



**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**PENGUKURAN DAN KARAKTERISASI KANAL  
PROPAGASI RADIO DARI HUB RUANG RAWAT INAP  
MENUJU SERVER STASIUN PERAWAT UNTUK APLIKASI  
MEDIS WBAN**

Darién Raditya Krisdaniawan  
NRP 07111240000143

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019





**FINAL PROJECT - EE 184801**

***MEASUREMENT AND CHARACTERIZATION OF RADIO  
PROPAGATION CHANNELS FROM THE PATIENT ROOM  
HUB TO THE NURSE STATION SERVER FOR WBAN  
MEDICAL APPLICATIONS***

Darién Raditya Krisdaniawan  
NRP 07111240000143

Advisors

Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.

Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019



**PERNYATAAN KEASLIAN  
TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir dengan judul "**Pengukuran dan Karakterisasi Kanal Propagasi Radio dari Hub Ruang Rawat Inap menuju Server Stasiun Perawat untuk Aplikasi Medis WBAN**" adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya orang lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2019



Darien Raditya Krisdaniawan  
NRP 07111240000143

*[ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ]*

**PENGUKURAN DAN KARAKTERISASI KANAL  
PROPAGASI RADIO DARI HUB RUANG RAWAT INAP  
MENUJU SERVER STASIUN PERAWAT UNTUK  
APLIKASI MEDIS WBAN**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

  
**Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D.**  
**NIP. 197011111993031002**

  
**Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT**  
**NIP. 196109031989031001**



*[ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ]*



# **PENGUKURAN DAN KARAKTERISASI KANAL PROPAGASI RADIO DARI HUB RUANG RAWAT INAP MENUJU SERVER STASIUN PERAWAT UNTUK APLIKASI MEDIS WBAN**

**Nama** : Darien Raditya Krisdaniawan  
**Dosen** : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendranto,  
**Pembimbing** M.Eng., Ph.D.  
2. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

## **ABSTRAK**

Seiring dengan perkembangan jaman, teknologi dituntut untuk semakin canggih, efisien, dan serba otomatis. Perkembangan teknologi ini juga memberi pengaruh pada dunia medis, dimana di rumah sakit dibutuhkan alat yang secara otomatis dapat merekam keadaan fisik pasien di ruang rawat inap secara detail dan akurat serta dapat dikirim dan dicek oleh perawat jaga di stasiun perawat. Otomatisasi perekaman data pasien ini akan dilakukan secara fleksibel dan nyaman bagi pasien, sehingga dibutuhkan perangkat nirkabel yang menghubungkan sensor pada tubuh pasien dengan stasiun perawat. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran untuk mengkarakterisasi kanal propagasi radio tersebut. Dalam Tugas Akhir ini akan berfokus pada kanal radio antara hub ruang rawat inap dengan server stasiun perawat. Pengukuran akan dilakukan di dua ruang yang terpisah oleh dinding di Laboratorium Antena dan Propagasi untuk mempresentasikan ruang rawat inap dan ruang stasiun perawat. Frekuensi kanal yang digunakan adalah 3 GHz dengan *bandwidth* 200 MHz. Dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA), hasil yang didapat berupa respon kanal dengan karakteristik semakin padat kanal propagasinya, semakin kecil daya terimanya. Begitu juga dengan sebaliknya, semakin lancar kanal propagasinya, semakin besar daya yang diterima.

Kata Kunci : WBAN, Respon Frekuensi, Respon Impuls

*[ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ]*

**MEASUREMENT AND CHARACTERIZATION OF RADIO  
PROPAGATION CHANNELS FROM THE PATIENT ROOM HUB  
TO THE NURSE STATION SERVER FOR WBAN MEDICAL  
APLLICATIONS**

**Name** : Darien Raditya Krisdaniawan  
**Advisors** : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
: 2. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

**ABSTRACT**

*Along with the development of the era, technology is required to be more sophisticated, efficient, and fully automated. The development of this technology also has an influence on the medical world, where in hospitals it is needed a tool that can automatically record the physical condition of patients in the inpatient room in detail and accurately and can be sent and checked by the nursing nurse at the nursing station. The automation of recording patient data will be done flexibly and comfortably for the patient, so a wireless device is needed that connects the sensor to the patient's body with the nurse station. Therefore, a measurement is needed to characterize the radio propagation channel. In this Final Project will focus on the radio channel between the inpatient hub and the nurse station server. Measurements will be carried out in three separate rooms by walls at the Antenna and Propagation Laboratory to present the inpatient and nurse station rooms. The channel frequency used is 3 GHz with 200 MHz bandwidth. By using Vector Network Analyzer (VNA), the results obtained in the form of channel response with the characteristics of the denser propagation channel, the smaller the power received. Likewise with the opposite, the smoother the propagation channel, the greater the power received.*

*Keywords : Wireless Body Area Network, Impuls Response, Frequency Response*

*[ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ]*

## **KATA PENGANTAR**

### **PENGUKURAN DAN KARAKTERISASI KANAL PROPAGASI RADIO DARI HUB RUANG RAWAT INAP MENUJU SERVER STASIUN PERAWAT UNTUK APLIKASI MEDIS WBAN**

Tugas Akhir yang memiliki beban 6 SKS (Satuan Kredit Semester) merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh penulis untuk menyelesaikan studi Strata-1 di Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Pada kesempatan ini, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat, dana, dan doa.
2. Bapak Gamantyo dan bapak Maulud selaku Dosen Pembimbing atas segala bantuan, perhatian, dan arahan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibu dosen pengajar Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Teknik Elektro ITS.
4. Teman-teman terdekat, mulai dari teman jurusan, teman komunitas, maupun teman UKM.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis menyadari banyak kekurangan, baik dalam penulisan laporan maupun pembahasan masalah. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar lebih baik di masa yang akan datang. Terima Kasih.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

*[ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ]*

# DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metodologi Penelitian .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
1.7 Relevansi .....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Jaringan Area Tubuh Nirkabel .....	7
2.2 Karakteristik Kanal WBAN .....	8
2.3 Arsitektur Jaringan WBAN .....	9
2.4 Vector Network Analyzer (VNA) .....	11
2.5 Respon Impuls .....	12
2.6 Respon Frekuensi .....	12
2.7 <i>Scattering Parameter</i> (S-Parameter) .....	13
2.8 Koefisien Refleksi .....	14
2.9 Return Loss .....	15
2.10 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) .....	15
2.11 Bandwidth .....	16
2.12 Pola Radiasi .....	16
2.13 Diffraction Loss .....	19
2.14 <i>Gain</i> .....	19
2.15 Perhitungan Dimensi <i>Rectangular Patch</i> .....	19
2.16 <i>Multipath</i> .....	20
2.17 Parameter Statistik .....	21
2.17.a Rata-Rata .....	21
2.17.b <i>Varians</i> .....	21
2.17.c <i>Standar Deviasi</i> .....	22
2.17.d <i>Cumulative Distribution Function</i> .....	22
2.18 Matrix <i>Laboratory</i> .....	23

2.19 CST <i>Studio Suite</i> .....	23
<b>BAB 3 METODE PENGUKURAN</b> .....	<b>25</b>
3.1 Sistem Pengukuran .....	26
3.2 Parameter Pengukuran.....	28
3.3 Antena Microstrip Patch Rectangular .....	28
3.4 Prosedur Kalibrasi Alat Ukur .....	30
3.5 Proses Pengukuran Return Loss Antena Microstrip Patch Rectangular.....	30
3.6 Proses Pengukuran Rugi-Rugi Kabel .....	32
3.7 Proses Pengukuran <i>Voltage Standing Wave Ratio</i> (VSWR) ..	34
3.8 Skenario Pengukuran.....	35
3.9 Medan Radiasi Antena .....	39
3.10 <i>Set Up</i> Pengukuran .....	40
<b>BAB 4 ANALISA DATA</b> .....	<b>43</b>
4.1 Mekanisme Propagasi Gelombang.....	43
4.2 Statistik Respon Kanal .....	46
4.3 Sintesis .....	49
<b>BAB 5 PENUTUP</b> .....	<b>53</b>
5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Saran .....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>55</b>
<b>LAMPIRAN A</b> .....	<b>57</b>
<b>LAMPIRAN B</b> .....	<b>59</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS</b> .....	<b>61</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b> <i>Frequency Bands</i> untuk WBAN.....	8
<b>Gambar 2.2.</b> Skema Komunikasi <i>Intra-body</i> pada WBAN .....	10
<b>Gambar 2.3.</b> Arsitektur Jaringan WBAN .....	11
<b>Gambar 2.4.</b> <i>Virtual Network Analyzer (VNA)</i> .....	12
<b>Gambar 2.5.</b> Konsep S-Parameter dengan Dua Terminal.....	13
<b>Gambar 2.6.</b> Pola Radiasi Antena <i>Directional</i> .....	18
<b>Gambar 2.7.</b> <i>Multipath Propagation</i> .....	20
<b>Gambar 2.8.</b> <i>Interface MATLAB</i> .....	23
<b>Gambar 2.9.</b> <i>Interface CST Studio Suite</i> .....	23
<b>Gambar 3.1.</b> Ilustrasi Pengukuran .....	25
<b>Gambar 3.2.</b> Diagram Sistem Pengukuran .....	26
<b>Gambar 3.3.</b> Denah Pengukuran.....	27
<b>Gambar 3.4.</b> Antena Microstrip Patch Rectangular .....	29
<b>Gambar 3.5.</b> Pola Radiasi 2D Phi 90° .....	29
<b>Gambar 3.6.</b> Pola Radiasi 2D Theta 90° .....	29
<b>Gambar 3.7.</b> Pola Radiasi 3D .....	30
<b>Gambar 3.8.</b> <i>Return Loss</i> Antena 1.....	31
<b>Gambar 3.9.</b> <i>Return Loss</i> Antena 2.....	32
<b>Gambar 3.10.</b> Rugi-Rugi Kabel 1 .....	33
<b>Gambar 3.11.</b> Rugi-Rugi Kabel 2.....	33
<b>Gambar 3.12.</b> Hasil Pengukuran VSWR Antena.....	34
<b>Gambar 3.13.</b> Denah Skenario Pengukuran.....	35
<b>Gambar 3.14.</b> Antena-Antena Tx di B.306 untuk titik (a) A (b) B (c) C (d) D.....	35
<b>Gambar 3.15.</b> Antena-Antena Rx di B.305 untuk titik (a) H (b) K (c) G (d) I.....	36
<b>Gambar 3.16.</b> Alat-Alat Pengukuran .....	41
<b>Gambar 3.17.</b> Denah Pengukuran.....	42
<b>Gambar 4.1.</b> Beberapa Contoh <i>Link-Link</i> LOS.....	43
<b>Gambar 4.2.</b> <i>Link</i> DG .....	44
<b>Gambar 4.3.</b> <i>Link</i> FK.....	45
<b>Gambar 4.4.</b> Antena Posisi D, E, F, G, J .....	45
<b>Gambar 4.5.</b> Grafik Cumulative Distribution Function Magnitudo.....	48
<b>Gambar 4.6.</b> Grafik Cumulative Distribution Function Fase.....	48
<b>Gambar 4.7.</b> <i>Link</i> BJ dan <i>Link</i> BK.....	50
<b>Gambar 4.8.</b> <i>Link</i> BG dan <i>Link</i> EJ.....	50

*[ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ]*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1.</b> Standar WBAN.....	9
<b>Tabel 2.2.</b> Spesifikasi <i>Vector Network Analyzer</i> Agilent N9923A.....	11
<b>Tabel 3.1.</b> Parameter Pengukuran.....	28
<b>Tabel 3.2.</b> Skenario Pengukuran.....	38
<b>Tabel 4.1.</b> Data Hasil Pengukuran Magnitudo Respon Kanal .....	46
<b>Tabel 4.2.</b> Data Hasil Pengukuran Fase Respon Kanal .....	47

*[ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ]*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan jaman, teknologi dituntut untuk semakin canggih, efisien, dan serba otomatis. Perkembangan teknologi ini juga memberi pengaruh pada dunia medis, dimana di rumah sakit dibutuhkan alat yang secara otomatis dapat merekam keadaan fisik pasien di ruang rawat inap secara detail dan akurat serta dapat dikirim dan dicek oleh perawat jaga di stasiun perawat. Otomatisasi perekaman data pasien ini akan dilakukan secara fleksibel dan nyaman bagi pasien, sehingga dibutuhkan perangkat nirkabel yang menghubungkan sensor pada tubuh pasien dengan stasiun perawat.

Mengingat banyaknya jumlah pasien yang dirawat, maka dibutuhkan juga jaringan wireless yang bertopologi pohon yang berpusat pada server di stasiun perawat dan bercabang pada hub dalam tiap ruang rawat inap menuju sensor-sensor pada semua pasien. Untuk merealisasikan jaringan tersebut, maka perlu diketahui lebih dulu karakteristik kanal propagasi radio yang digunakan agar dapat dirancang sistem komunikasi digital yang sesuai. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran untuk mengkarakterisasi kanal propagasi radio tersebut. Selain itu juga, pengukuran ini bertujuan agar dapat mendesain kanal propagasi yang baik yang sesuai dengan tujuan dan fungsinya.

Dalam Tugas Akhir ini akan berfokus pada kanal radio antara hub ruang rawat inap dengan server stasiun perawat. Pengukuran akan dilakukan di dua ruang yang terpisah oleh dinding di Laboratorium Antena dan Propagasi, yaitu ruang B.305 dan B.306, dengan tujuan untuk mempresentasikan ruang rawat inap dan ruang stasiun perawat. Frekuensi kanal yang digunakan adalah 3 GHz dengan *bandwidth* 200 MHz. Antena yang digunakan adalah dua antena *microstrip patch rectangular* identik dengan frekuensi kerja 3 GHz. Hasil yang didapat berupa respon kanal yang diperoleh dengan cara mengukur respon frekuensi menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA). Parameter kanal yang dikarakterisasi berupa redaman dan dispersi waktu. Hasil tersebut, dengan menggunakan teknik *Cumulative Distribution Function*, dibuat grafik respon frekuensinya agar didapat kesimpulan yang sesuai dengan tujuan yang diinginkan.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mengukur parameter kanal radio yang berupa redaman dan dispersi waktu antara hub ruang rawat inap dengan server stasiun perawat?
2. Bagaimana cara mengkarakterisasi parameter-parameter kanal radio tersebut?
3. Bagaimana karakteristik kanal radio tersebut?

## 1.3 Tujuan

Tujuan yang diharapkan tercapai setelah selesainya tugas akhir ini adalah sebagai berikut

1. Dapat mengetahui cara mengukur kanal radio.
2. Memperoleh karakteristik kanal propagasi radio yang optimal melalui parameter statistik.

## 1.4 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan permasalahan yang ada, maka hal-hal yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Kanal yang diukur adalah kanal pada frekuensi 3 GHz dengan *bandwidth* 200 MHz.
2. Pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer*.
3. Pengukuran dilakukan di ruang B.305, B.306, dan B.306a di Laboratorium Antena dan Propagasi ITS.

## 1.5 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini dijabarkan sebagai berikut :

### 1. Studi Pustaka

Studi Literatur dilakukan untuk mencari dan mengumpulkan literatur dan kajian yang berkaitan dengan masalah-masalah yang ada pada Tugas Akhir ini, baik berupa buku referensi, jurnal, dan sumber-sumber lain yang berhubungan dengan:

- a) Jaringan Area Tubuh Nirkabel
- b) Respon Impuls
- c) Respon Frekuensi

- d) Pola Radiasi Antena
- e) *Scattering* Paramater
- f) Koefisien Refleksi
- g) *Return Loss*
- h) *Bandwidth*
- i) *Voltage Standing Wave Ratio*
- j) *Diffraction Loss*
- k) *Gain*

## **2. Persiapan Sistem Pengukuran**

Pada tahap ini, akan dipersiapkan mulai dari cara mengukur respon frekuensi kanal dan respon impuls kanal, pelatihan penggunaan VNA, cara mengukur rugi-rugi kabel, dan menentukan ruangan yang akan digunakan.

## **3. Pengukuran Kanal**

Pada tahap ini, yang diukur adalah respon frekuensi kanal dan respon impuls kanal dengan frekuensi tengah 3 GHz dan bandwidth 200 MHz. Pengukuran dilakukan di dua ruang yang terpisah oleh dinding, yaitu pada ruang B.305 dan B.306. Pengukuran dilakukan untuk 11 pasang lokasi pemancar dan penerima yang berbeda, sehingga diperoleh 30 respon impuls.

## **4. Karakterisasi Kanal Hasil Pengukuran**

Pada tahap ini, dari setiap respon impuls yang didapat akan dihitung redaman dan dispersi waktunya. Data yang didapat dari hasil pengukuran kemudian diolah agar didapat data pengukuran yang terbebas dari rugi-rugi kabel, efek antena, efek jarak, maupun efek *gain* antena.

## **5. Analisis Data dan Penarikan Kesimpulan**

Pada tahap ini akan dilakukan analisis statistik redaman dan dispersi waktu dari 30 kanal tersebut dengan mencari rata-rata dan membuat grafik *Cumulative Distribution Function* (CDF) berdasarkan data hasil pengukuran, baik magnitudo maupun fase.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan tugas akhir merupakan rincian laporan tugas akhir yang berisi tentang penjelasan mengenai tahapan-tahapan yang

dilakukan dalam penelitian tugas akhir. Berikut merupakan penjelasan dari tahapan-tahapan dari penulisan tugas akhir :

- **BAB 1 PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisi tentang latar belakang tugas akhir, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah tugas akhir, metodologi penelitian, sistematika laporan, dan relevansi dari tugas akhir yang dilakukan.

- **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini menjelaskan tinjauan pustaka yang membahas tentang jaringan area tubuh nirkabel, respon impuls, respon frekuensi, pola radiasi antena, koefisien refleksi, *scattering parameter*, *return loss*, *bandwidth*, *voltage standing wave ratio*, *diffraction loss*, dan *gain* antena.

- **BAB 3 METODE PENGUKURAN**

Pada bab tiga menjelaskan tentang metode dan cara yang digunakan pada saat pengukuran, sistem pengukuran yang digunakan, bagaimana mengoperasikan *Virtual Network Analyzer* (VNA), bagaimana cara mengukur rugi-rugi kabel, bagaimana cara menghitung *return loss* antena yang digunakan, skema pengukuran yang dilakukan, dan *set up* pengukuran.

- **BAB 4 ANALISA DATA**

Pada bab empat, mempunyai 3 bagian, yaitu mekanisme propagasi gelombang, statistik respon kanal, dan sintesis. Mekanisme propagasi gelombang menjelaskan tentang bagaimana cara suatu gelombang dapat dikirim oleh pengirim dan dapat diterima oleh penerima. Statistik respon kanal berisi hasil data pengukuran yang telah diolah menjadi grafik *Cumulative Distribution Function* dari statistik data yang diperoleh. Sintesis menjelaskan analisis dan kesimpulan berdasarkan hasil data pengukuran dari pengukuran yang telah dilakukan.

- **BAB 5 PENUTUP**

Pada bab lima, berisi tentang kesimpulan dan saran yang terkait dengan pengukuran yang telah dilakukan dan hasil data pengukuran yang telah didapat.



## **1.7 Relevansi**

Hasil yang didapat dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Pemahaman mengenai teknik pengukuran dan karakterisasi kanal yang berupa redaman dan dispersi waktu.
2. Pengetahuan tentang karakteristik kanal propagasi radio untuk aplikasi WBAN.
3. Rekomendasi model kanal radio WBAN untuk aplikasi sistem komunikasi nirkabel antara hub ruang rawat inap dengan server stasiun perawat.

*[ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ]*

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Jaringan Area Tubuh Nirkabel**

Jaringan area tubuh atau Body Area Network (BAN) merupakan sebuah jaringan yang terdiri dari satu atau lebih node yang dipasang di tubuh seseorang dan dapat berkomunikasi dengan node-node lainnya baik secara single-hop maupun multi-hop. Sebuah jaringan BAN dapat memonitor parameter fisiologis dengan bantuan sensor, mendeteksi lebih dini perubahan parameter fisiologis, dan menyampaikan informasi yang diukur dari data yang didapat dari sensor yang berada di tubuh pasien, seperti sensor tekanan darah, kandungan oksigen dalam darah atau SpO<sub>2</sub>, dan detak jantung. Untuk menambahkan mobilitas, *body area network* dipasang secara nirkabel yang selanjutnya disebut dengan wireless body area network (WBAN). Dengan demikian pencatatan atau monitoring keadaan fisiologis pasien dapat dilakukan dalam kondisi yang lebih beragam, seperti saat pasien sedang berjalan, duduk, dan berbaring.

Jaringan Area Tubuh Nirkabel atau *Wireless Body Area Network* (WBAN) adalah sebuah konsep jaringan yang telah berkembang dengan tujuan mengumpulkan, memproses, dan menyimpan catatan data fisiologis penting pada tubuh manusia melalui media sensor. Data-data tersebut kemudian dikirim ke layer lebih tinggi untuk diartikan melalui media nirkabel. Beberapa contoh pengaplikasian WBAN berupa aplikasi pada komunikasi dan aplikasi hiburan, sehingga WBAN harus mampu mengirim data dengan *data rate* yang tinggi. Selain itu, WBAN juga harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- a. Mampu mengutamakan transmisi data dari sumber atau sinyal yang lebih penting dengan aman
- b. Penggunaan daya yang rendah dan daya pancar yang terkontrol
- c. Mampu beroperasi dan dapat berdampingan pada lingkungan dengan banyak teknologi nirkabel lain

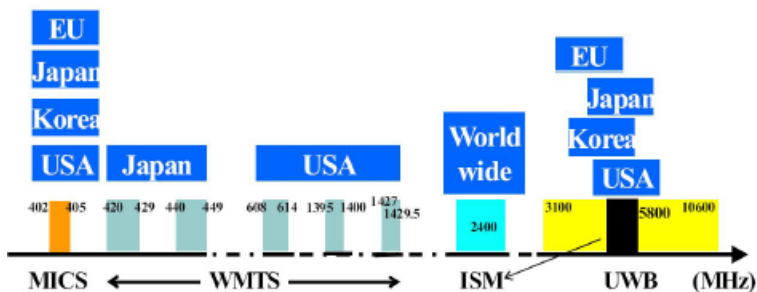
Dalam WBAN, sangatlah penting untuk mengetahui karakter atau ciri-ciri dari papagasi gelombang elektromagnetik yang digunakan, baik dari perangkat yang melekat pada tubuh manusia maupun yang tertanam dalam tubuh manusia. Berdasarkan letak node sensor pada kanal WBAN, node ini terbagi atas tiga macam, yaitu:

- a. Node implan  
Merupakan kondisi dimana node ditanam dalam tubuh manusia. Biasanya ditempatkan dibawah kulit ataupun di jaringan dalam tubuh manusia.
- b. Node permukaan tubuh  
Merupakan kondisi dimana node menempel pada permukaan kulit manusia
- c. Node eksternal  
Merupakan kondisi dimana node tidak bersentuhan dengan tubuh manusia

Hadirnya protokol WBAN sangat membantu tenaga medis dalam melakukan diagnosis dan perawatan yang lebih cepat dan tepat karena dapat dilakukan secara real time dan jarak jauh. WBAN dimanfaatkan untuk monitoring secara real time, oleh karena itu diperlukan latency kecil dan data rate yang tinggi. Pengaplikasiannya pada ICU digunakan pada tubuh pasien dan penempatan titik sensor pada tubuh pasien dapat bervariasi tergantung dari gejala dan treatment yang dibutuhkan dari masing-masing pasien.

## 2.2 Karakteristik Kanal WBAN

Dalam dunia WBAN, ada standar yang digunakan, baik frekuensi yang digunakan maupun *bandwidth* yang digunakan. IEEE mengeluarkan standard untuk WBAN, yaitu IEEE 802.15.6, dimana standard ini menjelaskan *layer physical* dan *layer medium access control (MAC)* untuk WBAN. Gambar 2.1 menunjukkan beberapa *frequency bands* yang lazim digunakan pada berbagai negara.



Gambar 2.1. *Frequency Bands* untuk WBAN [12]

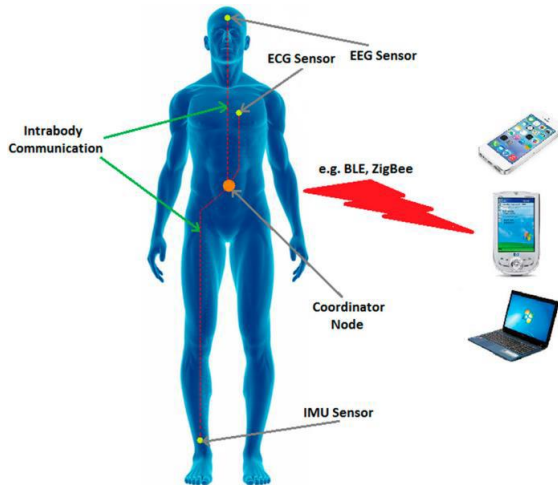
*Medical Implant Communication Service* (MICS) digunakan pada komunikasi implan dan memiliki frekuensi 402-405 MHz. *Wireless Medical Telemetry Services* (WMTS) digunakan pada sistem telemetri medis. MICS dan WMTS tidak mendukung aplikasi yang membutuhkan *data rate* yang tinggi. *Industrial, Scientific, and Medical* (ISM) *bands* mendukung *data rate* yang tinggi, akan tetapi tinggi kemungkinan *device* yang digunakan akan mengalami interferensi mengingat banyak *device* IEEE 802.1 dan 802.15.4 juga banyak beroperasi pada ISM *bands*. ISM *bands* memiliki frekuensi 2.4 GHz – 2.485 GHz. Modulasi yang digunakan sesuai standard, yaitu *differential binary phase-shift keying* (DBPSK), *differential quadrature phase-shift keying* (DQPSK), dan *differential 8-phase-shift keying* (D8PSK) [12]. Modul komunikasi yang dapat digunakan pada WBAN diantaranya adalah Bluetooth Low Energy Module (BLE), ZigBee, dan NRF module. Standar WBAN yang digunakan mengikuti *Industrial Scientific Medical* (ISM), baik frekuensi maupun bandwidth yang digunakan. Frekuensi dan bandwidth yang digunakan, dapat dilihat pada Tabel 2.1. Frekuensi dan bandwidth tersebutlah yang mempengaruhi karakteristik kanal WBAN.

### 2.3 Arsitektur Jaringan WBAN

Jaringan Area Tubuh Nirkabel atau *Wireless Body Area Network* (WBAN) menghubungkan node yang terletak di pakaian, di tubuh atau di bawah kulit seseorang. Jaringan ini biasanya meluas ke seluruh tubuh manusia dan simpul-simpul tersebut terhubung melalui saluran komunikasi nirkabel. Menurut implementasinya, node-node ini ditempatkan pada topologi pohon atau *tree*.

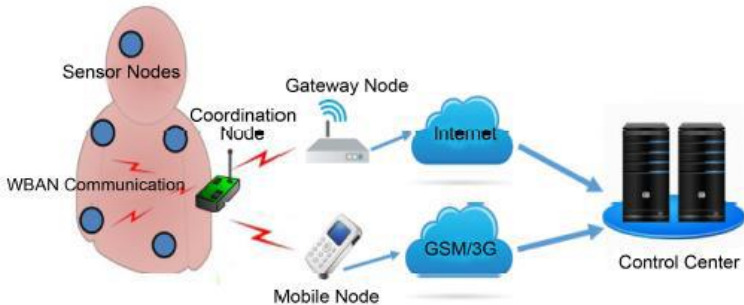
**Tabel 2.1.** Standar WBAN

Spesifikasi	Nilai
<i>Data Rate</i>	2 Mbps
Jarak	0,01 – 2 m
Daya yang digunakan	1 – 10 mWatt
Frekuensi yang digunakan	400 Mhz, 800 Mhz, 900 Mhz, 2,4 Ghz
The Human Body Communication Frequency	50 Mhz
The Ultra Wideband Frequency	3,1 GHz – 10,6 GHz



**Gambar 2.2.** Skema Komunikasi *Intra-body* pada WBAN [13]

WBAN menawarkan banyak aplikasi baru yang menjanjikan di bidang pemantauan kesehatan jarak jauh, perawatan di rumah atau kesehatan, kedokteran, multimedia, olahraga, dan banyak lainnya, yang semuanya memanfaatkan kebebasan bergerak tanpa batas yang ditawarkan WBAN. Di bidang medis, misalnya, seorang pasien dapat dilengkapi dengan jaringan area tubuh nirkabel yang terdiri dari sensor yang secara konstan mengukur fungsi biologis tertentu, seperti suhu, tekanan darah, detak jantung, elektrokardiogram (EKG), dan pernapasan. Keuntungan dari jaringan WBAN ini adalah bahwa pasien tidak harus tinggal di tempat tidur, tetapi dapat bergerak bebas melintasi ruangan dan bahkan meninggalkan rumah sakit untuk sementara waktu. Ini meningkatkan kualitas hidup pasien dan mengurangi biaya rumah sakit. Selain itu, data yang dikumpulkan selama periode yang lebih lama dan di lingkungan alami pasien, menawarkan informasi yang lebih bermanfaat, memungkinkan untuk diagnosis yang lebih akurat dan kadang-kadang bahkan lebih cepat. Gambar 2.2 menunjukkan skema komunikasi yang terjadi pada WBAN dengan protokol *low energy communication*. Data yang dikumpulkan pada *coordinator node* dari tiap-tiap sensor seterusnya dilakukan pengiriman ke sebuah *base station* atau *control center* untuk pemrosesan dan analisis data lebih lanjut, untuk lebih jelasnya ditunjukkan oleh gambar 2.3 [13].



**Gambar 2.3.** Arsitektur Jaringan WBAN [13]

## 2.4 Vector Network Analyzer (VNA)

Vector Network Analyzer merupakan instrumen atau alat ukur yang menghitung parameter amplitudo dan fase. Gambar VNA bisa dilihat pada Gambar 2.4. VNA biasanya juga digunakan untuk mengukur  $s$ -parameter karena refleksi dan transmisi jaringan listrik mudah diukur pada frekuensi tinggi. Selain itu, VNA juga dapat digunakan untuk mengukur parameter jaringan lain seperti parameter  $y$ , parameter  $z$ , dan parameter  $h$ . Analisa jaringan sering digunakan untuk mengkarakterisasi jaringan dua-port seperti *amplifier* dan *filter*, tetapi mereka dapat digunakan pada jaringan dengan jumlah port yang banyak. Spesifikasi dari *Vector Network Analyzer* Agilent N9923A dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2.** Spesifikasi *Vector Network Analyzer* Agilent N9923A

Parameter	Nilai
VNA Type	Agilent N9923A
Frequency	2-6 GHz
Number of Point	801
IF Bandwidth	10 kHz
Sweep Time	Auto (740 ms)
Calibration	Full Two Port
Tx Power	0 dB
Input Impedance	50 Ohm



**Gambar 2.4.** *Virtual Network Analyzer (VNA)*

## 2.5 Respon Impuls

Respon impuls adalah fungsi transfer kanal dalam domain waktu  $h(t)$ . Respon impuls tersebut biasanya didapat dengan metode Inverse Fast Fourier Transformation dari fungsi transfer kanal dalam domain frekuensi  $H(f)$ . Respon impuls juga dapat dimodelkan sebagai Respon Impuls Time Invariant karena biasanya dilakukan pada sistem yang tetap. Respon impuls  $h(t)$  dari sebuah sistem *Linear Time-Invariant (T)* didefinisikan sebagai respon dari sistem ketika input adalah  $\delta(t)$ , dimana:

$$h(t) = T[\delta(t)] \quad (2.1)$$

Jika  $h(t) = 0$  untuk  $t < 0$ , maka sistem dapat dikatakan sebagai sistem yang *causal*.

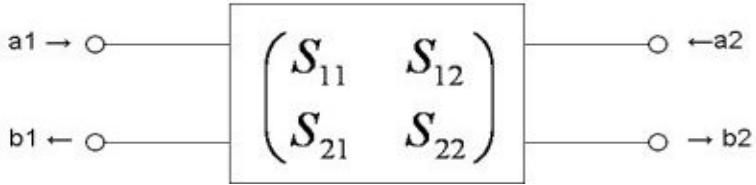
## 2.6 Respon Frekuensi

Dengan mengaplikasikan teori konvolusi dari transformasi Fourier pada sistem Linear Time-Invariant, maka didapat:

$$Y(\omega) = X(\omega)H(\omega) \quad (2.2)$$

dimana  $X(\omega) = F[x(t)]$ ,  $Y(\omega) = F[y(t)]$ , dan  $H(\omega)$  merupakan respon frekuensi dari sistem. Dimana  $F[x(t)]$  adalah Transformasi Fourier sinyal input dan  $F[y(t)]$  adalah Transformasi Fourier sinyal output.





**Gambar 2.5.** Konsep S-Parameter dengan Dua Terminal

## 2.7 Scattering Parameter (S-Parameter)

S-Parameter merupakan besaran yang menunjukkan keterkaitan dari terminal masukan dan dari terminal keluaran suatu saluran transmisi yang berkaitan dengan daya sinyal yang diteruskan maupun yang dipantulkan. Konsep S-Parameter dalam dua terminal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.5.

Keterangan :

$S_{11}$  : perbandingan antara daya masuk dan daya keluar dari terminal 1

$S_{12}$  : perbandingan antara daya masuk dari terminal 1 dan keluar ke terminal 2

$S_{21}$  : perbandingan antara daya masuk dari terminal 2 dan keluar ke terminal 1

$S_{22}$  : perbandingan antara daya masuk dan keluar dari terminal 2

$a_1$  : daya masuk dari terminal 1

$a_2$  : daya masuk dari terminal 2

$b_1$  : daya keluar ke terminal 1

$b_2$  : daya keluar ke terminal 2

Dari gambar 1 maka didapatkan persamaan :

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \quad (2.3)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \quad (2.4)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \quad (2.5)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \quad (2.6)$$

## 2.8 Koefisien Refleksi

Koefisien refleksi merupakan perbandingan daya pantul dengan daya masuk, dapat dikatakan koefisien refleksi sama dengan nilai  $S_{11}$ . Nilai koefisien refleksi bisa diubah menjadi fungsi tegangan melalui persamaan :

$$P = \frac{v^2}{Z_0} \quad (2.7)$$

$$\sqrt{P} = \frac{v}{Z_0} \quad (2.8)$$

Keterangan :

P : daya

V : tegangan

$Z_0$  : impedansi karakteristik

Koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$  merupakan perbandingan tegangan pantul ( $v^{0-}$ ) dengan tegangan masuk ( $v^{0+}$ )) dengan persamaan :

$$\Gamma = \frac{v^{0-}}{v^{0+}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.9)$$

Keterangan :

$\Gamma$  : koefisien refleksi tegangan

$v^{0-}$  : tegangan pantul

$v^{0+}$  : tegangan masuk

$Z_L$  : impedansi beban

$Z_0$  : impedansi karakteristik

Koefisien refleksi tegangan memiliki beberapa kondisi khusus antara lain :

1.  $\Gamma = -1$  : refleksi negatif maksimum, saluran terhubung singkat
2.  $\Gamma = 0$  : tidak ada refleksi, saluran match

3.  $\Gamma = 1$  : refleksi positif maksimum, saluran dalam rangkaian terbuka.

## 2.9 Return Loss

*Return loss* adalah perbandingan daya pantul dengan daya yang masuk. *Return Loss* juga merupakan bentuk logaritmik dari koefisien refleksi dengan satuan desibel (dB).

$$RL \text{ (dB)} = 20 \log|\Gamma| = 10 \log \frac{P_i}{P_r} \quad (2.10)$$

Keterangan :

RL : *return loss*

$\Gamma$  : koefisien refleksi tegangan

$P_i$  : tegangan pantul

$P_r$  : tegangan masuk

Nilai dari *return loss* dapat menentukan kinerja dari antenna, dalam hal ini bisa untuk menentukan frekuensi kerja dari antenna. Semakin rendah nilai *return loss* suatu antenna, maka semakin baik kinerja dari antenna dibandingkan dengan daya yang masuk. Batas maksimum nilai *return loss* suatu antenna adalah -10 dB.

## 2.10 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

VSWR merupakan perbandingan amplitudo tegangan gelombang berdiri maksimum ( $|V_{max}|$ ) dengan amplitudo tegangan gelombang berdiri minimum ( $|V_{min}|$ ). Besarnya nilai VSWR bisa didapatkan dari persamaan :

$$VSWR = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.11)$$

Keterangan :

VSWR : *Voltage Standing Wave Ratio*

$\Gamma$  : koefisien refleksi tegangan

$V_{max}$  : amplitudo tegangan gelombang berdiri maksimum

$V_{min}$  : amplitudo tegangan gelombang berdiri minimum

VSWR memiliki rentang nilai dari 1 sampai tak hingga. VSWR menjadi salah satu parameter untuk menentukan kinerja antenna, terutama dalam menentukan frekuensi kerja antenna. Semakin besar nilai VSWR maka kinerja antenna semakin buruk. Ketika VSWR bernilai 1, maka kinerja antenna dikatakan baik. Hal itu menandakan antenna *match* dengan saluran transmisi. Batas nilai maksimum VSWR untuk suatu antenna adalah 2.

### 2.11 Bandwidth

*Bandwidth* merupakan rentang frekuensi agar kinerja suatu perangkat masih dapat diterima. Untuk antenna, maka *bandwidth* merupakan rentang frekuensi dimana VSWR dan *return loss* tidak melewati nilai maksimum untuk antenna. *Bandwidth* memiliki dua batas, yaitu batas atas ( $f_1$ ) dan batas bawah ( $f_2$ ). Besarnya *bandwidth* merupakan rentang nilai diantara batas ( $f_1$ ) atas dan batas bawah ( $f_2$ ) untuk antenna *narrow band* atau *bandwidth* sempit sering disebutkan dalam persentase yang didapatkan dari persamaan:

$$BW = \frac{f_1 - f_2}{f_c} \times 100\% \quad (2.12)$$

Keterangan :

BW : *bandwidth*

$f_1$  : batas atas frekuensi kerja

$f_2$  : batas bawah frekuensi kerja

$f_c$  : titik tengah frekuensi kerja

### 2.12 Pola Radiasi

Pola radiasi merupakan gambaran grafis karakteristik radiasi dari sebuah antenna. Pola radiasi antenna disebut pola medan (*field pattern*) jika yang digambarkan adalah kuat medan. Untuk menyatakan pola radiasi secara grafis, pola radiasi dapat digambarkan dalam bentuk absolut atau relatif. Bentuk relatif yang dimaksud mempunyai pola radiasi yang sudah ternormalisasi, dimana tiap nilai dari pola radiasi dibagi dengan nilai maksimumnya, sehingga pola radiasi yang ternormalisasi memiliki persamaan :

$$F_{(\theta, \Phi)} = \frac{P_{(\theta, \Phi)}}{E_{(\theta, \Phi)_{\max}}} \quad (2.13)$$

Karena *pointing vector* hanya mempunyai komponen radiasi yang berbanding lurus dengan kuadrat *magnitude* kuat medannya, maka pola daya yang dinyatakan dalam pola ternormalisasi sama dengan kuadrat dari pola medan yang sudah ternormalisasi.

$$P_{(\theta,\Phi)} = |F_{(\theta,\Phi)}|^2 \quad (2.14)$$

Pada umumnya pola radiasi antena digambarkan dalam satuan desibel. Nilai desibel dari intensitas medan didapatkan dengan persamaan:

$$F_{(\theta,\Phi)} = 20 \log |F_{(\theta,\Phi)}| \quad (2.15)$$

Keterangan :

- $F_{(\theta,\Phi)}$  : pola medan ternormalisasi
- $P_{(\theta,\Phi)}$  : pola daya ternormalisasi
- $E_{(\theta,\Phi)\max}$  : nilai maksimum medan listrik

Pola radiasi terdiri dari tiga bagian yaitu *main lobe*, *side lobe*, dan *back lobe*. *Main lobe* dan *Side lobe* berturut-turut merupakan daerah radiasi yang memiliki intensitas tertinggi dan yang lebih rendah dari *main lobe* serta *Back lobe* memiliki arah radiasi bertolak belakang dengan *main lobe*. *Main lobe* terdiri dari HPBW dan *Beamwidth Between First Null* (BWFN). HPBW merupakan besar sudut dimana intensitas radiasi menjadi setengah (-3dB) dari intensitas tertinggi. BWFN merupakan besar sudut dimana intensitas radiasi menjadi nol.

Untuk mendapatkan pola radiasi, maka diperlukan pengukuran jarak dimana merupakan faktor penting. Semakin jauh jarak pengukuran, semakin baik hasil pengukuran. Karena kita tidak bisa melakukan pada jarak yang tidak terhingga, maka pengukuran dilakukan pada jarak yang sudah dianggap sebagai medan jauh.

Untuk menentukan jarak medan jauh bisa didapatkan menggunakan persamaan

$$r > \frac{2D^2}{\lambda} \text{ dengan } r \gg D \text{ dan } r \gg \lambda \quad (2.16)$$

Keterangan :

$r$  : jarak pengukuran

$D$  : panjang dari antena

$\lambda$  : panjang gelombang yang dipancarkan antena

Berdasarkan bentuk polanya, pola radiasi terbagi menjadi tiga macam yaitu :

1. *Isotropic*

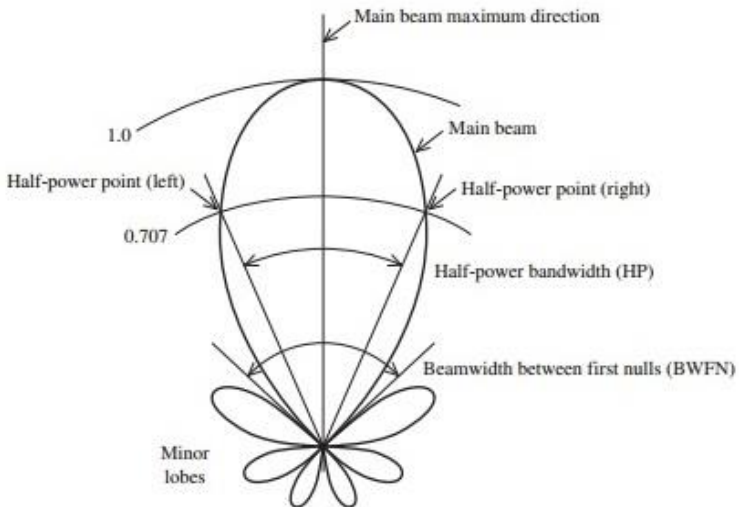
Pola radiasi *isotropic* merupakan pola radiasi yang memancarkan intensitas radiasi yang sama ke segala arah. Pola radiasinya mempunyai bentuk seperti bola.

2. *Omnidirectional*

Pola radiasi *omnidirectional* merupakan pola radiasi yang memancarkan intensitas radiasi ke segala arah

3. *Directional*

Pola radiasi *directional* merupakan pola radiasi yang memancarkan intensitas radiasi pada arah tertentu saja. Pola radiasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6.** Pola Radiasi Antena *Directional*

### 2.13 Diffraction Loss

Difraksi adalah kecenderungan suatu gelombang, baik gelombang cahaya maupun suara untuk melewati celah yang terbatas pada saat merambat. Difraksi biasa terjadi pada lintasan Non-Line of Sight (NLOS) dan pada saat terjadi difraksi, daya yang dipancarkan gelombang tersebut akan berkurang. Sehingga gelombang tersebut bisa kehilangan sebagian informasinya. Kerugian yang disebabkan oleh defraksi disebut sebagai rugi-rugi difraksi atau *diffraction loss*.

### 2.14 Gain

*Gain* merupakan perbandingan rapat daya per satuan unit antenna dengan rapat daya antenna referensi pada arah dan daya yang sama. *Gain* dinyatakan dengan :

$$G_{(\theta,\phi)} = 4\pi \frac{U_{(\theta,\phi)}}{P_m} \quad (2.17)$$

Keterangan :

$G_{(\theta,\phi)}$  : gain

$U_{(\theta,\phi)}$  : daya yang diradiasikan per satuan sudut (steradian)

$P_m$  : daya terima dari antenna

### 2.15 Perhitungan Dimensi Rectangular Patch

Dalam perancangan *rectangular patch* antenna, dimensi yang perlu diketahui adalah panjang (*length*, L) dan lebar (*width*, W) dari antenna. Adapun lebar dan panjang dari *rectangular patch* didapatkan dengan persamaan berikut [4]:

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \epsilon_r + 1 \quad (2.18)$$

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.19)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.20)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264\right)}{(\epsilon_{eff} + 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8\right)} \quad (2.21)$$

dimana,

$f_r$  : frekuensi resonansi atau frekuensi kerja ( $3 \cdot 10^9$  Hz),

$c$  : kecepatan cahaya ( $3 \cdot 10^8$  m/s),

$h$  : ketebalan substrat,

$L$  : panjang patch,

$W$  : lebar patch.

Setelah mendapatkan dimensi dari *patch* maka selanjutnya adalah mencari dimensi dari *substrate* dan *ground plane*. Dimensi *substrate* dan *ground plane* didapatkan dari persamaan 2.22 untuk panjang dan 2.23 untuk lebarnya [4]:

$$L_g = xh + L \quad (2.18)$$

$$W_g = xh + W \quad (2.19)$$

dimana,

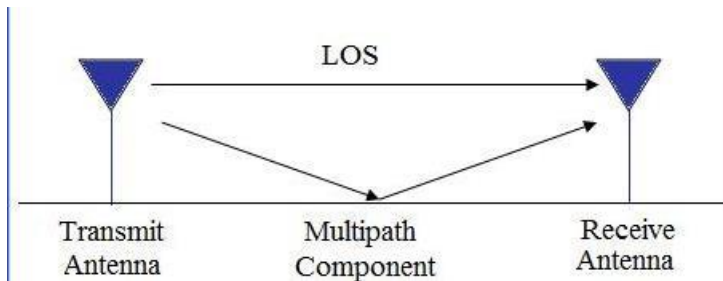
$L_g$  : panjang ground plane dan substrate,

$W_g$  : lebar ground plane dan substrate,

$x$  : faktor pengali dengan nilai  $\geq 6$ .

## 2.16 Multipath

*Multipath* atau lintasan jamak dapat disebabkan oleh pantulan dari objek-objek dalam ruangan, semakin banyak objek yang ada dalam ruangan maka *lintasan jamak pun* bisa bertambah banyak pula. Hal ini dapat menyebabkan sinyal yang dipancarkan menyebar dan diterima oleh *receiver* dengan daya dan *delay* waktu yang berbeda-beda.



Gambar 2.7. Multipath Propagation



Selain itu, besarnya redaman *obstacle* pada transmisi NLOS juga mempengaruhi banyaknya multipath. Benda atau *obstacle* yang memiliki redaman tinggi akan mempunyai koefisien pantul yang tinggi sehingga dapat menambah jumlah lintasan propagasi [3]. Skema dari *multipath propagation* diberikan pada gambar 2.7.

## 2.17 Parameter Statistik

Statistika merupakan suatu metode untuk mengumpulkan, mengukur dan mengolah data yang didapatkan secara matematis. Parameter-parameter statistika diantaranya ialah rata-rata, standard deviasi, varians, dan *cumulative distribution function* (CDF) [6].

### 2.17.a. Rata-rata

Rata-rata merupakan metode yang dapat merepresentasikan besaran dari data yang diamati. Rata-rata dapat ditentukan dengan cara membagi jumlah nilai data dengan banyaknya data atau dengan persamaan 2.20 [6].

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.20)$$

dimana,

- $x$  : rata-rata hitung,
- $x_i$  : nilai sampel ke-i,
- $n$  : jumlah sampel.

### 2.17.b. Varians

Varians digunakan untuk mengetahui penyimpangan dari suatu objek pengamatan. Varians merepresentasikan bagaimana berpencarnya suatu data kuantitatif dan dapat ditentukan melalui persamaan 2.21 [6].

$$s^2 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)} \quad (2.21)$$

dimana,

- $s^2$  : varians,
- $x_i$  : nilai sampel ke-i,

$\bar{x}$  : rata-rata hitung,  
 $n$  : jumlah sampel.

### 2.17.c. *Standar Deviasi*

Standar deviasi merupakan metode yang digunakan untuk menentukan bagaimana sebaran data dalam suatu objek pengamatan dan seberapa dekat titik data suatu data ke rata-rata. Standar deviasi dapat ditentukan dari persamaan 2.22 [6].

$$\text{std} = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (2.22)$$

dimana,

$\text{std}$  : standard deviasi,  
 $x_i$  : nilai sampel ke- $i$ ,  
 $\bar{x}$  : rata-rata hitung,  
 $n$  : jumlah sampel.

Dengan kata lain, standard deviasi dapat ditentukan langsung dengan mengakarkan kuadrat nilai dari varians.

### 2.17.d. *Cumulative Distribution Function*

*Cumulative distribution function* (CDF) adalah penjumlahan dari semua fungsi distribusi probabilitas. CDF merepresentasikan nilai kumulatif dari peluang suatu *event* pengamatan dan memiliki nilai dari 0 sampai dengan 1. *Cumulative distribution function* dinyatakan sebagai jumlah dari seluruh nilai fungsi probabilitas yang lebih kecil atau sama dengan suatu nilai yang ditetapkan, dan dinyatakan sebagai berikut [6]:

$$\begin{aligned} F(x) &= P(X \leq x) & (2.23) \\ &= P(X = x_1) + P(X = x_2) + \dots + P(X = x_n) \end{aligned}$$

dimana,

$F(x)$  : *cumulative distribution function*,  
 $P(X = x_n)$  : probabilitas dari *event*  $n$ .

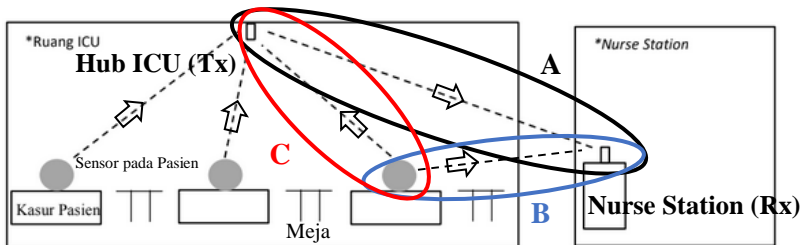


Parameter yang dapat disimulasikan dengan *software* ini ialah kinerja dari antena dan filter, kompatibilitas elektromagnetik dan interferensinya (EMC/EMI), radiasi medan ke tubuh manusia dan efek elektromekanik pada motor dan generator. Ilustrasi pada interface CST *Studio Suite* diberikan pada gambar 2.9.

### BAB 3 METODE PENGUKURAN

Pengukuran pada penelitian ini dilakukan bagi pasien yang berada di ruangan rumah sakit dan khususnya pada ruang rawat inap pada suatu rumah sakit. Penelitian ini mengukur respon kanal agar mendapatkan karakteristik kanal yang diinginkan dari WBAN ke server stasiun perawat sehingga pasien dapat dipantau secara *real time*. Pasien yang berada dalam ruangan dipasang antenna mikrostrip pada tubuhnya sebagai WBAN dan selanjutnya sinyal dikirimkan ke sebuah *device* pengumpul data dari semua pasien di dalam suatu ruangan rawat inap yang selanjutnya *device* ini akan mengirim data ke *device* yang ada di server stasiun perawat sebagai penerima data. Selanjutnya data yang diterima di server stasiun perawat dapat diolah lebih jauh lagi, sehingga hal demikian dapat mencegah hal yang tidak diinginkan terkait kondisi pasien dan juga mempercepat penanganan karena selain suster terjadwal untuk memeriksa kondisi pasien satu per satu, suster lain atau petugas lain juga dapat memantau kondisi pasien secara *real time* berkat sistem komunikasi yang dibuat. Dalam pengukuran ini terbagi jadi tiga bagian yang dikerjakan secara terpisah oleh individu yang berbeda. Gambar ilustrasi pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.1. Dalam pengukuran ini, kanal WBAN yang akan diukur dan diteliti adalah tahap A.

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tahapan-tahapan dalam pembuatan tugas akhir, antara lain: sistem pengukuran kanal, skema pengukuran, spesifikasi alat ukur dan antenna yang digunakan, spesifikasi antenna yang digunakan, proses pengukuran *return loss* antenna, *set up* pengukuran, dan cara mengukur yang baik dan benar.



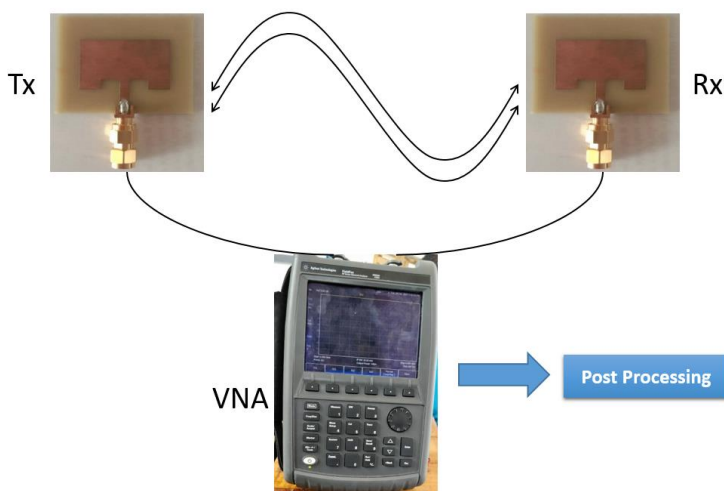
Gambar 3.1. Ilustrasi Pengukuran

Pengolahan data hasil pengukuran didapat dari data parameter  $S_{21}$  yang diperoleh melalui VNA berupa nilai *magnitude* dalam satuan dB dan fase dalam satuan derajat. Antena yang dipakai adalah dua antena *microstrip patch rectangular* identik dengan frekuensi kerja 3 GHz dengan pola radiasi *directional*.

### 3.1 Sistem Pengukuran

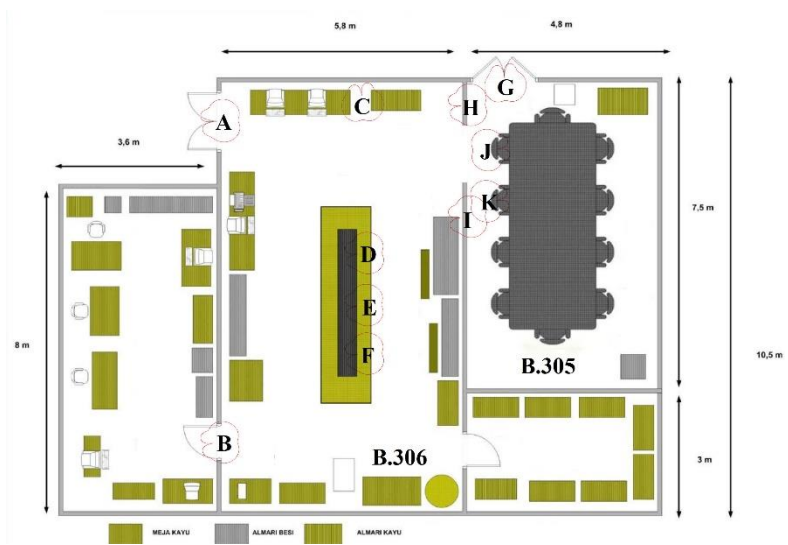
Pengukuran yang dilakukan adalah pengukuran parameter  $S_{21}$  dengan menggunakan VNA Agilent N992A dan 2 buah antena *microstrip patch rectangular* yang identik dengan frekuensi 3 GHz yang berfungsi sebagai pengirim dan penerima. Diagram Sistem Pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.2. Pengukuran dilakukan pada ruang B.305 dan B.306, dimana terdapat 5 posisi antena pada ruang B.305 sebagai pemancar dan 6 posisi antena pada ruang B.306 sebagai penerima. Berdasarkan posisi-posisi antena tersebut, tiap posisi antena akan dipasangkan satu sama lain sehingga terdapat *link-link* antena sebanyak 30 *link* antena.

Denah laboratorium Antena dan Propagasi dapat dilihat pada Gambar 3.3. Kedua antena *microstrip patch rectangular* identik masing-masing dihubungkan dengan VNA melalui konektor yang tersedia pada VNA.



**Gambar 3.2.** Diagram Sistem Pengukuran

Port 1 VNA terhubung dengan antenna *microstrip patch rectangular* yang terdapat pada ruang B.305 sebagai pemancar dan pada port 2 VNA terhubung dengan antenna *microstrip patch rectangular* yang terdapat pada ruang B.306 sebagai penerima. Berdasarkan *link-link* tersebut, diperoleh hasil berupa respon kanal dalam bentuk *magnitude* dan *phase*. *Magnitude* dan *phase* tersebut kemudian dapat disimpan pada USB *flashdisk* dalam bentuk gambar dan dalam bentuk file dengan ekstensi csv. File csv tersebut diekspor dan disimpan ke laptop untuk diolah.



**Gambar 3.3.** Denah Pengukuran

**Tabel 3.1.** Parameter Pengukuran

Frekuensi	3 GHz
Bandwidth	200 MHz (2,9 GHz – 3,1 GHz)
<i>Vector Network Analyzer</i> (VNA)	Agilent N9923A
Dummy Load VNA	50 $\Omega$
Antena yang digunakan	2 antena <i>Microstrip Patch Rectangular</i> identik
Kabel yang digunakan	RG-58 sepanjang 10 m (x2)
Lokasi Pengukuran	B.305 – B.306

### 3.2 Parameter Pengukuran

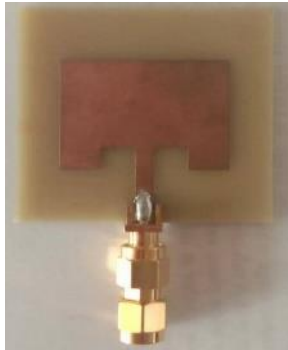
Ada beberapa parameter pengukuran yang digunakan dalam pengukuran ini. Parameter-parameter tersebut dimulai dari frekuensi dan bandwidth yang digunakan, alat-alat ukur yang digunakan, dan lokasi pengukuran. Parameter-parameter tersebut dapat dilihat dalam Tabel 3.1. Parameter-parameter tersebut dipilih berdasarkan standar WBAN yang telah dijelaskan sebelumnya pada bab 2. Frekuensi yang digunakan 3 GHz bertujuan untuk menghindari interferensi pada frekuensi tersebut mengingat banyaknya device yang menggunakan frekuensi tersebut. Pemilihan lokasi pengukuran yang digunakan adalah ruang B.305 dan B.306, dikarenakan kondisi ruangan B.305 dan B.306 yang menyerupai dengan kondisi ruang rawat inap yang sesungguhnya.

### 3.3 Antena *Microstrip Patch Rectangular*

Pada pengukuran kali ini, antena yang dipakai adalah sepasang antena *microstrip patch rectangular* identik. Gambar antena *microstrip patch rectangular* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.4. Pola radiasi antena yang digunakan berupa antena *directional* yang beroperasi pada frekuensi kerja 3 GHz dengan polarisasi linear. Berikut merupakan parameter antena *microstrip patch rectangular* sebagai berikut:

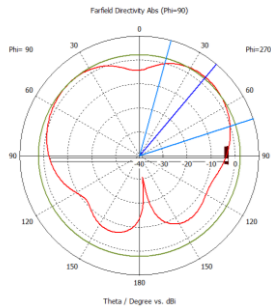
- Tipe Antena : Antena *Microstrip*
- Bahan : *Substrate = FR4 Epoxy; Patch = Cooper*
- Frekuensi : 3 GHz
- Tipe *Patch* : *Rectangular Patch*



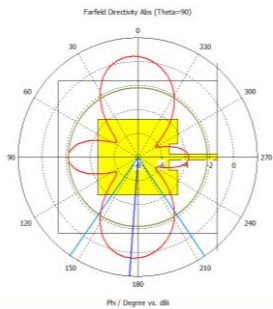


**Gambar 3.4.** Antena *Microstrip Patch Rectangular*

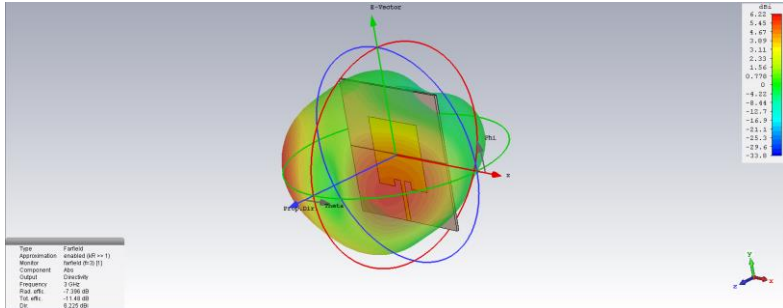
Sedangkan gambar pola radiasi antenna baik dalam bentuk 2D maupun 3D, dapat dilihat pada Gambar 3.5, Gambar 3.6, dan Gambar 3.7.



**Gambar 3.5.** Pola Radiasi 2D Phi 90°



**Gambar 3.6.** Pola Radiasi 2D Theta 90°



**Gambar 3.7.** Pola Radiasi 3D

### 3.4 Prosedur Kalibrasi Alat Ukur

Proses kalibrasi alat ukur hanya dilakukan pada *Vector Network Analyzer*. Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam pengaturan kalibrasi *Vector Network Analyzer* :

1. Siapkan alat ukur dan peralatan yang digunakan.
2. Menghidupkan *virtual network analyzer* dan menunggu proses *booting virtual network analyzer* dengan kedua port terbuka hingga proses selesai.
3. Masuk ke menu kalibrasi. Terdapat dua proses kalibrasi, yaitu: kalibrasi *open* dan kalibrasi *short*. Pada saat kalibrasi *open*, maka yang dipasang adalah kalibrator *open*. Pada saat kalibrasi *short*, maka yang dipasang adalah kalibrator *short*.
4. Setelah kalibrator terpasang, tekan tombol start untuk memulai proses kalibrasi.
5. Setelah proses selesai, *Vector Network Analyzer* siap digunakan.

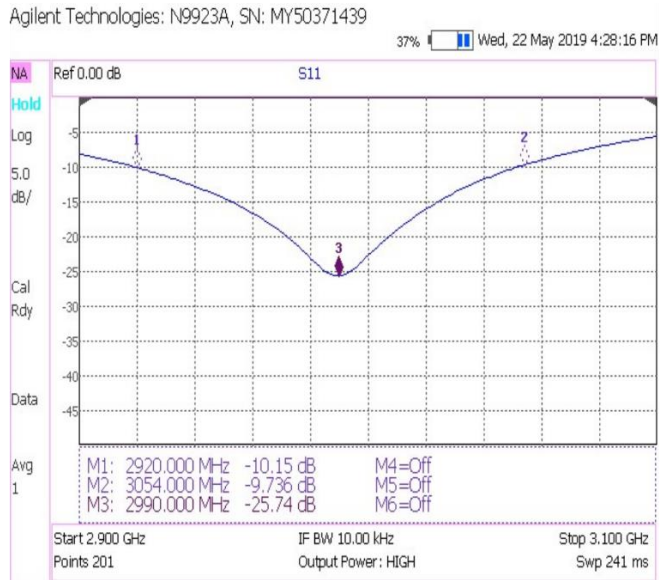
### 3.5 Proses Pengukuran *Return Loss Antena Microstrip Patch Rectangular*

Prosedur pengukuran *return loss* sama untuk kedua antena, baik antena pengirim maupun antena penerima. Berikut merupakan langkah-langkah pengukurannya:

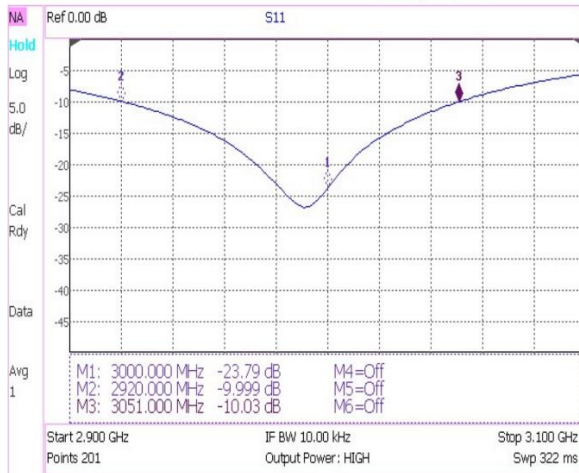
1. Siapkan alat ukur dan peralatan yang digunakan.
2. Menghidupkan *virtual network analyzer* dan menunggu proses *booting virtual network analyzer* dengan kedua port terbuka hingga proses selesai.

3. Sambungkan antenna pada port 1 *virtual network analyzer* dan *dummy load* 50 ohm pada port 2.
4. Tekan tombol marker untuk memberi tanda pada frekuensi 3 GHz.
5. Tekan tombol measure untuk melakukan pengukuran.
6. Pilih mode pengukuran, pilih *logmag* untuk melihat *return loss* antenna dalam satuan desibel.
7. Pilih *phase* untuk melihat fase antenna dalam derajat

Berdasarkan pengukuran, maka didapat *return loss* dari antenna 1 pada 3 GHz sebesar -25,74 dB dan *return loss* antenna 2 pada 3 GHz sebesar -23,79 dB. *Return loss* dari antenna 1 dan antenna 2 dapat dilihat pada Gambar 3.8. dan Gambar 3.9.



**Gambar 3.8.** *Return Loss* Antena 1



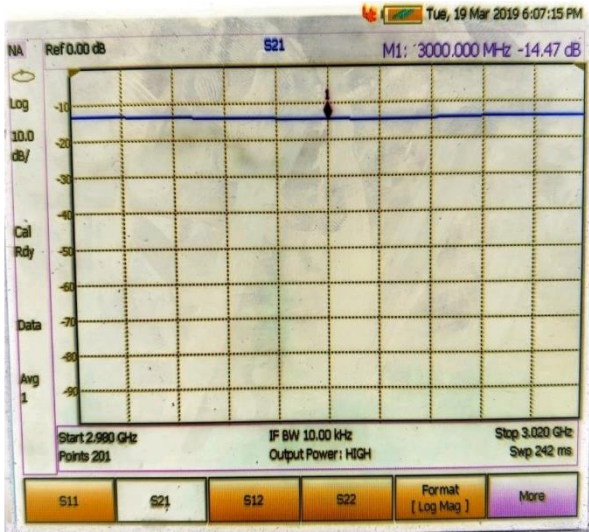
**Gambar 3.9. Return Loss Antena 2**

### 3.6 Proses Pengukuran Rugi-Rugi Kabel

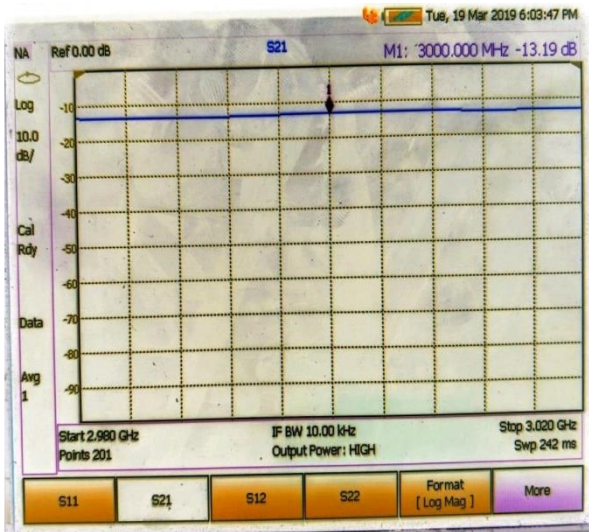
Dalam pengukuran, untuk mendapatkan data parameter  $S_{21}$  yang baik, maka perlu dilakukan pengukuran rugi-rugi kabel dari kabel yang digunakan. Kabel yang digunakan untuk pengukuran adalah 2 kabel RG-58 merek sepanjang 10 m. Berikut langkah-langkah pengukuran rugi-rugi kabel:

1. Siapkan alat ukur yang digunakan
2. Menghidupkan *virtual network analyzer* dan menunggu proses *booting virtual network analyzer* dengan kedua port terbuka hingga proses selesai.
3. Sambungkan kabel 1 pada port 1 dan dihubungkan pada port 2.
4. Tekan tombol measure untuk melakukan pengukuran.
5. Pilih logmag untuk melihat rugi-rugi kabel dalam satuan desibel.
6. Ulangi langkah 1 sampai 5 untuk kabel 2.

Berdasarkan hasil pengukuran, maka didapatkan rugi-rugi kabel untuk kabel 1 sebesar -14,47 dB dan rugi-rugi kabel untuk kabel 2 sebesar -13,19 dB. Gambar rugi-rugi kabel dapat dilihat pada Gambar 3.10 dan Gambar 3.11.



Gambar 3.10. Rugi-Rugi Kabel 1



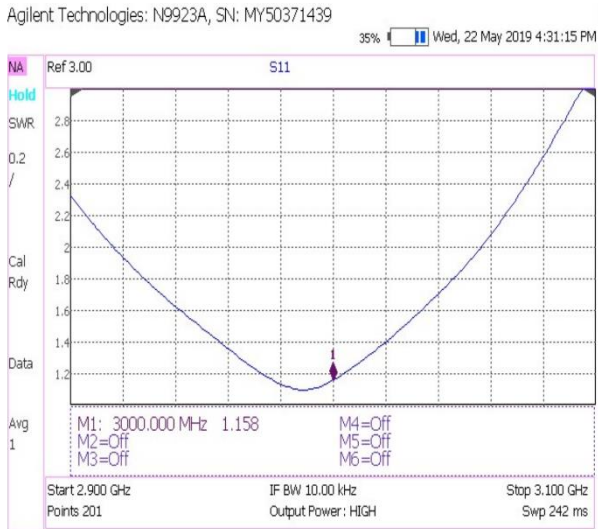
Gambar 3.11. Rugi-Rugi Kabel 2

### 3.7 Proses Pengukuran *Voltage Standing Wave Ratio*

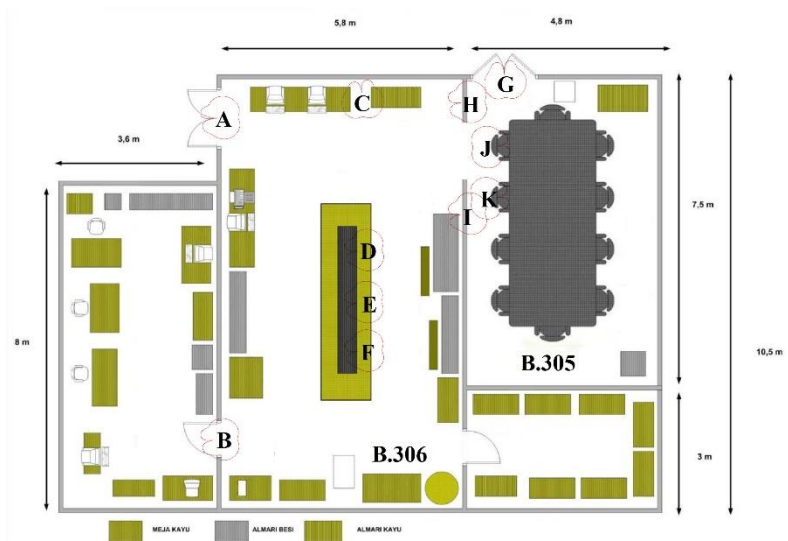
Prosedur pengukuran Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) sama untuk kedua antenna, baik antenna pengirim maupun antenna penerima. Berikut merupakan langkah-langkah pengukurannya:

1. Siapkan alat ukur dan peralatan yang digunakan.
2. Menghidupkan *virtual network analyzer* dan menunggu proses *booting virtual network analyzer* dengan kedua port terbuka hingga proses selesai.
3. Sambungkan antenna pada port 1 *virtual network analyzer* dan *dummy load 50 ohm* pada port 2.
4. Tekan tombol marker untuk memberi tanda pada frekuensi 3 GHz.
5. Tekan tombol measure untuk melakukan pengukuran.
6. Pilih mode pengukuran, pilih VSWR untuk melihat VSWR antenna.

Berdasarkan pengukuran, maka didapat nilai VSWR sebesar 1.158. Gambar hasil pengukuran VSWR dapat dilihat pada Gambar 3.12.



**Gambar 3.12.** Hasil Pengukuran VSWR Antena



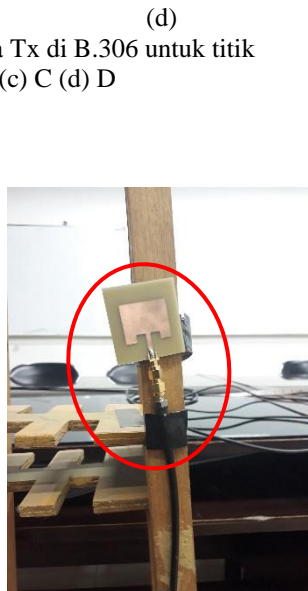
Gambar 3.13. Denah Skenario Pengukuran

### 3.8 Skenario Pengukuran

Dalam pengukuran ini terdapat 11 antenna, 6 antenna di ruang B.306 dan 5 antenna di ruang B.305.







**Gambar 3.14.** Antena-Antena Tx di B.306 untuk titik  
(a) A (b) B (c) C (d) D





(c)



(d)

**Gambar 3.15.** Antena-Antena Rx di B.305 untuk titik (a) H (b) K (c) G (d) I

Antena-antena ruang B.306 berfungsi sebagai pengirim atau hub ruang rawat inap. Antena-antena ruang B.305 sebagai penerima atau server stasiun perawat. Berdasarkan Gambar 3.13, antena-antena yang berada di ruang B.306 adalah antena dengan posisi di titik A, B, C, D, E, dan F. Sedangkan antena-antena yang berada di ruang B.305 adalah antena dengan posisi di titik G, H, I, J, dan K. Gambar 3.14 merupakan antena-antena Tx di ruang B.306, sedangkan antena-antena Rx di ruang B.305 dapat dilihat pada Gambar 3.15.

Antena posisi A dan posisi C merupakan antena yang LOS dengan ruang B.305. Antena di posisi tersebut biasanya mempunyai daya terima yang besar. Antena di posisi B, hanya LOS dengan antena posisi G. Sedangkan antena pada posisi D, posisi E, dan posisi F, mempunyai posisi yang hampir serupa, hanya dibedakan dengan jarak tertentu. Antena di posisi G, merupakan antena yang terpengaruh oleh keadaan luar. Antena di posisi H, posisi I, dan posisi K, merupakan antena yang NLOS terhadap antena-antena yang berada pada ruang B.306. Antena pada posisi J mempunyai LOS dan NLOS dengan beberapa antena yang ada pada ruangan B.306.

**Tabel 3.2.** Skenario Pengukuran

Skenario	Port 1	Port 2	Jarak (m)
1	A	G	7,57
2	A	H	6,19
3	A	I	6,68
4	A	J	8,41
5	A	K	8,51
6	B	G	9,09
7	B	H	10,26
8	B	I	7,95
9	B	J	10,68
10	B	K	10,3
11	C	G	3,9
12	C	H	2,6
13	C	I	4,38
14	C	J	5,18
15	C	K	5,4
16	D	G	7,94
17	D	H	4,82
18	D	I	2,64
19	D	J	5,34
20	D	K	5,08
21	E	G	7,08
22	E	H	5,68
23	E	I	3,14
24	E	J	5,89
25	E	K	5,56
26	F	G	8,02
27	F	H	6,68
28	F	I	3,92
29	F	J	6,62
30	F	K	6,22

Pada ruang B.305 terdapat lima posisi antena penerima, yaitu antena pada posisi G, posisi H, posisi I, posisi J, dan posisi K. Letak-letak antena pada ruang B.305 terdapat pada Gambar 3.15. Masing-masing antena

tersebut saling terhubung sehingga membuat 30 link yang berbeda-beda. Adapun penjelasan dari tiap-tiap link dapat dilihat pada Tabel 3.2.

### 3.9 Medan Radiasi Antena

Dalam pengukuran ini, medan radiasi antena perlu dihitung untuk menentukan medan jauh dan medan dekat antena. Pada pengukuran ini, antena microstrip patch yang digunakan memiliki dimensi maksimum sebesar 4.6 cm (0.046 m) dan panjang gelombang sebesar 0,1 m. Untuk perhitungan medan jauh antena, digunakan persamaan:

$$r > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (3.1)$$

Maka diperoleh hasil jarak medan jauh sebesar:

$$r > \frac{2(0,046)^2}{0,1} \quad (3.2)$$

$$r > 0,0423 \text{ m} \quad (3.3)$$

$$r > 4,23 \text{ cm} \quad (3.4)$$

Sedangkan untuk perhitungan medan dekat, maka digunakan persamaan:

$$0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R \leq 2 \frac{D^2}{\lambda} \quad (3.5)$$

Maka diperoleh hasil jarak medan dekat sebesar:

$$0,62 \sqrt{\frac{0,046^3}{0,1}} \leq R \leq 2 \frac{0,046^2}{0,1} \quad (3.6)$$

$$0,0193 \text{ m} \leq R \leq 0,0423 \text{ m} \quad (3.7)$$

$$1,93 \text{ cm} \leq R \leq 4,23 \text{ cm} \quad (3.8)$$

Sedangkan medan dekat relatif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R < 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (3.9)$$

$$R < 0,62 \sqrt{\frac{0,046^3}{0,1}} \quad (3.10)$$

$$R < 0,0193 \text{ m} \quad (3.11)$$

$$R < 1,93 \text{ m} \quad (3.12)$$

### 3.10 Set Up Pengukuran

Pengukuran diawali dengan mempersiapkan alat-alat ukur yang digunakan, yang terdiri dari VNA, 2 kabel 10 meter, 2 antena *microstrip patch rectangular* identik, dan *dummy load* 50  $\Omega$ . Gambar alat-alat pengukuran yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.16. Pengukuran dilakukan di B.305 dan B.306. Denah pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.17.

Kemudian kedua antena *microstrip patch rectangular* identik dihubungkan oleh kabel ke VNA. Setelah pemasangan antena di posisi yang telah ditentukan, dilakukan *setting* dan pengambilan data pada VNA sebagai berikut:

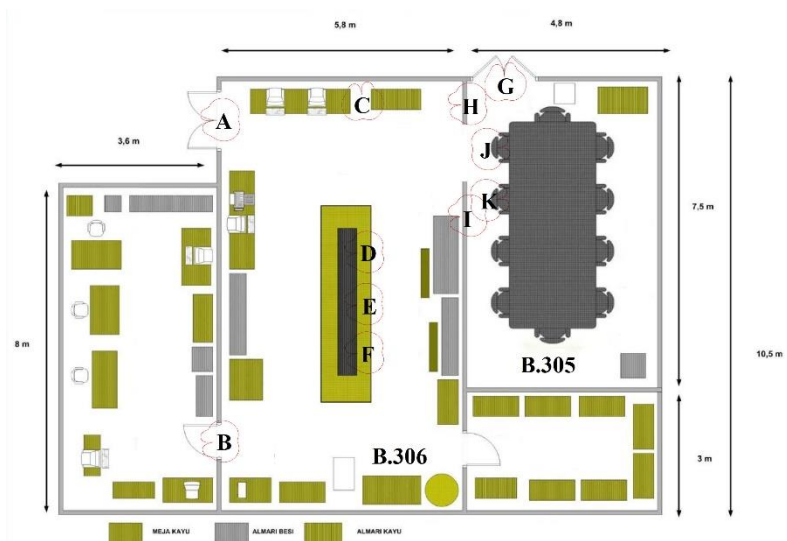
1. Setting Frekuensi
  - a. Tekan *Freq/ Dist*
  - b. Masukkan *Start Freq*
  - c. Masukkan *Stop Freq*
  - d. Pilih *Center Freq*
  - e. Pilih *Freq Span*
  - f. Pilih *Save*
  
2. Setting Resolusi Pengukuran
  - a. Pilih *Measure Set Up*
  - b. Pilih *Resolution*
  - c. Pilih resolusi yang diinginkan
  - d. Pilih OK, lalu *Save*
  
3. Pengambilan data pengukuran berupa magnitudo S21
  - a. Pilih *Mode*
  - b. Pilih NA
  - c. Pilih S21
  - d. Pilih *Measure*
  - e. Pilih *Format*
  - f. Pilih *LogMag*
  - g. Pilih *Hold/Run*

- h. Pilih *Save/Recall*
  - i. Pilih format penyimpanan dan beri nama pada file
  - j. Pilih *Save*
4. Pengambilan data pengukuran berupa fase
- a. Pilih *Mode*
  - b. Pilih *NA*
  - c. Pilih *S21*
  - d. Pilih *Measure*
  - e. Pilih *Format*
  - f. Pilih *Phase*
  - g. Pilih *Hold/Run*
  - h. Pilih *Save/Recall*
  - i. Pilih format penyimpanan dan beri nama pada file
  - j. Pilih *Save*



**Gambar 3.16.** Alat-Alat Pengukuran

Setelah semua setting sudah dilakukan, maka bisa didapat data pengukuran berupa parameter S21 yang berupa magnitudo (dB) dan fase (derajat). Pengukuran dilakukan sesuai skema yang sudah dipersiapkan secara berganti-gantian, dimulai dari skema AG sampai skema FK. Skema dapat dilihat pada Gambar 3.17. Data S21 yang didapat kemudian disimpan gambarnya dan datanya dalam format .csv. Data yang didapat kemudian diolah dan dianalisis.



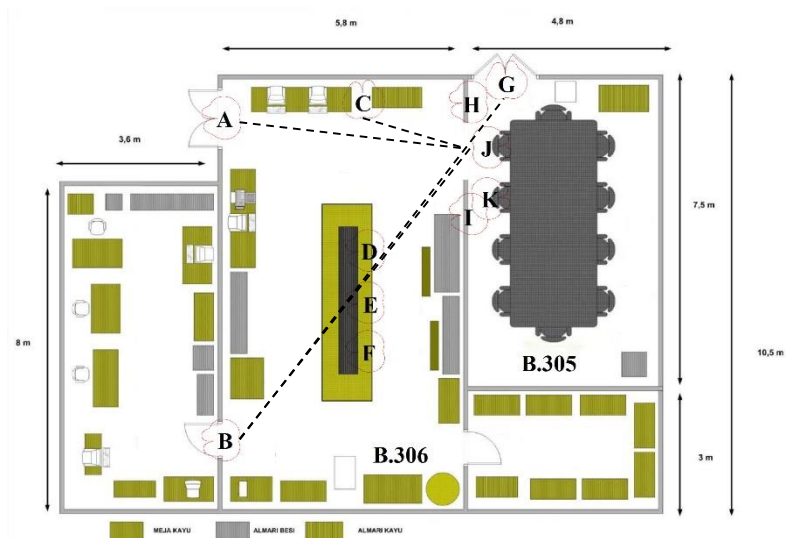
**Gambar 3.17.** Denah Pengukuran

## BAB 4 ANALISA DATA

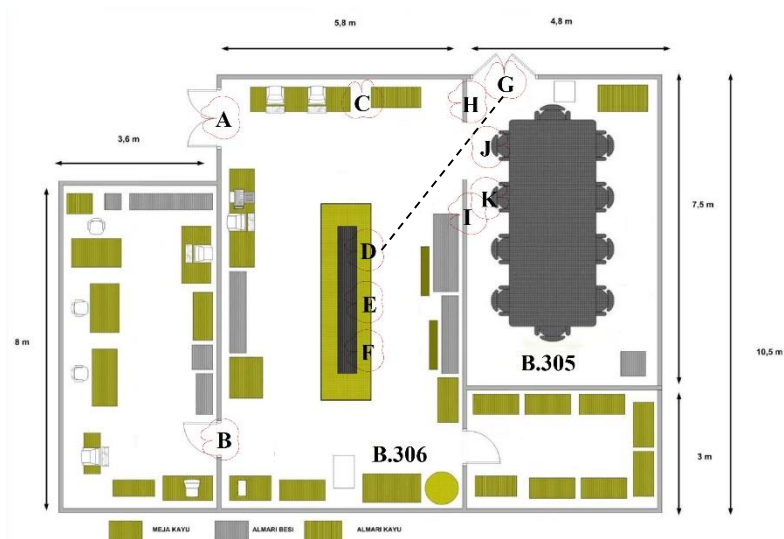
Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil pengukuran yang berupa mekanisme propagasi gelombang, statistik respon kanal, dan sintesis, serta akan ditunjukkan juga *Cumulative Distribution Function* dari magnitudo hasil pengukuran.

### 4.1 Mekanisme Propagasi Gelombang

Pengukuran yang dilakukan bertujuan untuk mencari karakteristik dari kanal propagasi. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan, maka terdapat 30 *link* antenna dan masing-masing *link* mempunyai mekanisme yang serupa satu dengan yang lain. *Link-link* tersebut kemudian dibagi menjadi 8 *link* LOS dan 22 *link* NLOS. *Link-link* LOS tersebut adalah *link* AJ, BG, BJ, CJ, DG, DJ, EG, dan FG, dan sisanya adalah *link* NLOS. Beberapa contoh *link-link* LOS dapat dilihat pada Gambar 4.1.



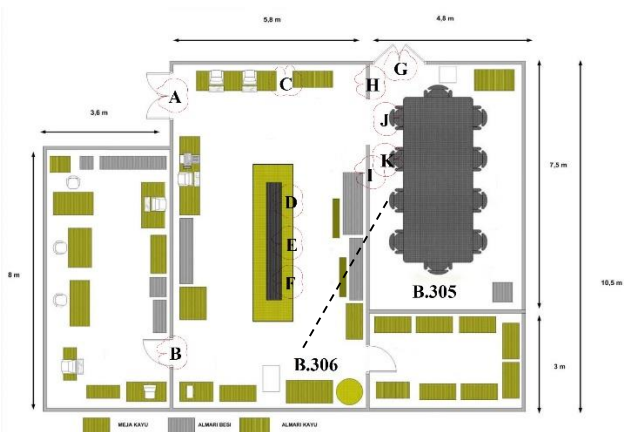
Gambar 4.1. Beberapa Contoh *Link-Link* LOS



**Gambar 4.2.** Link DG

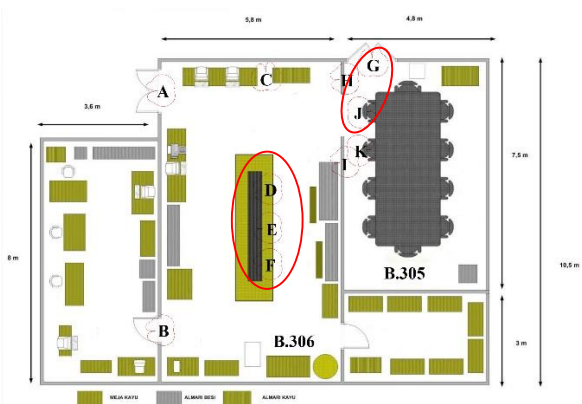
Proses mekanisme propagasi gelombang melalui beberapa tahap, sebagai contoh, *link* antara antenna di posisi D dengan antenna di posisi G. Berdasarkan Gambar 4.2, *link* antara posisi D dengan posisi G mempunyai kanal propagasi yang bersifat *Line of Sight* (LOS). *Line of Sight* adalah kondisi dimana kanal propagasi antara pengirim dan penerima tidak ada penghalang sama sekali. Pada umumnya, kanal propagasi yang mempunyai sifat LOS mempunyai daya terima yang besar. Hal ini disebabkan pengirim mengirim sinyal dan diterima secara langsung oleh penerima tanpa ada hambatan. Besarnya daya yang diterima juga dipengaruhi oleh gain antenna yang digunakan. Berbeda dengan *link* antara posisi F dengan posisi K, yang terdapat pada Gambar 4.3, yang mempunyai kanal propagasi yang bersifat *Non-Line of Sight* (NLOS). *Non-Line of Sight* adalah kondisi dimana kanal propagasi antara pengirim dan penerima terdapat penghalang atau hambatan sehingga mempunyai nilai daya terima yang relatif kecil. Selain pengaruh LOS dan NLOS, posisi peletakan antenna juga pengaruh pada besar kecilnya daya yang diterima. Semakin besar daya yang diterima, maka semakin akurat data yang dikirim.





**Gambar 4.3.** Link FK

Begitu juga sebaliknya, semakin kecil daya yang diterima, maka kemungkinan error data yang dikirim juga semakin besar. Pada Gambar 4.4, merupakan contoh *link* antenna di posisi D, posisi E, dan posisi F terhadap antenna di posisi G dan J. Dalam hal ini, antenna dalam posisi D akan mempunyai daya terima yang besar dibandingkan dengan antenna posisi E dan antenna posisi E akan mempunyai daya terima yang lebih besar dibandingkan dengan antenna posisi E, meskipun dalam kanal propagasinya terdapat beberapa penghalang.



**Gambar 4.4.** Antena Posisi D, E, F, G, J

## 4.2 Statistik Respon Kanal

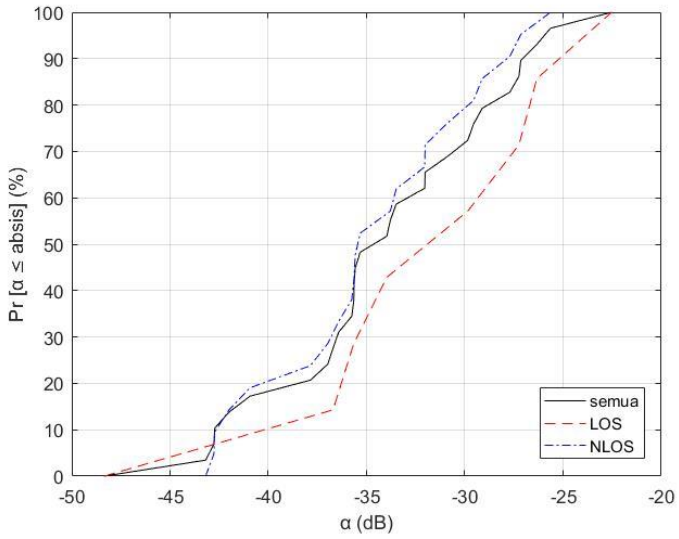
Data yang didapat dari hasil pengukuran adalah magnitudo respon kanal, dimana magnitudo respon kanal tersebut dapat dilihat dari nilai  $S_{21}$  dalam dB. Magnitudo yang didapat kemudian dikurangi rugi-rugi kabel ( $L_{\text{kabel}}$ ) yang digunakan agar mendapat nilai magnitudo yang bersih tanpa ada rugi-rugi kabel, yaitu sebesar -27,66 dB. Nilai tersebut kemudian dikalikan dengan kuadrat jarak ( $r$ ) untuk menghilangkan efek jarak yang ada. Setelah itu, nilai tersebut dikurangi dengan *gain* antenna ( $G_{\text{Antena}}$ ) sebesar 2,36 dB. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan *gain* antenna. Sehingga didapatkanlah data yang ditampilkan dalam Tabel 4.1.

**Tabel 4.1.** Data Hasil Pengukuran Magnitudo Respon Kanal

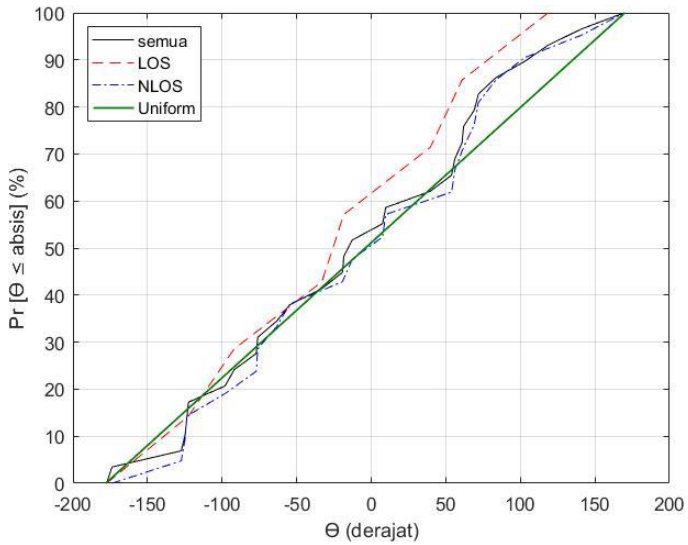
Skema	r (m)	Lintasan	$S_{21}$ Terukur (dB)	$L_{\text{kabel}}$ (dB)	$G_{\text{Antena}}$ (dB)	$S_{21}$ Akhir (dB)
AG	7,57	NLOS	-49,50380	-27,66	-2,36	-31,92188
AH	6,19	NLOS	-60,92065			-45,08684
AI	6,68	NLOS	-46,00697			-29,51144
AJ	8,41	LOS	-47,18799			-28,69207
AK	8,51	NLOS	-54,45394			-35,85535
BG	9,09	LOS	-69,88360			-50,71232
BH	10,26	NLOS	-51,69447			-31,47152
BI	7,95	NLOS	-48,07941			-30,07206
BJ	10,68	LOS	-45,45950			-24,88807
BK	10,3	NLOS	-48,25593			-27,99919
CG	3,9	NLOS	-51,15824			-39,33694
CH	2,6	NLOS	-46,23718			-37,93772
CI	4,38	NLOS	-50,82564			-37,99616
CJ	5,18	LOS	-52,29604			-38,00945
CK	5,4	NLOS	-53,42829			-38,78042
DG	7,94	LOS	-47,60101			-29,60460
DH	4,82	NLOS	-51,77052			-38,10958
DI	2,64	NLOS	-46,11579			-37,68371
DJ	5,34	LOS	-53,61554			-39,06471
DK	5,08	NLOS	-48,49704			-34,37977
EG	7,08	LOS	-53,33088	-36,33021		
EH	5,68	NLOS	-58,37775	-43,29079		
EI	3,14	NLOS	-50,15540	-40,21681		
EJ	5,89	NLOS	-60,95095	-45,54865		
EK	5,56	NLOS	-51,04873	-36,14723		
FG	8,02	LOS	-50,29249	-32,20900		
FH	6,68	NLOS	-61,62395	-45,12842		
FI	3,92	NLOS	-46,26325	-34,39753		
FJ	6,62	NLOS	-49,64215	-33,22499		
FK	6,22	NLOS	-60,23273	-44,35692		

**Tabel 4.2.** Data Hasil Pengukuran Fase Respon Kanal

Skema	Lintasan	Fase Respon Kanal (derajat)
AG	NLOS	140,7849
AH	NLOS	9,72123
AI	NLOS	-98,00784
AJ	LOS	118,52199
AK	NLOS	-19,28853
BG	LOS	-33,03375
BH	NLOS	53,92190
BI	NLOS	56,06524
BJ	LOS	-18,35803
BK	NLOS	-63,34879
CG	NLOS	169,64961
CH	NLOS	-54,57134
CI	NLOS	-173,87948
CJ	LOS	60,90758
CK	NLOS	102,79350
DG	LOS	39,63551
DH	NLOS	-123,68523
DI	NLOS	7,63644
DJ	LOS	-122,54661
DK	NLOS	-124,73456
EG	LOS	-177,38302
EH	NLOS	61,91916
EI	NLOS	-76,08892
EJ	NLOS	69,05894
EK	NLOS	-77,07907
FG	LOS	-91,90158
FH	NLOS	-12,68159
FI	NLOS	71,90346
FJ	NLOS	83,50516
FK	NLOS	-127,38934



**Gambar 4.5.** Grafik *Cumulative Distribution Function* Magnitudo



**Gambar 4.6.** Grafik *Cumulative Distribution Function* Fase

Data-data yang telah didapatkan tersebut kemudian dibuat grafik *Cumulative Distribution Function* agar dapat mengetahui perbedaannya antara *link* yang LOS dengan *link* yang NLOS. Grafik *Cumulative Distribution Function* magnitudo dibuat berdasarkan data yang terdapat pada Tabel 4.1 dan grafik *Cumulative Distribution Function* fase berdasarkan data pada Tabel 4.2. Grafik *Cumulative Distribution Function* magnitudo dan fase secara berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6. Dengan menggunakan *Cumulative Distribution Function*, hal yang sama juga dilakukan pada nilai fasenya agar dapat mengamati perbedaan fase pada saat *link* dalam keadaan LOS dengan *link* dalam keadaan NLOS.

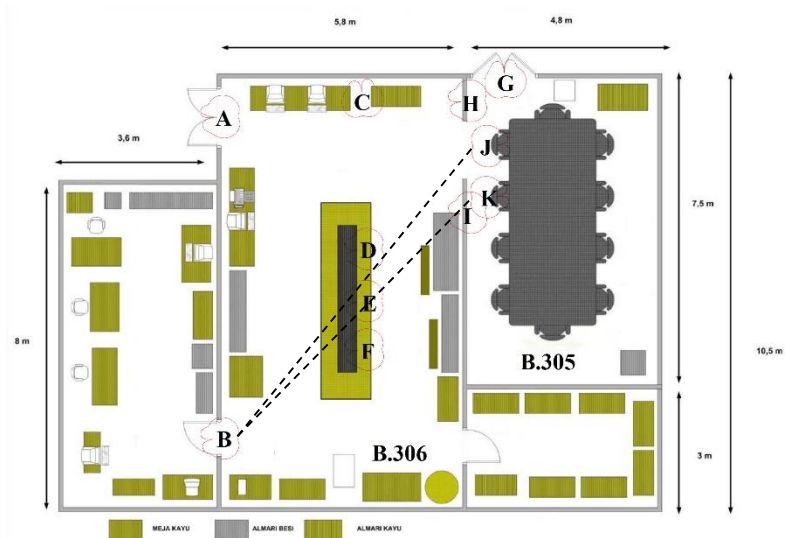
### 4.3 Sintesis

Berdasarkan Tabel 4.1, dari 30 *link*, terdapat 8 *link* yang mempunyai sifat LOS dan 22 *link* yang mempunyai sifat NLOS. *Link* yang mempunyai sifat LOS dan memiliki nilai terbesar adalah *link* BJ, sedangkan *link* yang mempunyai sifat NLOS dan memiliki nilai terbesar adalah *link* BK. Hal ini disebabkan karena sinyal yang dikirim oleh antena posisi B menuju antena posisi J mengalami difraksi dengan dinding dan pintu. Sedangkan sinyal dari antena posisi B menuju antena posisi K mengalami difraksi dengan dinding dan lemari besi, sehingga mempunyai nilai yang lebih kecil dibandingkan *link* BJ. Skema *link* BJ dan BK dapat dilihat pada Gambar 4.7.

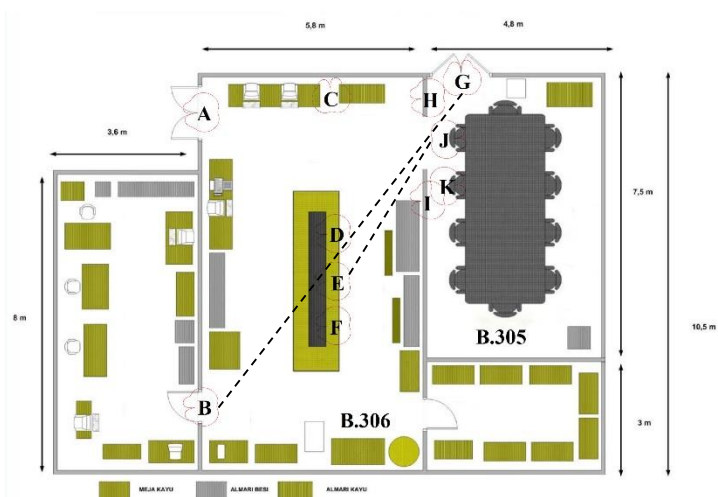
Hal yang serupa juga terjadi dengan *link* LOS dan *link* NLOS yang memiliki nilai terkecil. *Link* yang mempunyai sifat LOS dan memiliki nilai terkecil adalah *link* BG, sedangkan *link* yang mempunyai sifat NLOS dan memiliki nilai terkecil adalah *link* EJ. Hal ini dipengaruhi oleh jarak yang cukup jauh dan orientasi kedua antena tidak saling berhadapan. Selain itu juga *link* EJ mengalami difraksi dengan dinding dan lemari besi, sehingga daya yang diterima sangatlah kecil. Skema *link* BG dan EJ dapat dilihat pada Gambar 4.8.

Berdasarkan grafik *Cumulative Distribution Function* yang didapatkan pada Gambar 4.5. dan Gambar 4.6., nilai magnitudo respon kanal dalam lintasan LOS lebih besar dari pada dalam lintasan NLOS. Hal ini terbukti dengan nilai LOS yang mendekati nilai 0. Hal ini membuktikan, respon kanal yang direkomendasikan adalah respon kanal untuk *link* dengan lintasan LOS. Sedangkan untuk fase respon kanalnya terdistribusi secara uniform. Hal ini dapat dilihat dengan persebaran fase

respon kanal lintasan LOS dan fase respon kanal lintasan NLOS yang merata ditengah-tengah garis *uniform*.



**Gambar 4.7.** Link BJ dan Link BK



**Gambar 4.8.** Link BG dan Link EJ

Berdasarkan pembahasan sintesis sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa kanal propagasi mempunyai beberapa karakteristik. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, karakteristik kanal WBAN tersebut adalah:

- Pemodelan kanal yang dirancang memiliki nilai magnitudo yang bervariasi dan dipengaruhi oleh faktor lingkungan di dalam ruangan, seperti terdapat objek pantul yang bisa menyebabkan adanya dan bertambahnya lintasan jamak propagasi atau *multipath propagation*.
- Fase respon kanal yang terjadi pada kanal WBAN terdistribusi secara *uniform*.
- *Link* kanal WBAN yang direkomendasikan adalah *link* BJ dengan respon kanal sebesar -24,88807 dB, dengan titik B sebagai hub ruang rawat inap dan titik J sebagai server stasiun perawat.
- *Link* kanal WBAN yang perlu dihindari adalah *link* BG dengan respon kanal sebesar -50,71232 dB, dengan titik B sebagai hub ruang rawat inap dan titik G sebagai server stasiun perawat.
- Penentuan posisi hub ruang rawat inap dan posisi server stasiun perawat sangatlah penting, baik jarak maupun lintasan link yang terjadi antara hub ruang rawat inap dengan server stasiun perawat.

Dengan demikian, hasil pengukuran dan skenario yang terdapat pada pengukuran kanal WBAN, sudah mewakili sistem WBAN. Hal ini dikarenakan sudah sesuai parameter-parameter yang digunakan dengan standar WBAN pada umumnya.

*[ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ]*



## **BAB 5**

### **PENUTUP**

Setelah rangkaian penentuan parameter dan pengukuran yang telah dilakukan dianalisis, maka akan dapat diberikan kesimpulan. Pembahasan dari bab-bab sebelumnya dan kendala-kendala yang terjadi selama pengerjaan tugas akhir ini diharapkan akan menjadi bahan pertimbangan atau referensi dalam melakukan pengembangan dari tugas akhir ini dan membantu pengukuran dan karakterisasi kanal propagasi dalam tugas akhir ini.

#### **5.1 Kesimpulan**

- Dengan menggunakan alat ukur Vector Network Analyzer (VNA), parameter kanal radio yang berupa redaman dan dispersi waktu dari kanal WBAN dapat diukur.
- Dengan melakukan pengukuran menggunakan parameter standar WBAN dan membuat grafik *Cumulative Distribution Function*, suatu kanal radio dapat diketahui karakteristiknya.
- Pemodelan kanal yang dirancang memiliki nilai magnitudo yang bervariasi dan dipengaruhi oleh faktor lingkungan di dalam ruangan, seperti terdapat objek pantul yang bisa menyebabkan adanya dan bertambahnya lintasan jamak propagasi atau *multipath propagation*.
- Fase respon kanal yang terjadi pada kanal WBAN terdistribusi secara *uniform*.
- *Link* kanal WBAN yang direkomendasikan adalah *link* BJ dengan respon kanal sebesar -24,88807 dB, dengan titik B sebagai hub ruang rawat inap dan titik J sebagai server stasiun perawat.
- *Link* kanal WBAN yang perlu dihindari adalah *link* BG dengan respon kanal sebesar -50,71232 dB, dengan titik B sebagai hub ruang rawat inap dan titik G sebagai server stasiun perawat.
- Penentuan posisi hub ruang rawat inap dan posisi server stasiun perawat sangatlah penting, baik jarak maupun lintasan link yang terjadi antara hub ruang rawat inap dengan server stasiun perawat.

## 5.2 Saran

- Untuk pengukuran selanjutnya dapat dilakukan pengambilan data yang lebih variatif dengan cara penambahan skenario pengukuran kanal propagasi agar didapatkan hasil yang lebih lengkap dan variatif
- Perlu adanya pertimbangan untuk menggunakan antena jenis lain dengan frekuensi yang berbeda untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.
- Perlu adanya pertimbangan untuk melakukan pengukuran di tempat lain, contohnya seperti pengukuran *indoor* maupun *outdoor*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Hämäläinen, A. Taparugssanagorn and J. Iinatti, "On the WBAN radio channel modelling for medical applications," *Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*, Rome, 2011, pp. 2967-2971.
- [2] H. Viittala, M. Hamalainen, J. Iinatti and A. Taparugssanagorn, "Different experimental WBAN channel models and IEEE802.15.6 models: Comparison and effects," *2009 2nd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies*, Bratislava, 2009, pp. 1-5.
- [3] I. C. Triaji, G. Hendranto, P. Handayani, "Statistik Respon Kanal Radio Dalam Ruang Pada Frekuensi 2,6 GHz", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2010.
- [4] K. P. Kartika, G. Hendranto, A. Mauludiyanto, "Pathloss Modelling Based on Measurement at 3GHz for on Body Area Network Application", 905-910. 10.1109/ICOIACT.2018.8350667. 2018.
- [5] Rasyidin Nazmi, Hendranto Gamantyo, Setijadi Eko, "Rancang Bangun Antena Microstrip Array untuk Sistem Radar Berbasis *Software Defined Radio*", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [6] Downey Allen B., "Think Stats, Second Edition", United States of America: O'Reilly Media, Inc. 2014.
- [7] Ludwig Reinhold, Bretchko Pavel "RF Circuit Design Theory and Application", Prentice-Hall, Inc., 2000.
- [8] Stutzman Warren L., Thiele Gary A., "Antenna Theory and Design, Third Edition", Wiley, 2012.
- [9] V. Niemelä, M. Hämäläinen, J. Iinatti and A. Taparugssanagorn, "P-rake receivers in different measured WBAN hospital channels," *2011 5th International Symposium on Medical Information and Communication Technology*, Montreux, 2011, pp. 42-46.
- [10] H. Sun, Z. Zhang, R. Q. Hu and Y. Qian, "Wearable Communications in 5G: Challenges and Enabling Technologies," in *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 13, no. 3, pp. 100-109, Sept. 2018.
- [11] H. B. Lim, D. Baumann and E. Li, "A Human Body Model for Efficient Numerical Characterization of UWB Signal Propagation in Wireless Body Area Networks," in *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 58, no. 3, pp. 689-697, March 2011.

- [12] K. S. Kwak, S. Ullah and N. Ullah, "An overview of IEEE 802.15.6 standard," *2010 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL 2010)*, Rome, 2010, pp. 1-6.
- [13] M. Ghamari, B. Janko, R. Sherratt, W. Harwin, R. Piechockic, and C. Soltanpur, "A Survey on Wireless Body Area Networks for eHealthcare Systems in Residential Environments," *Sensors*, vol. 16, no. 6, p. 831, Jun. 2016

# LAMPIRAN A

## PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro - ITS

EE 184801 TUGAS AKHIR – 6 SKS

Nama Mahasiswa : Darien Raditya Krisdaniawan  
Nomor Pokok : 07111240000143  
Bidang Studi : Teknik Telekomunikasi Multimedia  
Tugas Diberikan : Semester Genap Th. 2018/2019  
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D.  
2. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

12 FEB 2019

Judul Tugas Akhir : **Pengukuran dan Karakterisasi Kanal Propagasi Radio dari Hub Ruang Rawat Inap menuju Server Stasiun Perawat untuk Aplikasi Medis WBAN**  
*(Measurement and Characterization of Radio Propagation Channels from In-Patient Room to Nurse Station Server for WBAN Medical Application)*


### Uraian Tugas Akhir:

Seiring dengan perkembangan jaman, teknologi dituntut untuk semakin canggih, efisien, dan serba otomatis. Perkembangan teknologi ini juga memberi pengaruh pada dunia medis, dimana di rumah sakit dibutuhkan alat yang secara otomatis dapat merekam keadaan fisik pasien di ruang rawat inap secara detail dan akurat serta dapat dikirim dan dicek oleh perawat jaga di stasiun perawat. Otomatisasi perekaman data pasien ini akan dilakukan secara fleksibel dan nyaman bagi pasien, sehingga dibutuhkan perangkat nirkabel yang menghubungkan sensor pada tubuh pasien dengan stasiun perawat.

Mengingat banyaknya jumlah pasien yang dirawat, maka dibutuhkan juga jaringan wireless yang bertopologi pohon yang berpusat pada server di stasiun perawat dan bercabang pada hub dalam tiap ruang rawat inap menuju sensor-sensor pada semua pasien. Untuk merealisasikan jaringan tersebut, maka perlu diketahui lebih dulu karakteristik kanal propagasi radio yang digunakan agar dapat dirancang sistem komunikasi digital yang sesuai. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran untuk mengarakterisasi kanal propagasi radio tersebut.

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

  
Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.  
NIP. 197011113993031002 NIP. 196109031989031001

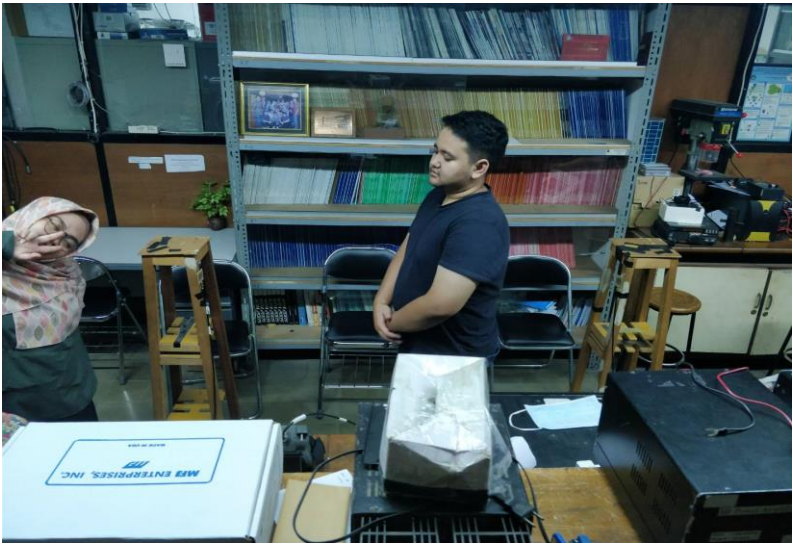
  
Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1  
Deden C. Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 197311192000031001

Menyetujui,  
Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi

  
Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D.  
NIP. 197011113993031002

*[ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ]*

**LAMPIRAN B  
DOKUMENTASI**



*[ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ]*



## BIOGRAFI PENULIS



Darien Raditya Krisdaniawan merupakan salah satu mahasiswa ITS yang mengambil jurusan teknik elektro. Bidang studi yang diambil dalam menjalani kuliah adalah Teknik Telekomunikasi Multimedia. Ia yang berkelahiran di Balikpapan, 29 Agustus 1994 merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Semasa perkuliahannya, ia tertarik pada ilmu propagasi dan antena yang dimana menjadi salah satu topik Tugas Akhirnya. Selain itu, penulis juga sering mengikuti kegiatan-kegiatan kemahasiswaan dan kegiatan-kegiatan di luar kampus. Penulis dapat dihubungi melalui [darien1stargazeroo@gmail.com](mailto:darien1stargazeroo@gmail.com).