

**PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP  
UNIDIRECTIONAL UNTUK ON BODY WIRELESS ECG SENSOR SYSTEM  
DESIGN AND REALIZATION UNIDIRECTIONAL MICROSTRIP ANTENNA FOR ON  
BODY WIRELESS ECG SENSOR SYSTEM**

**Ahmad Rasyidi Syawali<sup>1</sup>, Miftadi Sudjai<sup>2</sup>, Bambang Setia Nugroho<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

<sup>1</sup> [ahmadrasyidisyawali@telkomuniversity.ac.id](mailto:ahmadrasyidisyawali@telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup> [miftadisudjai@gmail.com](mailto:miftadisudjai@gmail.com)

, <sup>3</sup> [bambangsetianugroho@yahoo.com](mailto:bambangsetianugroho@yahoo.com)

**Abstrak**

Penggunaan teknologi *wireless* di dunia kesehatan bukanlah hal yang baru. Teknologi ini dapat diterapkan pada alat kedokteran salah satunya adalah *electrocardiogram* atau ECG. Perangkat ECG terdiri dari beberapa komponen diantaranya adalah sensor *hub*, dan monitor. Pada umumnya semua perangkat ini terhubung menggunakan kabel untuk mentransmisikan data dari sensor ke *hub* lalu dilanjutkan ke monitor atau ke basis data medis, sehingga metode ini tidak praktis untuk dilakukan. Antena merupakan salah satu perangkat yang dapat digunakan untuk membantu sistem *wireless* ECG. Antena yang digunakan harus memiliki rentang frekuensi yang lebar agar dapat membaca data lebih teliti. Pada tugas akhir ini dirancang antena *microstrip* menggunakan *substrat* RT5880. Perancangan menggunakan aplikasi CST Studio. Dalam pengukurannya menggunakan *phantom* dada yang terdiri dari kulit, lemak dan otot. Antena ini dapat bekerja dengan baik pada frekuensi 3.9 GHz, dengan bandwidth 658 MHz saat  $VSWR \leq 2$ , pola radiasi *unidirectional*, dan gain positif

**Kata Kunci:** Antena *microstrip*, ECG, dan *Ultra WideBand*,

**Abstract**

*The use of Wireless Technology in medical application is common. This technology can be use in ECG or electrocardiogram. ECG device consist of several component such as hub, monitor, and sensor. Usually this component connected by wire to transmits data from sensor to the hub and then forwarded to the monitor or to the medical data base. Thus, this method it's not effective and it's not practical to do. In this final project will be designed a microstrip antenna using RT5880 substrate. Process of the simulation will be designed in CST application. In measurements use a chest as a phantom consisting of skin, fat, and muscle. This antena works well on 3.9 MHz frequency, with 658 MHz bandwidth,  $VSWR \leq 2$ , unidirectional polarization, and positif gain.*

**Keywords:** , *Microstrip Antenna, ECG, and Ultra Wide Band*

**1. Pendahuluan**

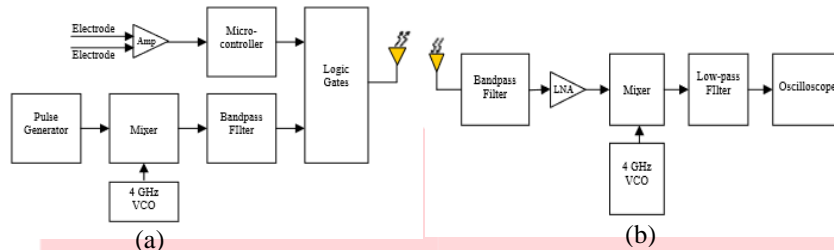
Penggunaan teknologi *wireless* di dunia kesehatan bukanlah hal yang baru. Umumnya penggunaan teknologi ini dirancang untuk menghindari koneksi kabel antara sensor dan monitor atau perangkat lainnya. Teknologi *wireless* ini biasa disebut *Wireless Body Area Network* atau WBAN. Perangkat WBAN adalah suatu alat *biosensor* yang berfungsi sebagai pengukur sinyal fisiologis seperti detak jantung, aktivitas otot, suhu, aktivitas otak, dan tekanan darah[1]. Data yang diperoleh dari *biosensor* akan dikumpulkan oleh *hub* dan dapat diteruskan ke dokter atau disimpan di dalam basis data medis[1]. WBAN dapat digunakan pada alat kedokteran salah satunya pada alat *Electrocardiogram* atau yang biasa disingkat menjadi ECG. Alat ini digunakan untuk mengukur dan merekam aktivitas kelistirikan pada tubuh manusia. Perangkat ECG terdiri dari beberapa komponen, beberapa diantaranya adalah sensor, hub, dan monitor. Pada umumnya semua perangkat ini terhubung menggunakan kabel dalam mentransmisikan data, sehingga metode ini tidak praktis. Penerapan teknologi nirkabel dapat digunakan pada ECG agar lebih praktis dan memiliki fleksibilitas yang lebih baik.

Salah satu perangkat yang dapat digunakan untuk mengurangi kabel pada ECG adalah antena. Pada tugas akhir ini akan difokuskan merancang antena menggunakan aplikasi CST dan merealisasikan antena dengan tipe *microstrip* pada rentang frekuensi *ultra wideband* (UWB) pada frekuensi kerja 3.9 GHz dan memiliki bandwidth minimum 499 MHz dengan pola radiasi *unidirectional* untuk menghindari efek radiasi pada tubuh manusia, dengan  $VSWR \leq 2$ .

## 2. Teori

### 2.1 Electrocardiogram

Prinsip kerja dari ECG yaitu membaca aktivitas kelistrikan jantung dan diubah menjadi gelombang, setiap gelombang yang dihasilkan memiliki istilah dan memiliki representasi yang berbeda beda. Ada beberapa metode ECG untuk mengetahui aktivitas jantung yaitu *ambulatory ECG*, *patient monitoring*, dan *High Resolution ECG*. *Ambulatory* atau *holter ECG* memiliki metode yang dapat memantau aktivitas jantung selama 24 hingga 48 jam dan sinyal secara simultan dicatat dalam perekam spesial yang digunakan pasien[2]. Sistem jaringan nirkabel dapat diterapkan untuk mengumpulkan sinyal ECG lalu di transmisikan ke monitor. Salah satu elemen pada sistem nirkabel ini adalah antenna



Gambar 1 desain sirkuit (a) transmitter (b) receiver

Gambar 1 merupakan contoh gambar dari blok diagram *transmitter* dan *receiver* ECG nirkabel. Prinsip kerja dari ECG nirkabel ialah aktivitas kelistrikan jantung dibaca oleh elektroda, data yang di dapat dari elektroda diperkuat menggunakan amplifier sebelum di teruskan ke mikrokontroler. Sinyal dan *Voltage-Controlled Oscillator* (VCO) 4 GHz akan digabungkan untuk membentuk sinyal UWB yang berpusat pada frekuensi 4 GHz dengan bandwidth 500 MHz sebelum melewati filter bandpass. Setelah sinyal melewati filter, *output* digital dari mikrokontroler dan keluaran sinyal UWB di lewatkan melalui gerbang logika dan di kirim menggunakan antenna. Sinyal yang diterima pada *receiver* akan melewati *bandpass filter* untuk mendapatkan sinyal yang diinginkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1(b), sinyal *baseband* dipulihkan dan bentuk gelombangnya dicatat menggunakan osiloskop

### 2.2 Wireless Body Area Network (WBAN)

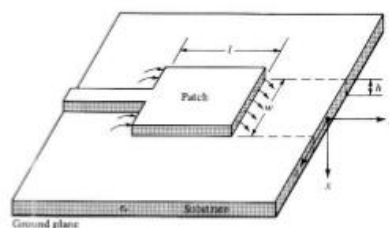
WBAN terdiri dari perangkat kecil, berdaya rendah yang dikenal sebagai sensor nirkabel yang cara pemakaiannya dapat terpasang atau ditanamkan didalam tubuh manusia. Kegunaan WBAN umumnya digunakan di dunia medis. WBAN terhubung dengan *biosensor* yang dapat mengukur sinyal fisiologis seperti detak jantung, aktivitas otot, suhu, aktivitas otak, dan tekanan darah. Data yang di dapat dari *biosensor* akan di kumpulkan oleh *hub* dan dapat diteruskan ke dokter atau disimpan di dalam *data base* medis[2].

### 2.3 Ultra Wideband (UWB)

UWB memiliki karakteristik memiliki durasi sinyal impuls yang pendek dan bit bit yang pendek, sehingga sinyal UWB membutuhkan rentang frekuensi yang lebar[3]. UWB memiliki keuntungan kapasitas transmisi tinggi dengan daya pancar isotropic yang efektif dengan daya kurang dari  $-41.3$  dBm/MHz, yang menyebabkan daya tahan batre yang lebih lama untuk *body centric networks*[4]. Penggunaan teknologi UWB dapat dikembangkan di dunia militer seperti radar, UWB juga dikembangkan dan digunakan dalam dunia medis. Syarat dikatakan antenna tersebut merupakan antenna UWB yaitu memiliki rentang frekuensi pada 3.1 – 10.6 GHz, *bandwidth* yang lebih besar dari 499 MHz.

### 2.4 Antena Microstrip

Antena *Ultra Wideband* dapat dirancang menggunakan dasar antenna mikrostrip. Bagian bagian antenna mikrostrip dapat dilihat pada gambar 2 yang terdiri dari tiga elemen penyusun yaitu substrat, *patch*, dan *ground plane*[5].

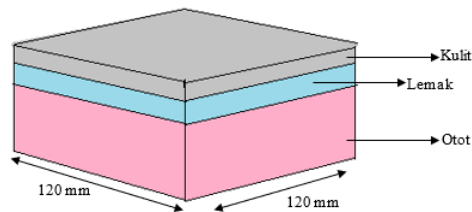


Gambar 2 Antena Mikrostrip

Setiap elemen penyusun tersebut memiliki fungsinya masing masing seperti patch memiliki fungsi meradiasikan gelombang elektromagnetik dan membentuk pola radiasi yang diinginkan, Substrat berfungsi sebagai penyalur gelombang elektromagnetik pada suatu antenna, sedangkan *Ground plane* memiliki fungsi sebagai *reflector* yang berfungsi sebagai pemantul sinyal yang tidak diinginkan. Antena microstrip dipilih karena memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah fabrikasi yang cenderung mudah, penyepadanan saluran serta catuan dapat disatukan langsung dengan struktur antenna, dan mudah untuk diintegrasikan dengan MICs atau *microwave integrated circuit*

## 2.5 Phantom

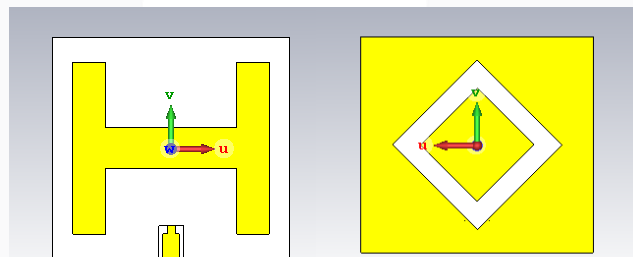
Phantom merupakan suatu permodelan dari suatu benda diluar antenna yang berfungsi sebagai gambaran kondisi asli ketika antenna direalisasikan. Phantom yang digunakan tergantung dengan fungsi antenna yang akan dirancang. Pada tugas akhir ini digunakan phantom dada karena antenna yang dirancang akan bekerja disekitar bagian dada manusia. Phantom ini terdiri dari lapisan kulit, lemak, dan otot seperti yang tertera pada Gambar 3.



Gambar 3 Phantom dada

## 3. Perancangan Antena

### 3.1 Design Antena



Gambar 4 antenna hasil optimasi

Gambar 4 merupakan antenna hasil optimasi sebelum pabrikan dalam keadaan *free space* menggunakan substrat rogers 5880, pada bagian patch dan *ground plane* menggunakan bahan tembaga.

**Tabel 1** Dimensi Antena

| Nama      | Nilai (mm)       |                  | Keterangan  |
|-----------|------------------|------------------|---|
|           | Sesudah optimasi | Sebelum optimasi |   |
| <b>Wg</b> | 29               | 39.02            | Lebar <u>ground plane</u>                           |
| <b>Lg</b> | 27               | 34.47            | Panjang <u>ground plane</u>                         |
| <b>Ws</b> | 39               | 39.02            | Lebar substrat                                      |
| <b>Ls</b> | 25               | 34.47            | Panjang substrat                                    |
| <b>Wp</b> | 24               | 29.64            | Lebar <u>patch</u>                                  |
| <b>Lp</b> | 21               | 25.04            | Panjang <u>patch</u>                                |
| <b>Wf</b> | 1                | 4.77             | Lebar <u>feed</u>                                   |
| <b>Lf</b> | 12               | 13.74            | Panjang <u>feed</u>                                 |
| <b>t</b>  | 0.035            | 0.035            | Tebal tembaga                                       |
| <b>H</b>  | 1.57             | 1.57             | Tebal substrat                                      |
| <b>pp</b> | 8                | -                | Panjang slot  |
| <b>l</b>  | 16               | -                | Lebar slot  |
| <b>lt</b> | 3                | -                | Lebar <u>Two-Section Quarter Wave Transformer</u>   |
| <b>pt</b> | 3                | -                | Panjang <u>Two-Section Quarter Wave Transformer</u> |

### 3.2 Perancangan Phantom

Phantom merupakan suatu permodelan dari suatu benda diluar antena yang berfungsi sebagai gambaran kondisi asli ketika antena direalisasikan. Phantom yang digunakan tergantung dengan fungsi antena yang akan dirancang. Pada tugas akhir ini digunakan phantom dada karena antena yang dirancang akan bekerja disekitar bagian dada manusia. Phantom dada terdiri dari kulit ( $r = 34.215$   $\sigma = 4.6731$ ) dengan ketebalan 3 mm, lemak ( $r = 4.8608$   $\sigma = 0.36327$ ) dengan ketebalan 3 mm, dan otot ( $r = 47.069$   $\sigma = 6.2663$ ) dengan ketebalan 20 mm, ukuran phantom dada yang dirancang yaitu (120x120x26) mm[6].

**Tabel 2** Karakteristik jaringan tubuh manusia. [11]

| Tissue     | Permitivitas | Permeabilitas |
|------------|--------------|---------------|
| Skin (Dry) | 34.215       | 4.6731        |
| Fat        | 4.8608       | 0.36327       |
| Muscle     | 47.069       | 6.2663        |

### 4. Pengukuran dan Analisis

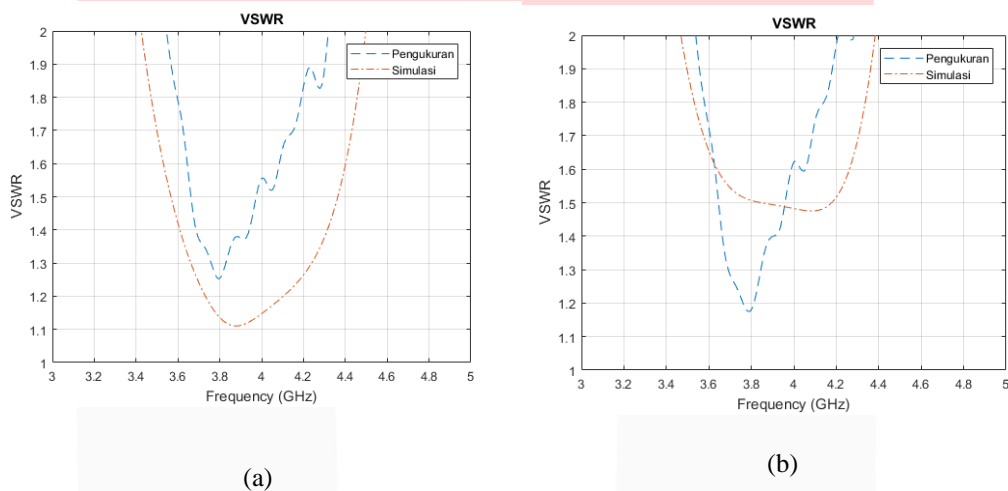
Pada bab ini akan dibahas analisis hasil realisasi karakteristik antena mikrostrip *unidirectional* untuk *on body wireless ECG*. Pengukuran parameter dalam dan luar dilakukan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Parameter dalam yang diukur antara lain VSWR dan bandwidth. Parameter luar yang diukur antara lain polaradiasi, polarisasi, dan gain. Pengukuran dilakukan di satu kanal karena antena ini bekerja pada rentang 3,24 GHz- 4,74 GHz sesuai dengan *Medical Implant Communication Service (MICS)* band.



Gambar 5 Antena hasil realisasi

Gambar 5 merupakan hasil pabrikasi dari antenna yang dirancang. Antena ini memiliki ukuran 29 x 27 mm. Parameter yang dianalisis berupa VSWR, gain, bandwidth, dan Pola radiasi

#### 4.1 VSWR



Gambar 6 Hasil pengukuran pada kondisi (a) *free space* (b) *phantom*

Gambar 6 menunjukkan perbandingan antara nilai VSWR simulasi dengan hasil pengukuran. *Voltage Standing Wave Ratio* atau VSWR merupakan perbandingan antara arus maksimum dengan arus minimum. Dari hasil pengukuran pada kondisi *free space* didapatkan nilai VSWR yaitu 1.5 di frekuensi kerja 3.9 dengan bandwidth 781 MHz sedangkan pada saat simulasi VSWR bernilai 1.11 dengan frekuensi kerja di 3.9 GHz dan bandwidth 1 GHz, walaupun terdapat perbedaan nilai VSWR antara simulasi dan realisasi, serta sedikit bergesernya frekuensi tengah hasil tersebut masih mencakup spesifikasi antenna yang akan dirancang. Terdapat perbedaan nilai VSWR sebesar 0.4 dan perbedaan bandwidth sebesar 219 MHz. Perbedaan bandwidth dan VSWR dapat terjadi dikarenakan proses pabrikasi yang kurang akurat, proses penyolderan yang kurang presisi, dan kabel probe yang terlalu sensitif.

Setelah melakukan simulasi pada keadaan *free space* maka dilakukan simulasi di *phantom*, begitupun dengan pengukuran. Setelah dilakukan pengukuran pada *phantom* maka didapat hasil VSWR paling rendah bernilai 1.17 dengan frekuensi kerja di 3.89 dengan bandwidth 658 MHz sedangkan pada saat simulasi didapatkan nilai VSWR paling rendah 1.47 dengan bandwidth 566 MHz dengan frekuensi kerja di 3.9. Hasil pengukuran realisasi memiliki nilai VSWR dan bandwidth yang lebih baik dibandingkan dengan hasil simulasi. Hal ini bisa disebabkan karena kurang akuratnya nilai permeabilitas dan permitivitas dari *gel plester* ketika di simulasi, alat yang digunakan untuk membaca denyut jantung, sehingga hal ini berpengaruh pada perbedaan hasil pengukuran. Terdapat pergeseran frekuensi sebesar 0.1 hal ini dapat terjadi dikarenakan hal ini dapat disebabkan karena pantulan yang terdapat di ruangan ketika pengukuran dan kurang akuratnya ketika proses pabrikasi.

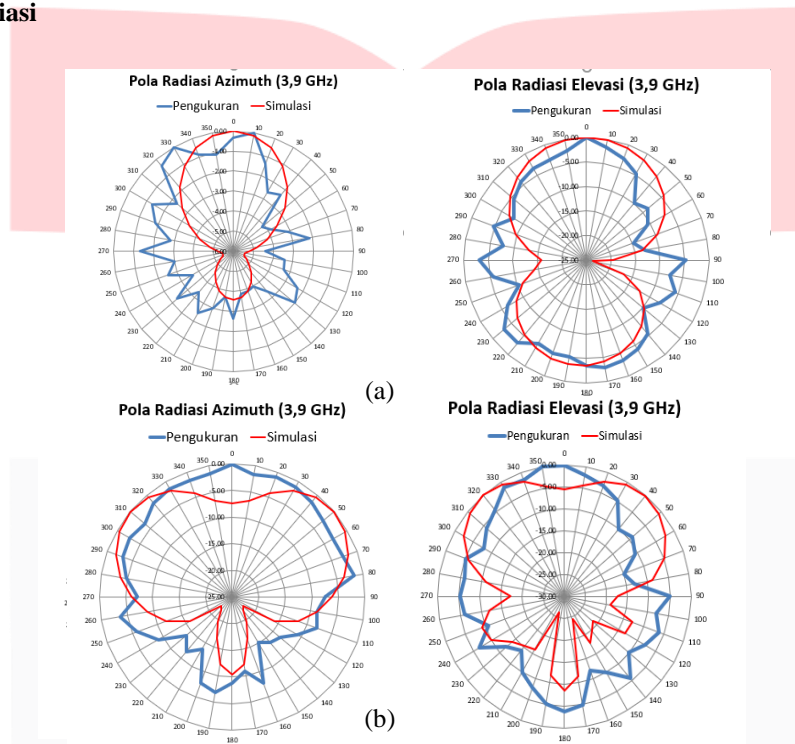
Kondisi *free space* dan kondisi ketika antenna didekatkan dengan dada terdapat perbedaan hasil pengukuran maupun hasil ketika disimulasi. Ketika antenna dalam kondisi *free space* nilai VSWR dan bandwidth memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan dengan kondisi antenna didekatkan dengan dada. Hal ini terjadi karena *phantom* yang terdiri dari *gel plester* dan *phantom dada* (kulit, lemak, dan otot) memiliki nilai permeabilitas dan permitivitas yang berbeda dengan kondisi *free space* sehingga mempengaruhi hasil

pengukuran maupun simulasi. Walaupun memiliki perbedaan hasil pengukuran, antenna masih bekerja pada rentang frekuensi yang diinginkan dan masih sesuai dengan spesifikasi minimum yang diharapkan.

**Tabel 1** Perbandingan VSWR antara phantom dan keadaan *free space*

| Parameter | Simulasi<br><i>free space</i> | Realisasi<br><i>Free space</i> | Simulasi<br><i>Phantom</i> | Realisasi<br><i>Phantom</i> |
|-----------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| VSWR      | 1.11                          | 1.55                           | 1.47                       | 1.17                        |
| Bandwidth | 1 GHz                         | 781 MHz                        | 915 MHz                    | 658 MHz                     |

#### 4.2 Pola radiasi



**Gambar 8** Perbandingan hasil pola radiasi pengukuran dan simulasi (a) *free space* (b) *phantom*

Gambar 8(a) Menunjukkan bahwa hasil polaradiasi pada bidang azimuth ketika simulasi memiliki pola radiasi *unidirectional* dengan terdapat sedikit *backlobe* dan nilai *front-back ratio* yang di dapat dari hasil realisasi adalah 3.68 dB.

Hasil pengukuran polaradiasi pada bidang elevasi menunjukkan pola radiasi *unidirectional* dengan *backlobe* yang cukup besar. Terdapat perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran hal ini dapat disebabkan oleh kurang idealnya tempat pengukuran karena terdapat benda lain seperti meja dan kursi serta alat alat lain yang memungkinkan terjadinya pantulan, rumus perhitungan ketika pengolahan data tidak terlalu akurat sehingga ketika pola radiasi di plot kan ke dalam grafik terdapat perbedaan dengan simulasi, pengaruh perubahan daya yang cepat sehingga bisa terjadi kesalahan ketika menulis.

Hasil pengukuran ketika antenna didekatkan didada memiliki perbedaan dari hasil simulasi dan realisasi, dapat terlihat pada Gambar 8(b) bahwa hasil realisasi maupun hasil simulasi memiliki pola radiasi *unidirectional* dengan hasil simulasi yang memiliki grafik yang lebih teratur dengan nilai *front-back ratio* yang di dapat adalah 15.45 dB untuk nilai *front-back ratio* hasil realisasi di dapat 8.89 dB. Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi memiliki pola radiasi yang lebih *unidirectional* dibandingkan dengan hasil realisasi. Terdapat perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil realisasi al ini dapat terjadi dikarenakan tubuh memiliki nilai permitivitas dan permeabilitas yang dapat mengganggu antenna ketika mengirimkan sinyal, kondisi pengukuran yang kurang ideal karena masih terdapat benda benda di dalam ruangan, sedangkan kondisi ketika simulasi merupakan kondisi yang ideal.



### 4.3 Hasil Pengukuran Gain

**Table 2** Perbandingan nilai gain simulasi dan realisasi pada saat *free space*

| No               | WRx     | No           | WRx    | No | WRx    | No | WRx    |
|------------------|---------|--------------|--------|----|--------|----|--------|
| 1                | -38.201 | 6            | -40.33 | 11 | -39.23 | 16 | -41.56 |
| 2                | -39.12  | 7            | -41.23 | 12 | -38.98 | 17 | -40.11 |
| 3                | -38.45  | 8            | -40.75 | 13 | -40.56 | 18 | -40.01 |
| 4                | -39.55  | 9            | -41.23 | 14 | -40.93 | 19 | -39.12 |
| 5                | -39.73  | 10           | -40.11 | 15 | -41.22 | 20 | -40.3  |
| <b>Rata rata</b> |         | -39.93131228 |        |    |        |    |        |
| <b>Gain(dBi)</b> |         | 2.164        |        |    |        |    |        |

Data pengukuran gain didapat dengan cara mengambil 20 kali sample daya yang dibaca pada saat pengukuran. Hasil pengukuran dan hasil simulasi memiliki perbedaan sebesar 1.094 dBi. Gain simulasi didapat 3.26 dBi, Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adanya jarak antar substrat yang kadang berubah ubah, kondisi pengukuran yang tidak terlalu ideal, fabrikasi patch yang kurang akurat.

**Table 3** Perbandingan nilai gain simulasi dan realisasi kondisi *phantom*

| No                | WRx    | No           | WRx    | No | WRx    | No | WRx    |
|-------------------|--------|--------------|--------|----|--------|----|--------|
| 1                 | -37.45 | 6            | -39.12 | 11 | -38.65 | 16 | -39.78 |
| 2                 | -37.25 | 7            | -39.55 | 12 | -39.22 | 17 | -38.44 |
| 3                 | -38.45 | 8            | -39.17 | 13 | -38.54 | 18 | -37.56 |
| 4                 | -37.54 | 9            | -39.12 | 14 | -38.14 | 19 | -38.42 |
| 5                 | -38.26 | 10           | -38.25 | 15 | -39.31 | 20 | -37.95 |
| <b>Rata- rata</b> |        | -38.44979578 |        |    |        |    |        |
| <b>Gain(dBi)</b>  |        | <b>2.904</b> |        |    |        |    |        |

Hasil pengukuran ketika antenna didekatkan pada dada memiliki nilai yang berbeda dengan hasil simulasi. Hasil pengukuran gain 2.904 dBi sedangkan pada saat simulasi, gain yang didapat sebesar 4.044 dBi. Terdapat perbedaan nilai gain antara simulasi dengan pengukuran, hasil pengukuran memiliki nilai gain yang lebih tinggi dibandingkan dengan hasil simulasi hal ini dapat terjadi bisa dikarenakan beberapa faktor diantaranya tidak akuratnya nilai permitivitas dan permeabilitas dari *gel plester* ketika disimulasi, faktor keterbatasan alat ukur dan proses pengukuran.

## 5. Kesimpulan

1. Terdapat perbedaan nilai VSWR, Bandwidth, Polaradiasi, dan gain antara hasil simulasi dan hasil pengukuran ketika kondisi *free space* maupun ketika didekatkan di dada. Hasil simulasi *free space* memiliki nilai yang lebih baik, walaupun begitu hasil realisasi masih masuk kedalam spesifikasi minimum yang diharapkan, sedangkan ketika kondisi antenna di dekatkan di dada hasil pengukuran memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan dengan hasil simulasi. Ini merupakan hal yang wajar, Perbedaan nilai dapat terjadi dikarenakan beberapa faktor diantaranya kondisi pengukuran yang kurang ideal, kabel probe yang terlalu sensitif, realisasi antenna yang kurang presisi, nilai permeabilitas dan permisivitas yang tidak akurat.
2. Polarisasi hasil simulasi dan pengukuran memiliki hasil yang sama yaitu polarisasi linier.
3. Hasil *free space* dan *phantom* memiliki perbedaan nilai nilai parameter hal ini disebabkan karena terdapatnya nilai permitivitas dan permeabilitas yang berbeda pada kedua kondisi.

**6. Daftar Pustaka**

- [1] M. U. H. Al Rasyid, B. Lee, and A. Sudarsono, "Wireless body area network for monitoring body temperature, heart beat and oxygen in blood," *2015 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl.*, pp. 95–98, 2015.
- [2] E. J. D. Bronzino, "Berbari, E. J. 'Principles of Electrocardiography.,'" 2000.
- [3] K. Yazdandoost and R. Kohno, "Design and analysis of an antenna for ultra-wideband system," *14th IST Mob. Wirel. ....*, 2005.
- [4] P. K. Manchi, R. Paily, and A. K. Gogoi, "Low Power Digital Baseband Transceiver Design for UWB Physical Layer of IEEE 802.15.6 Standard," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 3203, no. c, pp. 1–10, 2017.
- [5] C. A. Balanis, *Antenna Theory - Analysis and Design*. 2005.
- [6] R. Augustine, "Electromagnetic modelling of human tissues and its application on the interaction between antenna and human body in the BAN context To cite this version : HAL Id : tel-00499255," 2010.