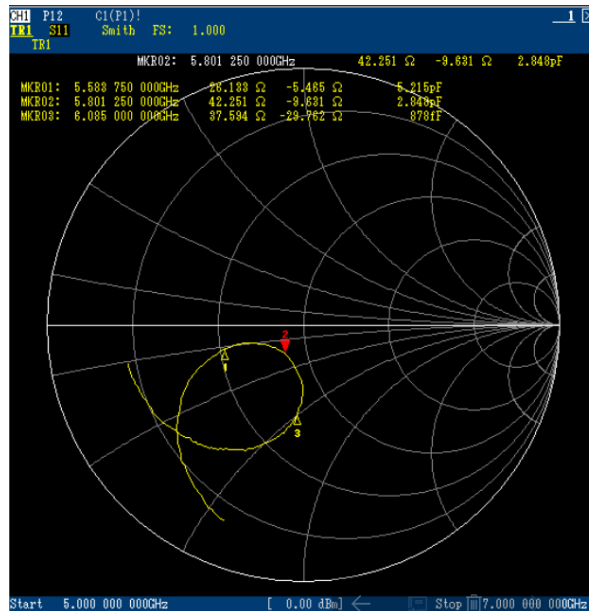
C. Impedansi



Gambar 4.4 Impedansi Antena Mikrostrip Saat Free Space

**Tabel 4.5** Hasil Pengukuran Impedansi

Frekuensi	Antena Mikrostrip ( $\Omega$ )	
5.8 GHz	48.709-j0.211	Simulasi
5.8 GHz	47.200-j5.970	Pengukuran



**Gambar 4.11** Impedansi Antena Mikrostrip Berjarak 1mm dari Kulit

**Tabel 4.10** Hasil Pengukuran Impedansi

Frekuensi	Antena Mikrostrip ( $\Omega$ )	
5.8 GHz	47.217-j1.041	Simulasi
5.8 GHz	42.251-j9.631	Pengukuran

**D. Gain**

*Gain* dapat didefinisikan sebagai perbandingan intensitas radiasi maksimum antara antenna yang diuji dan antenna referensi dengan daya input yang sama. *Gain* dinyatakan dalam satuan dB. Pada tugas akhir ini digunakan metode perbandingan tiga antenna. Menggunakan persamaan *Friss* dapat diketahui *gain* dari ketiga antenna.

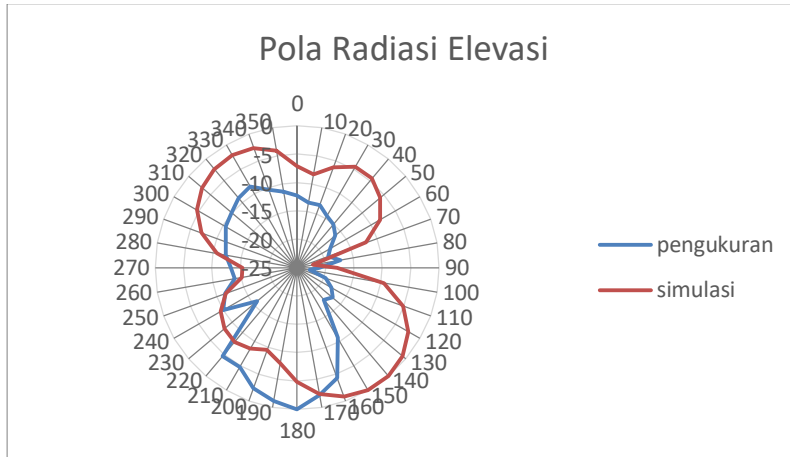
**Tabel 4.6** Perbandingan Nilai *Gain* Simulasi dengan Pengukuran.

Frekuensi	Antena Mikrostrip	
5.8 GHz	4.28 dB	Simulasi
5.8 GHz	3.86 dB	Pengukuran Free Space
5.8 GHz	3.24 dB	Pengukuran 1 mm diatas kulit

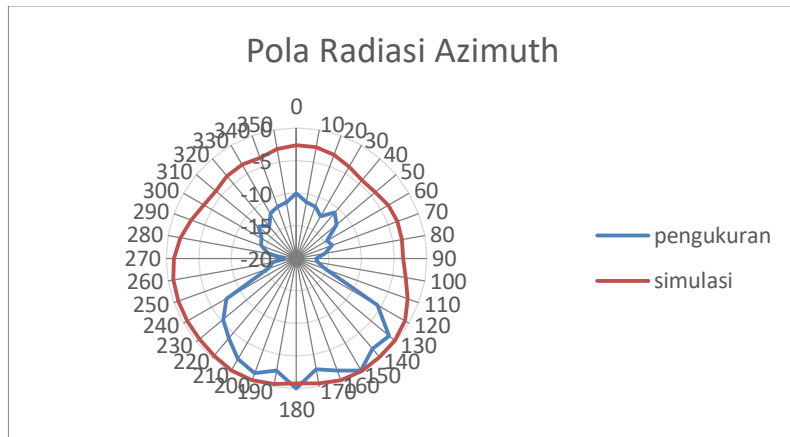


**E. Pola Radiasi**

Perbandingan pola radiasi antara antenna hasil pengukuran dan hasil simulasi antenna dapat diamati pada gambar berikut:



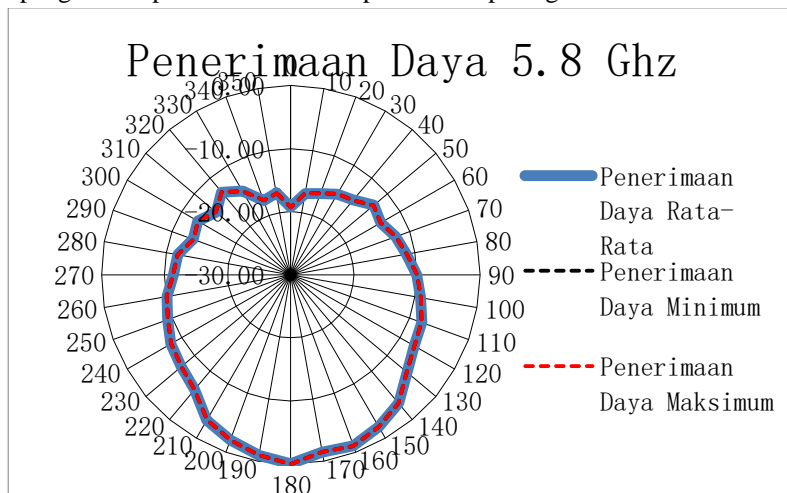
**Gambar 4.6** Perbandingan pola radiasi elevasi hasil pengukuran dan simulasi antenna



**Gambar 4.7** Perbandingan pola radiasi azimuth hasil pengukuran dan simulasi antenna.

**F. Polarisasi**

Hasil pengukuran polarisasi antenna dapat diamati pada gambar berikut.



**Gambar 4.9** Grafik Daya Terima Antena

Daya terima maksimum (sumbu mayor) =  $-41,466 \text{ dBm} = 3,499 \times 10^{-8} \text{ Watt}$

Daya terima minimum (sumbu minor) =  $-60,766 \text{ dBm} = 2,98711 \times 10^{-9} \text{ Watt}$

Dengan analisis rasio kuat medan elektrik, maka dapat diketahui tipe polarisasinya.

$$= \frac{\sqrt{P_{\text{watt mayor}} \times 377}}{\sqrt{P_{\text{watt minor}} \times 377}} = 3,73 \text{ dB}$$

Sehingga dari perhitungan rasio kuat medan elektrik dapat diketahui bahwa *Antenna Under Test* (AUT) berpolarisasi elips karena nilai *axial ratio*-nya adalah  $3 < AR < 40$ . Pada simulasi didapatkan *axial ratio* sebesar  $>40$ . Pada antena yang telah direalisasikan memiliki nilai *axial ratio* sebesar 3,73 dB yang artinya antena tersebut memiliki polarisasi elips. Hasil simulasi berbeda dengan hasil pengukuran dilapangan disebabkan karena ruang pengukuran di tempat yang masih belum ideal sehingga mengakibatkan banyaknya pantulan serta sinyal interferensi terhadap frekuensi lain sehingga polarisasi antena tidak linear.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Antena mikrostrip yang dirancang dan direalisasikan dapat bekerja pada rentang frekuensi yang sesuai dengan spesifikasi yaitu 5.8 GHz dengan  $VSWR \leq 1,6$ . *Bandwidth* hasil pengukuran  $\geq 600$  MHz pada  $VSWR \leq 1,6$ . *Gain* antena mikrostrip 4,28 dB untuk simulasi, 2,49 dB untuk realisasi, dan 3,24 dB untuk pengukuran antena *on-body*. Pola radiasi yang dihasilkan antena mikrostrip adalah *unidireksional* baik simulasi maupun simulasi. Sedangkan polarisasi yang dihasilkan antena mikrostrip linier baik simulasi maupun realisasi. Perubahan dimensi pada *patch* dan substrat rancangan antena mikrostrip setelah proses optimasi berpengaruh terhadap pergeseran nilai frekuensi kerja dan membuat  $VSWR$  menjadi lebih baik. Nilai dari Specific Absorption Rate (SAR) yang dihasilkan antena mikrostrip ini bernilai 0.5 W/kg masih jauh dari ambang batas yang ditetapkan. Dengan nilai *bandwidth* yang besar antena mikrostrip ini dapat diimplementasikan dengan teknologi telemedis, dengan syarat teknologi telemedis menggunakan perangkat dengan frekuensi operasi 5.8 GHz.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Patel and J. Wang, "Application, challenges, and prospective in emerging body area networking technologies," IEEE Trans, Wireless Commun., vol. 17, no. 1, pp.80-88, Feb. 2010.
- [2] J. Wang, E. Lim, M. Leach, Z. Wang, K. Man and Y. Huang, "Conformal Wearable Antennas for WBAN Applications", IMECS, vol. II, March. 2016.
- [3] Ramesh Garg, Prakash Bhartia, Inder Bahl, Apisak Ittipiboon, "Microstrip antenna design handbook", Arctech House, 2001.
- [4] Alsager, A. F., "Design and Analysis of Microstrip Patch Antenna Arrays". Master Thesis, University College of Boras, January 2011.
- [6] Augustine, Robin.2009. "Electromagnetic modelling of human tissues and its application on the interaction between antenna and human body in the ban context". Universite-Paris-Est.
- [7] Haloman, "Perancangan Dan Realisasi Susunan Antena 10,4 GHz Dengan Polarisasi Ganda", Laporan Tugas Akhir Teknik Telekomunikasi Institut Teknologi Bandung, 2009.
- [8] Antenna Theory Analysis and Design. Constantine A. Balanis.
- [9] J.R. James and P.S. Hall. , "Handbook of Microstrip Antennas", London: United Kingdom, 1989.
- [10] P.C. Dhanawade, L.S. Admunthe, P.P. Dhanawade, "Simulation of rectangular Patch Antenna with Jeans Substrate", IOSR Journal of Electronics and Communication engineering (IOSR-JECE)
- [11] Monirujjaman Khan, Mohammad, "Antenna and Radio Channel Characterisation for Low-Power Personal and Body Area Network". Thesis. United Kingdom : Queen Mary, University of London, February 2012