



TUGAS AKHIR - EE 184801

**KARAKTERISASI KANAL PROPAGASI RADIO 5G UNTUK
APLIKASI *WIRELESS BODY AREA NETWORK* PADA
TUBUH PASIEN BERGERAK DI RUMAH SAKIT**

Tri Elfira Yolanda
NRP 0711154000044

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, 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

***CHARACTERIZATION OF THE 5G RADIO
PROPAGATION CHANNEL FOR WIRELESS BODY AREA
NETWORK ON THE MOVING PATIENT'S BODY IN THE
HOSPITAL***

Tri Elfira Yolanda
NRP 0711154000044

Advisors

Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, 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 "**Karakterisasi Kanal Propagasi Radio 5G untuk Aplikasi *Wireless Body Area Network* pada Tubuh Pasien Bergerak di Rumah Sakit**" 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



Tri Elfira Yolanda
NRP 0711154000044

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**KARAKTERISASI KANAL PROPAGASI RADIO 5G
UNTUK APLIKASI WIRELESS BODY AREA NETWORK
PADA TUBUH PASIEN BERGERAK DI RUMAH SAKIT**

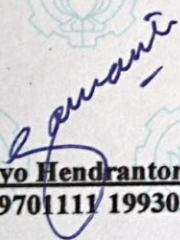
TUGAS AKHIR


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

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19701111/1993031 002


Dr. Ir. Achmad Mauludivanto, MT.
NIP. 19610903 1989031 001



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KARAKTERISASI KANAL PROPAGASI RADIO 5G UNTUK APLIKASI *WIRELESS BODY AREA NETWORK* PADA TUBUH PASIEN BERGERAK DI RUMAH SAKIT

Nama : Tri Elfira Yolanda
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D.
2. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

ABSTRAK

Perkembangan teknologi 5G membuka potensi baru dalam bidang kesehatan, yaitu *smart health* yang mana dapat meningkatkan infrastruktur layanan kesehatan terutama di rumah sakit, yang mana memungkinkan pula terjadinya peningkatan angka harapan hidup di Indonesia.

Penanganan yang dibutuhkan setiap pasien berbeda-beda, ada yang mengharuskan untuk dirawat di ruang ICU (*Intensive Care Unit*) dan ada pula yang harus menjalani proses rehabilitasi. Namun pada realitanya, pada proses rehabilitasi belum terdapat sistem yang memantau secara *real* keadaan pasien.

Pada proses rehabilitasi memungkinkan adanya pemantauan keadaan pasien secara *real-time* dengan menerapkan sistem komunikasi yang menggunakan komunikasi WBAN (*Wireless Body Area Network*) yang selanjutnya akan terhubung pada layar *monitoring* pasien.

Skenario pengukuran pada Tugas Akhir ini bermula dengan mengondisikan sebuah ruangan layaknya ruang rehabilitasi yang selanjutnya akan dilakukan pengukuran terkait respon kanal dari propagasi gelombang radio yang dihasilkan oleh antena mikrostrip yang ditempel pada tubuh pasien yang sedang bergerak dengan posisi peletakan antena yang berbeda hingga akhirnya diterima oleh *receiver* yang mana *receiver* ini juga berfungsi sebagai pengumpul data dari tiap pasien. Pada akhirnya didapatkan nilai magnitudo dan *phase* dengan menggunakan VNA (*Vector Network Analyzer*). Data hasil pengukuran diolah sehingga menghasilkan nilai respon kanal dengan metode perhitungan dan grafik *Cumulative Distribution Function* dengan pemrograman menggunakan Matlab.

Kata Kunci : WBAN, Antena Mikrostrip, VNA, CDF, Matlab.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

***CHARACTERIZATION OF THE 5G RADIO PROPAGATION
CHANNEL FOR WIRELESS BODY AREA NETWORK ON THE
MOVING PATIENT'S BODY IN THE HOSPITAL***

Name : **Tri Elfira Yolanda**
Advisors : **1. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.**
2. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

ABSTRACT

The development of 5G technology is potential for the health sector, known as smart health which can improve health service infrastructure in hospitals, which also allows increasing life expectancy in Indonesia.

The treatment needed by each patient is different, some are needed to be treated in the ICU (Intensive Care Unit) and some must deal with the rehabilitation process. But in reality, in the rehabilitation process, there is no system that can monitor the patient's status in real-time.

The rehabilitation process allows real-time patient involvement using a wireless body area network that will be connected to the patient monitoring screen.

The measurement scenario for this Final project begins with conditioning the room like in the hospital, which will then be carried out in relation to the channel response of radio wave propagation produced by the microstrip antenna that is attached to the patient's moving body by placing the antenna placed in different position, until it is received to the receiver which also serves as a data collector. Finally, the magnitude and phase values are obtained using VNA (Vector Network Analyzer). The measurement data is processed so that it produces the channel response values with the calculation method and the Cumulative Distribution Function graph by programming using Matlab.

Keywords : WBAN, Microstrip Antenna, VNA, CDF, Matlab.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kehadirat Allah SWT, karena atas nikmat dan rahmat karunianya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul:

Karakterisasi Kanal Propagasi Radio 5G untuk Aplikasi *Wireless Body Area Network* pada Tubuh Pasien Bergerak di Rumah Sakit

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat menyelesaikan studi Strata-1 di departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama penyusunan tugas akhir penulis mendapatkan banyak dorongan, bimbingan, arahan dan uluran tangan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D., yang telah memperkenalkan topic tugas akhir ini, memberikan ide, masukan, serta bimbingan.
2. Bapak Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT., yang telah memberikan arahan dan masukan selama masa penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Orang tua dan kedua adik yang selalu memberikan dukungan baik secara moril maupun materiil.
4. Tim WBAN yang telah membantu dan menemani selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Anggota Lab. Antena dan Propagasi yang selama ini selalu memberikan dukungan dan bantuan.
6. Keluarga e55, keluarga Telkom dan teman-teman Kabinet Serasi yang selalu ada untuk saling menguatkan dalam pengerjaan tugas akhir.

Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembacanya. Penulis menyadari bahwa dalam tugas akhir ini masih banyak kekurangan sehingga diperlukan kritik dan saran untuk menyempurnakannya.

Surabaya, Juli 2019
Penulis,

Tri Elfira Yolanda
NRP. 0711154000044

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
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.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
1.7 Relevansi.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 5G.....	5
2.2 WBAN (<i>Wireless Body Area Network</i>).....	6
2.2.1 Arsitektur <i>Wireless Body Area Network</i>	9
2.2.2 Karakteristik Kanal <i>Body Area Network</i>	10
2.2.3 Sifat Elektris dari <i>Body Area Network</i>	12
2.2.4 Karakteristik Kanal Tubuh.....	12
2.2.5 <i>Fading</i>	13
2.2.6 Respon Kanal.....	14
2.2.7 Efek Pergerakan Tubuh Manusia serta Model Propagasi <i>Indoor</i>	15
2.3 Antena Mikrostrip.....	15
2.4 VNA (<i>Vector Area Network</i>).....	17
2.3.1 Spesifikasi VNA Agilent N9923A.....	18
2.3.2 Kapasitas VNA.....	20
2.5 <i>Matrix Laboratory</i> (Matlab).....	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Skema Penelitian.....	23

3.2	Spesifikasi Antena <i>Microstrip Patch Rectangular</i>	24
3.2.1	Fabrikasi Antena <i>Microstrip Patch Rectangular</i>	25
3.2.2	Pola Radiasi Antena	26
3.2.3	Pengukuran Kinerja Antena <i>Microstrip Patch Rectangular</i>	28
3.2.4	Hasil Pengukuran Kinerja Antena <i>Microstrip Patch Rectangular</i>	29
3.2.5	Hasil Perhitungan Medan Radiasi Antena	33
3.3	Spesifikasi <i>Vector Network Analyzer</i> (VNA) Agilent N9923A	34
3.4	Sistem Pengukuran	35
3.5	Skenario Pengukuran	37
3.5.1	Posisi Antena Pemancar pada Pergelangan Tangan Kanan Pasien	37
3.5.2	Posisi Antena Pemancar pada Pergelangan Tangan Kanan Pasien	38
3.5.3	Posisi Antena Pemancar pada Dada Pasien	39
3.5.4	Posisi Antena Pemancar pada Punggung Pasien	39
3.6	<i>Set Up</i> Pengukuran	40
3.7	Skema Pengolahan Data Hasil Pengukuran	45
3.7.1	Respon Kanal H(f)	46
3.7.2	Perolehan Grafik <i>Cumulative Distribution Function</i> (CDF)	47
BAB 4 HASIL PENGUKURAN DAN PEMBAHASAN		49
4.1	Mekanisme Propagasi Gelombang	49
4.2	Hasil Pengukuran	49
4.2.1	Hasil Pengukuran dengan Posisi Antena Tx pada Pergelangan Tangan Kanan Pasien	50
4.2.2	Hasil Pengukuran dengan Posisi Antena Tx pada Pergelangan Tangan Kiri Pasien	51
4.2.3	Hasil Pengukuran dengan Posisi Antena Tx pada Dada Pasien	52
4.2.4	Hasil Pengukuran dengan Posisi Antena Tx pada Punggung Pasien	53
4.3	Hasil Perhitungan/Pengolahan Data Pengukuran	54
4.4	Sintesis	55
BAB 5 PENUTUP		59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	59

DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN A Pengesahan Tugas Akhir	63
LAMPIRAN B Dokumentasi Pengukuran	65
LAMPIRAN C <i>Listing</i> Program Matlab	67
BIOGRAFI PENULIS	69

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem <i>U-Health</i>	6
Gambar 2.2 Sistem Komunikasi pada Sensor BAN.....	9
Gambar 2.3 Topologi Jaringan WBAN	10
Gambar 2.4 Jalur <i>Link</i> Komunikasi WBAN	12
Gambar 2.5 Klasifikasi Kanal <i>Fading</i>	13
Gambar 2.6 Struktur Dasar Antena Mikrostrip.....	16
Gambar 2.7 <i>Vector Network Analyzer</i>	18
Gambar 2.8 <i>Command Window</i> MATLAB	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Skema Penelitian	24
Gambar 3.2 Antena <i>Microstrip Patch Rectangular</i>	25
Gambar 3.3 Pola Radiasi 2D Tampak Atas ($\pi = 90^\circ$).....	27
Gambar 3.4 Pola Radiasi 2D Tampak Depan ($\theta = 90^\circ$).....	27
Gambar 3.5 Pola Radiasi 3D.....	27
Gambar 3.6 Nilai <i>Return Loss</i> Antena 1.....	30
Gambar 3.7 Nilai <i>Return Loss</i> Antena 2.....	31
Gambar 3.8 Nilai VSWR Antena <i>Microstrip</i>	32
Gambar 3.9 Nilai <i>Losses Cable</i> 1.....	32
Gambar 3.10 Nilai <i>Losses Cable</i> 2.....	33
Gambar 3.11 Diagram Sistem Pengukuran.....	35
Gambar 3.12 Skenario Antena Tx pada Pergelangan Tangan Kanan Pasien	38
Gambar 3.13 Skenario Antena Tx pada Pergelangan Tangan Kiri Pasien	38
Gambar 3.14 Skenario Antena Tx pada Dada Pasien.....	39
Gambar 3.15 Skenario Antena Tx pada Punggung Pasien	40
Gambar 3.16 Denah Laboratorium Antena dan Propagasi	41
Gambar 3.17 Peralatan yang Digunakan pada Saat Pengukuran	41
Gambar 3.18 Posisi Pasien dan Monitor pada Ruang B.305	44
Gambar 3.19 Ilustrasi Posisi Tinggi Antena Tx dan Rx.....	45
Gambar 3.20 Diagram Alir Pengolahan Data Hasil Pengukuran.....	45
Gambar 4.1 Grafik <i>Cumulative Distribution Function</i> (CDF)	55
Gambar 4.2 Kondisi Posisi Antena pada Pergelangan Tangan Kiri Pasien	56

Gambar 4.3 (a) Kondisi Posisi Antena di Punggung Pasien dan (b) Kondisi Posisi Antena di Dada Pasien	57
Gambar 4.4 Kondisi Posisi Antena pada Pergelangan Tangan Kanan Pasien.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Skenario dan Deskripsi Komunikasi BAN.....	11
Tabel 2.2 Spesifikasi VNA Agilent N9923A	19
Tabel 3.1 Kriteria Antena <i>Microstrip Patch</i>	26
Tabel 3.2 Spesifikasi FR4 <i>Epoxy</i>	26
Tabel 3.3 Spesifikasi <i>Vector Network Analyzer</i> (VNA) Agilent N9923A.....	35
Tabel 3.4 Parameter Pengukuran	36
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran dengan Posisi Antena Tx pada Pergelangan Tangan Kanan Pasien.....	50
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran dengan Posisi Antena Tx pada Pergelangan Tangan Kiri Pasien	51
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran dengan Posisi Antena Tx pada Dada Pasien	52
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran dengan Posisi Antena Tx pada Punggung Pasien	53
Tabel 4.5 Hasil Nilai Respon Kanal H_{channel}	54

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sistem komunikasi nirkabel yang sangat pesat telah memasuki era 5G yang akan membawa perubahan serta keuntungan besar dalam kehidupan masyarakat, seperti berkembangnya IoT (*Internet of Things*). Teknologi 5G juga menunjang perkembangan berbagai sektor dalam kehidupan manusia, seperti dalam bidang komunikasi, transportasi, pemerintahan, militer, sarana dan prasarana, serta kesehatan.

Teknologi 5G membuka potensi baru dalam bidang kesehatan seperti *smart health* dimana hal ini terkait dalam peningkatan infrastruktur layanan kesehatan dan rumah sakit. Berdasarkan data terakhir WHO (*World Health Organization*) pada tahun 2016, Indonesia memiliki angka harapan hidup sebesar 69,1 tahun dimana rata-rata angka harapan hidup dunia adalah 72,0 tahun. Dapat disimpulkan bahwa angka harapan hidup Indonesia masih dibawah angka rata-rata hidup dunia. Angka harapan hidup ini juga merupakan salah satu indikator keberhasilan yang terdapat dalam IPM (Indeks Pembangunan Manusia) di Indonesia. Diharapkan dengan adanya perkembangan teknologi 5G ini dapat membantu pemerintah dalam meningkatkan infrastruktur layanan kesehatan bagi masyarakat.

Peningkatan infrastruktur layanan kesehatan bagi masyarakat dapat dilakukan salah satunya dengan meningkatkan infrastruktur layanan kesehatan di rumah sakit. Seperti diketahui, penanganan yang dibutuhkan setiap pasien berbeda-beda disesuaikan dengan kebutuhannya. Bentuk penanganan ini biasanya juga diklasifikasikan berdasarkan ruangan yang dihuni oleh pasien agar memudahkan dokter dalam proses penanganan, seperti dengan adanya ruangan HCU (*High Care Unit*) dan ICU (*Intensive Care Unit*) serta ada pula berdasarkan kebutuhan seperti proses rehabilitasi dengan adanya ruangan rehabilitasi. Ruang rehabilitasi ini merupakan salah satu fasilitas penunjang untuk mendukung pulihnya fungsi-fungsi motorik pasien setelah mengalami suatu tindakan medis di rumah sakit [1]. Realitanya, pada ruang rehabilitasi belum terdapat sistem yang bisa memantau keadaan pasien secara *real-time* sehingga masih memungkinkan untuk terjadinya keterlambatan dalam mengetahui kondisi pasien.

Sehingga pada Tugas Akhir ini akan dilakukan penelitian untuk menghasilkan karakteristik kanal propagasi radio 5G untuk aplikasi

WBAN pada tubuh pasien bergerak di rumah sakit yang nantinya akan menghasilkan nilai respon kanal dan juga grafik *cumulative distribution function* (CDF) agar didapatkan skenario yang paling tepat dalam merealisasikan penggunaan WBAN dalam membantu paramedis untuk mengetahui kondisi pasien yang memerlukan fasilitas rehabilitasi secara *real-time*.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik kanal propagasi radio yang optimal untuk aplikasi WBAN pada tubuh pasien bergerak?
2. Bagaimana nilai respon kanal dari tubuh pasien yang bergerak ke monitor?
3. Bagaimana pemodelan kanal WBAN di dalam ruangan yang tepat?

1.3 Tujuan

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

1. Memperoleh karakteristik kanal propagasi radio yang optimal untuk aplikasi WBAN pada tubuh pasien bergerak.
2. Memperoleh nilai respon kanal dari tubuh pasien yang bergerak ke monitor.
3. Memberikan sintesis rekomendasi dari pemodelan kanal WBAN di dalam ruangan.

1.4 Batasan Masalah

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

1. WBAN dengan menggunakan antena mikrostrip.
2. Pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer*.
3. Karakteristik kanal propagasi radio berupa respon kanal dengan frekuensi 3 GHz.
4. Analisis grafik *Cumulative Distribution Function* yang diperoleh dengan pemrograman pada Matlab.

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) *Wireless Body Area Network*
- b) Antena Mikrostrip
- c) *Vector Network Analyzer*
- d) MATLAB

2. Fabrikasi Antena Mikrostrip

Pada tahapan awal Tugas Akhir ini adalah melakukan fabrikasi antena mikrostrip dengan parameter antena yang disesuaikan dengan antena yang telah ada sebelumnya di Laboratorium Antena dan Propagasi.

3. Pengukuran dengan Menggunakan *Vector Network Analyzer*

Pada tahapan ini dilakukan pengukuran respon kanal dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* sesuai dengan sistem dan skenario pengukuran yang telah dirancang sebelumnya.

4. Pengolahan Data Hasil Pengukuran

Data pengukuran yang telah didapatkan kemudian diolah agar mendapatkan nilai respon kanal dengan metode perhitungan serta grafik *Cumulative Distribution Function* dengan pemrograman menggunakan Matlab.

5. Analisis Data dan Penarikan Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis data secara keseluruhan, kemudian dilakukan penarikan kesimpulan yang terkait dengan rekomendasi pemodelan sistem dalam aplikasi penggunaan WBAN pada tubuh pasien bergerak di rumah sakit.

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, metodologi penelitian, sistematika laporan, dan relevansi dari tugas akhir.

- **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini menjelaskan tinjauan pustaka yang membahas tentang *Wireless Body Area Network*, antena mikrostrip, *Vector Network Analyzer*, dan Matlab.

- **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab tiga menjelaskan tentang metodologi penelitian yang berupa skema penelitian, sistem pengukuran, skenario pengukuran, *set up* pengukuran, serta skema pengolahan data hasil pengukuran.

- **BAB 4 HASIL PENGUKURAN dan PEMBAHASAN**

Pada bab ini ditampilkan hasil pengukuran dan metode pengolahan hasil pengukuran serta pembahasan analisis penelitian.

- **BAB 5 PENUTUP**

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran terkait dengan penelitian tugas akhir yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

Hasil yang didapat dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat dan diterapkan pada ruang rehabilitasi di rumah sakit agar mempermudah paramedic dalam memantau kondisi pasien secara *real-time* sehingga dapat mencegah terlebih dahulu kondidi-kondisi yang tidak diinginkan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 5G

5G (jaringan seluler generasi ke-5 atau sistem nirkabel generasi 5) adalah nama yang digunakan dalam beberapa makalah penelitian dan proyek-proyek untuk menunjukkan fase utama berikutnya dari standar telekomunikasi seluler melebihi standar 4G/IMT-Advanced efektif sejak 2011. Saat ini, 5G bukan istilah resmi yang digunakan untuk spesifikasi tertentu serta dokumen resmi belum diumumkan oleh perusahaan telekomunikasi atau badan standarisasi seperti 3GPP, WiMAX Forum, atau ITU-R. Rilis standar baru di luar 4G sedang berlangsung oleh badan standarisasi, tetapi saat ini tidak dianggap sebagai generasi ponsel baru tapi di bawah payung 4G.

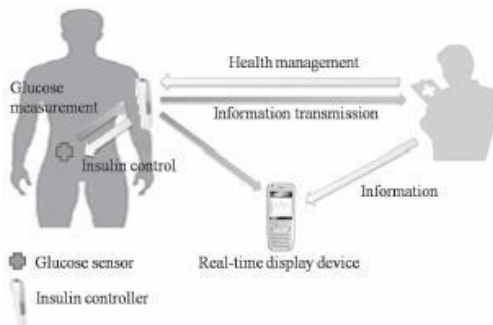
Sebuah *mobile* generasi baru telah muncul setiap 10 tahun karena sistem 1G pertama (NMT) diperkenalkan pada tahun 1981, 2G (GSM) sistem yang mulai bergulir di tahun 1992, 3G (W-CDMA/FOMA) yang muncul pada tahun 2001, dan standar 4G “nyata” memenuhi persyaratan IMT-Advanced yang diratifikasi pada tahun 2011, serta produk yang diharapkan dalam 2012-2013. Teknologi pendahulunya telah terjadi di pasar beberapa tahun sebelum generasi ponsel baru, misalnya pra-3G *system* CDMAone/IS95 tahun 1995 dan pra-4G sistem *Mobile* WiMAX serta LTE pada tahun 2005 dan 2009. Perkembangan 2G (GSM) dan (IMT-2000 dan UMTS) 3G standar waktu sekitar 10 tahun dari awal resmi R&D proyek, dan pengembangan sistem 4G dimulai pada tahun 2001 atau 2002. Namun, masih ada transnasional pada proyek pembangunan 5G yang telah secara resmi diluncurkan dan perwakilan industri telah menyatakan skeptis terhadap 5G. Generasi ponsel baru biasanya ditugaskan pada frekuensi *band* baru dan *bandwidth* spektral yang lebih luas per frekuensi saluran (1G hingga 30 kHz, 2G sampai 200 kHz, 3G hingga 5 MHz, dan 4G hingga 40 MHz), tetapi skeptis berpendapat bahwa ada sedikit ruang untuk *band* frekuensi baru atau *bandwidth* saluran yang lebih besar. Dari sudut pandang pengguna, generasi ponsel sebelumnya telah menyiratkan peningkatan substansial dalam bit rate puncak (yaitu lapisan fisik bit rate bersih untuk jarak pendek komunikasi). Namun, tidak ada sumber menunjukkan puncak *download* 5G dan tingkat *upload* lebih dari 1 Gbps akan ditawarkan menurut definisi ITU-R sistem 4G jika 5G muncul dan mencerminkan ini prognosis, perbedaan utama dari sudut

pandangan pengguna antara teknik 4G dan 5G harus menjadi sesuatu yang lain dari *throughput* maksimum yang meningkat, misalnya baterai rendah konsumsi, probabilitas *outage* lebih rendah (cakupan yang lebih baik), harga agak tinggi dalam porsi yang lebih besar dari luas cakupan, lebih murah atau tidak ada biaya lalu lintas karena biaya penyebaran infrastruktur yang rendah, atau kapasitas agregat lebih tinggi bagi pengguna banyak simultan (yaitu sistem yang lebih tinggi dengan tingkat efisiensi spektral)[2].

Pada dunia kesehatan, perkembangan 5G dengan kecepatan internet yang tinggi ini juga memberikan dampak besar, seperti memungkinkan dokter untuk melakukan memantau keadaan pasien, melakukan pemeriksaan, bahkan operasi atau bedah jarak jauh.

2.2 WBAN (*Wireless Body Area Network*)

Body Area Network (BAN) atau dalam bahasa Indonesia dikenal dengan istilah jaringan area tubuh adalah jaringan yang terdiri dari satu *node* heterogen yang dapat merasakan, menggerakkan, menghitung, serta berkomunikasi antara satu sama lain melalui saluran multihop nirkabel. Sebuah BAN dapat mengumpulkan, memproses, dan menyimpan catatan fisiologis seperti sensor aktivitas jantung atau elektrokardiogram (ECG), sensor suhu tubuh, serta tekanan darah pada setiap aktivitas yang dilakukan seperti saat sedang berjalan, berlari, maupun saat tidur. Selain itu BAN juga dapat merekam kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban, kehadiran alergen, serta parameter lain dari tubuh manusia maupun lingkungan sekitarnya.



Gambar 2.1 Sistem *U-Health* [3]

Dalam hal ini, BAN juga dapat membantu para profesional medis dalam membuat keputusan terhadap pengobatan pasien dengan menyediakan informasi secara kontinyu dan *real-time* kepada paramedik tentang kondisi pasien. Sistem ini dikenal dengan istilah *ubiquitous healthcare (u-health)*[3] yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Jika BAN ini terpasang secara nirkabel, maka dinamakan dengan Jaringan Area Tubuh Nirkabel (*Wireless Body Area Network* atau disingkat dengan WBAN). WBAN adalah sebuah konsep jaringan yang telah berkembang dengan tujuan memonitor sinyal fisiologis penting dari sensor berdaya rendah pada tubuh manusia. Data yang dikumpulkan dari sensor akan dikirimkan ke *node* yang lain melalui media nirkabel, dimana data tersebut diteruskan ke *layer* aplikasi yang lebih tinggi untuk diartikan[3].

Penggunaan *Wireless Body Area Network* (WBAN) adalah cara modern untuk memonitor parameter fisiologis manusia atau perubahan perilaku dan menyampaikan informasi yang diukur dari luar tubuh atau bahkan dari dalam tubuh menuju *database* elektronik agar dapat diakses dimanapun[4]. Hal ini merupakan suatu pencapaian besar dalam dunia kesehatan. WBAN memiliki potensi yang sangat besar dalam revolusi *monitoring* perawatan kesehatan dengan mendiagnosa terlebih dahulu penyakit yang mungkin akan timbul serta mendukung pemantauan keadaan pasien secara *real-time*. Penggunaan WBAN ini diharapkan dapat meningkatkan sistem pelayanan kesehatan agar pengelolaan dan deteksi penyakit menjadi lebih efektif[5].

Pengaplikasian WBAN dalam dunia kesehatan memungkinkan pemantauan terus menerus dari atribut fisiologis seseorang, seperti tekanan darah, detak jantung, dan suhu tubuh. Jika kondisi abnormal pada tubuh terdeteksi, maka data yang telah dikumpulkan oleh sensor akan dikirimkan ke telepon seluler misalnya. Data tersebut akan dikirimkan via data seluler atau internet ke *emergency center* atau ruangan dokter (tergantung dari tindakan apa yang perlu dilakukan) sehingga WBAN akan menjadi solusi dalam mendiagnosa, memantau serta sebagai bentuk perawatan bagi pasien yang memiliki penyakit dengan berbagai kemungkinan fatal, termasuk diabetes, hipertensi, dan penyakit yang terkait dengan kardiovaskular[5].

Aplikasi kesehatan dengan menggunakan WBAN dapat diklasifikasikan menjadi 3, yakni [5]:

- a. *Wearable* WBAN : merupakan aplikasi WBAN dengan menggunakan sensor yang ditempelkan pada tubuh manusia dan

biasanya dibantu oleh berbagai alat yang memantau kondisi tubuh secara *real-time*.

- b. *Implant WBAN* : merupakan aplikasi WBAN dengan menanamkan sensor di dalam tubuh manusia baik dibawah kulit maupun di aliran darah.
- c. *Remote Control of Medical Devices* : adanya jaringan perangkat dan layanan perawatan di rumah dengan konektivitas internet yang dikenal dengan istilah AAL (*Ambient Assisted Living*) yang bertujuan untuk memperpanjang perawatan pasien yang dibantu dari rumah pasien, meminimalkan ketergantungan pada perawatan intensif, meningkatkan kualitas hidup, serta mengurangi biaya yang dikeluarkan.

Sistem pemantauan kesehatan WBAN terdiri dari detektor (sensor) dan bagian komunikasi data. Tergantung pada aplikasinya, satu set sensor yang digunakan dapat bervariasi antara pasien yang berbeda sesuai dengan persyaratan kesehatan khusus pasien tersebut. Ini menyebabkan kebutuhan untuk mendukung berbagai jenis lalu lintas dan beban lalu lintas di dalam jaringan WBAN menjadi penting. Di sisi lain, aplikasi yang berbeda dan radio *interface* dapat mengalokasikan bagian berbeda dari spektrum frekuensi di tangan. Karena ketergantungan frekuensi dan dampak lingkungan pada sinyal propagasi, model saluran radio yang akurat pun diperlukan, termasuk pada desain sistem WBAN. Misalnya, model saluran kantor pada umumnya tidak akan sesuai dengan lingkungan propagasi WBAN[4].

Dengan kemajuan terbaru dalam teknologi data penginderaan, jumlah data yang dikumpulkan oleh sensor yang terdapat pada WBAN telah meningkat drastis. Hal ini menyebabkan WBAN harus mampu mendukung komunikasi dengan *data rate* tinggi. Daya operasi yang efisien juga merupakan aspek penting dari perangkat yang terlibat dalam komunikasi WBAN. Selanjutnya, *node* sensor baik yang diimplan di dalam tubuh maupun yang digunakan di luar tubuh harus memiliki bentuk yang kecil. Karena *node* WBAN beroperasi dekat dengan tubuh manusia, maka harus dioperasikan dalam berbagai peraturan yang diterapkan untuk *Specific Absorption Rate* (SAR). Oleh karena itu, kontrol daya pengirim sangat penting dalam teknologi nirkabel yang digunakan untuk aplikasi WBAN[6].

Persyaratan dasar dari WBAN ada sebagai berikut [3]:

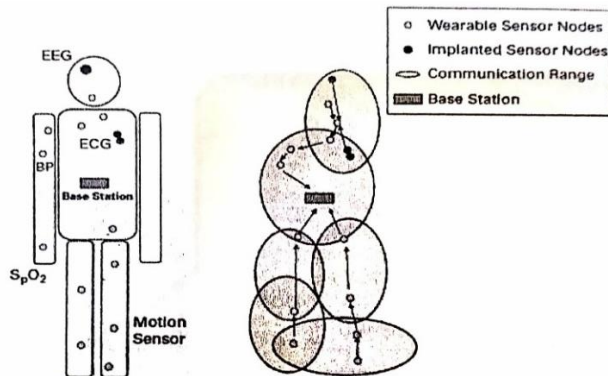
1. Mendukung *data rate* yang terukur.
2. Konsumsi daya rendah.

3. Daya pancar yang terkontrol.
4. Mempunyai kemampuan untuk memprioritaskan transmisi data dari sinyal yang lebih penting.
5. Transmisi data aman.
6. Dapat berdampingan dengan teknologi nirkabel yang lain.
7. Mempunyai kemampuan untuk beroperasi di lingkungan dengan banyak *user*.

2.2.1 Arsitektur *Wireless Body Area Network*

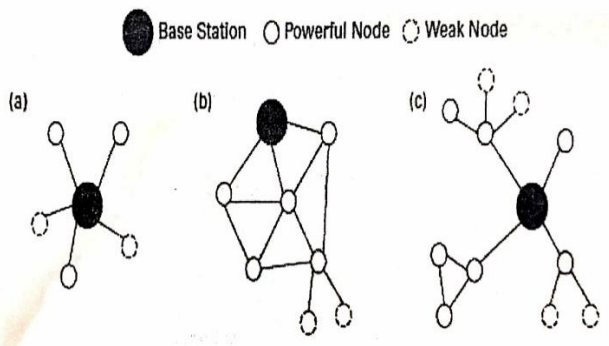
Sebuah *node* pada WBAN memiliki kemampuan yang bervariasi, namun dapat secara luas diklasifikasikan menjadi dua kategori, yakni *node* sensor berupa perangkat medis dan *node base station*. *Node* sensor berupa perangkat medis yang ditanamkan atau dipakai atau hanya berupa *platform* komputasi nirkabel berkapasitas kecil yang dihubungkan dengan sensor atau aktuator. Sedangkan *node base station* mempunyai kemampuan komunikasi dan komputasi yang lebih tinggi. *Base station* akan mengontrol keseluruhan WBAN dan dapat menjangkau setiap *node* pada sebuah hop. IEEE *task group 6* (TG6) telah mendefinisikan arsitektur standar dari WBAN[6].

Sebuah unit komputasi dalam WBAN akan berkomunikasi satu sama lain melalui saluran nirkabel. Komunikasi dari sensor diasumsikan sudah handal serta waktu dari masing-masing sensor telah disinkronisasikan. Setiap *node* pada BAN memiliki satu set *node* tetangga yang membuat *node* dapat berkomunikasi melalui jalur nirkabel *single-hop*, seperti yang terlihat pada Gambar 2.2[6].



Gambar 2.2 Sistem Komunikasi pada Sensor BAN[6]

Pada gambar di atas terlihat pengelompokan *range* komunikasi, dimana pada setiap *range* terdapat beberapa *node* yang bisa saling berkomunikasi melalui jalur *single-hop*. Dari masing-masing *hop* juga bisa berkomunikasi dengan *hop* yang lain. Terdapat tiga topologi jaringan yang telah direkomendasikan oleh IEEE TG6 yang akan ditunjukkan oleh Gambar 2.3[3].



Gambar 2.3 Topologi Jaringan WBAN[3]

Gambar 2.3 bagian (a) menunjukkan topologi bintang, dimana setiap *node* mempunyai satu *hop* jalur nirkabel ke *base station*. Lalu rute *multi-hop* dari *node* menuju *base station* juga direkomendasikan pada topologi *mesh* seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 bagian (b). Pada Gambar 2.3 bagian (c) menunjukkan topologi *hybrid*, dimana merupakan kombinasi antara *single-hop* dan *multi-hop*.

2.2.2 Karakteristik Kanal *Body Area Network*

Sebuah langkah penting dalam pengembangan *wireless body area network* adalah karakter propagasi gelombang elektromagnetik dari perangkat yang berada di dekat tubuh maupun yang tertanam di dalam tubuh manusia. Kompleksitas struktur jaringan tubuh manusia dan bentuk tubuh menyebabkan semakin sulit dalam membuat model *pathloss* yang sederhana untuk BAN. Model kanal dari sistem WBAN perlu memperhitungkan pengaruh dari tubuh terhadap propagasi radio[7]. Pada Tabel 2.1 diperlihatkan scenario dan deskripsi dari komunikasi *Body Area Networks*.

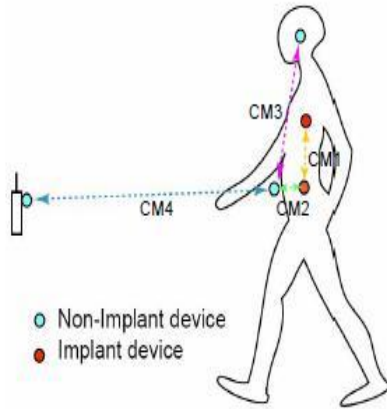
Tabel 2.1 Skenario dan Deskripsi Komunikasi BAN [7]

Skenario	Deskripsi	Rentang Frekuensi	Model Kanal
S1	Implan ke implan	402 – 405 MHz	CM1
S2	Implan ke permukaan tubuh	402 – 405 MHz	CM2
S3	Implan ke eksternal	402 – 405 MHz	CM2
S4	Permukaan tubuh ke permukaan tubuh (LOS)	13.5, 50, 400, 600, 900 MHz, 2.4, 3.1 – 10.6 GHz	CM3
S5	Permukaan tubuh ke permukaan tubuh (NLOS)	13.5, 50, 400, 600, 900 MHz, 2.4, 3.1 – 10.6 GHz	CM3
S6	Permukaan tubuh ke eksternal (LOS)	900 MHz, 2.4, 3.1 – 10.6 GHz	CM4
S7	Permukaan tubuh ke eksternal (NLOS)	900 MHz, 2.4, 3.1 – 10.6 GHz	CM4

Menurut lokasi dari *node* sensor pada kanal WBAN diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu [6]:

1. *Node* implan, sebuah *node* yang ditempatkan di dalam tubuh manusia, tepatnya persis di bawah kulit ataupun jauh lebih ke dalam jaringan tubuh.
2. *Node* permukaan tubuh, sebuah *node* yang ditempatkan pada permukaan kulit manusia atau paling jauh 2 cm di atas kulit.
3. *Node* eksternal, sebuah *node* yang tidak bersentuhan dengan kulit manusia serta berjarak beberapa cm sampai dengan maksimal 5 m dari tubuh manusia.

Terdapat beberapa skenario komunikasi yang dapat diidentifikasi berdasarkan lokasi *node* sensor. Skenario dikelompokkan dalam kelas yang dapat diwakili oleh model kanal (*Channel Model* atau CM) yang sama. Skenario beserta deskripsi dan frekuensinya terdapat dalam Tabel 2.1. Jarak dari perangkat eksternal dianggap maksimal 5 meter. Jalur komunikasi yang memungkinkan berdasarkan tabel di atas ditampilkan pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Jalur *Link* Komunikasi WBAN[3]

Dalam komunikasi WBAN, propagasi radio dari perangkat yang sangat dekat maupun yang tertanam di dalam tubuh manusia sangat kompleks dan istimewa. Dibandingkan dengan lingkungan lainnya, tubuh manusia memiliki bentuk kompleks yang terdiri dari jaringan yang berbeda dengan permitivitas dan konduktivitas lingkungan lain.

2.2.3 Sifat Listrik dari *Body Area Network*

Sebenarnya tubuh manusia merupakan salah satu medium tidak ideal jika digunakan untuk transmisi frekuensi gelombang radio. Jaringan tubuh manusia sebagian bersifat konduktif dan tersusun dari material yang memiliki konstanta dielektrik, ketebalan, dan karakteristik impedansi yang berbeda. Oleh sebab itu, tergantung pada frekuensi kerja, tubuh manusia dapat menyebabkan *loss* yang tinggi akibat penyerapan daya, pergeseran frekuensi, dan perusakan pola radiasi. Efek penyerapan bervariasi besarnya dengan kedua frekuensi dari yang dipraktikkan dan karakteristik dari jaringan tubuh itu sendiri[3].

2.2.4 Karakteristik Kanal Tubuh

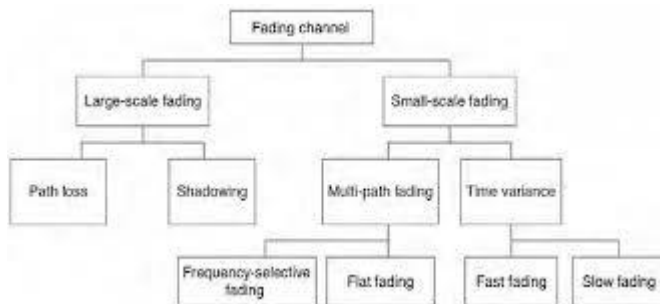
Karakteristik kanal tubuh manusia memiliki dua model yang dihasilkan, yakni model teoritis dan model empiris. Model teoritis dapat dilacak kembali ke prinsip-prinsip dasar propagasi elektromagnetik dan akan mengizinkan pemodelan yang tepat dari situasi tertentu di tingkat

radio link. Hal ini digunakan untuk eksplorasi yang lebih rinci, misalnya pengaruh struktur tubuh terhadap pola radiasi antena. Hal ini membutuhkan penjelasan yang rinci mengenai lingkungan propagasinya. Oleh sebab itu pemodelan ini tidak cocok jika digunakan untuk pemodelan pada lingkungan makro.

Model empiris dapat dilacak kembali pada set pengukuran propagasi yang telah disepakati dan dimaksudkan untuk memberikan dasar pada pemodelan statistik dari kanal. Jika dibandingkan dengan model matematis, model empiris menggunakan deskripsi lingkungan yang disederhanakan. Meskipun dapat diperoleh statistik yang akurat pada tingkat *network*, tetapi tidak akan tepat pada tingkat *link*. Upaya yang tepat dapat dilakukan untuk memastikan bahwa dua set model dapat saling berkesinambungan[7].

2.2.5 Fading

Karakteristik unik pada kanal *wireless* adalah terjadinya peristiwa *fading* yang merupakan variasi dari amplitudo sinusoidal terhadap waktu dan frekuensi. Berbeda dengan *noise* aditif sebagai sumber yang paling umum dari degradasi sinyal, *fading* adalah sumber dari pelemahan sinyal yang ditandai sebagai gangguan sinyal non-aditif dalam saluran nirkabel. *Fading* dapat disebabkan oleh *multipath* propagasi dan menyebabkan lintasan yang ditempuh menjadi lebih panjang yang disebut sebagai *multi-path fading*. Penyebab *fading* yang lain dapat disebabkan oleh bayangan dari halangan yang mempengaruhi perambatan gelombang radio dan disebut sebagai *shadow fading*[8].



Gambar 2.5 Klasifikasi Kanal *Fading*[8]

Pada komunikasi WBAN, jalur propagasi dapat mengalami *fading* akibat berbagai macam alasan, seperti penyerapan energi oleh tubuh, refleksi, difraksi, *shadowing*, dan bentuk tubuh manusia. Alasan lain dari *fading* adalah karena *multipath* akibat lingkungan di sekitar tubuh[6]. Fenomena *fading* secara luas diklasifikasikan menjadi dua jenis yang berbeda, yakni *fading* skala besar (*large scale fading*) dan skala kecil (*small scale fading*)[8] seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.5.

Large-scale fading adalah *fading* yang diakibatkan oleh gerakan pada area yang luas. Hal ini mengacu pada jarak antar antena di tubuh dan *node* eksternal. Hal ini disebabkan oleh *pathloss* sinyal sebagai fungsi jarak dan *shadowing* akibat benda-benda besar seperti bangunan, intervensi medan, dan tumbuhan. Akibat dari variasi lingkungan sekitar tubuh atau dari gerakan anggota tubuh, *pathloss* akan berbeda dari nilai rata-rata yang dihasilkan. Fenomena ini dinamakan *shadowing*. *Shadowing* adalah proses *slow fading* yang ditandai dengan variasi rata-rata *pathloss* antara pemancar dan penerima di lokasi yang tetap. Hal ini menimbulkan variasi nilai *pathloss*. Dengan kata lain, *large-scale fading* ditandai dengan rata-rata *pathloss* dan *shadowing*[6,8].

Di sisi lain, *small-scale fading* mengacu pada perubahan amplitudo dan fase yang sangat cepat dari sinyal yang diterima pada lingkup area yang kecil dikarenakan oleh perubahan kecil dari *node* yang berada di tubuh ataupun posisi tubuh pada waktu yang singkat. Berdasarkan pada tingkat relatif *multipath*, *small-scale fading* dapat dibagi menjadi *frequency-selective fading* dan *flat fading*. Sedangkan berdasarkan pada variasi waktu pada kanal karena kecepatan penerima (ditandai dengan *Doppler Spread*), *small-scale fading* dapat diklasifikasikan sebagai *fast fading* atau *slow fading*[6,8].

2.2.6 Respon Kanal

Dalam suatu pengukuran biasanya didapatkan suatu hasil yang dinamakan sebagai fungsi transfer kanal berupa magnitudo dalam domain frekuensi $H(f)$. Data tersebut berupa besaran *vector* dan secara matematis dapat dituliskan seperti persamaan (2.1).

$$H_{ch}(f) = |H(f)| \cdot e^{j\theta} \quad (2.1)$$

Dengan : $H(f)$ = magnitudo (dB)
 θ = fasa (derajat).

2.2.7 Efek Pergerakan Tubuh Manusia serta Model Propagasi Indoor

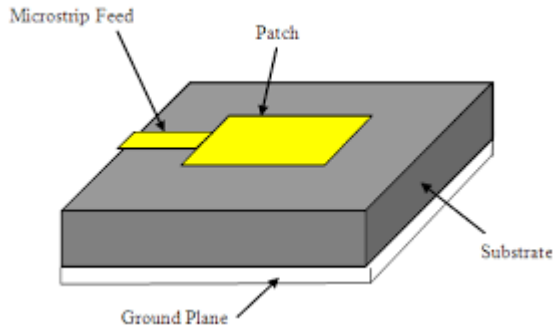
Model saluran yang baik pada aplikasi WBAN harus memperhitungkan semua sumber pengaruh variabilitas utama karena ini merupakan salah satu keunikan dari jaringan BAN ini. Sumber utama yang mempengaruhi dalam aplikasi WBAN adalah[9] :

- Gerakan tubuh dan gerakan objek serta postur saat dalam keadaan diam.
- Karakteristik antropomorfik, terutama antropometrik (ukuran, berat/kegemukan).
- Jenis atau kategori antena serta pemosisian antena (jarak ke tubuh, orientasi, polarisasi).
- Lingkungan (*outdoor, indoor*, ukuran dan jenis ruangan, furnitur).

Pada penjelasan di subbab ini akan dibahas efek pergerakan tubuh manusia serta model propagasi *indoor* berdasarkan komponen *slow fading*nya. Komponen *slow fading* pada dasarnya disebabkan oleh *shadowing* yang ditimbulkan oleh tubuh manusia. *Shadowing* ini sangat bergantung pada kondisi pergerakan tubuh. Ketika subjek manusia tidak bergerak, maka komponen lambat ini sangat dimoderasi. Hal ini dikarenakan kondisi *shadowing* pada dasarnya tetap identik. *Shadowing* juga bergantung pada cara bergerak dari setiap subjek manusia. Berdasarkan penilaian standar deviasi, dalam skenario bergerak diperoleh standar deviasi yang lebih besar jika dibandingkan dengan skenario diam, terutama dalam kasus berjalan. Standar deviasi yang diperoleh dalam skenario berlari memang lebih kecil jika dibandingkan dengan skenario berjalan dikarenakan manusia cenderung untuk menggapitkan lengannya ke tubuh ketika berlari sehingga membatasi osilasi yang dapat terjadi. Sebagai tambahan, ketika berlari di tempat, gerakan kaki manusia lebih cepat tetapi kurang beresilasi jika dibandingkan dengan ketika manusia berjalan. Jika berdasarkan kondisi ruangan, efek *slow fading* ini lebih kecil ketika di dalam ruangan atau *indoor* dikarenakan propagasinya juga dipengaruhi oleh refleksi pada lingkungan sekitarnya, yang sedikit memperingan efek *shadowing* oleh tubuh manusia[10].

2.3 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip yang dikenal juga dengan istilah antena *patch* atau antena *printed* merupakan lempengan konduktor tipis yang diletakkan diatas lempengan konduktor tipis lainnya dan dipisahkan oleh sebuah bahan isolator (*substrate*).



Gambar 2.6 Struktur Dasar Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip ini tersusun atas 4 elemen seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.6, yaitu [11]:

- a. Elemen peradiasi (*patch*)
 Merupakan sebuah lempengan bahan konduktor tipis yang akan beresonansi sesuai dengan frekuensi kerjanya. Bentuk *patch* sangat bervariasi sesuai dengan rancangan yang diinginkan, diantaranya segiempat, segitiga, lingkaran, pentagon, cincin persegi panjang, cincin eksentrik sirkular, bentuk T, bentuk H, bentuk L, bentuk U, elips, serta trapesium.
- b. Elemen substrat (*substrate*)
 Merupakan bahan dielektrik yang memisahkan antara *patch* dan bidang pentanahan (*ground plane*). Elemen ini memiliki jenis yang bervariasi dengan nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) yang berbeda-beda.
- c. Elemen saluran pencatu (*feed line*)
 Merupakan saluran yang menghubungkan *patch* dengan perangkat pengirim atau penerima radio. Teknik pencatu pada antena mikrostrip dapat dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu pencatuan langsung (*excited directly*) dan pencatuan tidak langsung (*excited indirectly*).
- d. Elemen pentanahan (*ground plane*)
 Merupakan pembumihan bagi sistem antena mikrostrip. Elemen pentanahan ini umumnya memiliki jenis bahan yang sama dengan elemen peradiasi, tetapi memiliki bentuk dan ukuran yang berbeda. *Ground plane* umumnya menutupi seluruh bagian bawah dari antena mikrostrip. Beberapa modifikasi dari *ground plane* ternyata mampu

meningkatkan performansi antena mikrostrip, seperti DGS (*Defected Ground Structure*), PBG (*Photonic Band Gap*), dan EBG (*Electromagnetic Band Gap*).

Penggunaan antena mikrostrip ini sendiri banyak direkomendasikan pada berbagai aplikasi sistem komunikasi radio karena memiliki beberapa kelebihan, diantaranya [11]:

1. Memiliki beban yang lebih ringan, volume yang rendah, serta konfigurasi profil yang tipis sehingga dapat dibuat secara *conformal*.
2. Memiliki biaya fabrikasi yang relative lebih murah jika diproduksi secara massal.
3. Polarisasi linier dan sirkular dapat diperoleh dengan pencatuan yang sederhana.
4. Antena dengan *dual-frequency* dan *dual-polarization* dapat dibuat dengan mudah.
5. Dapat dengan mudah diintegrasikan dengan rangkaian *microwave* yang terpadu.
6. Saluran pencatu dan rangkaian penyesuai impedansi dapat difabrikasi secara bersamaan dengan struktur antenanya.

2.4 VNA (*Vector Network Analyzer*)

VNA atau *Vector Network Analyzer* adalah alat ukur (instrumen) yang mengukur semua jenis parameter jaringan gelombang mikro. VNA berfungsi untuk menguji spesifikasi komponen dan memverifikasi simulasi desain untuk memastikan sistem dan komponennya bekerja dengan baik bersama-sama. Saat ini terdapat berbagai jaringan yang diketahui, seperti jaringan 3G atau 4G pada telepon seluler, jaringan Wi-Fi, atau jaringan LAN nirkabel, serta komputer dan server yang diatur dalam jaringan yang terhubung ke *cloud*. Jaringan-jaringan tersebut memiliki alat penganalisa jaringan tertentu. Berkat adanya VNA yang ditemukan lebih dari 60 tahun lalu yang digunakan untuk memverifikasi kinerja, memetakan zona cakupan, dan mengidentifikasi area masalah, jaringan-jaringan tersebut dapat digunakan saat ini [12]. Bentuk fisik VNA ditampilkan pada Gambar 2.7.

VNA berisi sumber yang digunakan untuk menghasilkan sinyal stimulus yang diketahui dan satu set penerima yang digunakan untuk menentukan perubahan pada stimulus ini yang disebabkan oleh perangkat yang diuji atau DUT (*device-under-test*). Pada saat sinyal stimulus disuntikkan ke dalam DUT, VNA mengukur sinyal yang dipantulkan dari

sisi input serta sinyal yang melewati sisi output dari DUT. Penerima pada VNA mengukur sinyal yang dihasilkan dan membandingkannya dengan sinyal stimulus yang diketahui. Hasil yang diukur kemudian diproses oleh PC internal atau eksternal kemudian dimunculkan pada layar VNA[12].



Gambar 2.7 *Vector Network Analyzer*

Pada sistem komunikasi optik, VNA digunakan untuk mengukur karakteristik pergeseran fasa rangkaian optik ketika digunakan dalam menganalisa jaringan. Produsen instrumen ini pun banyak, dimana yang terkenal diantaranya adalah *Agilent* (dulunya lebih dikenal dengan merk hp—*Hewlett Packard*) dan *Anritsu*. Dasar *Fieldfox* RF VNA digunakan untuk pengukuran transmisi/refleksi (T/R) atau S_{11} dan S_{21} , besaran, dan fase.

2.4.1 Spesifikasi VNA Agilent N9923A

Vector Network Analyzer yang digunakan pada pengukuran bermacam-macam. Salah satu yang digunakan pada pengukuran dengan rentang frekuensi 2 MHz sampai dengan 4 MHz adalah VNA Agilent N9923A. Berikut ditampilkan Tabel 2.2 yang merupakan tabel spesifikasi VNA Agilent N9923A :

Tabel 2.2 Spesifikasi VNA Agilent N9923A

No.	Spesifikasi		Keterangan
1.	Pengukuran	S11, S21 S12, S22 <i>Display :</i> <i>System impedance</i>	<i>Magnitude dan phase</i> <i>Magnitude dan phase</i> <i>(option 122)</i> <i>Log, linear, phase, group delay, VSWR, Smith chart, polar chart, split screen to show different</i> 50 ohm dan 75 ohm (dengan adaptor 50/75 ohm)
2.	Frekuensi	<i>Range</i>	<i>Option 104 : 2 MHz to 4 GHz</i> <i>Option 106 : 2 MHz to 6 GHz</i>
3.	<i>Sweep speed</i>	S21, S11	2 MHz to 6 GHz, 30 kHz IFBW, 1001 points 0.695 ms/point
4.	<i>Data points</i>	<i>Data points</i>	101, 201, 401, 601, 801, 1001, 1601, 4001, 10001 <i>(custom number of points can be set using SCPI)</i>
5.	<i>Directivity</i>	<i>Corrected :</i>	42 dB
6.	<i>System dynamic</i>	<i>Range (S21)</i>	2 MHz to 6 GHz : 100 dB <i>(typical)</i>
7.	<i>IF bandwidth</i>	<i>IF bandwidth</i>	300 Hz, 1 kHz, 3 kHz, 10 kHz, dan 30 kHz
8.	<i>Output power range</i>	<i>High power :</i> <i>Low power :</i>	+6 dBm <i>(nominal)</i> -40 dBm <i>(nominal)</i>
9.	<i>Trace noise</i>	<i>Magnitude :</i>	<0.01 dB rms
10.	<i>Immunity to interference</i>	<i>Immunity to interference</i>	+16 dBm <i>(nominal)</i>
11.	<i>Maximum input level port 1 or port 2</i>	<i>Maximum input level port 1 or port 2</i>	+23 dBm / ±50 VDC

2.4.2 Kapasitas VNA

VNA memiliki kemampuan yang handal untuk pengukuran, antara lain[6]:

1. Menyediakan analisis jaringan yang akurat untuk komponen RF dan memungkinkan pengukuran keempat parameter S secara bersamaan dengan satu koneksi.
2. Pengukuran VSWR memungkinkan evaluasi kerja pencocokan impedansi dari berbagai rentang frekuensi.
3. Uji transmisi digunakan untuk menghitung kerugian kabel secara akurat, *insertion loss* (filter) dan *amplifier gain* (*tower mounted amplifier*). VNA menawarkan besaran dan fase transmisi 2 *port* pengukuran dengan rentang dinamis khas 100 dB.

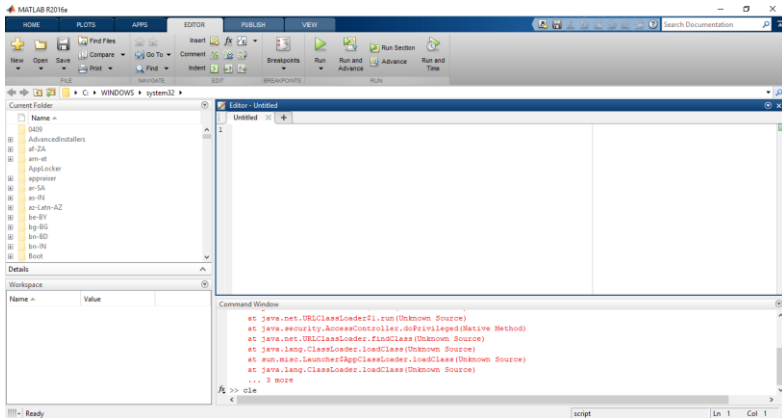
2.5 Matrix Laboratory (Matlab)

Matlab merupakan bahasa pemrograman dengan kemampuan tinggi dalam bidang komputasi. Matlab sendiri merupakan kepanjangan dari *Matrix Laboratory*. Sesuai dengan namanya, struktur data yang terdapat dalam Matlab menggunakan matriks atau *array* berdimensi dua (*double*). Oleh karenanya, penguasaan teori matriks mutlak diperlukan bagi pengguna pemula agar mudah dalam mempelajari dan memahami operasi-operasi yang ada di Matlab.

Matlab memiliki kemampuan untuk mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman. Oleh karena itu, matlab banyak digunakan dalam bidang riset yang membutuhkan komputasi numerik yang kompleks. Berikut bidang-bidang yang diliputi oleh penggunaan matlab :

1. Matematika dan komputasi.
2. Pembentukan algoritma.
3. Akuisisi data.
4. Pemodelan, simulasi, dan pembuatan *prototype*.
5. Analisa data, eksplorasi, dan visualisasi.
6. Grafik keilmuan dan bidang rekayasa.

Untuk memulai matlab, lakukan *double-clicking* pada *shortcut icon* Matlab. Selanjutnya akan muncul tampilan seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 *Command Window* MATLAB

Terdapat beberapa *tools* yang disediakan oleh Matlab diantaranya sebagai berikut :

a. *Command Window*

Merupakan bagian yang berfungsi untuk tempat memasukan dan menjalankan variabel (fungsi) dari Matlab dan *.m file*.

b. *Command History*

Command history memiliki fungsi untuk menampilkan fungsi-fungsi yang telah dikerjakan pada *command window*.

c. *Workspace*

Workspace berisi variabel yang digunakan untuk membuat variabel baru dalam Matlab.

d. *Current Directory*

Merupakan bagian yang menunjukkan folder-folder yang berisi *file* Matlab yang sedang berjalan.

Matlab memiliki program aplikasi berupa sebuah *M-file* yang menyediakan kerangka untuk menuliskan program. Kerangka dapat membantu membuat program menjadi lebih efisien dan sempurna. Semua kode termasuk kode *callback* dimasukan ke dalam kode aplikasi *M-file*. Setiap *callback* akan diimplementasikan sebagai sebuah sub-fungsi dalam *M-file*. Pendekatan ini memungkinkan *M-file* memiliki titik masukan tunggal (*single entry point*) yang dapat memanggil *callback* yang sesuai, atau sebuah sub-fungsi penolong yang ingin kita gunakan.

Fungsi *M-file* mirip dengan *script M-file* dimana keduanya merupakan *file* teks dengan ekstensi *.m*. sebagai *script M-file*, fungsi *M-file* tidak dimasukkan ke dalam jendela *Command*, tetapi merupakan suatu *file* tersendiri yang dibuat dengan *editor* teks. Fungsi *M-file* menyediakan cara sederhana untuk menambah kemampuan Matlab, bahkan banyak fungsi standar Matlab yang merupakan fungsi *M-file*.

Aplikasi *M-file* mengerjakan sesuatu yang berbeda tergantung pada argumen yang dilewatkan ketika dipanggil. Sub-fungsi yang ditambahkan ke dalam *GUIDE* membutuhkan argumen tertentu, namun memiliki daftar panjang argumen variabel. Karena argumen terakhir adalah *varargin*, maka kita dapat menambahkan argument apapun yang diinginkan ke dalam sub-fungsi. Perlu diperhatikan, jika menggunakan aplikasi *M-file*, maka *file-file* dan *M-file* harus disimpan dengan nama yang sama.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

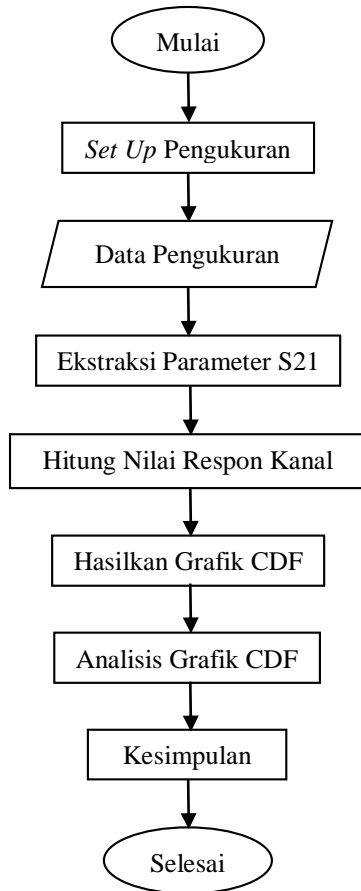
Pada bab 3 dijelaskan mengenai tahapan-tahapan dalam penyelesaian tugas akhir. Tugas akhir ini membahas tentang karakteristik kanal propagasi radio 5G untuk aplikasi *Wireless Body Area Network* (WBAN) pada tubuh pasien bergerak di rumah sakit. Untuk mendapatkan karakteristik kanal tersebut, maka sebelumnya dilakukan beberapa tahapan penelitian, seperti skema penelitian, sistem pengukuran, skenario pengukuran, *set up* pengukuran, serta skema pengolahan data hasil pengukuran. Seluruh tahapan ini akan dibahas dalam bab ini.

Tidak hanya tahapan penelitian, dalam bab ini juga akan membahas mengenai hal-hal yang dibutuhkan agar penelitian ini dapat berjalan dengan baik. Spesifikasi antena *microstrip patch rectangular* beserta metode untuk menghasilkan parameter-parameter yang dibutuhkan pun akan dibahas pada bab ini, seperti langkah-langkah yang dilakukan untuk mendapatkan nilai *return loss*, VSWR, dan *bandwidth* antena dengan menggunakan VNA. Langkah yang dilakukan untuk mendapatkan nilai *losses cable* pun juga akan dibahas pada bab ini. Terakhir, bab ini juga akan dibahas mengenai spesifikasi alat ukur, yakni VNA Agilent N9923A.

3.1 Skema Penelitian

Secara garis besar, penelitian ini dapat digambarkan melalui diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Penelitian ini diawali dengan pengambilan data yang diperoleh dari pengukuran, dimana sistem pengukuran, skenario pengukuran, serta *set up* pengukuran akan dibahas pada sub-bab berikutnya.

Data pengukuran berupa data parameter S_{21} yang diperoleh dari VNA berupa magnitudo dan *phase* yang selanjutnya diolah untuk menghitung respon kanal, $H(f)$. Keluaran yang berupa magnitudo dan *phase* digunakan untuk memperoleh nilai respon kanal. Setelah didapatkan respon kanal, selanjutnya data tersebut diolah dengan menggunakan *software matrix laboratorium* (MATLAB) agar diperoleh bentuk grafik dari *Cumulative Distribution Function* (CDF) data tersebut. Bagian akhir dari penelitian ini berupa rekomendasi skenario terbaik untuk kanal propagasi WBAN pada tubuh pasien bergerak.

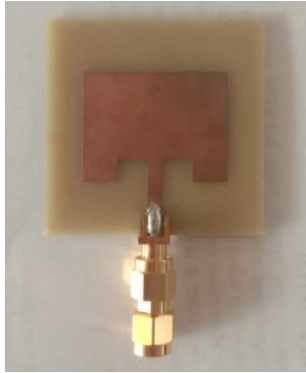


Gambar 3.1 Diagram Alir Skema Penelitian

3.2 Spesifikasi Antena *Microstrip Patch Rectangular*

Pada penelitian ini antena yang digunakan adalah sepasang antena *microstrip patch rectangular* yang identik yang telah tersedia pada Laboratorium Antena dan Propagasi B.306 Teknik Elektro ITS. Antena ini merupakan antena *directional* yang beroperasi pada frekuensi tengah 3 GHz dengan polarisasi linear. Namun dikarenakan antena yang tersedia

di Lab. Antena dan Propagasi hanya ada 1, maka pada penelitian ini dilakukan fabrikasi ulang dengan spesifikasi yang sama agar didapatkan antena identik lainnya karena pada penelitian ini membutuhkan 2 antena. Antena *microstrip patch rectangular* yang digunakan pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Antena *Microstrip Patch Rectangular*

Model antena *microstrip patch rectangular* memiliki parameter sebagai berikut :

- Tipe antena : antena *microstrip*
- Bahan : *substrate = FR4 ; patch = copper*
- Frekuensi : 3 GHz
- Tipe *patch* : *rectangular patch*

3.2.1 Fabrikasi Antena *Microstrip Patch Rectangular*

Fabrikasi antena *microstrip* ini dilakukan dengan mengulang untuk memesan antena yang telah tersedia di laboratorium Antena dan Propagasi Teknik Elektro ITS. Hal ini dimaksudkan agar antena yang digunakan pada pengukuran ini tidak bermasalah karena masih baru dan juga agar memiliki pasangan yang identik karena pada penelitian ini membutuhkan dua antena identik. Antena yang difabrikasi memiliki beberapa parameter antara lain *return loss*, VSWR, pola radiasi, dan HPBW. Nilai dari parameter antena dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kriteria Antena *Microstrip Patch*

Spesifikasi Antena	Keterangan
Bentuk antena	<i>Rectangular</i>
Frekuensi tengah	3 GHz
<i>Return loss</i>	< -10 dB
VSWR	< 2
Metode pencatuan	<i>Microstrip line</i>
<i>Gain</i>	≥ 10 dBi
Pola radiasi	<i>Directional</i>
HPBW	30 derajat
Impedansi input	$\pm 50 \Omega$

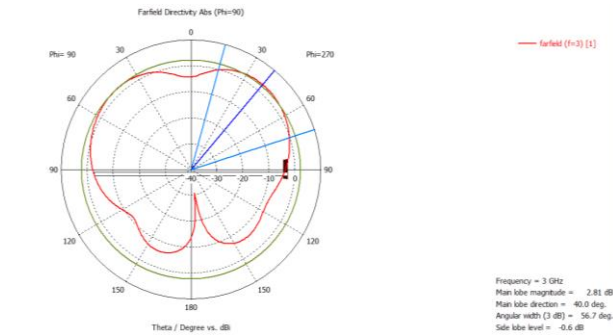
Bahan yang digunakan untuk pembuatan antena *microstrip* adalah FR4 *Epoxy*. FR4 *Epoxy* dipilih karena mudah didapatkan dan harganya yang relatif lebih murah. Selain itu dikarenakan spesifikasi *substrate FR4 Epoxy* sudah terdapat pada simulasi. Spesifikasi FR4 *Epoxy* dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Spesifikasi FR4 *Epoxy*

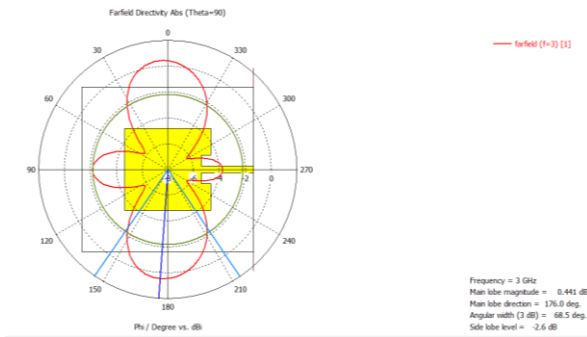
Karakteristik	Nilai	Satuan
Koefisien dielektrik	4.3	-
Koefisien permeabilitas	1	-
Rugi-rugi <i>tangent</i> dielektrik	0.025	-
Frekuensi	1.109 – 9.109	Hz
Kerapatan massa	1900	Kg/m ³
Ketebalan konduktor (tembaga)	0.35	mm
Ketebalan <i>substrate</i> (FR4 <i>Epoxy</i>)	1.6	mm

3.2.2 Pola Radiasi Antena

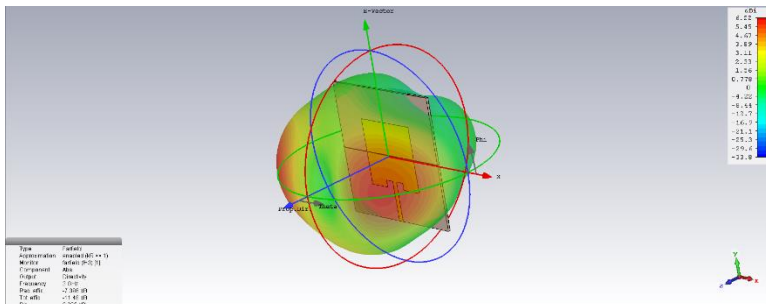
Pada penelitian ini, dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* CST untuk mendapatkan pola radiasi dari antena yang digunakan. Pola radiasi yang didapatkan dalam bentuk 2D dan 3D yang akan ditunjukkan pada Gambar 3.3, Gambar 3.4, dan Gambar 3.5.



Gambar 3.3 Pola Radiasi 2D Tampak Atas ($\pi = 90^\circ$)



Gambar 3.4 Pola Radiasi 2D Tampak Depan ($\theta = 90^\circ$)



Gambar 3.5 Pola Radiasi 3D

3.2.3 Pengukuran Kinerja Antena *Microstrip Patch Rectangular*

Pengukuran pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur *Vector Network Analyzer* (VNA) tipe Agilent N9923A. Pengukuran dilakukan di Laboratorium Antena dan Propagasi B-306 Teknik Elektro ITS.

Langkah pertama yang dilakukan adalah *setting* perangkat pengukuran. Persiapan ini dilakukan terkait dengan persiapan perangkat baik penempatan alat ukur yang harus sesuai dengan ketentuan maupun kalibrasi alat ukur. Peralatan yang digunakan adalah *Vector Network Analyzer* merk Agilent Technologies seri *Fieldfox* N9923A, kalibrator, *dumy load*, dan konektor N to SMA.

a. Prosedur Kalibrasi Alat Ukur

Proses kalibrasi hanya dilakukan pada *network analyzer*. Pengaturan kalibrasi *network analyzer* untuk pengukuran dilakukan dengan langkah-langkah berikut :

1. Persiapkan peralatan yang dibutuhkan, diantaranya *network analyzer*, kabel, dan kalibrator.
2. Nyalakan *network analyzer* lalu tunggu proses *booting network analyzer* hingga selesai dengan kedua port terbuka.
3. Masuk ke menu kalibrasi lalu lakukan kalibrasi. Jika ingin melakukan pengukuran dengan menggunakan kabel pada saat melakukan kalibrasi, maka kalibrasi dilakukan dengan kabel terpasang.
4. Setelah kalibrator terpasang, langkah selanjutnya adalah menekan tombol *start* untuk memulai kalibrasi. Terdapat dua proses kalibrasi yaitu kalibrasi *open* dan kalibrasi *short*. Pada saat kalibrasi *open*, maka yang dipasang adalah kalibrator *open* dan saat kalibrasi *short*, maka kalibrator yang dipasang adalah kalibrator *short*.
5. Setelah proses kalibrasi selesai, maka *network analyzer* sudah dapat digunakan.

b. Prosedur Pengukuran *Return Loss*, *VSWR*, *Bandwidth*, dan *Losses Cable*

Prosedur yang dilakukan dalam pengukuran *return loss*, *VSWR*, *bandwidth*, dan *losses cable* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Siapkan peralatan lalu lakukan proses kalibrasi alat sesuai dengan prosedur yang dijelaskan pada sub-bab sebelumnya.
2. Setelah prosedur kalibrasi alat selesai, sambungkan konektor SMA pada antenna ke port pada yang terdapat pada *network analyzer*, gunakan pula kabel untuk memudahkan pengukuran serta mengurangi efek gelombang pantul yang muncul apabila antenna langsung dihubungkan ke alat ukur (*network analyzer*).
3. Tekan tombol *measure* yang terdapat pada *network analyzer* untuk melakukan pengukuran.
4. Kemudian pilih metode pengukuran yang akan dilakukan, *logmag* untuk mengukur *return loss* dalam satuan desibel (dB), dan *VSWR* untuk mengukur nilai *VSWR* antenna
5. Setelah data hasil pengukuran muncul pada layar *network analyzer*, tekan tombol *hold* untuk menghentikan proses pengukuran dan merekam data.
6. Pasang *marker* pada titik-titik tertentu, seperti pada batas bawah dan batas atas frekuensi.
7. Simpan data hasil pengukuran dengan menekan tombol *save*. Atur tempat penyimpanan dan tipe *file* yang akan disimpan. Terdapat beberapa tipe *file* yang tersedia seperti png. yang berupa gambar grafik dari hasil pengukuran, atau csv. yang berupa tabel hasil pengukuran.
8. Untuk nilai *bandwidth* akan didapatkan dengan mencari nilai selisih batas atas dan batas bawah frekuensi yang nilainya lebih kecil dari -10 dB pada pengukuran *return loss*.

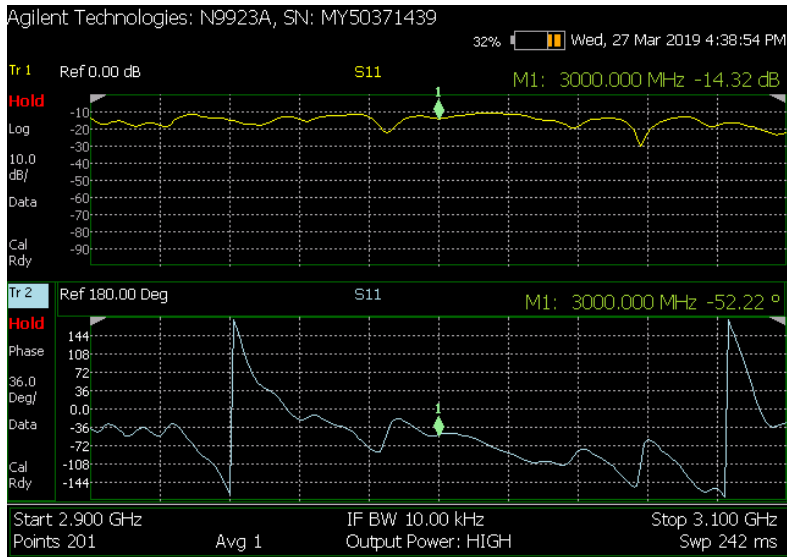
3.2.4 Hasil Pengukuran Kinerja Antena *Microstrip Patch Rectangular*

Pada sub-bab ini akan dibahas mengenai pemaparan hasil pengukuran yang telah dilakukan terhadap antenna *microstrip patch rectangular*. Hasil pengukuran yang didapat adalah nilai *return loss*,

bandwidth, *VSWR*, serta *losses cable* pada antenna *microstrip patch rectangular*.

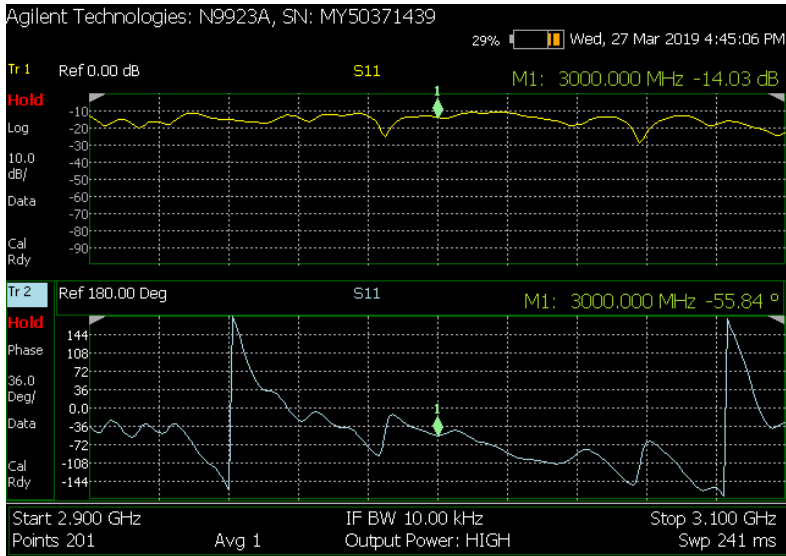
a. Hasil Pengukuran *Return Loss*

Return loss merupakan salah satu parameter penting pada perancangan antenna, karena *return loss* menyatakan perbandingan daya yang dipantulkan kembali oleh antenna. Nilai *return loss* menentukan besarnya *bandwidth* antenna. Perubahan nilai *return loss* mengikuti perubahan frekuensi. Berikut akan ditampilkan nilai *return loss* hasil pengukuran pada gambar di bawah.



Gambar 3.6 Nilai *Return Loss* Antena 1

Dari hasil pengukuran dengan *Vector Network Analyzer*, didapatkan nilai *return loss* dari antenna 1 pada frekuensi 3 GHz sebesar -14,32 dB dan nilai *return loss* antenna 2 pada frekuensi 3 GHz sebesar -14,03 dB yang dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Nilai *Return Loss* Antena 1

b. Hasil Pengukuran Bandwidth Antena *Microstrip Patch Rectangular*

Pada penelitian ini nilai *bandwidth* yang digunakan adalah sebagai berikut :

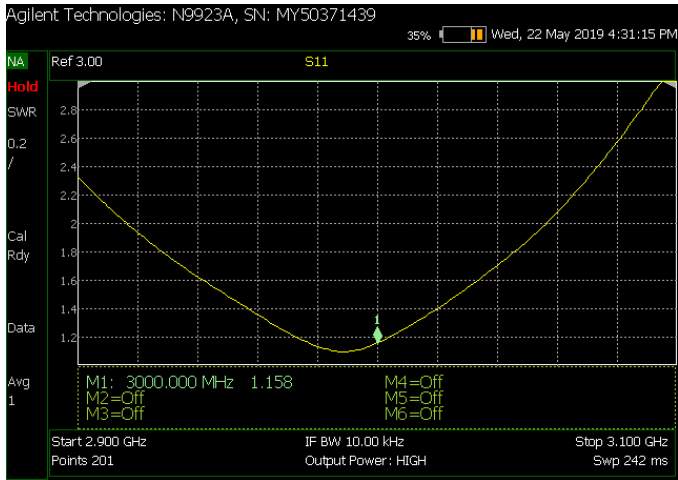
$$BW = \frac{f1 - f2}{f_c} \times 100\%$$

$$BW = \frac{3.1 \text{ GHz} - 2.9 \text{ GHz}}{3 \text{ GHz}} \times 100\%$$

$$BW = 6.67 \%$$

c. Hasil Pengukuran VSWR Antena *Microstrip Patch Rectangular*

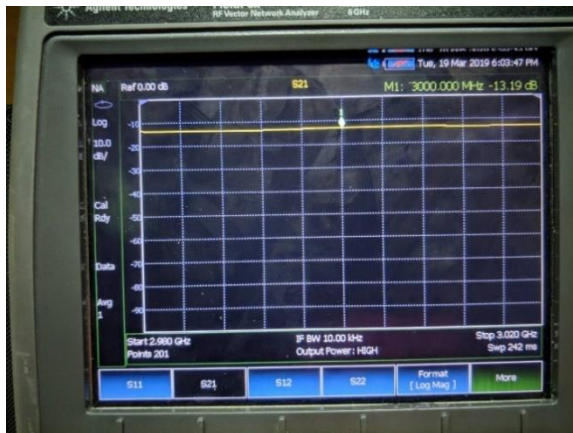
Pada penelitian ini dilakukan pengukuran nilai VSWR antena *microstrip patch rectangular* dengan menggunakan *Vector Network Analyzer*. Hasil pengukuran nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 3 GHz sebesar 1,158 yang akan ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Nilai VSWR Antena *Microstrip*

d. Hasil Pengukuran *Losses Cable Antena Microstrip Patch Rectangular*

Pada penelitian ini digunakan jenis kabel RG58 dengan merk DigitalPro dengan panjang 10 m dan terdapat 2 kabel untuk digunakan pada *port 1* dan *port 2* pada VNA.



Gambar 3.9 Nilai *Losses Cable 1*



Gambar 3.10 Nilai *Losses Cable 2*

Dari hasil pengukuran dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* diperoleh nilai *losses cable 1* sebesar -13,19 dB dan *losses cable 2* sebesar -14,47 dB yang ditunjukkan oleh Gambar 3.9 dan Gambar 3.10.

3.2.5 Hasil Perhitungan Medan Radiasi Antena

Dalam penelitian ini medan radiasi antena perlu dihitung untuk menentukan daerah medan jauh dan medan dekat antena. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung medan jauh dan medan dekat antena adalah persamaan 2.23 dan 2.24. Pada penelitian ini antena *microstrip patch* yang digunakan memiliki dimensi maksimum sebesar 4.6 cm (0.046 m) dan panjang gelombang sebesar 0.1 m yang diperoleh dari pembagian antara nilai kecepatan cahaya dan frekuensi yang digunakan pada penelitian ini, yakni 3 GHz.

Untuk perhitungan medan jauh antena (daerah *Fraunhofer*) digunakan persamaan :

$$r > \frac{2D^2}{\lambda}$$

Diperoleh hasil jarak minimum medan jauh (daerah *Fraunhofer*) sebesar :

$$r > \frac{2 (0.046)^2}{0.1}$$

$$r > 0.0423 \text{ m}$$

$$r > 4.23 \text{ cm}$$

Sedangkan untuk perhitungan medan dekat (daerah *Fresnel*) digunakan persamaan :

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

Diperoleh hasil jarak maksimum medan dekat (daerah *Fresnel*) sebesar :

$$0.62 \sqrt{\frac{(0.046)^3}{0.1}} \leq R \leq 2 \frac{(0.046)^2}{0.1}$$

$$0.62 \times 0.031198 \leq R \leq 2 \times 0.02115$$

$$0.0193 \text{ m} \leq R \leq 0.0423 \text{ m}$$

$$1.93 \text{ cm} \leq R \leq 4.23 \text{ cm}$$

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

$$R < 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$$

$$R < 0.62 \sqrt{\frac{(0.046)^3}{0.1}}$$

$$R < 0.62 \times 0.031198$$

$$R < 0.0193 \text{ m}$$

$$R < 1.93 \text{ cm}$$

3.3 Spesifikasi *Vector Network Analyzer* (VNA) Agilent N9923A

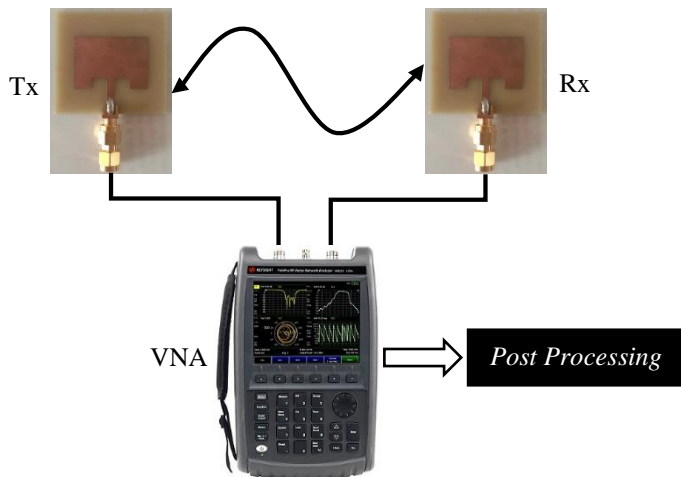
Pada penelitian ini baik pada sisi pemancar maupun sisi penerima, sistem akuisisi data menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) Agilent N9923A dengan spesifikasi seperti pada Tabel 3.3 berikut :

Tabel 3.3 Spesifikasi *Vector Network Analyzer* (VNA) Agilent N9923A

Parameter	Nilai
Tipe VNA	Agilent N9923A
Frekuensi	2-6 GHz
<i>Number of Point</i>	801
<i>IF Bandwidth</i>	10 kHz
<i>Sweep Time</i>	<i>Auto</i> (740 ms)
Kalibrasi	<i>Full Two Port</i>
<i>Tx Power</i>	0 dB
Impedansi <i>Input</i>	50 Ω

3.4 Sistem Pengukuran

Pada penelitian ini teknik pengukuran yang dipilih adalah pengukuran parameter S21 dengan menggunakan VNA Agilent N9923A dan 2 buah antenna *microstrip patch rectangular* yang identik dengan frekuensi 3 GHz yang difungsikan sebagai pemancar dan penerima. Diagram sistem pengukuran pada penelitian ini diperlihatkan oleh Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Diagram Sistem Pengukuran

Port 1 VNA terhubung dengan antenna *microstrip patch rectangular* yang berfungsi sebagai Tx dan terletak/ditempelkan pada tubuh pasien serta port 2 VNA terhubung dengan antenna *microstrip patch rectangular* yang berfungsi sebagai Rx dan terletak pada monitor. Antena Tx yang berada di tubuh pasien diletakkan sesuai dengan skenario pengukuran dan pasien berlari pada posisi yang berjarak 1 m dari monitor yang telah dipasang antenna Rx. Selanjutnya dilakukan pengambilan parameter S21 dari antenna. Hasil pengukuran yang diperoleh selanjutnya disimpan pada USB *flashdisk* dalam bentuk file dengan ekstensi csv. dan png. Selanjutnya file csv. dan png. diekspor dan disimpan pada komputer untuk diolah. Adapun parameter yang digunakan untuk pengukuran pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Parameter Pengukuran

Frekuensi	3 GHz
<i>Bandwidth</i>	200 MHz (2.9 GHz – 3.1 GHz)
VNA	Agilent N9923A
<i>Dummy Load</i>	50 Ω
Antena	2 antenna <i>microstrip rectangular patch</i> identik
Kabel	2 kabel RG-58 dengan merk DigitalPro dengan panjang 10 m
Lokasi Pengukuran	B.305

Penelitian ini dirancang untuk mengetahui rekomendasi dan pemodelan kanal WBAN pada pasien yang bergerak di rumah sakit, dimana definisi bergerak pada penelitian ini adalah berlari di atas *treadmill* dengan kecepatan yang telah disesuaikan serta Ruang Rehabilitasi sebagai tempat spesifik pada rumah sakit. Namun pada penelitian ini tidak langsung dilakukan pada ruang rehabilitasi serta menggunakan *treadmill*. Hal ini dikarenakan pada lokasi pengukuran, yakni ruangan B.305 baik secara ruangan maupun faktor-faktor lingkungan telah dibuat serelevan mungkin dengan kondisi sebenarnya di rumah sakit Indonesia, seperti adanya lemari, meja, dan sebagainya, serta suhu dan postur tubuh pasien yang digunakan pada pengukuran ini telah disesuaikan dengan postur tubuh orang Indonesia pada umumnya baik

dari segi tinggi maupun besar ukuran tubuh. Metode pada penelitian ini yang bertujuan agar mendapatkan skenario posisi terbaik untuk aplikasi WBAN ini juga dapat digunakan untuk mendapatkan skenario terbaik yang dapat diaplikasikan di rumah sakit secara langsung.

Pada penelitian ini juga tidak menggunakan *treadmill* sungguhan. Hal ini dikarenakan tujuan pada penelitian ini adalah untuk mengetahui rekomendasi skenario posisi peletakan antena penerima yang paling baik pada tubuh pasien dimana faktor yang mempengaruhi adalah posisi antena, jarak, serta adanya penghalang sehingga faktor dari penggunaan *treadmill* sungguhan akan sama pada setiap skenario. Oleh karena itu faktor dari penggunaan *treadmill* sungguhan dapat diabaikan dengan tetap beranggapan sedang menggunakan *treadmill* pada saat proses pengambilan data berlangsung.

3.5 Skenario Pengukuran

Pada penelitian ini, ada beberapa skenario dalam posisi penempatan antena pemancar yang dilakukan untuk mengukur kanal propagasi WBAN pada tubuh pasien bergerak, yaitu :

3.5.1 Posisi antena pemancar pada pergelangan tangan kanan pasien

Pengukuran dengan posisi antena Tx pada pergelangan tangan kanan ini merupakan skenario pertama yang dilakukan pada saat pengukuran. Pada skenario ini, antena Tx ditempelkan pada pergelangan tangan kanan pasien seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.12 dan antena Rx ditempelkan pada monitor yang berjarak 1 m dari sisi kanan objek/pasien.



Gambar 3.12 Skenario Antena Tx pada Pergelangan Tangan Kanan Pasien

Pada pengambilan data ini, objek melakukan gerakan berlari selama sekitar 10 detik agar data yang diambil dapat lebih akurat serta efek propagasi tubuh objek dapat tetap mempengaruhi hasil pengukuran sebelum akhirnya objek/pasien berhenti yang kemudian pada saat itu juga data diambil dan direkam dengan menggunakan VNA, dan begitu seterusnya hingga pengambilan data terjadi sebanyak 10 kali.

3.5.2 Posisi antena pemancar pada pergelangan tangan kiri pasien

Pengukuran dengan posisi antena Tx pada pergelangan tangan kiri ini merupakan skenario kedua yang dilakukan pada saat pengukuran. Pada skenario ini, antena Tx ditempelkan pada pergelangan tangan kiri pasien seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.13 dan antena Rx ditempelkan pada monitor yang berjarak 1 m dari sisi kanan objek/pasien.



Gambar 3.13 Skenario Antena Tx pada Pergelangan Tangan Kiri Pasien

Pada pengambilan data ini, objek melakukan gerakan berlari selama sekitar 10 detik agar data yang diambil dapat lebih akurat serta efek propagasi tubuh objek dapat tetap mempengaruhi hasil pengukuran sebelum akhirnya objek/pasien berhenti yang kemudian pada saat itu juga data diambil dan direkam dengan menggunakan VNA, dan begitu seterusnya hingga pengambilan data terjadi sebanyak 10 kali.

3.5.3 Posisi antena pemancar pada dada pasien

Pengukuran dengan posisi antena Tx pada dada ini merupakan skenario ketiga yang dilakukan pada saat pengukuran. Pada skenario ini, antena Tx ditempelkan di dada pasien seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.14 dan antena Rx ditempelkan pada monitor yang berjarak 1 m dari sisi kanan objek/pasien.



Gambar 3.14 Skenario Antena Tx pada Dada Pasien

Pada pengambilan data ini, objek melakukan gerakan berlari selama sekitar 10 detik agar data yang diambil dapat lebih akurat serta efek propagasi tubuh objek dapat tetap mempengaruhi hasil pengukuran sebelum akhirnya objek/pasien berhenti yang kemudian pada saat itu juga data diambil dan direkam dengan menggunakan VNA, dan begitu seterusnya hingga pengambilan data terjadi sebanyak 10 kali.

3.5.4 Posisi antena pemancar pada punggung pasien

Pengukuran dengan posisi antena Tx pada punggung ini merupakan skenario terakhir yang dilakukan pada saat pengukuran. Pada skenario ini, antena Tx ditempelkan di punggung pasien seperti yang

diperlihatkan pada Gambar 3.15 dan antena Rx ditempelkan pada monitor yang berjarak 1 m dari sisi kanan objek/pasien.



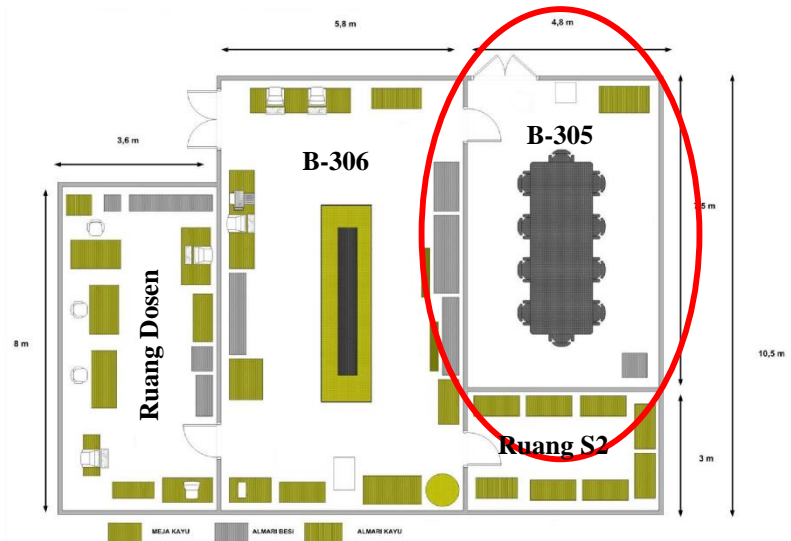
Gambar 3.15 Skenario Antena Tx pada Punggung Pasien

Pada pengambilan data ini, objek melakukan gerakan berlari selama sekitar 10 detik agar data yang diambil dapat lebih akurat serta efek propagasi tubuh objek dapat tetap mempengaruhi hasil pengukuran sebelum akhirnya objek/pasien berhenti yang kemudian pada saat itu juga data diambil dan direkam dengan menggunakan VNA, dan begitu seterusnya hingga pengambilan data terjadi sebanyak 10 kali.

3.6 Set Up Pengukuran

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kanal jaringan area tubuh nirkabel (WBAN) dengan menggunakan antena *microstrip patch rectangular* yang beroperasi pada frekuensi 3 GHz. Pengukuran bertempat di ruang B-305, Laboratorium Antena dan Propagasi Teknik Elektro ITS dengan denah ruangan Laboratorium Antena dan Propagasi yang dapat dilihat pada Gambar 3.16.

Setup terdiri dari alat ukur VNA, sepasang antena *microstrip patch rectangular* yang nantinya akan menempel pada tubuh manusia dan monitor, serta *low-loss* kabel yang nantinya akan menghubungkan VNA dengan antena yang terletak pada tubuh manusia serta pada monitor seperti yang terlihat pada Gambar 3.17.



Gambar 3.16 Denah Laboratorium Antena dan Propagasi



Gambar 3.17 Peralatan yang Digunakan pada Saat Pengukuran

Tahap awal pengukuran yang perlu dilakukan pada penelitian ini adalah memasang antena *microstrip patch rectangular* dengan kabel dan dihubungkan ke VNA. Selanjutnya dilakukan *setting* pengukuran pada VNA yang meliputi :

- *Setting* Frekuensi

Langkah-langkah dalam melakukan pengaturan frekuensi pada VNA adalah sebagai berikut :

1. Tekan tombol *Freq/Dist* yang tersedia pada VNA.
2. Tekan tombol yang sesuai dengan tulisan *Start Freq* yang muncul pada layar.
3. Masukkan nilai frekuensi batas bawah yang diinginkan.
4. Tekan tombol yang sesuai dengan tulisan *Stop Freq* yang muncul pada layar.
5. Masukkan nilai frekuensi batas atas yang diinginkan, kemudian *save*.

- *Setting Number of Points*

Langkah-langkah dalam melakukan pengaturan *number of points* pada VNA adalah sebagai berikut :

1. Tekan tombol *Mode* yang terdapat pada VNA.
2. Tekan tombol *sweep* yang tersedia pada pilihan yang muncul di monitor VNA.
3. Kemudian tekan kembali tombol yang menampilkan pilihan *number of frequency points* pada layar VNA.
4. Lalu pada layar akan muncul pilihan *default number of points*, yakni 101, 201, 401, 601, 801, serta 1001. Kemudian tekan tombol dengan pilihan *number of points* 201 untuk pengukuran pada penelitian ini.

- *Setting Marker*

Langkah-langkah dalam melakukan pengaturan *marker* pada VNA adalah sebagai berikut :

1. Tekan tombol *Marker* yang terdapat di VNA.
2. Tentukan letak titik *marker* sesuai dengan kebutuhan dimana pada penelitian ini posisi *marker* diletakkan tepat pada posisi frekuensi 3 GHz.

Tahap selanjutnya yaitu tahap pengambilan data pengukuran. Langkah dalam pengambilan data pengukuran dengan menggunakan VNA adalah sebagai berikut :

a. Pengambilan data pengukuran berupa magnitudo S21

Langkah yang dilakukan dalam pengambilan data pengukuran berupa magnitudo S21 pada VNA adalah sebagai berikut :

1. Tekan tombol *Hold/Run* pada VNA untuk menghentikan proses pengukuran.
2. Tekan tombol *Mode*, kemudian tombol pilihan NA yang dilanjutkan dengan tombol pilihan S21 yang muncul pada layar VNA.
3. Tekan tombol *Measure*, lalu tekan tombol pilihan *Format* yang muncul pada layar VNA dilanjutkan dengan tombol *LogMag*, kemudian tombol *Save/Recall*.
4. Tekan tombol pilihan *Save* yang muncul pada layar, tentukan format penyimpanan, letak penyimpanan, beri nama *file*, kemudian tekan tombol pilihan *Done*.

b. Pengambilan data pengukuran berupa *phase*

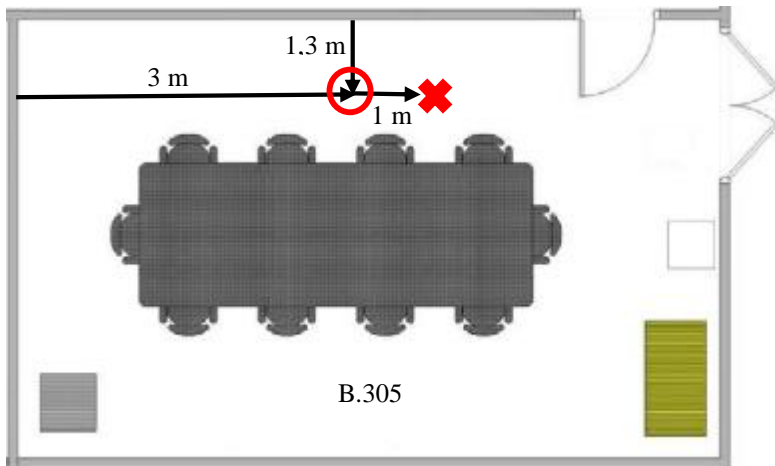
Langkah yang dilakukan dalam pengambilan data pengukuran berupa *phase* pada VNA adalah sebagai berikut :

1. Pastikan tombol *Hold/Run* masih tetap aktif.
2. Tekan tombol *Mode*, kemudian tombol pilihan NA yang dilanjutkan dengan tombol pilihan S21 yang muncul pada layar VNA.
3. Tekan tombol *Measure*, lalu tekan tombol pilihan *Format* yang muncul pada layar VNA dilanjutkan dengan tombol *Phase*, kemudian tombol *Save/Recall*.
4. Tekan tombol pilihan *Save* yang muncul pada layar, tentukan format penyimpanan, letak penyimpanan, beri nama *file*, kemudian tekan tombol pilihan *Done*.

Sebelum pengukuran dilakukan, terlebih dahulu dilakukan pengaturan frekuensi bawah dan frekuensi atas pengukuran dengan cara memasang antenna pada *probe* VNA. Pada tahap ini dilakukan pengaturan frekuensi bawah sebesar 2,9 GHz dan frekuensi atas sebesar 3,1 GHz.

Pada pengukuran, dilakukan pengaturan posisi Tx dan Rx sesuai dengan skenario pengukuran yang telah dirancang. Antena pemancar Tx

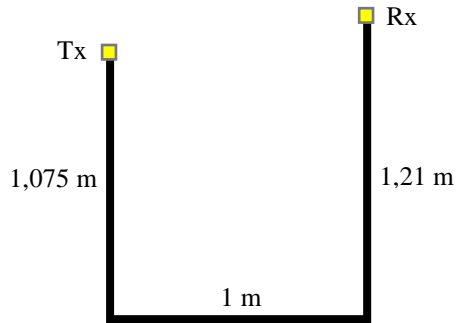
yang telah ditempel pada tubuh pasien kemudian dihubungkan ke *port 1* VNA menggunakan kabel dan konektor SMA to N. Sedangkan antenna penerima Rx ditempatkan pada monitor pemantau kondisi pasien dihubungkan ke *port 2* VNA dengan menggunakan kabel dan konektor SMA to N, persis dengan antenna Tx. Pasien berada pada posisi dengan jarak 3 m dari tembok di sisi kiri pasien dan 1,3 m dari tembok di sisi depan pasien serta jarak antara pasien dan monitor adalah 1 m dimana monitor ini berada di sisi kanan pasien seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.18. Sedangkan untuk antenna penerima/Rx, ditempelkan pada monitor dengan tinggi 1,21 m dengan jarak 1 m dari sisi kanan pasien dimaksudkan untuk memudahkan paramedis yang menemani pasien saat menjalani proses rehabilitasi dalam melihat kondisi pasien secara *real-time* pada monitor dengan jarak dan tinggi monitor yang telah disesuaikan dengan jarak pandang paramedis. Untuk ilustrasi tinggi peletakan kedua antenna dapat dilihat pada Gambar 3.19 dimana antenna Tx yang menempel pada tubuh pasien diestimasikan berada pada ketinggian 1,075 m dan antenna Rx yang menempel pada monitor dengan ketinggian 1,21 m.



Gambar 3.18 Posisi Pasien (O) dan Monitor (X) pada Ruang B.305

Pada saat pengukuran dilakukan, objek yang diamati adalah tubuh manusia dengan kriteria berat badan 60 kg dan tinggi badan 172 cm.

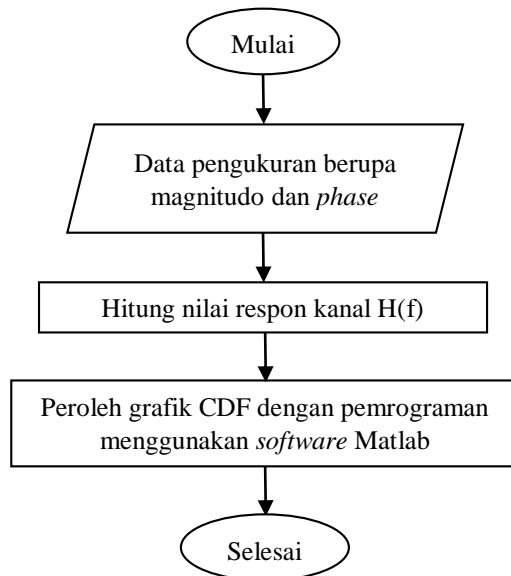
Objek yang diukur dipastikan tidak menggunakan aksesoris yang terbuat dari logam dan memakai pakaian yang berbahan kaos dan katun.



Gambar 3.19 Ilustrasi Posisi Tinggi Antena Tx dan Rx

3.7 Skema Pengolahan Data Hasil Pengukuran

Data pengukuran yang diperoleh dari VNA berupa besaran vektor magnitudo dan *phase*. Adapun alur pengolahan data hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20 Diagram Alir Pengolahan Data Hasil Pengukuran

3.7.1. Respon Kanal H(f)

Respon kanal H(f) atau dalam penelitian ini disimbolkan sebagai $H_{channel}(f)$ merupakan selisih antara $H_{total}(f)$ dan $H_{cable}(f)$. $H_{total}(f)$ merupakan respon kanal yang diperoleh dari hasil pengukuran dimana $H_{total}(f)$ ini terdiri dari nilai respon kanal $H_{channel}(f)$ dan nilai respon kabel $H_{cable}(f)$. Agar mendapatkan nilai respon kanal yang diinginkan, maka nilai $H_{cable}(f)$ perlu untuk dihilangkan dari nilai $H_{total}(f)$.

Tahapan yang pertama kali dilakukan adalah mengetahui nilai total magnitudo kabel yang telah didapatkan seperti pada sub-bab 3.2.4 bagian d yang menampilkan hasil *losses cable*. Pada kabel pertama memiliki nilai *losses* sebesar -13,19 dB dan nilai *losses* kabel kedua sebesar -14,47 dB sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai *losses cable* total pada penelitian ini sebesar -27,66 dB.

Setelah magnitudo dari setiap pengukuran didapatkan, maka masing-masing hasil magnitudo dari setiap pengukuran dikurangi dengan nilai *losses cable* total agar diperoleh nilai magnitudo murni dari kanal. Kemudian nilai magnitudo murni kanal yang telah dikurangi dengan nilai *losses cable* total diubah ke dalam bentuk linier dituliskan secara matematis sebagai berikut :

$$Mag (linier) = 10^{\frac{mag (dB)}{10}} \quad 3.1$$

Setelah seluruh nilai magnitudo dari data pengukuran dalam bentuk dB diubah ke dalam bentuk liniernya, maka selanjutnya seluruh data dari setiap skenario pengukuran akan dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah data. Hal ini dilakukan agar diperoleh nilai rata-rata magnitudo dari setiap skenario pengukuran.

Pada tahapan terakhir, seluruh nilai rata-rata magnitudo dari setiap skenario pengukuran yang dalam bentuk linier diubah kembali ke dalam bentuk dB. Proses pengubahan nilai magnitudo dari bentuk linier ke bentuk dB dituliskan secara matematis sebagai berikut :

$$Mag (dB) = 10 \cdot \log (mag (linier)) \quad 3.2$$

3.7.2. Perolehan Grafik *Cumulative Distribution Function* (CDF)

Perolehan grafik *Cumulative Distribution Function* atau fungsi distribusi kumulatif dilakukan agar mengetahui nilai peluang berdasarkan fungsi distribusi dari data pengukuran yang diperoleh yang mana dari grafik CDF tersebut dapat dianalisis rekomendasi skenario terbaik pada penelitian ini. Grafik CDF ini diperoleh dengan melakukan pemrograman menggunakan *software* Matlab dengan *list* program sebagai berikut :

```
 $\alpha_1 = |H(f)_1|$   
 $\alpha_2 = |H(f)_2|$   
 $\alpha_3 = |H(f)_3|$   
.  
.  
.  
 $\alpha_n = |H(f)_n|$   
  
 $\alpha = [\alpha_1 \ \alpha_2 \ \alpha_3 \ \dots \ \alpha_n]$   
 $\beta = \text{sort}(\alpha)$   
 $x = \text{linspace}(0, 100, n)$   
 $\text{plot} = (\beta, x)$ 
```

Dimana nilai $H(f)$ yang diinput pada pemrograman merupakan nilai $H_{channel}(f)$ atau nilai respon kanal yang nilai *losses cablenya* telah dihilangkan.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 4

HASIL PENGUKURAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas mengenai mekanisme propagasi gelombang, hasil pengukuran, hasil perhitungan/pengolahan data pengukuran, serta sintesis mengenai hasil penelitian.

4.1 Mekanisme Propagasi Gelombang

Pengukuran pada penelitian ini dilakukan di ruang B305 Laboratorium Antena dan Propagasi Teknik Elektro ITS. Pada ruangan ini, terdapat banyak barang-barang yang dapat mempengaruhi propagasi. Keadaan lingkungan pengukuran yang memiliki banyak objek di sekitarnya menyebabkan munculnya hasil pengukuran yang bervariasi pada setiap skenario dikarenakan adanya *multipath* atau lintasan jamak yang muncul dan menyebabkan terganggunya lintasan propagasi sehingga terdapat *error* nilai yang diterima oleh antena penerima.

Hasil pengukuran nilai magnitudo dengan antena Tx yang ditempel pada pergelangan tangan kanan berbeda cukup signifikan dengan nilai magnitudo yang didapatkan ketika antena Tx ditempelkan pada pergelangan tangan kiri. Hal ini dipengaruhi oleh jarak antara kedua antena (Tx dan Rx), orientasi antena yang mana ketika antena ditempel pada pergelangan tangan kanan orientasinya berhadapan langsung dengan antena penerima sedangkan jika antena ditempel pada pergelangan tangan kiri maka orientasi antena tidak berhadapan langsung, dan adanya penghalang yang mana jika antena ditempel pada pergelangan tangan kiri terdapat penghalang antara antena pemancar dan penerima yaitu tubuh pasien itu sendiri.

4.2 Hasil Pengukuran

Dari pengukuran yang telah dilakukan bertujuan untuk mengetahui rekomendasi skenario yang dapat dilakukan guna menghasilkan kanal propagasi radio terbaik untuk aplikasi WBAN pada tubuh pasien yang bergerak. Pengukuran ini menghasilkan parameter S_{21} yang meliputi magnitudo dan *phase*, dimana kedua parameter ini nantinya akan diolah sehingga menghasilkan nilai respon kanal ($H_{channel}$) dan model grafik *Cumulative Distribution Function* (CDF) yang didapatkan dengan melakukan pemrograman dengan menggunakan *software* Matlab. Hasil

pengukuran serta hasil pengolahan data akan dibahas pada sub-bab berikutnya.

4.2.1 Hasil Pengukuran dengan Posisi Antena Tx pada Pergelangan Tangan Kanan Pasien

Pengukuran dengan posisi antena Tx pada pergelangan tangan kanan ini merupakan skenario pertama yang dilakukan pada saat pengukuran. Pada skenario ini, objek (pasien) melakukan aktivitas berlari ringan dengan antena Tx yang menempel pada pergelangan tangan kanan dan antena Rx yang menempel pada monitor serta berjarak 1 m dari sisi kanan objek/pasien. Pada pengambilan data ini, objek melakukan gerakan berlari selama sekitar 10 detik agar data yang diambil dapat lebih akurat serta efek propagasi tubuh objek dapat tetap mempengaruhi hasil pengukuran sebelum akhirnya objek/pasien berhenti yang mana kemudian pada saat itu juga data diambil dan direkam dengan menggunakan VNA, dan begitu seterusnya hingga pengambilan data terjadi sebanyak 10 kali.

Hasil magnitudo dan *phase* yang didapat pada saat pengukuran pun diolah agar diperoleh nilai $H_{channel}(f)$ seperti yang telah dijelaskan pada subbab 3.7.1. Hal ini dilakukan karena nilai magnitudo dan *phase* yang didapatkan pada saat pengukuran masih berupa nilai $H_{total}(f)$. Nilai $H_{channel}(f)$ yang didapatkan setelah dihitung ditunjukkan oleh Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran ($H_{channel}(f)$) dengan Posisi Antena Tx pada Pergelangan Tangan Kanan Pasien

No.	Mag (dB)	Phase (°)
1.	-43,68	128,43
2.	-47,43	86,50
3.	-38,34	68,20
4.	-43,37	285,35
5.	-49,18	119,86
6.	-43,20	143,34
7.	-41,89	214,13
8.	-44,26	14,60
9.	-44,07	285,76
10.	-41,32	18,58

4.2.2 Hasil Pengukuran dengan Posisi Antena Tx pada Pergelangan Tangan Kiri Pasien

Skenario kedua pada pengukuran ini adalah dengan posisi antena Tx yang berada pada pergelangan tangan kiri pasien. Pada skenario ini, objek (pasien) melakukan aktivitas berlari ringan dengan antena Tx yang menempel pada pergelangan tangan kiri dan antena Rx yang menempel pada monitor serta berjarak 1 m dari sisi kanan objek/pasien. Pada pengambilan data ini, objek melakukan gerakan berlari selama sekitar 10 detik agar data yang diambil dapat lebih akurat serta efek propagasi tubuh objek dapat tetap mempengaruhi hasil pengukuran sebelum akhirnya objek/pasien berhenti yang mana kemudian pada saat itu juga data diambil dan direkam dengan menggunakan VNA, dan begitu seterusnya hingga pengambilan data terjadi sebanyak 10 kali.

Hasil magnitudo dan *phase* yang didapat pada saat pengukuran pun diolah agar diperoleh nilai $H_{channel}(f)$ seperti yang telah dijelaskan pada subbab 3.7.1. Hal ini dilakukan karena nilai magnitudo dan *phase* yang didapatkan pada saat pengukuran masih berupa nilai $H_{total}(f)$. Nilai $H_{channel}(f)$ yang didapatkan setelah dihitung ditunjukkan oleh Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran ($H_{channel}(f)$) dengan Posisi Antena Tx pada Pergelangan Tangan Kiri Pasien

No.	Mag (dB)	Phase (°)
1.	-52,68	15,72
2.	-49,72	106,89
3.	-53,87	183,36
4.	-56,98	217,21
5.	-60,06	263,55
6.	-47,14	309,97
7.	-46,25	2,55
8.	-52,35	151,24
9.	-46,44	32,70
10.	-48,96	176,53

4.2.3 Hasil Pengukuran dengan Posisi Antena Tx pada Dada Pasien

Pengukuran dengan posisi antena Tx yang berada pada dada pasien merupakan skenario ketiga pada penelitian ini. Pada skenario ini, objek (pasien) melakukan aktivitas berlari ringan dengan antena Tx yang menempel di dada dan antena Rx yang menempel pada monitor serta berjarak 1 m dari sisi kanan objek/pasien. Pada pengambilan data ini, objek melakukan gerakan berlari selama sekitar 10 detik agar data yang diambil dapat lebih akurat serta efek propagasi tubuh objek dapat tetap mempengaruhi hasil pengukuran sebelum akhirnya objek/pasien berhenti yang mana kemudian pada saat itu juga data diambil dan direkam dengan menggunakan VNA, dan begitu seterusnya hingga pengambilan data terjadi sebanyak 10 kali.

Hasil magnitudo dan *phase* yang didapat pada saat pengukuran pun diolah agar diperoleh nilai $H_{channel}(f)$ seperti yang telah dijelaskan pada subbab 3.7.1. Hal ini dilakukan karena nilai magnitudo dan *phase* yang didapatkan pada saat pengukuran masih berupa nilai $H_{total}(f)$. Nilai $H_{channel}(f)$ yang didapatkan setelah dihitung ditunjukkan oleh Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran ($H_{channel}(f)$) dengan Posisi Antena Tx pada Dada Pasien

No.	Mag (dB)	Phase (°)
1.	-50,57	89,86
2.	-50,36	230,90
3.	-46,37	10,39
4.	-39,26	75,74
5.	-57,89	343,22
6.	-53,28	59,79
7.	-53,52	86,73
8.	-44,49	77,26
9.	-43,07	64,66
10.	-45,77	115,40

4.2.4 Hasil Pengukuran dengan Posisi Antena Tx pada Punggung Pasien

Skenario terakhir pada penelitian ini adalah pengukuran dengan posisi antena Tx pada punggung pasien. Pada skenario ini, objek (pasien) melakukan aktivitas berlari ringan dengan antena Tx yang menempel di punggung dan antena Rx yang menempel pada monitor serta berjarak 1 m dari sisi kanan objek/pasien. Pada pengambilan data ini, objek melakukan gerakan berlari selama sekitar 10 detik agar data yang diambil dapat lebih akurat serta efek propagasi tubuh objek dapat tetap mempengaruhi hasil pengukuran sebelum akhirnya objek/pasien berhenti yang mana kemudian pada saat itu juga data diambil dan direkam dengan menggunakan VNA, dan begitu seterusnya hingga pengambilan data terjadi sebanyak 10 kali.

Hasil magnitudo dan *phase* yang didapat pada saat pengukuran pun diolah agar diperoleh nilai $H_{channel}(f)$ seperti yang telah dijelaskan pada subbab 3.7.1. Hal ini dilakukan karena nilai magnitudo dan *phase* yang didapatkan pada saat pengukuran masih berupa nilai $H_{total}(f)$. Nilai $H_{channel}(f)$ yang didapatkan setelah dihitung ditunjukkan oleh Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran ($H_{channel}(f)$) dengan Posisi Antena Tx pada Punggung Pasien

No.	Mag (dB)	Phase (°)
1.	-45,35	327,76
2.	-52,45	24,17
3.	-55,96	76,41
4.	-56,04	75,74
5.	-62,07	220,53
6.	-52,73	31,78
7.	-41,88	77,30
8.	-67,48	207,34
9.	-50,00	292,58
10.	-40,66	12,51

4.3 Hasil Perhitungan/Pengolahan Data Pengukuran

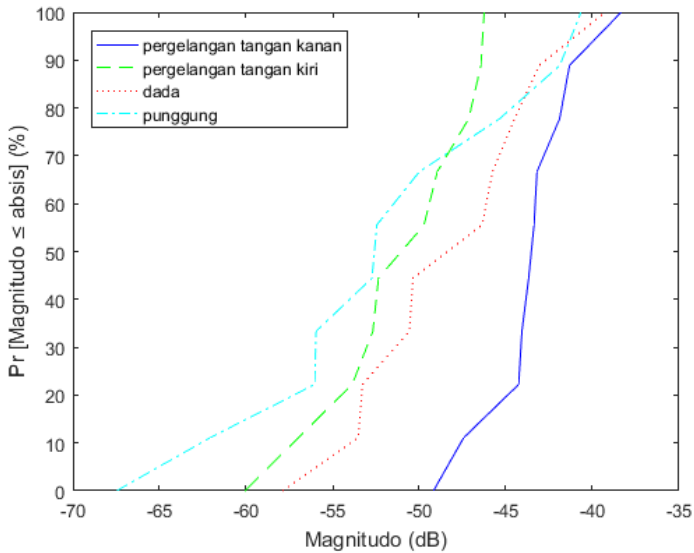
Pada sub-bab ini akan dibahas mengenai proses pengolahan data yang telah didapatkan dan ditampilkan pada subbab sebelumnya. Data-data pada tabel tersebut merupakan data respon kanal ($H_{channel}$) yang berasal dari nilai respon kanal total (H_{total}) yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan VNA dan telah dikurangi dengan efek kabel atau *losses cable* (H_{cable}).

Berikutnya data respon kanal ($H_{channel}$) yang diperoleh dan terdiri dari 10 data untuk masing-masing skenario yang telah diukur dihitung untuk mendapatkan nilai rata-ratanya. Hal ini dilakukan agar mendapatkan perkiraan nilai respon kanal ($H_{channel}$) untuk masing-masing skenario dan memudahkan proses analisis pada penelitian ini.

Perolehan nilai rata-rata ini dilakukan dengan beberapa tahap perhitungan. Tahapan pertama, nilai magnitudo dalam bentuk dB pada setiap 10 data dari masing-masing skenario diubah ke dalam bentuk liniernya dengan menggunakan persamaan 3.1. setelah diperoleh nilai respon kanal dalam bentuk linier, seluruh data (10 data) dari masing-masing skenario dijumlahkan dan dibagi dengan 10 kemudian diubah lagi ke dalam bentuk dB dengan menggunakan persamaan 3.2. Hasil nilai rata-rata respon kanal dari setiap skenario dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Hasil Nilai Rata-Rata Respon Kanal $H_{channel}(f)$

No.	Skenario Posisi Antena Tx	Nilai Rata-Rata Magnitudo (dB)
1.	Pergelangan tangan kanan	-42,77
2.	Pergelangan tangan kiri	-49,69
3.	Dada	-45,50
4.	Punggung	-46,84



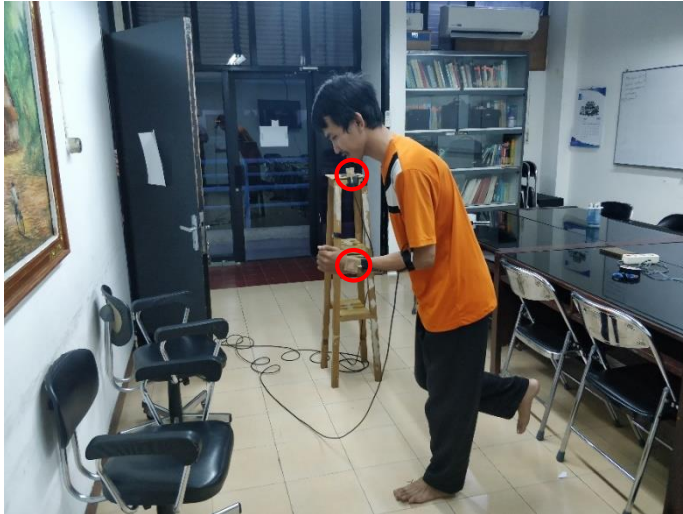
Gambar 4.1 Grafik *Cumulative Distribution Function* (CDF)

Kemudian seluruh data hasil pengukuran diolah dengan menggunakan *software* Matlab agar mendapatkan grafik *Cumulative Distribution Function* (CDF) dengan cara serta program yang telah dijelaskan pada subbab 3.7.2. Hasil pemrograman dengan Matlab sehingga diperoleh grafik CDF dapat dilihat pada Gambar 4.1.

4.4 Sintesis

Pada subbab sebelumnya dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan nilai magnitudo pada setiap skenario yang ditunjukkan oleh Tabel 4.5 dan dapat disimpulkan bahwa orientasi posisi antenna sangat berpengaruh pada penelitian ini. Dapat dilihat pula pada gambar grafik CDF (Gambar 4.1) bahwa nilai magnitudo terkecil terjadi ketika antenna pemancar ditempelkan pada pergelangan tangan kiri dengan kondisi posisi antenna dapat dilihat pada Gambar 4.2. Hal ini terjadi karena pola radiasi antenna pemancar yang tidak berhadapan langsung dengan antenna penerima padahal kedua antenna ini adalah antenna *directional*. Hal ini juga

dipengaruhi adanya tubuh yang menghalangi antara antena pemancar dan penerima.



Gambar 4.2 Kondisi Posisi Antena pada Pergelangan Tangan Kiri Pasien

Kemudian ketika antena pemancar ditempel pada punggung pasien dengan kondisi posisi antena dapat dilihat pada Gambar 4.3(a), nilai magnitudo yang dihasilkan juga relatif kecil, kemudian dilanjutkan dengan ketika antena ditempelkan pada dada pasien dengan kondisi posisi antena dapat dilihat pada Gambar 4.3(b). Hal ini dikarenakan pola radiasi antara antena pemancar dan penerima yang tidak berhadapan langsung dan menyebabkan nilai respon kanalnya pun kurang baik.

Yang terakhir dengan hasil yang berbeda signifikan adalah ketika antena pemancar ditempel di pergelangan tangan kanan pasien dengan kondisi seperti pada Gambar 4.4. Nilai yang didapat cukup besar dan mengarah lebih dekat dengan sumbu x bernilai 0. Hal ini dikarenakan letak antena pemancar yang cenderung berhadapan langsung dengan antena penerima yang mana keduanya merupakan antena *directional*, sehingga menghasilkan nilai yang paling baik jika dibandingkan dengan skenario pengukuran lainnya. Ditambah dengan tidak adanya penghalang apapun antar kedua antena.

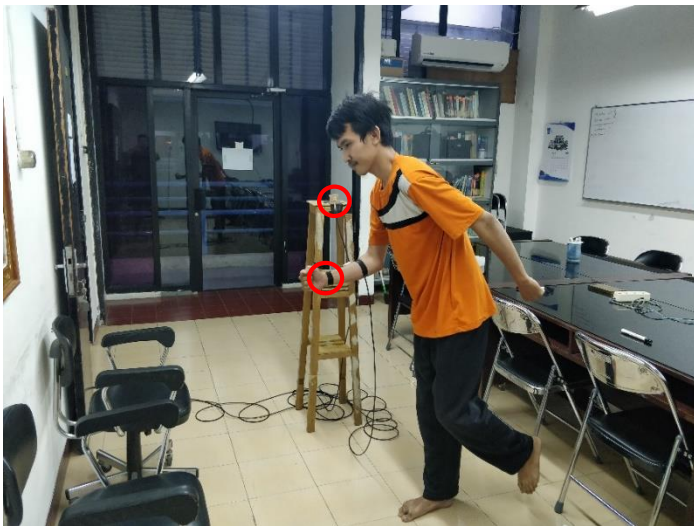


(a)



(b)

Gambar 4.3 (a) Kondisi Posisi Antena di Punggung Pasien dan (b) Kondisi Posisi Antena di Dada Pasien



Gambar 4.4 Kondisi Posisi Antena pada Pergelangan Tangan Kanan Pasien

Dengan hasil yang diperoleh dari keempat skenario yang digunakan, dapat diketahui bahwa nilai dari respon kanal yang diperoleh dipengaruhi oleh beberapa faktor, yakni pola radiasi antena, jarak antar antena, orientasi posisi antena, serta adanya penghalang antar kedua antena. Untuk dapat mendapatkan posisi terbaik peletakan antena pemancar pada tubuh pasien, dapat dilakukan dengan menyesuaikan posisi agar pola radiasi antena yang merupakan antena *directional* dapat cenderung berhadapan, jarak antar antena yang disesuaikan, serta tidak adanya penghalang antara antena pemancar Tx dan antena penerima Rx.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari sintesis yang telah dibahas pada bab 4 yang mengacu pada hasil nilai respon serta grafik *Cumulative Distribution Function* (CDF), maka melalui penelitian tugas akhir ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Urutan nilai respon kanal dari yang terburuk hingga terbaik berdasarkan skenario pengukuran adalah skenario antenna Tx pada pergelangan kiri dengan nilai rata-rata sebesar -49.69 dB, skenario antenna Tx pada punggung dengan nilai rata-rata sebesar -46.84 dB, skenario antenna Tx pada dada dengan nilai rata-rata sebesar -45.50 dB, dan skenario antenna Tx pada pergelangan tangan kanan dengan nilai rata-rata sebesar -42.77 dB.
2. Berdasarkan hasil pengukuran yang telah diolah, skenario terburuk terjadi ketika antenna Tx ditempelkan pada pergelangan tangan kiri. Hal ini dikarenakan adanya tubuh objek/pasien yang menghalangi antara antenna Tx dan antenna Rx serta arah pola radiasi antenna yang berlawanan arah padahal kedua antenna merupakan antenna *directional*.
3. Skenario dengan hasil pengukuran terbaik pada penelitian ini terjadi jika antenna Tx ditempelkan pada pergelangan tangan kanan pasien yang berhadapan langsung dengan antenna Rx.
4. Berdasarkan hasil pada setiap skenario pengukuran, parameter yang mempengaruhi nilai respon kanal adalah orientasi antenna yang mana antenna Tx harus ditempelkan pada tubuh dengan posisi yang dapat berhadapan langsung dengan antenna Rx mengingat keduanya merupakan antenna *directional*, jarak antara antenna pemancar dan penerima yang harus disesuaikan dengan kondisi terbaik, serta adanya penghalang yang dapat dihilangkan agar propagasi kanal komunikasi WBAN dapat berjalan dengan baik.

5.2 Saran

Pada pengerjaan tugas akhir ini, saran yang dapat diberikan penulis untuk pengembangan penelitian lebih lanjut untuk topik aplikasi WBAN antara lain :

1. Pada penelitian selanjutnya dapat dipertimbangkan menggunakan antenna jenis lain agar arah pola radiasinya dapat lebih luas

sehingga dapat mendukung propagasi dengan skenario yang lebih luas pula.

2. Pada penelitian selanjutnya, skenario pasien bergerak dapat ditambahkan tidak hanya lari saja dan disesuaikan dengan gerakan yang memungkinkan dilakukan oleh pasien dengan tujuannya tersendiri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Pedoman Teknis Bangunan Rumah Sakit Ruang Rehabilitasi Medik”, Direktorat Bina Pelayanan Penunjang Medik dan Sarana Kesehatan, Direktorat Bina Upaya Kesehatan, Kementerian Kesehatan RI, 2012.
- [2] Jeffrey G. Andrews, Stefano Buzzi, Wan Choi, Stephen Hanly, Angel Lozano, Anthony C.K. Soong, Jianzhong Charlie Zhang, “*What Will 5G Be?*”, IEEE Journal On Selected Areas In Communications, Vol. 32, No. 6, June 2014.
- [3] Putrissa Damayanti, “Metode *Interference Cancellation* yang Efisien pada Jaringan Nirkabel Area Tubuh,” JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2, 2017.
- [4] Matti Hamalainen, Attaphongse Taparugssanagorn, Jari Iinatti, “*On the WBAN Radio Channel Modelling for Medical Applications*”, EuCAP 2011-Convened Papers.
- [5] Samaneh Movassaghi, Student Member, IEEE, Mehran Abolhasan, Senior Member, IEEE, Justin Lipman, Member, IEEE, David Smith, Member, IEEE, and Abbas Jamalipour, Fellow, IEEE, “Wireless Body Area Networks : A Survey”, IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol. 16, No. 3, Third Quarter 2014.
- [6] Kurnia P. Kartika R., “*Pathloss Modeling based on Measurement at 3 GHz for On Body Area Network Application*”, International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT), 2018.
- [7] IEEE P802.15-08-0780-09-0006 (K. Y. Yazdandoost and K. Sayrafian-Pour), “*Channel Model for Body area Network (BAN)*”, IEEE 802.15 Working Group Document, April 2009.
- [8] Lina Mubarakah, “Karakteristik Redaman dan *Shadowing* dalam Ruang pada Kanal Radio 2,4 GHz” JURNAL TEKNIK ITS Vol.4, 2014.
- [9] Christophe Roblin and Yunfei Wei, “*Scenario-Based WBAN Channel Characterization in Various Indoor Premises*”, 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 2015.
- [10] D’Errico R. and Ouvry L., “*A Statistical Model for On-Body Dynamic Channels*”, Int. J. Wirelees Inf. Networks, 2010.

- [11] Ali Hanafiah Rambe, University of Sumatera Utara, “Antena Mikrostrip : Konsep dan Aplikasinya”, September 2012.
- [12] Tektonix *White Paper*, “Introduction to VNA Basics”, 2017.

LAMPIRAN A

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro – ITS

EE 184801 TUGAS AKHIR – 6 SKS

Nama Mahasiswa : Tri Elifira Yolanda
Nomer Pokok : 0711154000044
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Genap Tahun Ajaran 2018/2019
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Gamantyo Hendratoro, Ph.D.
2. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT
Judul Tugas Akhir : Karakterisasi Kanal Propagasi Radio 5G untuk Aplikasi Wireless Body Area Network pada Tubuh Pasien Bergerak di Rumah Sakit
(*Characterization of the 5G Radio Propagation Channel for Wireless Body Area Network on the Moving Patient's Body in the Hospital*)

12 FEB 2019

Uraian Tugas Akhir

Perkembangan teknologi 5G membuka potensi baru dalam bidang kesehatan, yaitu *smart health* yang mana dapat meningkatkan infrastruktur layanan kesehatan terutama di rumah sakit, yang mana memungkinkan pula terjadinya peningkatan angka harapan hidup di Indonesia.

Pemanganan yang dibutuhkan setiap pasien berbeda-beda, ada yang mengharuskan untuk dirawat di ruang ICU (*Intensive Care Unit*) dan ada pula yang harus menjalani proses rehabilitasi. Namun pada realitanya, pada proses rehabilitasi belum terdapat sistem yang memantau secara *real* keadaan pasien.

Pada proses rehabilitasi memungkinkan adanya pemantauan keadaan pasien secara *real-time* dengan menerapkan sistem komunikasi yang menggunakan komunikasi WBAN (*Wireless Body Area Network*) yang selanjutnya akan terhubung pada layar *monitoring* pasien.

Skenario pengukuran pada Tugas Akhir ini bermula dengan mengondisikan sebuah ruangan layaknya ruang rehabilitasi yang selanjutnya akan dilakukan pengukuran terkait respon kanal dari propagasi gelombang radio yang dihasilkan oleh antena mikrostrip yang ditempel pada tubuh pasien yang sedang bergerak hingga akhirnya diterima oleh *receiver* yang mana *receiver* ini juga berfungsi sebagai pengumpul data dari tiap pasien. Adapun modul komunikasi nirkabel yang digunakan adalah Zigbee. Pada akhirnya didapatkan perbedaan karakteristik sinyal dengan pengukuran menggunakan VNA (*Vector Network Analyzer*).

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Prof. Dr. Ir. Gamantyo Hendratoro, Ph.D.
NIP : 197011111895031002

Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT
NIP : 196109031989031001



Ketua Program Studi S1 Teknik Elektro

Menyetujui,
Kepala Laboratorium B.306 Antena dan Propagasi

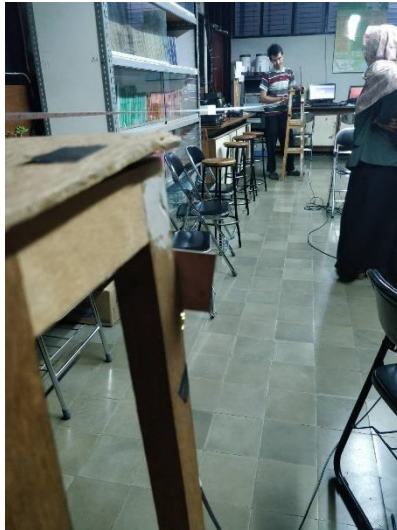
Prof. Dr. Ir. Gamantyo Hendratoro, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP : 197311192000031001

Prof. Dr. Ir. Gamantyo Hendratoro, Ph.D.
NIP : 197011111895031002

Scanned with
CamScanner

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

LAMPIRAN B DOKUMENTASI PENGUKURAN





LAMPIRAN C

LISTING PROGRAM MATLAB

```
a1=[-50.57]
a2=[-50.36]
a3=[-46.37]
a4=[-39.26]
a5=[-57.89]
a6=[-53.28]
a7=[-53.52]
a8=[-44.49]
a9=[-43.07]
a10=[-45.77]
b1=[-45.35]
b2=[-52.45]
b3=[-55.96]
b4=[-56.04]
b5=[-62.07]
b6=[-52.73]
b7=[-41.88]
b8=[-67.48]
b9=[-50.00]
b10=[-40.66]
c1=[-43.68]
c2=[-47.43]
c3=[-38.34]
c4=[-43.37]
c5=[-49.18]
c6=[-43.20]
c7=[-41.89]
c8=[-44.26]
c9=[-44.07]
c10=[-41.32]
d1=[-52.68]
d2=[-49.72]
```

```

d3=[-53.87]
d4=[-56.98]
d5=[-60.06]
d6=[-47.14]
d7=[-46.25]
d8=[-52.35]
d9=[-46.44]
d10=[-48.96]

```

```

A=[a1 a2 a3 a4 a5 a6 a7 a8 a9 a10]
B=[b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 b10]
C=[c1 c2 c3 c4 c5 c6 c7 c8 c9 c10]
D=[d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8 d9 d10]

```

```

magnitudodada=sort(A)
magnitudopunggung=sort(B)
magnitudotkanan=sort(C)
magnitudotkiri=sort(D)

```

```

x=linspace(0,100,10)

```

```

plot(magnitudotkanan,x,'b-',
     magnitudotkiri,x,'g-',magnitudodada,x,'r:',
     magnitudopunggung,x,'c-.');
xlabel('Magnitudo (dB)');
ylabel('Pr [Magnitudo ≤ absis] (%)');
legend('pergelangan tangan kanan','pergelangan
       tangan kiri','dada','punggung')

```

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Tri Elfira Yolanda. Lahir di Pekanbaru, 4 Maret 1998, merupakan anak pertama dari Bapak Masdir Anas dan Ros Em. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Islam Riau Global Terpadu, SMP Negeri 4 Pekanbaru, dan SMA Negeri 8 Pekanbaru. Pada tahun 2015 penulis melanjutkan pendidikan S1 di Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan mengambil bidang studi Telekomunikasi Multimedia. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan organisasi mahasiswa dan menjadi asisten praktikum. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email trielfirayolanda@gmail.com