

TUGAS AKHIR - EE184801

ANALISIS KANAL UWB WBAN OFF-BODY DALAM BERBAGAI PERBEDAAN KONDISI LINGKUNGAN

RAHMADANI SUDARNO

NRP 07111840000101

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

NIP 196109031989031001

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - EE184801

**ANALISIS KANAL UWB WBAN OFF-BODY DALAM
BERBAGAI PERBEDAAN KONDISI LINGKUNGAN**

RAHMADANI SUDARNO

NRP 07111840000101

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

NIP 196109031989031001

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - EE184801

ANALYSIS OF THE OFF-BODY UWB WBAN CHANNEL IN DIFFERENT ENVIRONMENTAL CONDITIONS

RAHMADANI SUDARNO

NRP 07111840000101

Advisor

Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

NIP 196109031989031001

Electrical Engineering Undergraduate Program

Department of Electrical Engineering

Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KANAL UWB WBAN OFF-BODY DALAM BERBAGAI PERBEDAAN KONDISI LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi Sarjana Teknik Elektro
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **RAHMADANI SUDARNO**

NRP. 07111840000101

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

Pembimbing

2. Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D.

Penguji

3. Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

Penguji

4. Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

Penguji

SURABAYA

Juli 2022

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISIS KANAL UWB WBAN OFF-BODY DALAM BERBAGAI PERBEDAAN KONDISI
LINGKUNGAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

NIP. 196109031989031001

**SURABAYA
JULI, 2022**

Halaman ini sengaja dikosongkan

APPROVAL SHEET

ANALYSIS OF THE OFF-BODY UWB WBAN CHANNEL IN DIFFERENT ENVIRONMENTAL CONDITIONS

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
For obtaining a degree Sarjana Teknik at
Undergraduate Study Program of Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By: **RAHMADANI SUDARNO**

NRP. 07111840000101

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

Advisor

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

Examiner

3. Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

Examiner

4. Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

Examiner

SURABAYA

July 2022

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

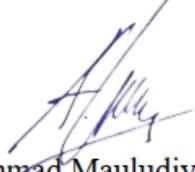
Nama mahasiswa / NRP : Rahmadani Sudarno / 07111840000101
Departemen : Teknik Elektro
Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT. /
196109031989031001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisis Kanal UWB WBAN *Off-Body* dalam Berbagai Perbedaan Kondisi Lingkungan” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 14 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



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

Mahasiswa



Rahmadani Sudarno
NRP. 07111840000101

Halaman ini sengaja dikosongkan

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Rahmadani Sudarno / 07111840000101
Departement : Electrical Engineering
Advisor / NIP : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT. /
196109031989031001

Hereby declare that the Final Project with the title of “Analysis of the Off-body UWB WBAN Channel in Different Environmental Conditions” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 14 July 2022

Acknowledged
Advisor



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

Student



Rahmadani Sudarno
NRP. 07111840000101

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRAK

ANALISIS KANAL UWB WBAN OFF-BODY DALAM BERBAGAI PERBEDAAN KONDISI LINGKUNGAN

Nama Mahasiswa / NRP : **Rahmadani Sudarno / 07111840000101**
Departemen : **Teknik Elektro FTEIC - ITS**
Dosen Pembimbing : **Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.**

Abstrak

Teknologi *Wireless Body Area Network* (WBAN) diterapkan pada beberapa kebutuhan sehari-hari seperti kebutuhan medis dan nonmedis. Karena teknologi ini dapat digunakan di dalam tubuh manusia, pada tubuh manusia, dan sebagai perangkat yang dapat digunakan (*wearable device*), WBAN diharuskan untuk memiliki performansi yang bagus dengan konsumsi daya rendah, tingkat transmisi, dapat bekerja dalam standar nirkabel lainnya, kuat terhadap noise, radiasi rendah, dan tidak membahayakan untuk manusia. Untuk itu perlu dilakukan analisis untuk karakteristik kanal WBAN agar dapat menghasilkan hasil yang optimal dalam penerapan komunikasi WBAN.

Untuk komunikasi data dalam penerapan WBAN digunakan teknologi *Ultra-Wideband* (UWB) karena UWB memiliki *transmitter* berdaya rendah, laju data yang tinggi, faktor bentuk yang rendah, desain rangkaian yang tidak rumit, dan bandwidth yang lebar. UWB sendiri telah diatur penggunaannya pada rentang pita 3.1-10.6 GHz oleh *Federal Communications Commision* (FCC). Pada tugas akhir ini akan dilakukan pengujian kanal UWB WBAN *off-body* dengan jarak ukur tetap untuk melihat karakteristik dari kanal tersebut dengan berbagai kondisi lingkungan.

Hasil yang didapat berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ini adalah sebagai berikut: Respon impuls kanal dalam domain waktu didapatkan dari proses IFFT respon impuls kanal dalam domain frekuensi yang berasal dari pengukuran parameter S21 menggunakan VNA. Tubuh orang mempengaruhi besar magnitudo parameter S21 yang didapat, terutama pada skenario NLOS. Banyak jumlah impuls pada model PDP yang didapat juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan ruangan dan lintasan pengukuran. Adanya tubuh dan penghalang mengakibatkan nilai Mean excess delay bertambah cukup signifikan pada kondisi NLOS. Kondisi lingkungan mempengaruhi variasi nilai RMS delay spread. Semakin banyak objek di sekitar tempat pengukuran maka semakin besar nilai RMS delay spread.

Kata kunci: WBAN, UWB, *off-body*, Respon impuls kanal, Parameter Delay.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE OFF-BODY UWB-WBAN CHANNEL IN DIFFERENT ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Student Name / NRP : **Rahmadani Sudarno / 07111840000101**
Department : **Electrical Engineering F-ELECTICS – ITS**
Advisor : **Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.**

Abstract

Wireless Body Area Network (WBAN) technology is applied to several daily needs such as medical and non-medical needs. Because this technology can be used in the human body, on the human body, and as a wearable device, WBAN is required to have good performance with low power consumption, transmission rate, can work in other wireless standards, strong against noise, low radiation, and no harm to humans. For this reason, it is necessary to analyze the characteristics of the WBAN channel to produce optimal results in the application of WBAN communication.

Ultra-Wideband (UWB) technology is used for data communication, because UWB has a low power transmitter, high data rate, low form factor, uncomplicated circuit design, and wide bandwidth. UWB itself has been regulated for use in the band 3.1-10.6 GHz by the Federal Communications Commission (FCC). In this final project, an off-body UWB WBAN channel will be tested with a fixed measuring distance to see the characteristics of the channel under various environmental conditions.

The results obtained based on the research that has been done are as follows: The impulse response of the channel in the time domain is obtained from the IFFT process of the channel impulse response in the frequency domain which is derived from the measurement of the S21 parameter using VNA. The person's body affects the magnitude of the obtained S21 parameter, especially in the NLOS scenario. The number of impulses in the PDP model obtained is also influenced by the environmental conditions of the room and the measurement path. The presence of a body and a barrier causes the Mean excess delay value to increase significantly in NLOS conditions. Environmental conditions affect the variation of the RMS delay spread value. The more objects around the measurement area, the greater the RMS delay spread value.

Keywords: WBAN, UWB, *off-body*, Channel impulse response, Delay parameters.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas berkat, rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul: “ANALISIS KANAL UWB WBAN OFF-BODY DALAM BERBAGAI PERBEDAAN KONDISI LINGKUNGAN”

Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih atas bantuan, bimbingan dan kerjasama kepada:

1. Keluarga besar yang selalu memberi semangat kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
2. Dosen pembimbing Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT. yang telah membimbing penulis sejak penentuan topik tugas akhir hingga penyusunan laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan.
3. Bapak dan ibu dosen Departemen Teknik Elektro ITS terutama bidang studi Telekomunikasi Multimedia.
4. Tim WBAN dan D2D Made dan Jeky yang turut langsung membantu dalam proses pengukuran.
5. Teman-teman bidang studi Telekomunikasi dan Multimedia atas segala motivasi dan dukungan yang telah diberikan.
6. teman-teman angkatan e58.
7. Pihak lain yang sudah membantu penulis dalam perkuliahan.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis menyadari banyak kekurangan, baik dalam penulisan laporan maupun pembahasan penelitian. Namun penulis telah berusaha untuk menyusun laporan tugas akhir ini dan berharap laporan ini bermanfaat bagi yang membutuhkan. Terima Kasih.

Surabaya, Juli 2022

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
APPROVAL SHEET.....	v
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	vii
STATEMENT OF ORIGINALITY.....	ix
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	1
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu.....	3
2.2 Dasar Teori.....	3
2.2.1 Wireless Body Area Network (WBAN).....	3
2.2.2 Ultra-Wideband (UWB).....	4
2.2.3 Respon Impuls Kanal.....	5
2.2.4 Power Delay Profile (PDP).....	5
2.2.5 Scattering Parameter.....	6
2.2.6 Koefisien Refleksi.....	7
2.2.7 Insertion Loss.....	8
2.2.8 Return Loss.....	8
2.2.9 Voltage Standing Wave Ratio.....	8
2.2.10 Antena Vivaldi.....	8
2.2.11 Pola Radiasi.....	9
2.2.12 Low Pass Filter.....	11
2.2.13 Windowing.....	11
BAB III METODOLOGI.....	13

3.1	Metode yang digunakan	13
3.2	Bahan dan peralatan yang digunakan	13
3.2.1	Vector Network Analyzer (VNA)	13
3.2.2	Kabel RG-58	15
3.2.3	Antena Vivaldi	15
3.3	Urutan pelaksanaan penelitian	16
3.3.1	Persiapan Peralatan dan Bahan	16
3.3.2	Skenario Pengukuran	18
3.3.3	Proses Pengukuran Data	20
3.3.4	Proses Pengolahan Data	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Hasil penelitian	27
4.1.1	Hasil Pengujian Peralatan dan Bahan	27
4.1.2	Hasil Pengolahan Data	29
4.2	Pembahasan	36
4.2.1	Pengukuran Parameter S21	36
4.2.2	Power Delay Profile (PDP)	41
4.2.3	Parameter Statistik Delay	48
4.2.4	Sintesis	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	51
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN		55
BIODATA PENULIS		73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Spektrum yang Ditransmisikan untuk Berbagai Teknologi Nirkabel.....	4
Gambar 2.2 Plot PDP Kontinu dan PDP Diskrit	6
Gambar 2.3 S-parameter untuk Jaringan Dua Port.....	6
Gambar 2.4 Antena Vivaldi.....	9
Gambar 2.5 Pola Radiasi Antena.....	10
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	13
Gambar 3.2 VNA Agilent N9923A	14
Gambar 3.3 Ilustrasi Tempat Pengukuran	19
Gambar 3.4 Ilustrasi Skenario Pengukuran dengan Tubuh	20
Gambar 3.5 Ilustrasi Skenario Pengukuran tanpa Tubuh	20
Gambar 3.6 Konfigurasi Pengukuran Parameter S21 tanpa Tubuh	21
Gambar 3.7 Konfigurasi Pengukuran Parameter S21 dengan Tubuh.....	21
Gambar 3.8 Pengondisian Pengukuran Kanal tanpa Tubuh	22
Gambar 3.9 Pengondisian Pengukuran Kanal Off-Body tanpa Penghalang	22
Gambar 3.10 Pengondisian Pengukuran Kanal Off-Body dengan Penghalang	23
Gambar 3.11 Plot Window Hamming Domain Frekuensi	24
Gambar 4.1 VSWR Antena 1 dan 3	27
Gambar 4.2 Rugi-rugi Kabel RG-58 10m	28
Gambar 4.3 Rugi-rugi Kabel RG-58 5m	29
Gambar 4.4 Hasil Pengukuran Magnitudo LOS dengan tubuh.....	29
Gambar 4.5 Respon Frekuensi Low Pass	30
Gambar 4.6 Hasil $H_{ip}(f)$ setelah Windowing	30
Gambar 4.7 Respon Impuls Kanal LOS 0° Kondisi tanpa Tubuh.....	31
Gambar 4.8 Respon Impuls Kanal QLOS 90° Kondisi tanpa Tubuh.....	31
Gambar 4.9 Respon Impuls Kanal NLOS 180° Kondisi tanpa Tubuh.....	32
Gambar 4.10 Respon Impuls Kanal LOS 0° kondisi dengan tubuh tanpa penghalang	32
Gambar 4.11 Respon Impuls Kanal QLOS 90° Kondisi dengan Tubuh tanpa Penghalang.....	33
Gambar 4.12 Respon Impuls Kanal NLOS 180° Kondisi dengan Tubuh tanpa Penghalang...	33
Gambar 4.13 Respon Impuls Kanal LOS 0° Kondisi dengan Tubuh dan Penghalang	34
Gambar 4.14 Respon Impuls Kanal QLOS 90° Kondisi dengan Tubuh dan Penghalang	34
Gambar 4.15 Respon Impuls Kanal NLOS 180° Kondisi dengan Tubuh dan Penghalang	35
Gambar 4.16 Grafik Power Delay Profile	36
Gambar 4.17 Perbandingan Magnitudo S21 Parameter LOS 0° tiap Kondisi	37
Gambar 4.18 Perbandingan Magnitudo S21 Parameter LOS 45° tiap Kondisi	37
Gambar 4.19 Perbandingan Magnitudo S21 Parameter LOS 315° tiap Kondisi	38
Gambar 4.20 Perbandingan Magnitudo S21 Parameter QLOS 90° tiap Kondisi.....	38
Gambar 4.21 Perbandingan Magnitudo S21 Parameter QLOS 270° tiap Kondisi.....	39
Gambar 4.22 Perbandingan Magnitudo S21 Parameter NLOS 135° tiap Kondisi.....	39
Gambar 4.23 Perbandingan Magnitudo S21 Parameter NLOS 180° tiap Kondisi.....	40
Gambar 4.24 Perbandingan Magnitudo S21 Parameter NLOS 225° tiap Kondisi.....	40
Gambar 4.25 PDP LOS 0° Kondisi tanpa Tubuh	42
Gambar 4.26 PDP QLOS 90° Kondisi tanpa Tubuh	42
Gambar 4.27 PDP NLOS 180° Kondisi tanpa Tubuh	43

Gambar 4.28 PDP QLOS 270° Kondisi tanpa Tubuh	43
Gambar 4.29 PDP LOS 0° Kondisi dengan Tubuh tanpa Penghalang.....	44
Gambar 4.30 PDP QLOS 90° Kondisi dengan Tubuh tanpa Penghalang.....	44
Gambar 4.31 PDP NLOS 180° Kondisi dengan Tubuh tanpa Penghalang.....	45
Gambar 4.32 PDP QLOS 270° Kondisi dengan Tubuh tanpa Penghalang.....	45
Gambar 4.33 PDP LOS 0° Kondisi dengan Tubuh dan Penghalang.....	46
Gambar 4.34 PDP QLOS 90° Kondisi dengan Tubuh dan Penghalang.....	46
Gambar 4.35 PDP NLOS 180° Kondisi dengan Tubuh dan Penghalang.....	47
Gambar 4.36 PDP QLOS 270° Kondisi dengan Tubuh dan Penghalang.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi VNA Agilent N9923A	14
Tabel 3.2 Spesifikasi Kabel Koaksial RG-58.....	15
Tabel 3.3 Skenario Pengukuran.....	18
Tabel 4.1 Tabel Parameter Mean Excess Delay Tiap Arah Rotasi dan Kondisi.....	48
Tabel 4.2 Tabel Parameter RMS Delay Spread Tiap Arah Rotasi dan Kondisi.....	49

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir semakin banyak penelitian mengenai *Wireless Body Area Network* (WBAN) karena dapat diterapkan pada kehidupan sehari-hari dalam berbagai aplikasi baik non-medis maupun medis seperti fitness, hiburan, pemeriksaan kesehatan, dan diagnosis medis (Dautov & Tsouri, 2020). Dalam aplikasi medis, teknologi WBAN ini dapat digunakan untuk memeriksa tekanan darah, temperatur, diabetes, dan detak jantung dengan menggunakan sensor nirkabel (Tiengthong et al., 2018). Karena teknologi ini dapat digunakan di dalam tubuh manusia, pada tubuh manusia, dan sebagai perangkat yang dapat digunakan (*wearable device*), WBAN diharuskan untuk memiliki performansi yang bagus dengan konsumsi daya rendah, tingkat transmisi, dapat bekerja dalam standar nirkabel lainnya, kuat terhadap noise, radiasi rendah, dan tidak membahayakan untuk manusia (Tiengthong et al., 2018).

Penerapan WBAN di sekitar atau di dalam tubuh manusia telah dirilis sebuah standar internasional oleh Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) dengan nama IEEE 802.15.6 untuk komunikasi nirkabel (Kumpuniemi et al., 2015). Untuk komunikasi data dalam aplikasi WBAN terdapat beberapa teknologi nirkabel yang dapat dipertimbangkan seperti Zigbee, Wireless Local Area Networks (WLAN), Medical Implant Communication Services (MICS), Bluetooth, dan Ultra-Wideband (UWB). Dalam beberapa tahun terakhir, para peneliti menggunakan teknologi UWB untuk aplikasi WBAN karena transmitter UWB berdaya rendah, laju data yang tinggi, form factor rendah, desain rangkaian yang tidak rumit, dan bandwidth yang lebar. UWB sendiri telah diatur penggunaannya pada rentang pita 3,1-10,6 GHz oleh *Federal Communications Commission* (FCC) (Thotahewa et al., 2014).

Terdapat tiga skenario dalam komunikasi WBAN yaitu komunikasi off-body, komunikasi on-body, dan komunikasi in-body (Thotahewa et al., 2014). Komunikasi off-body merupakan komunikasi yang terdiri dari node antena yang bekerja sebagai pengirim (Tx) yang berada pada permukaan tubuh manusia dan node antena yang bekerja sebagai penerima (Rx) yang berada di luar (eksternal) tubuh manusia dengan jarak tertentu (Mohamed et al., 2017).

Pada tugas akhir ini akan dilakukan pengujian kanal UWB WBAN off-body dengan jarak ukur tetap untuk melihat karakteristik dari kanal tersebut dengan berbagai kondisi lingkungan.

1.2 Rumusan Permasalahan

Permasalahan yang akan diangkat dalam tugas akhir ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh posisi tubuh terhadap kanal UWB WBAN *off-body*?
2. Bagaimana pengaruh kondisi lingkungan terhadap kanal UWB WBAN *off-body*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari tugas akhir ini adalah:

1. Menggunakan satu antena pemancar (Tx) dan satu antena penerima (Rx).
2. Antena yang digunakan adalah antena Vivaldi.
3. Pengukuran dan pengujian kanal UWB WBAN *off-body* dilakukan di Laboratorium Antena dan Propagasi, Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Frekuensi yang digunakan berada pada rentang 3,16 GHz hingga 5,01 GHz sesuai dengan spesifikasi alat ukur *Vector Network Analyzer* (VNA).

5. Parameter yang diukur dan diuji pada pengukuran adalah scattering parameter dan *Power Delay Profile* (PDP) yang didalamnya terdapat *RMS delay spread*, *mean excess delay*, dan *maximum excess delay*.

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh kondisi dan posisi tubuh terhadap kanal UWB WBAN *off-body*.
2. Menganalisis pengaruh kondisi lingkungan terhadap kanal UWB WBAN *off-body*.

1.5 Manfaat

Dari hasil tugas akhir yang didapatkan, diharapkan penelitian ini dapat bermanfaat untuk meningkatkan pengetahuan pada penelitian karakteristik kanal UWB WBAN selanjutnya sehingga teknologi WBAN dapat lebih dikembangkan dan disempurnakan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian ini memiliki fokus analisis kanal UWB WBAN pada rentang frekuensi 3,16 GHz sampai dengan 5,01 GHz dengan pengukuran menggunakan antenna Vivaldi dengan jarak ukur antar antenna yang tetap. Penelitian terdahulu yang terkait yang menjadi referensi dalam pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut.

Penelitian yang dilakukan oleh (Kartika et al., 2018) yang membahas mengenai model *pathloss* berdasarkan bermacam aktivitas di ruang kantor menggunakan VNA dan antenna WBAN dengan rentang frekuensi 2,89–3,01 GHz. Pada penelitian ini didapatkan bahwa *pathloss* pada komunikasi sekitar tubuh tidak hanya dipengaruhi oleh jarak propagasi, tetapi juga berdasarkan aktivitas fisik sebelumnya yang dilakukan, seperti aktivitas fisik berat maupun ringan.

Penelitian lainnya dilakukan oleh (Mauludiyanto et al., 2021) yang membahas mengenai pengaruh frekuensi terhadap atenuasi jaringan tubuh di kanal WBAN. Frekuensi yang digunakan pada penelitian ini yaitu pada rentang frekuensi 2-6 GHz. Data atenuasi jaringan tubuh diukur dalam dua kondisi lintasan LOS dan NLOS. Berdasarkan penelitian yang dilakukan ini, didapatkan bahwa seiring dengan peningkatan frekuensi terjadi juga kecenderungan peningkatan atenuasi yang menunjukkan adanya pengaruh frekuensi terhadap atenuasi di seluruh jaringan tubuh. Pada tiap bagian tubuh memiliki hasil atenuasi yang berbeda-beda. Dari hasil yang didapat pada penelitian ini, didapatkan bahwa frekuensi lebih berpengaruh terhadap atenuasi yang terjadi di kepala daripada atenuasi yang terjadi di dada dan perut. Semakin tipis ketebalan kulit, maka akan semakin tinggi frekuensi, sehingga atenuasi jaringan tubuh semakin signifikan.

Penelitian lainnya yang mendukung penelitian ini adalah penelitian yang dilakukan oleh (Tienhthong et al., 2018). Pada penelitian ini dilakukan untuk meneliti karakteristik delay yang terjadi dari gelombang transmisi UWB WBAN dengan tubuh manusia. Pada penelitian ini digunakan antenna biconical yang memiliki polarisasi *omnidirectional* untuk kedua antenna Tx dan Rx. Penelitian ini menguji tingkat daya yang diterima pada kasus LOS dan NLOS. Berdasarkan hasil yang didapat pada penelitian ini dengan antenna biconical, didapatkan bahwa hasil pengukuran pada kasus LOS memiliki tingkat daya yang diterima jauh lebih besar daripada NLOS dan ketika antenna berjarak lebih dekat dengan tubuh manusia tingkat daya yang diterima akan semakin besar. Hal ini menandakan bahwa tubuh manusia mempengaruhi bentuk gelombang transmisi UWB WBAN. Hal tersebut dikarenakan pantulan dari tubuh manusia dan efek *shadowing* dari tubuh manusia.

Dari beberapa referensi di atas, maka pada penelitian ini akan didapatkan analisis kanal UWB WBAN yang bekerja pada rentang frekuensi 3,16 GHz sampai 5,01 GHz dengan memperhatikan parameter-parameter karakteristik *delay* yaitu seperti *Power Delay Profile* (PDP), *RMS delay spread*, *mean excess delay*, dan *maximum excess delay*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Wireless Body Area Network (WBAN)

WBAN atau jaringan area tubuh nirkabel adalah jaringan yang menghubungkan dan mengirimkan data dari *node* sensor yang berada dalam tubuh atau pada tubuh dengan *node* atau unit pusat yang berjarak beberapa meter dari sensor melalui media nirkabel dengan daya rendah. Karena hanya berjarak beberapa meter antara sensor dengan unit pusat, jaringan WBAN merupakan jaringan jarak dekat. WBAN dapat diterapkan untuk memonitoring kondisi tubuh seperti elektrokardiogram yang digunakan untuk mengukur dan merekam aktivitas jantung.

Karena *node* sensor WBAN beroperasi pada jarak yang sangat dekat dengan tubuh manusia, oleh karena itu, pengaturan daya pancar penting untuk aplikasi WBAN. Regulasi dan persyaratan dasar WBAN adalah sebagai berikut (Thotahewa et al., 2014).

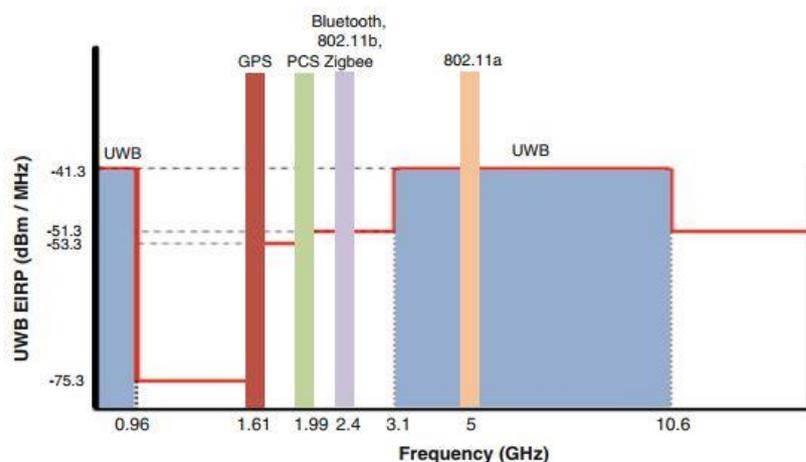
- Mendukung *data rate* yang dapat diukur.
- Konsumsi daya rendah.
- *Form factor* kecil.
- Daya pancar yang dapat dikendalikan.
- Kemampuan untuk memprioritaskan transmisi data dari sinyal penting.
- Transmisi data yang aman.
- Dapat berdampingan dengan teknologi nirkabel lainnya.
- Kemampuan untuk beroperasi di lingkungan *multi-user*.

WBAN dapat digunakan di dalam tubuh manusia, pada tubuh manusia, dan sebagai *wearable devices*. Perangkat yang mengaplikasikan WBAN perlu untuk memiliki kinerja yang baik dengan kuat terhadap *noise*, daya radiasi yang rendah, dan tidak berbahaya bagi manusia. Oleh karena itu, persyaratan WBAN telah diatur dalam standar IEEE 802.15.6 (Tienhthong et al., 2018).

Komunikasi WBAN terbagi menjadi tiga kategori utama, yaitu komunikasi *off-body*, *on-body*, dan *in-body*. Komunikasi *off-body* adalah komunikasi antara *node* pada permukaan tubuh dengan *base station* yang ada di luar. Komunikasi *on-body* adalah komunikasi antara dua *node* yang berada pada permukaan tubuh. Komunikasi *in-body* adalah komunikasi antara *node* yang diimplan di dalam tubuh dengan *node* yang ada di luar (Thotahewa et al., 2014).

2.2.2 Ultra-Wideband (UWB)

Ultra-Wideband (UWB) merupakan salah satu teknologi yang digunakan dalam pengaplikasian WBAN. Teknologi UWB sangat cocok untuk diterapkan pada WBAN dibandingkan dengan teknologi *Radio Frequency* (RF) lainnya karena memiliki bandwidth frekuensi yang dioperasikan secara luas pada rentang 3,1 GHz hingga 10,6 GHz dan radiasi daya rendah di bawah -41,3 dBm/MHz yang telah diatur spesifikasinya oleh *Federal Communications Commission* (FCC) (Tienhthong et al., 2018).



Gambar 2.1 Spektrum yang Ditransmisikan untuk Berbagai Teknologi Nirkabel

Gambar 2.1 menggambarkan spektrum frekuensi transmisi UWB bersama dengan spektrum teknologi nirkabel lain yang ada (Thotahewa et al., 2014). Standar Internasional yaitu IEEE 802.15.6 diterbitkan pada tahun 2012 yang berisi bahwa UWB sebagai *physical layer*

wajib untuk WBAN. Penggunaan *narrowband*, *mediumband*, *wideband*, atau *ultra-wideband* bandwidth tergantung pada aplikasi WBAN (Ahmed, 2020).

2.2.3 Respon Impuls Kanal

Respon impuls merupakan fungsi transfer kanal dalam domain waktu $h(\tau)$. Namun, pada umumnya dalam pengukuran dilakukan pada sistem yang tetap dengan hasil yang didapat dalam bentuk fungsi transfer kanal yang berupa magnitudo dalam domain frekuensi $H(\tau)$. Untuk mengonversikan hasil pengukuran dalam bentuk domain frekuensi $H(\tau)$ ke dalam domain waktu $h(\tau)$ data diolah dengan metode *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT). Metode IFFT merupakan fungsi yang berbanding terbalik dengan metode *Fast Fourier Transform* (FFT). Karena bekerja pada sistem yang tetap, respon impuls dimodelkan sebagai *Response Impuls Time Invariant*. Sehingga hasil yang dapat diamati hanya terhadap *delay* (τ) saja. Dengan persamaan matematis dapat dituliskan sebagai berikut (Kartika et al., 2018).

$$h(\tau) = \sum_{k=1}^N a_k e^{j\theta} \delta(\tau - \tau_k) \quad (2.1)$$

Dengan:

$h(\tau)$ = Fungsi transfer kanal dalam domain waktu

a_k = Magnitudo

θ = Fase

τ = *Excess Delay*

$\delta(\cdot)$ = Fungsi delta dirac

k = lintasan komponen.

2.2.4 Power Delay Profile (PDP)

Power Delay Profile (PDP) merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menilai bentuk gelombang transmisi pada saluran transmisi komunikasi jarak dekat seperti pada WBAN. PDP mempresentasikan daya sinyal yang tiba di sisi penerima melalui kanal *multipath* pada waktu yang berbeda. PDP digunakan untuk melihat karakteristik *delay* dari gelombang transmisi WBAN (Tiangthong et al., 2018). Persamaan PDP adalah sebagai berikut.

$$pdp(\tau) = \langle |h(\tau)|^2 \rangle_{ss} \quad (2.2)$$

Dengan:

$pdp(\tau)$ = power delay profile

$h(\tau)$ = fungsi transfer kanal pada domain waktu

ss = jumlah sampel spasial.

PDP memiliki tiga parameter penting untuk mengukur kanal *multipath* yaitu *Root Mean Square* (RMS) *delay spread*, *mean excess delay*, dan *maximum excess delay*. *Mean excess delay* adalah momen pertama dari PDP yang didefinisikan secara matematis sebagai berikut.

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (2.3)$$

RMS delay spread adalah akar kuadrat dari momen kedua PDP dan didefinisikan secara matematis sebagai berikut.

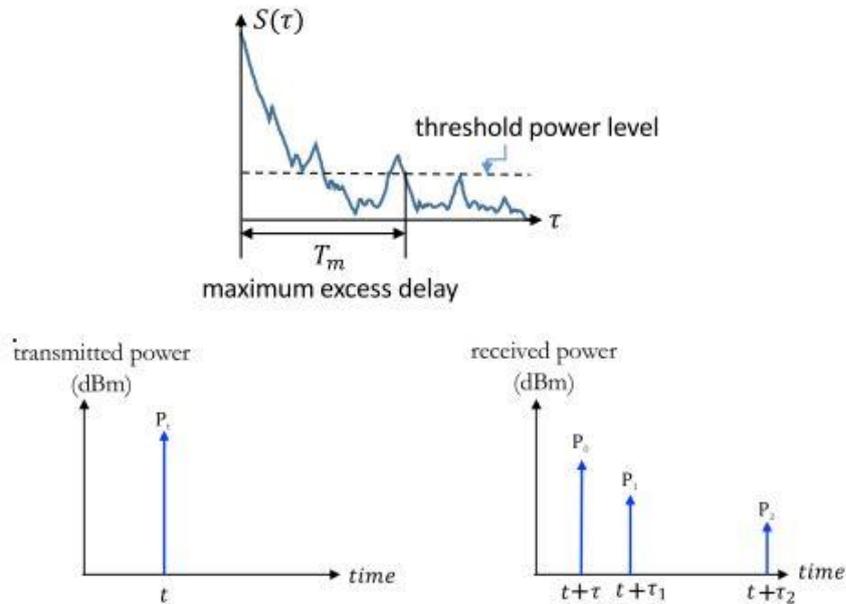
$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\bar{\tau})^2} \quad (2.4)$$

Dengan:

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (2.5)$$

Maximum excess delay adalah *delay* waktu yang terjadi selama energi *multipath* berada di atas nilai *threshold*. Atau dapat disebutkan bahwa maximum excess delay adalah rentang waktu antara komponen sinyal yang pertama kali datang sampai komponen terakhir sinyal yang besarnya di atas *threshold*. *Maximum excess delay* didefinisikan secara matematis sebagai berikut (Rappaport, 2002).

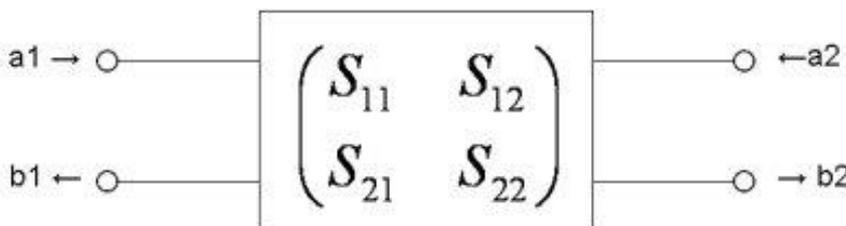
$$\text{maximum excess delay} = \tau(\max) - \tau(1) \quad (2.6)$$



Gambar 2.2 Plot PDP Kontinu dan PDP Diskrit

2.2.5 Scattering Parameter

Scattering parameter atau S-parameter digunakan untuk mengkarakterisasi jaringan dua port dari perangkat RF tanpa memerlukan kondisi terminal yang tidak dapat dicapai atau menyebabkan kerusakan pada perangkat yang sedang diuji atau *device under test* (DUT). S-parameter adalah deskriptor gelombang daya yang memungkinkan untuk mendefinisikan hubungan input-output jaringan dalam hal gelombang daya yang dipantulkan.



Gambar 2.3 S-parameter untuk Jaringan Dua Port

Berdasarkan gambar 2.3, gelombang daya ternormalisasi a_n dan data ternormalisasi yang dipantulkan b_n didefinisikan sebagai berikut.

$$a_n = \frac{1}{2\sqrt{Z_0}}(V_n + Z_0 I_n) \quad (2.7)$$

$$b_n = \frac{1}{2\sqrt{Z_0}}(V_n - Z_0 I_n) \quad (2.8)$$

Dengan indeks n mengacu pada port nomor 1 atau 2. Impedansi Z_0 adalah impedansi karakteristik dari jalur penghubung pada sisi input dan output jaringan. Berdasarkan gambar 2.3, kita dapat mendefinisikan S-parameter sebagai berikut (Ludwig & Bretchko, 2000).

$$\begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix} \quad (2.9)$$

Dengan:

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \equiv \frac{\text{daya yang keluar pada port 1}}{\text{daya yang masuk dari port 1}} = \text{Koefisien refleksi pada port 1}$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \equiv \frac{\text{daya yang keluar pada port 1}}{\text{daya yang masuk dari port 2}} = \text{Reverse power gain}$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \equiv \frac{\text{daya yang keluar pada port 2}}{\text{daya yang masuk dari port 1}} = \text{Forward power gain}$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \equiv \frac{\text{daya yang keluar pada port 2}}{\text{daya yang masuk port 2}} = \text{Koefisien refleksi pada port 2}$$

2.2.6 Koefisien Refleksi

Koefisien refleksi merupakan perbandingan antara tegangan yang dipantulkan dengan tegangan yang masuk pada beban. Koefisien refleksi Γ memiliki persamaan sebagai berikut.

$$\Gamma = \frac{v^{0-}}{v^{0+}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.10)$$

Dengan:

Γ = Koefisien refleksi

v^{0-} = Tegangan yang dipantulkan

v^{0+} = Tegangan yang masuk

Z_L = Impedansi beban

Z_0 = Impedansi karakteristik

Apabila $\Gamma = 0$, dapat dikatakan saluran matched. Apabila $\Gamma = 1$, dapat dikatakan saluran *open circuit*. Apabila $\Gamma = -1$, dapat dikatakan saluran *short circuit* (Ulaby & Ravaioli, 2015).

2.2.7 Insertion Loss

Insertion loss merupakan perbandingan antara daya yang ditransmisikan dengan daya yang masuk. Pada S-parameter *insertion loss* sama dengan S_{21} . *Insertion loss* diukur dengan satuan dB dengan persamaan sebagai berikut.

$$IL = -10 \log \left(\frac{P_t}{P_i} \right) = -10 \log \frac{P_i - P_r}{P_i} = -10 \log(1 - |\Gamma_{in}|^2) \quad (2.11)$$

Dengan:

IL = Insertion Loss

P_t = Daya yang ditransmisikan

P_i = Daya yang masuk

P_r = Daya yang dipantulkan

Γ_{in} = Koefisien refleksi masukan

Jika rangkaian berupa *open circuit* atau *short circuit*, nilai dari *insertion loss* bernilai maksimum ($IL \rightarrow \infty$). Sedangkan, jika rangkaian *matched* dengan sumber, rangkaian akan menerima seluruh daya dan *insertion loss* akan minimum ($IL = 0$) (Ludwig & Bretchko, 2000).

2.2.8 Return Loss

Return loss adalah perbandingan dari daya yang dipantulkan P_r dengan daya yang masuk P_i . *Return loss* merupakan bentuk ketidakcocokan (*mismatch*) antara daya sumber yang ada dengan daya yang dikirim ke saluran transmisi. Adapun persamaan *return loss* dalam dB adalah sebagai berikut (Ludwig & Bretchko, 2000).

$$RL = -10 \log \left(\frac{P_r}{P_i} \right) \quad (2.12)$$

Nilai *return loss* digunakan untuk menentukan frekuensi kerja dari antenna. Semakin kecil nilai *return loss* semakin baik pula kinerja dari antenna karena daya yang dipantulkan tidak terlalu besar dengan daya yang dikirim. Adapun batas dari nilai *return loss* dapat dikatakan baik adalah ketika nilai *return loss* tidak lebih dari -10 dB (Kartika et al., 2018).

2.2.9 Voltage Standing Wave Ratio

Untuk melihat kinerja dari antenna, selain *return loss* terdapat parameter lain yang dapat digunakan yaitu *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR). VSWR adalah perbandingan antara $|V|_{max}$ dengan $|V|_{min}$. VSWR menunjukkan nilai dari *mismatch* antara beban dengan jalur transmisi (Ulaby & Ravaioli, 2015). VSWR memiliki persamaan sebagai berikut.

$$S = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.13)$$

VSWR bernilai satu hingga tak hingga. Kondisi antenna dapat dikatakan ideal ketika nilai VSWR sama dengan 1 (satu), yaitu dimana tidak ada gelombang yang terpantulkan dari antenna atau dapat dikatakan antenna *match* dengan saluran transmisi. Semakin besar nilai VSWR maka dapat dikatakan kinerja antenna semakin buruk. Kinerja antenna disebut baik ketika nilai VSWR antenna dibawah 2 (dua) pada frekuensi kerja antenna (Kartika et al., 2018).

2.2.10 Antena Vivaldi

Antena Vivaldi merupakan jenis antenna yang dapat memungkinkan penggunaan sistem komunikasi dari WBAN. Pengertian dari antenna itu sendiri yaitu sebuah perangkat yang dapat

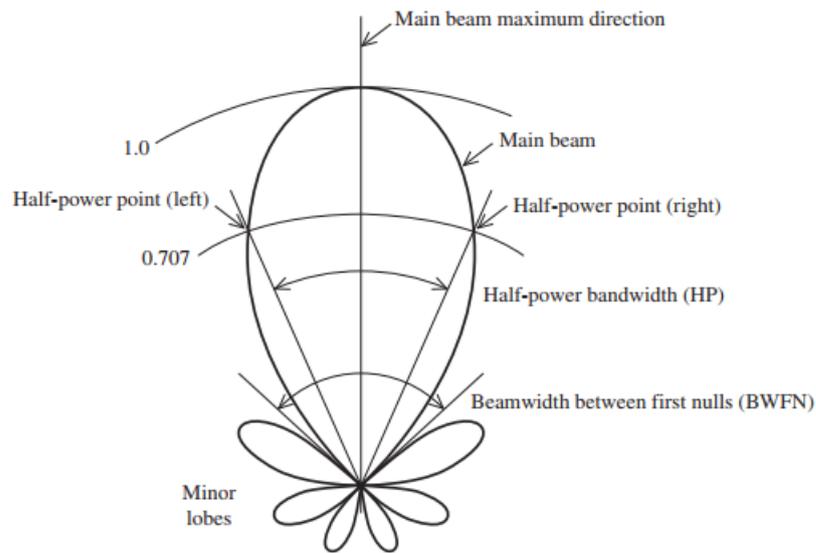
mengirim atau menerima sinyal dalam bentuk gelombang elektromagnetik baik melalui medium udara maupun ruang bebas. Antena vivaldi berbentuk seperti kepingan dan berukuran kecil. Antena jenis ini memiliki beberapa keunggulan seperti ukuran yang kecil, biaya untuk melakukan fabrikasi yang murah, dan dapat dilakukan perancangan *dual frequency*. Oleh karena itu, antena vivaldi dapat digunakan pada sistem yang membutuhkan mobilitas yang cukup tinggi. Antena vivaldi juga terdapat beberapa kekurangan seperti bandwidth yang kecil dan efisiensi rendah. Bentuk antena vivaldi dapat dilihat pada gambar 2.4 seperti berikut (Fardhiyansyah et al., 2020).



Gambar 2.4 Antena Vivaldi

2.2.11 Pola Radiasi

Pola radiasi adalah model dari medan listrik yang dipancarkan oleh suatu antena. Pola radiasi terdiri dari *major lobe* dan *minor lobe*. *Major lobe* atau *main lobe* atau lobus utama adalah lobus yang memiliki arah radiasi maksimum. *Minor lobe* merupakan lobus lain yang lebih kecil dibandingkan dengan *main lobe*. *Minor lobe* terdiri dari *side lobe* dan *back lobe*. *Side lobe* adalah lobus-lobus kecil yang berada disamping lobus utama. *Back lobe* adalah lobus yang mengarah bertolak belakang dengan lobus utama (Stutzman & Thiele, 2012). Lobus utama terdiri dari *Half Power Beamwidth* (HPBW) dan *Beamwidth Between First Null* (BWFN). HPBW adalah besar sudut di mana nilai intensitas radiasi turun menjadi setengah dari intensitas maksimum. Dalam dB setengah dari intensitas yaitu -3 dB, sehingga HPBW dapat disebut -3 dB beamwidth. Sedangkan BWFN adalah besar sudut ketika intensitas radiasi sama dengan nol.



Gambar 2.5 Pola Radiasi Antena

Daerah di sekitar antena terbagi menjadi tiga daerah, yaitu daerah medan dekat reaktif (daerah antena), daerah medan dekat radiasi (daerah *Freshnel*), dan daerah medan jauh (daerah *Fraunhofer*) (Kartika et al., 2018).

Persamaan untuk menentukan jarak medan dekat reaktif (daerah antena) adalah sebagai berikut.

$$R < 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (2.14)$$

Adapun persamaan untuk menentukan jarak daerah medan dekat radiasi (daerah *Freshnel*) adalah sebagai berikut.

$$0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R \leq 2 \left(\frac{D^2}{\lambda} \right) \quad (2.15)$$

Adapun persamaan untuk menentukan jarak medan jauh (daerah *Fraunhofer*) adalah sebagai berikut.

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

Dengan:

r = jarak pengukuran (m)

D = panjang dari antena (m)

λ = Panjang gelombang yang dipancarkan antena (m)

Pola radiasi antena memiliki tiga jenis pola yaitu isotropis, *directional*, dan *omnidirectional*. Pola radiasi isotropis adalah pola radiasi yang memiliki kuat radiasi yang sama ke segala arah. Pola radiasi *directional* adalah pola radiasi yang memancarkan radiasi ke suatu

arah dengan kuat radiasi lebih besar daripada arah yang lain. Pola radiasi *omnidirectional* adalah pola radiasi yang memancarkan kuat radiasi ke segala arah namun kuat radiasi yang dipancarkan tidak sama seperti pada pola radiasi isotropis (Balanis, 2016).

2.2.12 Low Pass Filter

Low Pass Filter (LPF) merupakan jenis filter yang digunakan berdasarkan pemilihan frekuensi yang dilewatkan. Daerah *passband* merupakan rentang frekuensi pada respons magnitudo yang bernilai satu atau konstan sedangkan daerah *stopband* merupakan rentang frekuensi pada response magnitudo yang bernilai nol. Adapun frekuensi yang membatasi *passband* dan *stopband* disebut sebagai frekuensi *cutoff*. LPF didefinisikan sebagai sistem *linear time-invariant* (LTI) waktu diskrit dengan respons frekuensi bernilai satu ketika dibawah frekuensi *cutoff* dan bernilai nol pada lainnya. LPF memilih komponen frekuensi rendah dari sinyal dan menolak komponen frekuensi tinggi. LPF ideal ketika nilai respons fase bernilai nol, apabila nilai respons fase tidak bernilai nol maka pita frekuensi yang dipilih oleh filter juga akan mengalami distorsi fase (Oppenheim et al., 1999).

2.2.13 Windowing

Untuk mendapatkan filter *Finite Impulse Response* (FIR) yaitu dengan membatasi Panjang deretan respons impuls filter *Infinite Impulse Response* (IIR). Filter FIR didesain dengan melakukan pendekatan ke filter digital ideal dengan menggunakan metode *windowing*. Proses *Windowing* digunakan untuk menghilangkan efek kontinu (tak terbatas) dan mengurangi efek *aliasing* pada saat proses *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) berlangsung. Perkalian antara $H_{lp}(f)$ dan $W(f)$ akan menghasilkan fungsi $H_{lpw}(f)$ yang secara matematis dirumuskan sebagai berikut (Hayes, 1998).

$$H_{lpw}(f) = H_{lp}(f) \times W(f) \quad (2.17)$$

Dengan:

$H_{lpw}(f)$ = Respon impuls *Low pass* setelah *Windowing*

$H_{lp}(f)$ = Respon impuls *Low pass*

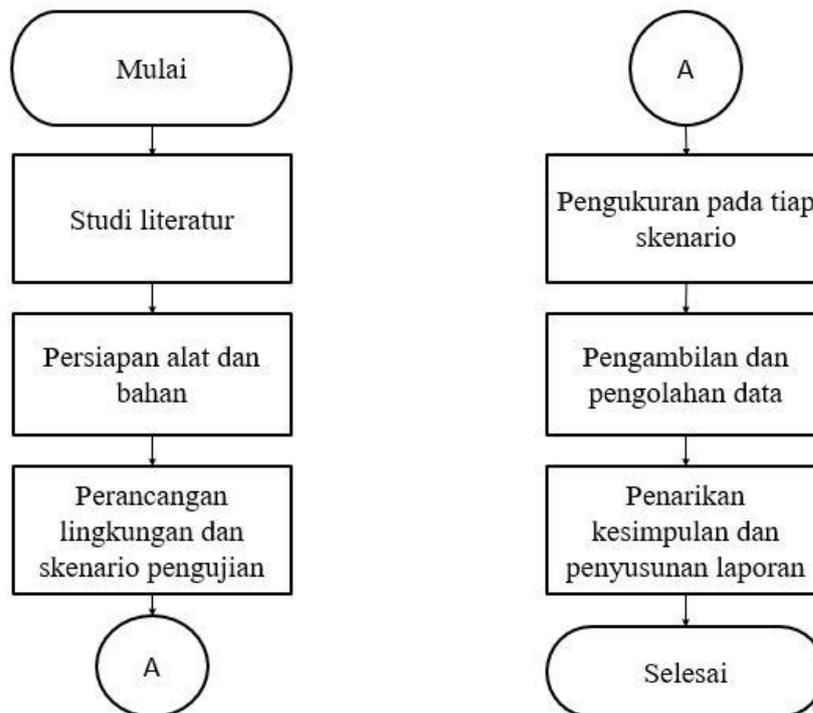
$W(f)$ = Fungsi *Window*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

3.1 Metode yang digunakan

Pada bagian ini membahas mengenai metode yang digunakan dalam penelitian ini, dimulai dari perencanaan alur pengerjaan, persiapan bahan dan peralatan yang digunakan, pengaturan skenario pengukuran, hingga pengolahan data hasil pengukuran. Alur penelitian dimulai dari studi literatur, persiapan bahan dan peralatan pengukuran seperti VNA, kabel, antena, dan subjek atau manusia. Pada tahap ini dilakukan proses kalibrasi alat ukur dan pemilihan antena dengan melihat nilai VSWR antena. Kemudian merancang lingkungan dan skenario pengukuran seperti pemilihan lokasi pengukuran, jumlah titik ukur, jumlah pengukuran, dan lain-lain. Kemudian dilakukan pengukuran pada tiap skenario yang sudah dirancang dengan melakukan pengukuran parameter S21. Kemudian dilakukan pengambilan dan pengolahan data pengukuran yang didapat sehingga didapat model kanal propagasi berupa *power delay profile*. Adapun untuk diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Bahan dan peralatan yang digunakan

Bahan dan peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebuah *Vector Network Analyzer* (VNA), dua buah kabel Belden RG508 yang masing-masing berukuran 5m dan 10m, dua buah antena Vivaldi, dummy load 50 Ω , *connector N to SMA port*, dan flashdisk. Pada subbab selanjutnya akan dibahas spesifikasi VNA dan kabel yang digunakan.

3.2.1 Vector Network Analyzer (VNA)

Vector Network Analyzer adalah suatu alat ukur yang digunakan untuk mengukur respon suatu jaringan dalam bentuk parameter vektor riil dan imajiner. Cara kerja VNA yaitu dengan cara memberikan stimulus kepada jaringan dan kemudian memantau responsnya. Dengan VNA

kita dapat melakukan pengukuran terhadap *distance-to-fault* (DTF), *return loss* (dB), VSWR, *cable loss* (1-Port), dan *insertion loss* (2-port).



Gambar 3.2 VNA Agilent N9923A

Pada penelitian ini VNA yang digunakan adalah VNA Agilent N9923A. VNA ini dapat melakukan pengukuran pada frekuensi 2 MHz hingga 6 GHz. Adapun spesifikasi dari VNA Agilent N9923A berdasarkan *data sheet* dapat dilihat dari tabel berikut.

Tabel 3.1 Spesifikasi VNA Agilent N9923A

No.	Deskripsi	Keterangan
1	<i>Frequency range</i>	2 Mhz to 6 Ghz
2	<i>Data points</i>	101, 201, 401, 601, 801, 1001, 1601, 4001, 10001
3	<i>Measurements</i>	<i>S₁₁, S₂₁ magnitude and phase</i> <i>S₂₂, S₁₂ magnitude and phase</i>
4	Format	<i>Log magnitude, linear magnitude, VSWR, phase, Smith chart, polar, group delay, unwrapped phase, real, imaginary</i>
5	VSWR	1,01 to 1000
6	VSWR Resolution	0,01
6	Directivity	42 dB 38 dB (<i>Corrected with quick cal</i>)
7	<i>System Impedance</i>	50Ω (nominal) 75Ω <i>with appropriate adapter and calibration kit</i>
8	<i>IF bandwidths</i>	300 Hz, 1 kHz, 3 kHz, 10 kHz, 30 KHz

9	<i>Test port output power</i>	+5 dBm (nominal) -40 dBm (nominal)
10	<i>Phase</i>	-180 to +180 degrees
11	<i>Phase Resolution</i>	0,01 degrees
12	<i>Log Magnitude S11 or S22</i>	-1000 to 1000 dB
13	<i>Log Magnitude S21 or S12</i>	-1000 to 1000 dB
14	<i>Log Magnitude resolution</i>	0,01 dB

3.2.2 Kabel RG-58

Kabel Belden RG-58 adalah jenis kabel koaksial yang sering digunakan untuk sinyal daya rendah dan koneksi *radio frequency* (RF). Kabel ini memiliki impedansi karakteristik sebesar 50 atau 52 Ω . Kabel RG-58 sering digunakan sebagai pembawa sinyal secara umum di laboratorium, dikombinasikan dengan konektor *Bayonet Neill Concelman* (BNC) yang umum pada peralatan uji dan pengukuran seperti osiloskop. Berikut merupakan tabel spesifikasi dari kabel RG-58.

Tabel 3.2 Spesifikasi Kabel Koaksial RG-58

	Polythene/PVC
	50 Ω
RG Type	RG58BU/CU
Conductor Type	TC
Conductor Area	19/0,18
Insulation	Polythene
Insulation Diameter	2,95 mm
Screen Braid	TC
Screen Diameter	3,50 mm
Sheath	PVC
Sheath Diameter	4,95 mm
Weigh Kg/100m	37
Capacitance (pF/m)	100
Impedance (Ω)	50
Attenuation dB per 100 meters at 400MHz	39,5
Velocity Ratio	666

3.2.3 Antena Vivaldi

Berdasarkan (Mauludiyanto et al., 2021), antena Vivaldi yang digunakan untuk penelitian ini yaitu dua buah antena Vivaldi yang identik, antena yang dipakai untuk pengukuran ini adalah jenis antena dengan pola radiasi *directional* dengan dimensi 6×6 cm², memiliki *half power beamwidth* (HPBW) 65,4° pada frekuensi 3 GHz dan 53,3° pada 5 GHz.

3.3 Urutan pelaksanaan penelitian

Seperti yang telah diperlihatkan pada diagram alir gambar 3.1, urutan pelaksanaan penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur terhadap beberapa referensi yang terkait dengan materi karakteristik kanal UWB WBAN, faktor yang mempengaruhi propagasi gelombang elektromagnetik pada komunikasi UWB WBAN, dan teknik yang digunakan dalam mengolah data hasil pengukuran sehingga didapatkan model karakterisasi kanal. Adapun literatur yang digunakan adalah berasal dari beberapa buku teks serta paper penelitian yang terkait.

Tahap berikutnya yaitu tahap persiapan peralatan dan bahan pengukuran. Peralatan dan bahan yang digunakan adalah sebuah VNA, dua buah kabel Belden RG-58 yang memiliki panjang 5m dan 10m, dua buah antena Vivaldi identik, dua buah pipa PVC dengan panjang 2m yang ditegakkan sebagai tiang antena, dan kabel ties untuk mengikatkan antena dengan pipa. Pada tahap ini juga dilakukan kalibrasi VNA, perhitungan VSWR antena, dan pengukuran rugi-rugi kabel (*cable loss*).

Tahap berikutnya yaitu tahap perancangan lingkungan dan skenario pengukuran. Pengukuran dilakukan di dalam ruangan Laboratorium Antena dan Propagasi dengan tiga posisi dengan kondisi yang berbeda, untuk setiap posisi memiliki delapan arah antena Tx menghadap yang berbeda. Pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali pada tiap arah antena menghadap.

Tahap berikutnya yaitu tahap pengukuran pada tiap skenario. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan antena Tx dan antena Rx di tempat-tempat yang telah ditentukan secara bergiliran. Kemudian kedua antena terhubung ke VNA menggunakan kabel, dimana antena Tx dihubungkan ke port 1 VNA dan antena Rx dihubungkan ke port 2 VNA. Parameter yang diukur pada pengukuran ini adalah parameter S_{21} .

Langkah selanjutnya adalah pengambilan dan pengolahan data. Data hasil pengukuran disimpan kemudian data tersebut diolah oleh komputer menggunakan *software* matlab.

Langkah terakhir adalah penarikan kesimpulan dan penyusunan laporan. Setelah data selesai diolah, hasil pengolahan data ditarik kesimpulan kemudian disusun ke dalam bentuk laporan.

3.3.1 Persiapan Peralatan dan Bahan

Sebelum melakukan pengukuran respon impuls kanal, perlu diketahui kinerja dari peralatan yang akan digunakan. Pada tahap ini dilakukan kalibrasi pada alat ukur VNA, pengukuran parameter antena berupa VSWR, dan pengukuran *loss* pada kabel RG58 yang akan digunakan. Untuk setiap peralatan dan bahan yang digunakan telah tersedia di Laboratorium Antena dan Propagasi dan kemudian dirangkai untuk kebutuhan penelitian.

3.3.1.1 Kalibrasi VNA

VNA sudah terkalibrasi secara otomatis ketika VNA baru dihidupkan dan ketika ditekan tombol *Preset*. Namun kalibrasi dilakukan apabila salah satu dari hal berikut terjadi:

- Suhu berubah secara signifikan lebih dari 5°C.
- Pengaturan rentang frekuensi, level daya, IF BW, *Min Swp Time*, atau resolusi berubah.
- Saat koneksi antara VNA dengan *Device Under Test* (DUT) berubah.

Karena pada saat pengukuran akan menggunakan konektor *SMA-to-N* maka perlu dilakukan kalibrasi sebelum digunakan. Berikut adalah Langkah-langkah dalam melakukan kalibrasi VNA Agilent N9923A:

1. Pastikan VNA dalam keadaan mati dan tidak ada kabel atau load yang terhubung pada kedua port.
2. Nyalakan VNA.
3. Tekan tombol “**Cal 5**” di VNA.

4. Pilih tipe kalibrasi yang diinginkan, untuk kalibrasi kali ini menggunakan tipe “QuickCal”.
5. Pilih tipe kalibrasi “1-Port” atau “Full 2-port”, pada kalibrasi ini menggunakan tipe “Full 2-Port”.
6. Ikuti langkah kalibrasi sesuai pada layar dengan menghubungkan *dummy load* dan kabel koaksial untuk menghubungkan kedua port.
7. Tunggu hingga proses kalibrasi selesai.

3.3.1.2 Pengukuran VSWR

Pada penelitian ini menggunakan dua buah antena Vivaldi yang identik. Antena Vivaldi yang digunakan didesain bekerja pada frekuensi 2 - 10 GHz. Di dalam Laboratorium Antena dan Propagasi B306 terdapat enam buah antena Vivaldi identik sehingga dilakukan pengukuran VSWR pada tiap-tiap antena untuk mendapatkan dua antena dengan nilai VSWR terbaik. Antena dengan nilai VSWR yang baik yaitu antena yang memiliki nilai $VSWR < 2$ pada rentang frekuensi yang akan dipakai.

Pengukuran dilakukan menggunakan VNA Agilent N9923A. Berikut adalah langkah-langkah pengukuran VSWR antena:

1. Siapkan VNA dan antena yang akan diukur.
2. Hidupkan VNA dan pastikan sudah terkalibrasi.
3. Sambungkan antena pada port 1 VNA.
4. Sambungkan *dummy load* 50 Ω pada port 2.
5. Tekan tombol “Freq/Dist” untuk mengatur rentang frekuensi yang akan digunakan, tekan “start” untuk mengatur frekuensi awal dan tekan “stop” untuk mengatur frekuensi akhir. Atur rentang frekuensi yang diamati menjadi 2 GHz hingga 6 GHz untuk mencari lebar bandwidth yang mungkin akan dipakai.
6. Tekan tombol “Mode” lalu pilih “CAT”
7. Pilih mode pengukuran “VSWR”
8. Tekan tombol “Save/Recall” dan simpan pada penyimpanan usb dengan format file “.csv”.
9. Ulangi dari langkah ketiga hingga selesai untuk pengukuran antena yang lain.

3.3.1.3 Pengukuran Medan Radiasi Antena

Medan radiasi antena diperlukan untuk menentukan daerah medan dekat reaktif, medan dekat radiasi (*Fresnel zone*), dan medan jauh (*Fraunhofer zone*) antena. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai medan dekat reaktif, medan dekat radiasi dan medan jauh antena berturut-turut adalah persamaan (2.14), (2.15), dan (2.16). Untuk hasil pengukuran akan dipaparkan pada bab 4.

3.3.1.4 Pengukuran Rugi-rugi Kabel

Pada penelitian ini kabel digunakan untuk menghubungkan antena dengan port VNA. Kabel yang digunakan adalah kabel Belden RG58 sepanjang 10 m dan kabel Belden RG58 sepanjang 5 m. Berikut adalah langkah-langkah untuk melakukan pengukuran rugi-rugi kabel (*Cable Loss*):

1. Siapkan VNA dan kabel yang akan diukur.
2. Hidupkan VNA dan pastikan sudah terkalibrasi.
3. Sambungkan salah satu kabel ke port 1 pada VNA dan sambungkan ujung kabel yang terbuka dengan *dummy load* 50 Ω .
4. Sambungkan *dummy load* 50 Ω pada port 2.

5. Tekan tombol “**Freq/Dist**” untuk mengatur rentang frekuensi yang akan digunakan, tekan “**start**” untuk mengatur frekuensi awal dan tekan “**stop**” untuk mengatur frekuensi akhir.
6. Tekan tombol “**Mode**” lalu pilih “**CAT**”.
7. Pilih “**More**” lalu pilih “**Cable Loss (1-Port)**”.
8. Lalu tekan “**save**” dan simpan pada penyimpanan usb dengan format file “.csv”.
9. Tekan tombol “**Mode**” lalu pilih “**NA**”.
10. Tekan tombol “**Measure**” di VNA.
11. Pilih mode pengukuran “**S₁₁**”.
12. Kemudian pilih format “**Log Mag**”.
13. Lalu tekan “**Save**” dan simpan pada penyimpanan usb dengan format file “.csv”.
14. Kembali ke langkah ke-11 dengan memilih format “**phase**” lalu simpan kembali seperti langkah ke-12.

3.3.2 Skenario Pengukuran

Pada penelitian ini akan diukur respon impuls kanal di beberapa titik dengan jarak ukur yang tetap dan pada beberapa kondisi berbeda, yaitu kondisi kanal tanpa tubuh (*No Body*), *Line of Sight*, *Quasi-Line of Sight*, dan *Non-Line of Sight*. Pengukuran dilakukan pada frekuensi 3,16 GHz sampai 5,01 GHz. Frekuensi kerja tersebut dipilih berdasarkan hasil pengukuran VSWR antenna Vivaldi yang digunakan, dimana $VSWR < 2$.

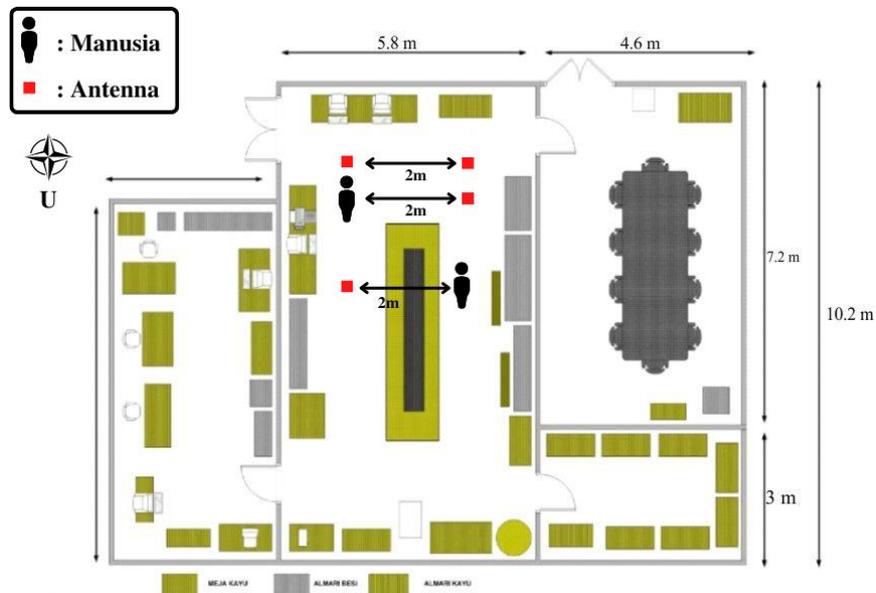
Pengukuran dilakukan di Laboratorium Antena dan Propagasi B306, Departemen Teknik Elektro ITS, di mana ruangan B306 berukuran $10,3\text{m} \times 5,8\text{m}$ dengan tiga posisi yang berbeda.

Penempatan antenna Tx ditempatkan di dada dan untuk antenna Rx ditempatkan di pipa PVC di mana untuk ketinggian dari kedua antenna sejajar yaitu 1,25m dari lantai. Sedangkan untuk kondisi *No Body* kedua antenna ditempatkan di pipa PVC. Pada kondisi LOS antenna Tx langsung terarah dengan antenna Rx, pada kondisi ini tubuh menghadap dengan sudut 0° , 45° , dan 315° terhadap antenna Rx. Pada kondisi QLOS antenna Tx berorientasi orthogonal pada antenna Rx dan jalur propagasi sebagian terbayangi oleh tubuh, pada kondisi ini tubuh menghadap dengan sudut 90° dan 270° terhadap antenna Rx. Kondisi NLOS yaitu pada saat antenna Tx tidak berhadapan langsung dengan antenna Rx dan tubuh sepenuhnya menghalangi jalur propagasi langsung, pada kondisi ini tubuh menghadap dengan sudut 135° , 180° , dan 225° terhadap antenna Rx. Sehingga untuk satu posisi pengukuran terdapat delapan kondisi yang diukur. Untuk ilustrasi penempatan antenna Tx dan Rx dapat dilihat pada tabel 3.3 dan gambar 3.3 berikut.

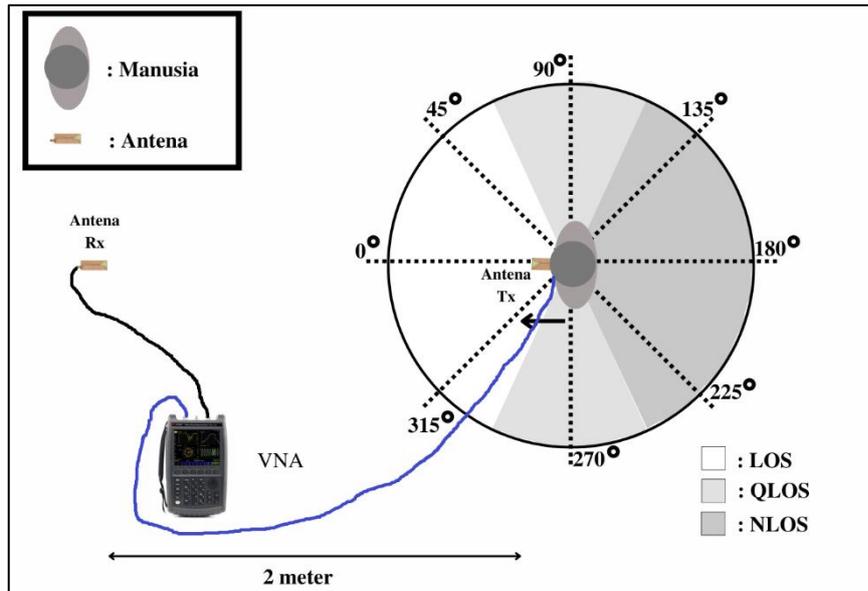
Tabel 3.3 Skenario Pengukuran

Posisi	Model Propagasi	Arah Rotasi Badan
Tanpa Tubuh	LOS	0°
		45°
		315°
	QLOS	90°
		270°
	NLOS	135°
		180°
		225°
	Dengan Tubuh Tanpa Penghalang	LOS
45°		
315°		

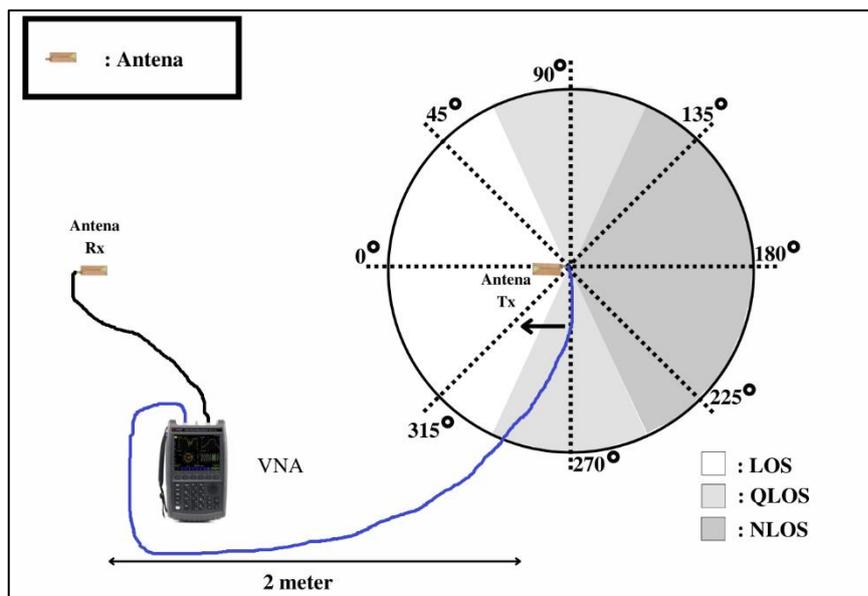
	QLOS	90°
		270°
	NLOS	135°
		180°
		225°
	Dengan Tubuh dan Penghalang	LOS
45°		
315°		
QLOS		90°
		270°
NLOS		135°
	180°	
		225°



Gambar 3.3 Ilustrasi Tempat Pengukuran



Gambar 3.4 Ilustrasi Skenario Pengukuran dengan Tubuh

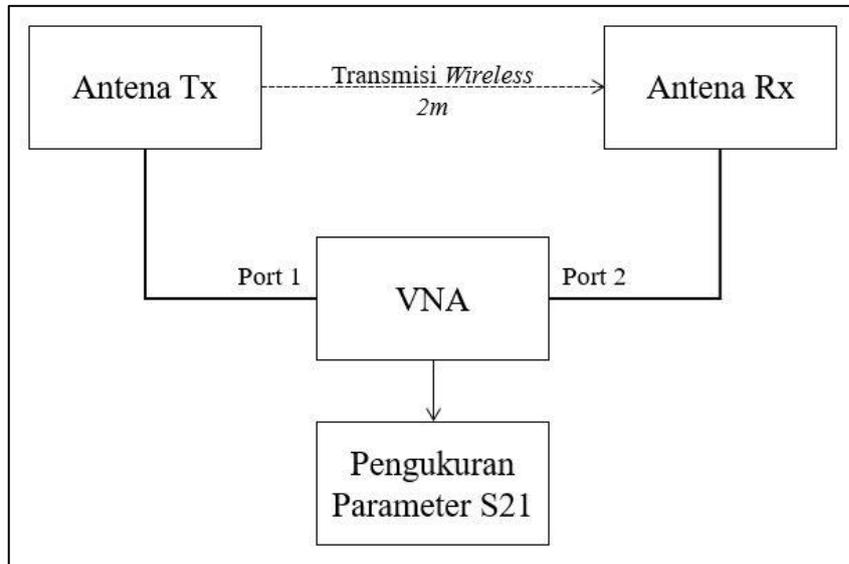


Gambar 3.5 Ilustrasi Skenario Pengukuran tanpa Tubuh

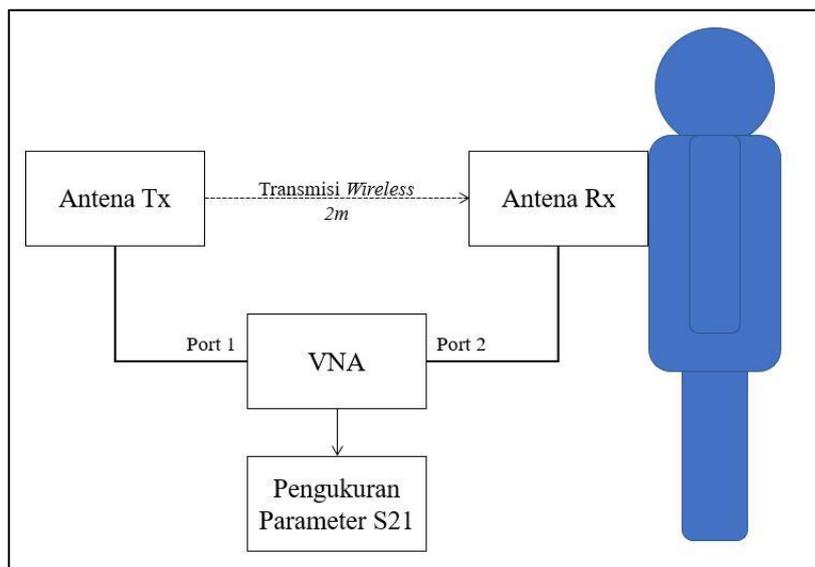
3.3.3 Proses Pengukuran Data

Pengukuran data dilakukan di Laboratorium Antena dan Propagasi ITS B306 dengan tiga posisi yang berbeda seperti pada gambar 3.3. Proses pengukuran data menggunakan dua antena Vivaldi antena di posisi tertentu yang masing-masing terhubung ke VNA menggunakan kabel RG-58. Proses pengukuran di tiap tempat dilakukan secara berurutan, dimulai dengan pengukuran tanpa tubuh sebagai pengukuran pertama, pengukuran dengan tubuh tanpa penghalang sebagai pengukuran kedua, dan pengukuran dengan tubuh dan penghalang sebagai pengukuran ketiga. Sebelum dilakukan pengukuran perlu dilakukan prosedur kalibrasi VNA, pengecekan parameter VSWR antena, dan pengecekan rugi-rugi kabel terlebih dahulu. Kemudian antena dihubungkan dengan kabel dan diletakkan pada posisi yang telah ditentukan. Konfigurasi pengukuran tanpa tubuh dan konfigurasi pengukuran dengan tubuh secara berturut-

turut dapat dilihat pada gambar 3.6 dan gambar 3.7. Pengondisian pengukuran dan pemasangan antena di tiap posisi dapat dilihat pada gambar 3.8 sampai dengan gambar 3.10 berikut.



Gambar 3.6 Konfigurasi Pengukuran Parameter S21 tanpa Tubuh



Gambar 3.7 Konfigurasi Pengukuran Parameter S21 dengan Tubuh



Gambar 3.8 Pengondisian Pengukuran Kanal tanpa Tubuh



Gambar 3.9 Pengondisian Pengukuran Kanal Off-Body tanpa Penghalang



Gambar 3.10 Pengondisian Pengukuran Kanal Off-Body dengan Penghalang

Untuk setiap kondisi dilakukan pengukuran data sebanyak 10 kali sehingga pada masing-masing posisi dilakukan pengukuran sebanyak 80 kali. Parameter yang diukur adalah S_{21} dari antena Tx ke antena Rx. Dari parameter tersebut diambil data dalam bentuk magnitudo dan fasenya dan didapatkan 80 data magnitudo dan 80 data fase pada setiap ruangan sehingga didapatkan total data sebanyak 480 data. Langkah-langkah dalam mengukur parameter S_{21} menggunakan VNA adalah sebagai berikut.

1. Tekan tombol “**Measure**” untuk melakukan pengukuran.
2. Pilih mode “**S21**” untuk pengukuran transmisi 2 port.
3. Pilih format “**LogMag**” untuk mengukur magnitudo dan “**Phase**” untuk fasa.
4. Tekan tombol “**Freq/Dist**” untuk mengatur frekuensi pengukuran.
5. Tekan “**Start**” untuk mengatur awal rentang frekuensi, tekan “**Stop**” untuk mengatur akhir rentang frekuensi. Pada penelitian ini rentang frekuensi pada VNA diatur 3,16 – 5,01 GHz.
6. Tekan tombol “**Hold**” untuk menghentikan pengukuran untuk sementara, kemudian tekan tombol “**Save**” untuk menyimpan data.
7. Atur nama file, tujuan tempat penyimpanan file, serta format file.
8. Tekan tombol “**Run**” untuk menjalankan pengukuran berikutnya.
9. Ulang Langkah-langkah prosedur yang sama untuk pengukuran berikutnya.
10. Pengukuran dilakukan sejumlah 10 kali untuk setiap arah tubuh menghadap pada setiap kondisi.

Setelah semua pengukuran dilakukan, kemudian data yang didapat disimpan ke dalam komputer untuk diproses pada tahap selanjutnya.

3.3.4 Proses Pengolahan Data

Data berupa magnitudo dan fase dari masing-masing frekuensi yang tersampling diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan VNA. Pada penelitian ini ditetapkan 801 frekuensi sampling yang diatur pada resolusi pengukuran di VNA dengan rentang bandwidth sebesar 1,85 GHz. Data yang didapat kemudian diolah untuk mencari respon frekuensi kanal *bandpass* $H(f)$, respon frekuensi kanal *low pass* $H_p(f)$, perkalian dengan *Window Hamming*,

respon impuls kanal menggunakan metode *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT), proses *filtering*, dan menghitung PDP dan parameter statistik delay.

3.3.4.1 Respon Frekuensi Kanal Bandpass $H(f)$

Setelah pengukuran dengan menggunakan VNA pada rentang frekuensi 3,16 – 5,01 GHz diperoleh data berupa magnitudo dan fase dari tiap pengukuran. Pada penelitian ini dilakukan sepuluh kali pengukuran untuk tiap kondisi dan ditetapkan menggunakan 801 titik sampling frekuensi dengan lebar bandwidth 1,85 GHz sehingga diperoleh rentang frekuensi antar sub sampel sebesar $\Delta f = 2,31$ MHz.

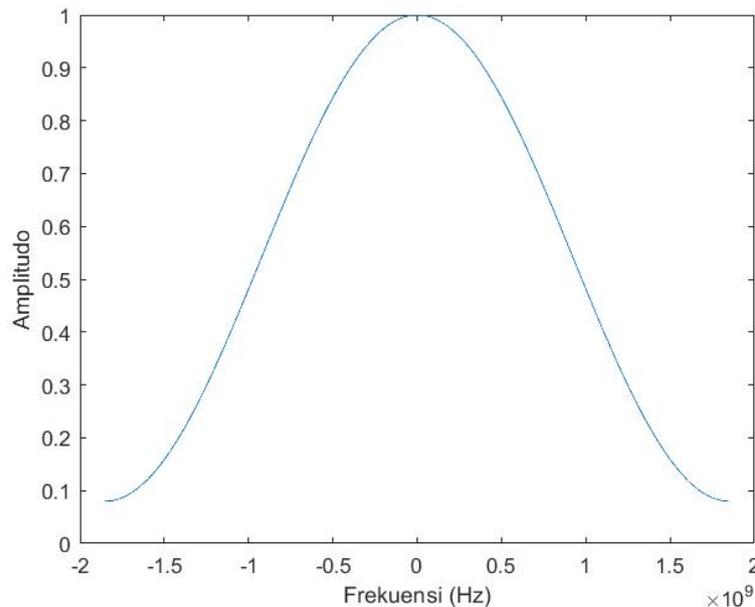
3.3.4.2 Respon Frekuensi Kanal Low Pass $H_{lp}(f)$

Setelah mendapat respon frekuensi kanal *bandpass* kemudian diubah menjadi respon frekuensi kanal *low pass*. Pada tahap ini dilakukan pergeseran frekuensi bawah ke titik nol dan frekuensi atas ke 1,85 GHz, sehingga mengalami pergeseran sebesar 3,1 GHz. Kemudian, dilakukan pencerminan ke arah sumbu-x negatif sehingga didapatkan rentang frekuensi $H_{lp}(f)$ dari frekuensi -1,85 GHz hingga 1,85 GHz yang dibagi menjadi 1601 titik sampel.

3.3.4.3 Perkalian dengan Metode Window Hamming

Setelah pada respon frekuensi dilakukan pergeseran *low pass*, selanjutnya dilakukan proses *windowing* dengan mengalikan sinyal *low pass* $H_{lp}(f)$ dengan *Window Hamming* $W(f)$. Jenis window yang digunakan adalah *Window Hamming*. Pemilihan *Window Hamming* dilakukan karena dalam domain frekuensi window ini memiliki lebar pita frekuensi *main lobe* yang lebar yaitu sebesar -43dB sehingga menghasilkan resolusi waktu yang kecil. Hal ini perlu diperhatikan dikarenakan pada penelitian ini dilakukan pada kanal *ultra-wide band*. Secara matematis window hamming dirumuskan sebagai berikut:

$$W(f) = \begin{cases} 0,54 - 0,46 \cos(2\pi f), & f_1 \leq f \leq f_2 \\ 0 & f \text{ lainnya} \end{cases} \quad (3.1)$$



Gambar 3.11 Plot Window Hamming Domain Frekuensi

3.3.4.4 Respon Impuls Kanal Metode IFFT

Setelah dilakukan *windowing* pada sinyal *low pass*, tahap berikutnya yaitu sinyal *low pass* yang sebelumnya berada dalam domain frekuensi diubah menjadi respon impuls dalam

domain waktu menggunakan metode IFFT. Data $H_{ipw}(f)$ diubah ke domain waktu dengan metode IFFT menghasilkan respon impuls kanal berdomain waktu.

3.3.4.5 Proses Filtering

Setelah didapatkan respon impuls kanal dalam domain waktu dengan metode IFFT, selanjutnya dilakukan proses *filtering*. Dalam melakukan proses *filtering* terdapat tiga tahapan yaitu *thresholding*, pemeriksaan tetangga, dan pemeriksaan konsistensi. Tahap pertama yaitu *thresholding*. Tahap ini dilakukan untuk menghilangkan sinyal *noise* yang nilainya lebih kecil dari batas (*threshold*) yang telah ditentukan. Untuk mendapatkan sinyal aslinya ditetapkan probabilitas daya *noise* dari keseluruhan daya sinyal sebesar 5%.

Tahap kedua yaitu pemeriksaan tetangga. Pada tahap ini dilakukan pemeriksaan terhadap impuls sampel ke- n dengan impuls sampel tetangga ($n-1$ dan $n+1$). Jika nilai impuls sampel ke- $n-1$ atau $n+1$ sama dengan nol atau tidak terdapat, maka sampel ke- n dapat dikatakan *noise* dan dapat dihilangkan.

Tahap ketiga yaitu pemeriksaan konsistensi. Pada tahap ini dilakukan pemeriksaan terhadap sampel ke- n seberapa konsisten kemunculan impuls pada sepuluh kali hasil pengukuran. Dengan batas minimum konsistensi yang diatur 70%, sampel yang kemunculannya kurang dari tujuh kali (atau konsistensi $<70\%$) maka sampel tersebut dapat dihilangkan. Setelah sampel dengan konsistensi minimal 70%, kemudian dihitung rata-rata puncak impuls tertinggi.

3.3.4.6 Power Delay Profile (PDP) dan Parameter Statistik Delay

Proses selanjutnya adalah menghitung nilai PDP dari sinyal respon impuls yang telah dilakukan filter. PDP merupakan nilai absolut kuadrat dari sinyal respon impuls kanal pada domain waktu ($H_t(\tau)$).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

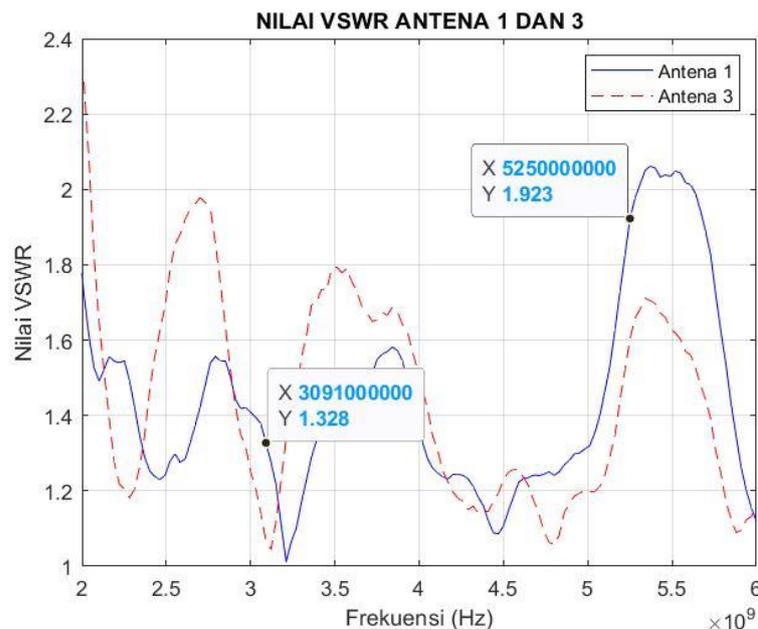
4.1 Hasil penelitian

Pada bagian ini ditampilkan mengenai hasil pengujian peralatan dan bahan, hasil pengukuran, hasil pengolahan data pengukuran. Hasil pengujian peralatan dan bahan meliputi pengukuran VSWR antenna, medan radiasi antenna, dan rugi-rugi kabel. Hasil pengukuran merupakan hasil yang didapatkan setelah melakukan pengukuran parameter S21. Hasil pengolahan data pengukuran meliputi respon frekuensi kanal *bandpass*, respon frekuensi kanal *low pass*, perkalian dengan Window *Hamming*, respon impuls kanal metode IFFT, dan PDP.

4.1.1 Hasil Pengujian Peralatan dan Bahan

4.1.1.1 Pengukuran VSWR Antena

Setelah semua VSWR antena diukur, didapatkan hasil bahwa antena 1 dan antena 3 memiliki VSWR terbaik dengan lebar bandwidth 2,07 GHz – 5,28 GHz. Dari irisan VSWR antara kedua antena kemudian dipilih frekuensi 3,16 – 5,01 GHz sebagai rentang frekuensi yang diamati. Gambar 4.1 merupakan hasil pengukuran VSWR untuk antena 1 dan 3.



Gambar 4.1 VSWR Antena 1 dan 3

4.1.1.2 Pengukuran Medan Radiasi Antena

Pada penelitian ini antena vivaldi yang digunakan memiliki dimensi sebesar 6×6 cm² pada frekuensi tengah 4,085 GHz dengan panjang gelombang 0,073 m.

Untuk perhitungan medan dekat reaktif antena seperti pada persamaan 2.14 sebagai berikut.

$$r < 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$$
$$r < 0,62 \sqrt{\frac{(0,06)^3}{0,073}}$$
$$r < 3,37 \text{ cm}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan jarak medan reaktif antenna vivaldi yang digunakan yaitu kurang dari 3,37 cm. Jarak medan dekat radiasi (*fresnel zone*) didapatkan dari perhitungan seperti pada persamaan 2.15 sebagai berikut.

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

$$0,0337 \text{ m} \leq R \leq 2 \frac{(0,06)^2}{0,073}$$

$$0,0337 \text{ m} \leq R \leq 0,0986 \text{ m}$$

$$3,37 \text{ cm} \leq R \leq 9,86 \text{ cm}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan jarak medan dekat (*Fresnel zone*) antenna vivaldi yang digunakan yaitu antara 3,37 cm hingga 9,86 cm. Jarak medan jauh radiasi (*Fraunhofer zone*) didapatkan dari perhitungan seperti pada persamaan 2.16 sebagai berikut.

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

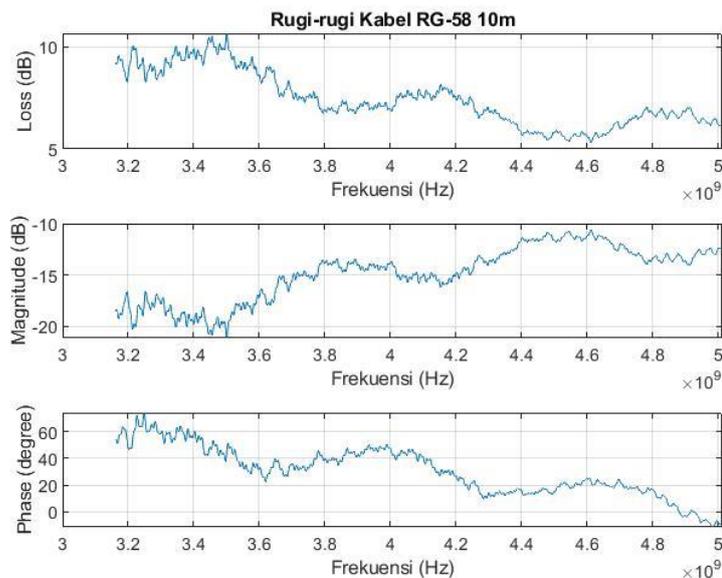
$$R > \frac{2(0,06)^2}{0,073}$$

$$R > 0,0986 \text{ m}$$

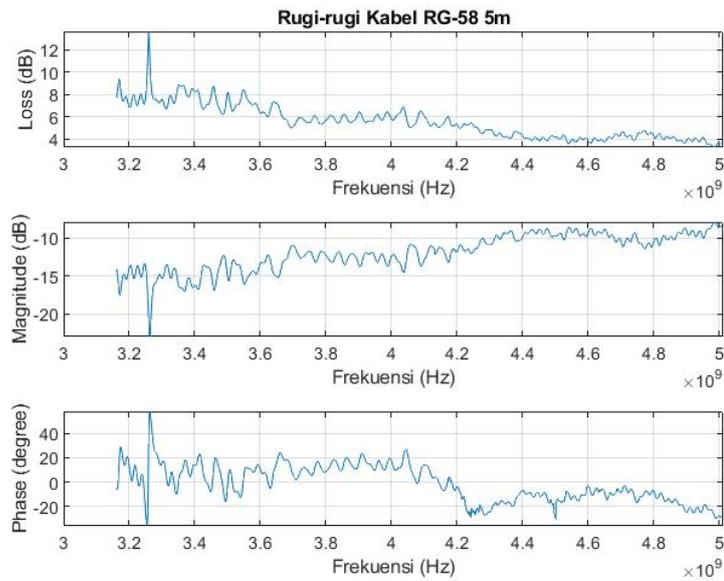
Dari perhitungan di atas didapatkan jarak medan jauh (*Fraunhofer zone*) antenna vivaldi yang digunakan pada jarak lebih dari 9,86 cm.

4.1.1.3 Pengukuran Rugi-rugi Kabel

Setelah rugi-rugi dari setiap kabel diukur, didapatkan hasil bahwa rata-rata dari rugi-rugi kabel pada kabel RG-58 10m adalah 7,42 dB. Adapun untuk rata-rata dari rugi-rugi kabel pada kabel RG-58 5m didapatkan sebesar 5,56 dB. Hasil rugi-rugi kabel sama dengan hasil S_{11} dibagi dengan -2. Gambar 4.2 dan gambar 4.3 berturut-turut merupakan hasil pengukuran rugi-rugi kabel untuk kabel RG-58 10m dan 5m.



Gambar 4.2 Rugi-rugi Kabel RG-58 10m

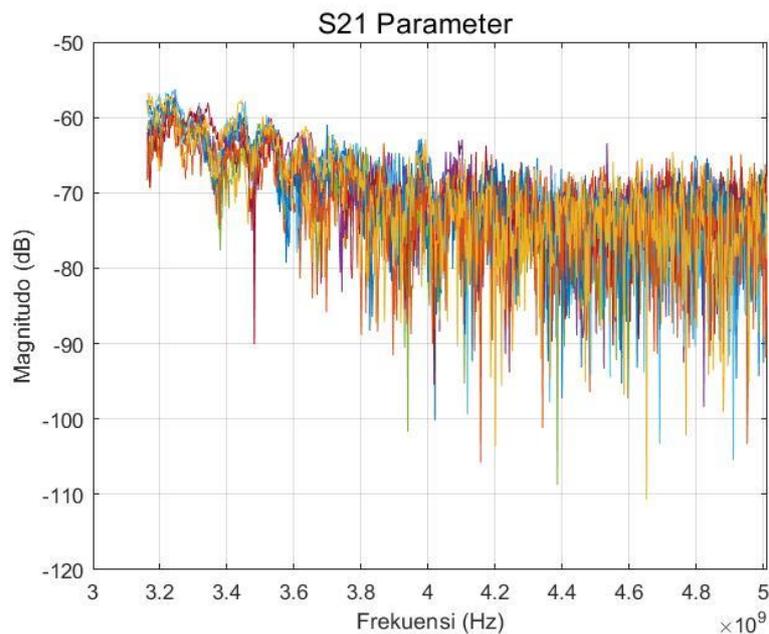


Gambar 4.3 Rugi-rugi Kabel RG-58 5m

4.1.2 Hasil Pengolahan Data

4.1.2.1 Respon Frekuensi Kanal Bandpass $H(f)$

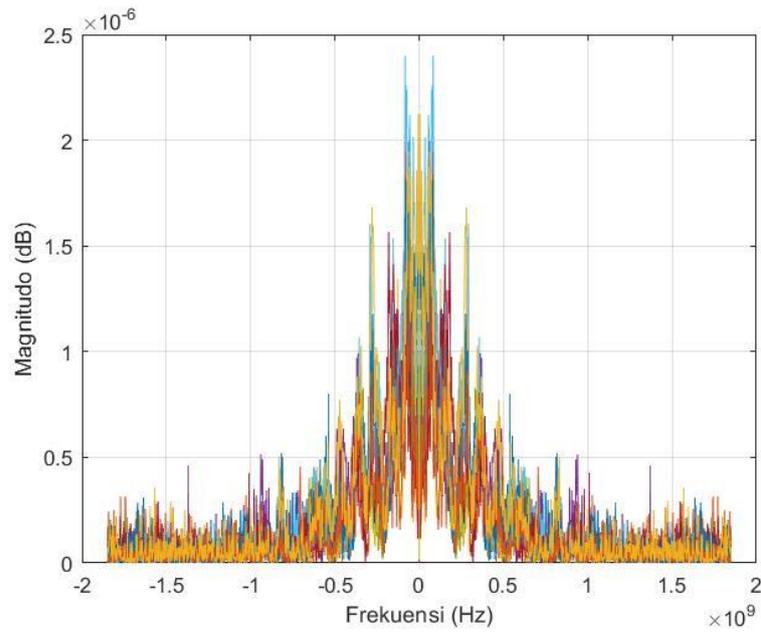
Gambar 4.4 merupakan salah satu hasil pengukuran dari pengambilan 10 kali data pada komunikasi LOS dengan tubuh.



Gambar 4.4 Hasil Pengukuran Magnitudo LOS dengan tubuh

4.1.2.2 Respon Frekuensi Kanal Low Pass $H_{lp}(f)$

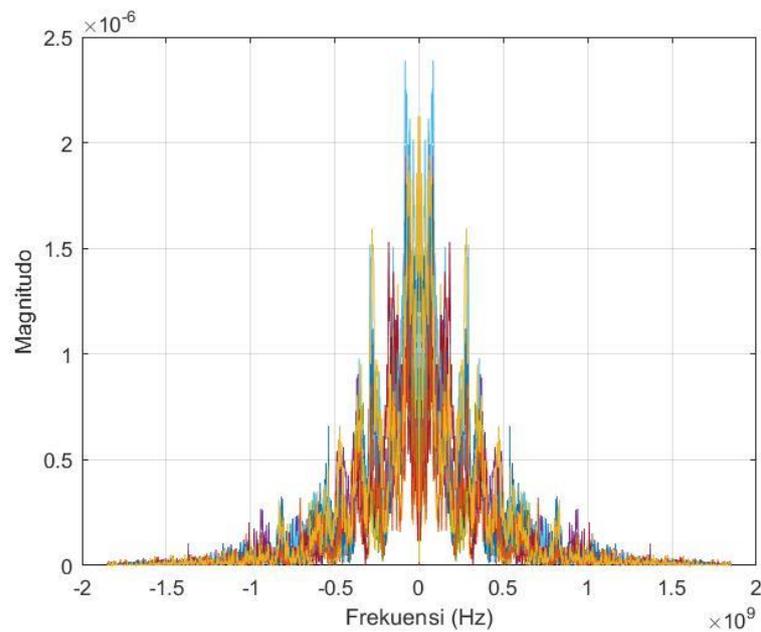
Berdasarkan persamaan 2.1 dengan mengalikan magnitudo dan fase sehingga didapatkan nilai $H_{lp}(f)$ dalam bentuk kompleks. Kemudian dilakukan plot nilai absolut $H_{lp}(f)$ sehingga terlihat seperti pada gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Respon Frekuensi Low Pass

4.1.2.3 Perkalian dengan Metode Window Hamming

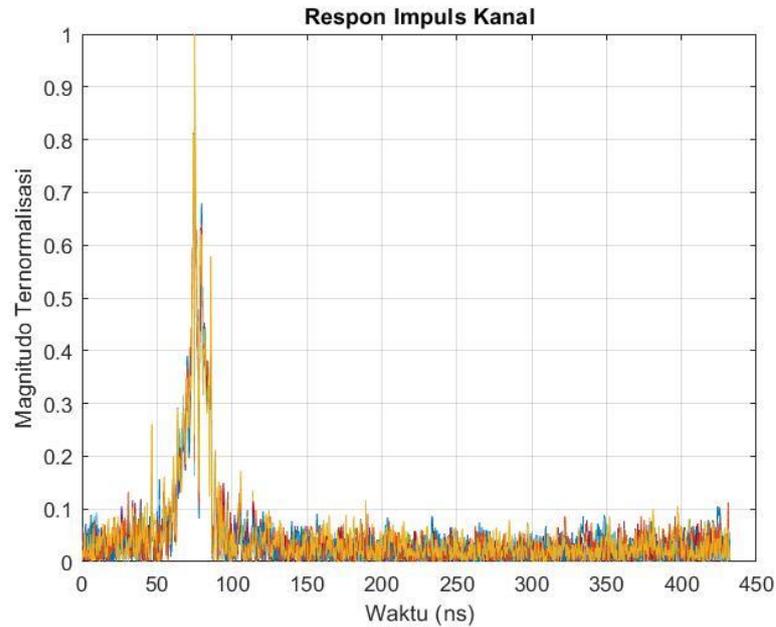
Setelah pada respon frekuensi dilakukan pergeseran *low pass*, selanjutnya dilakukan proses *windowing* dengan mengalikan sinyal *low pass* $H_{lp}(f)$ dengan *Window Hamming* $W(f)$. Kemudian dilakukan plot hasil $H_{lp}(f)$ setelah *windowing* sehingga terlihat seperti pada gambar 4.6 berikut.



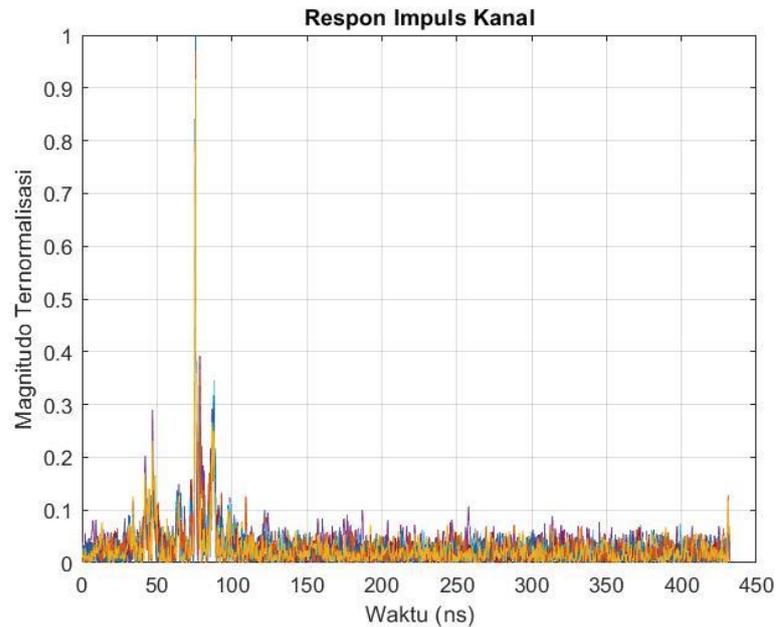
Gambar 4.6 Hasil $H_{lp}(f)$ setelah Windowing

4.1.2.4 Respon Impuls Kanal Metode IFFT

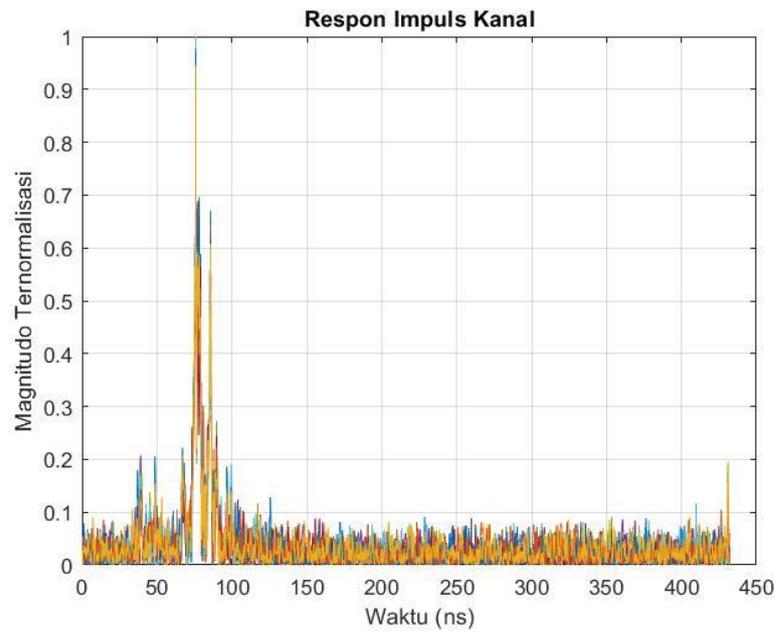
Setelah $H_{ip}(f)$ dilakukan proses *windowing*, selanjutnya dilakukan metode IFFT untuk mengubah sinyal dalam domain frekuensi ke dalam domain waktu. Gambar 4.7 sampai gambar 4.15 merupakan hasil grafik respon impuls absolut pada tiga arah rotasi tubuh tiap skenario.



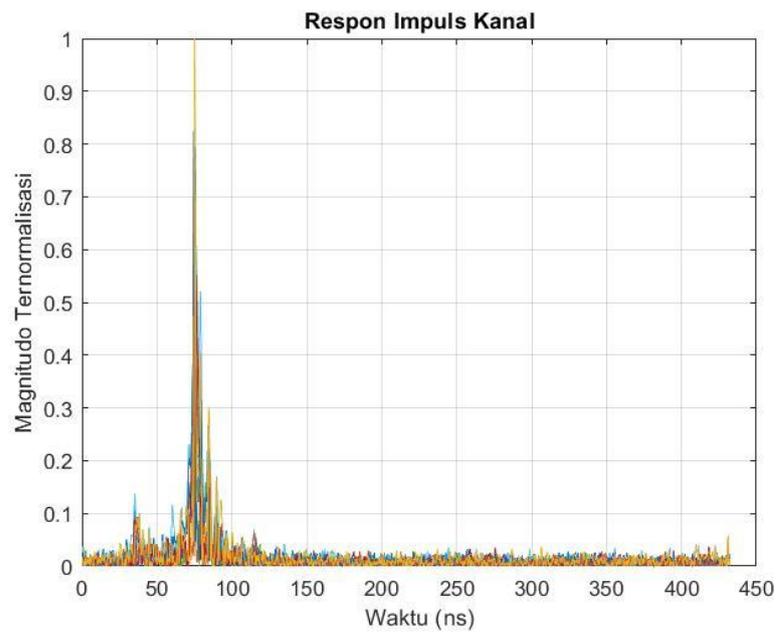
Gambar 4.7 Respon Impuls Kanal LOS 0° Kondisi tanpa Tubuh



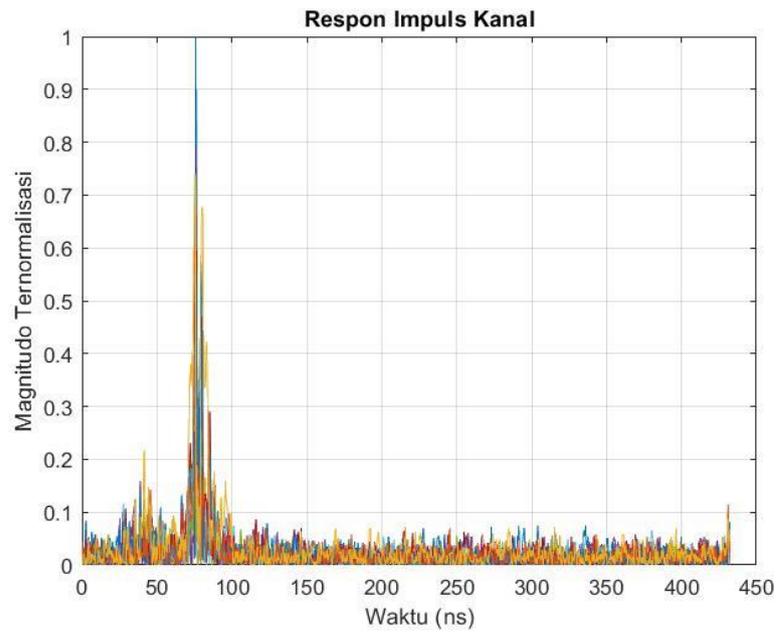
Gambar 4.8 Respon Impuls Kanal QLOS 90° Kondisi tanpa Tubuh



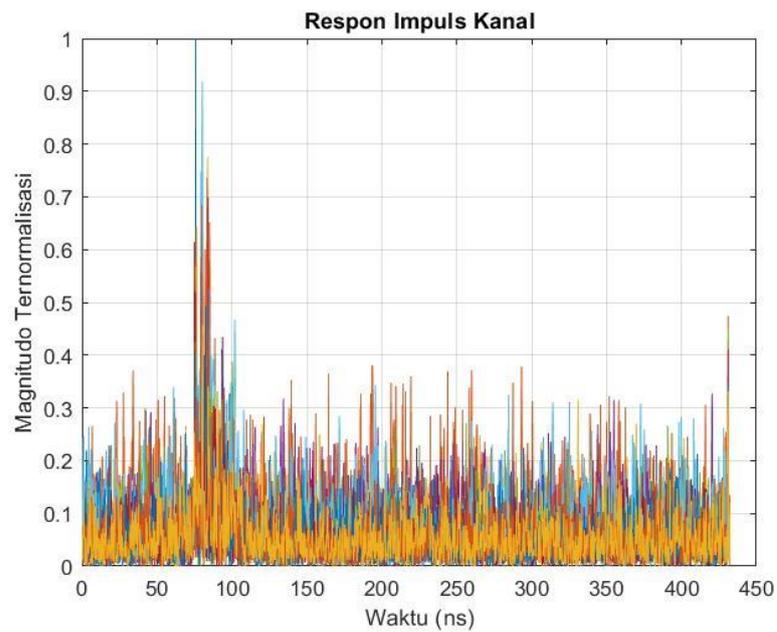
Gambar 4.9 Respon Impuls Kanal NLOS 180° Kondisi tanpa Tubuh



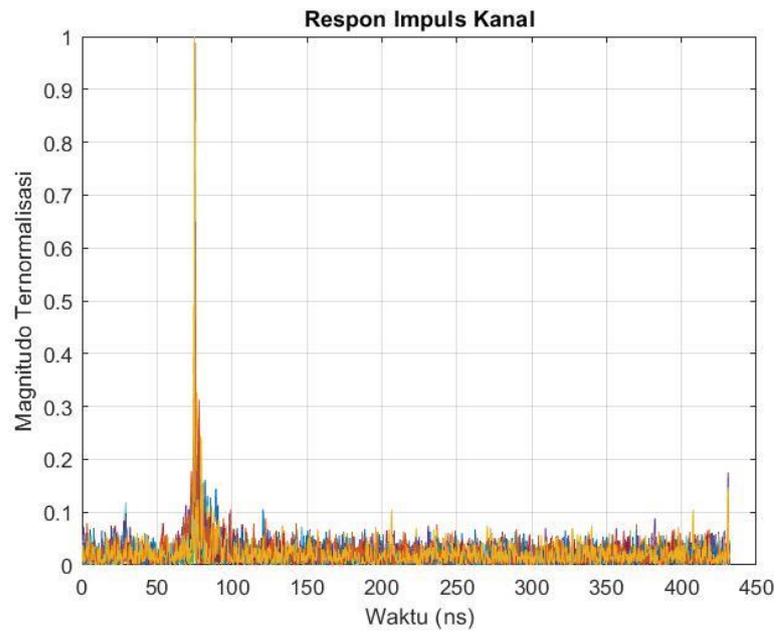
Gambar 4.10 Respon Impuls Kanal LOS 0° kondisi dengan tubuh tanpa penghalang



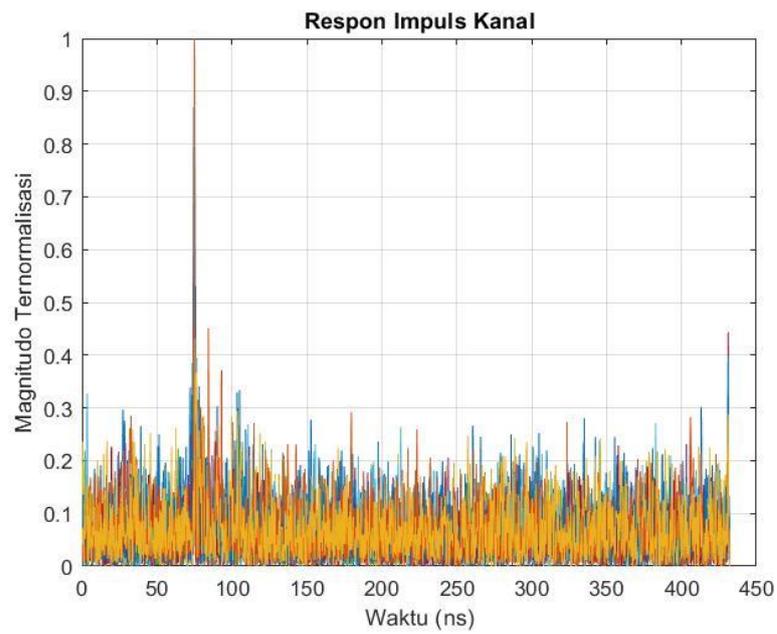
Gambar 4.11 Respon Impuls Kanal QLOS 90° Kondisi dengan Tubuh tanpa Penghalang



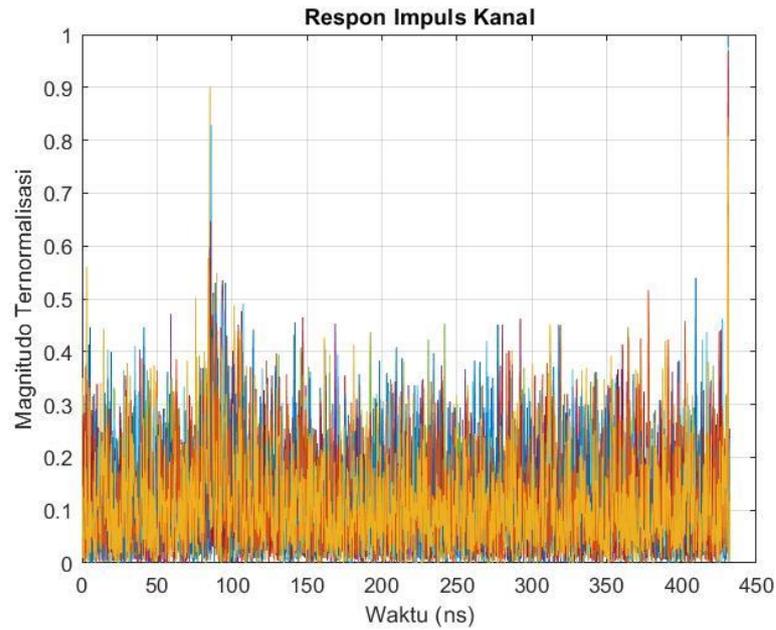
Gambar 4.12 Respon Impuls Kanal NLOS 180° Kondisi dengan Tubuh tanpa Penghalang



Gambar 4.13 Respon Impuls Kanal LOS 0° Kondisi dengan Tubuh dan Penghalang



Gambar 4.14 Respon Impuls Kanal QLOS 90° Kondisi dengan Tubuh dan Penghalang



Gambar 4.15 Respon Impuls Kanal NLOS 180° Kondisi dengan Tubuh dan Penghalang

Berdasarkan pada gambar 4.10 yang merupakan plot respon impuls kanal dari 10 kali pengukuran kondisi dengan tubuh tanpa penghalang dengan tubuh mengarah langsung 0° dengan antenna (LOS) dapat dilihat bahwa dari 10 kali pengukuran diperoleh nilai respon impuls kanal $H_t(\tau)$ yang bervariasi. Dari gambar diketahui nilai resolusi *delay* ($\Delta\tau$) sebesar 0,27 ns dan delay maksimum (τ_{max}) = 432,5 ns. Adapun nilai resolusi jarak dapat dihitung dengan perhitungan seperti berikut.

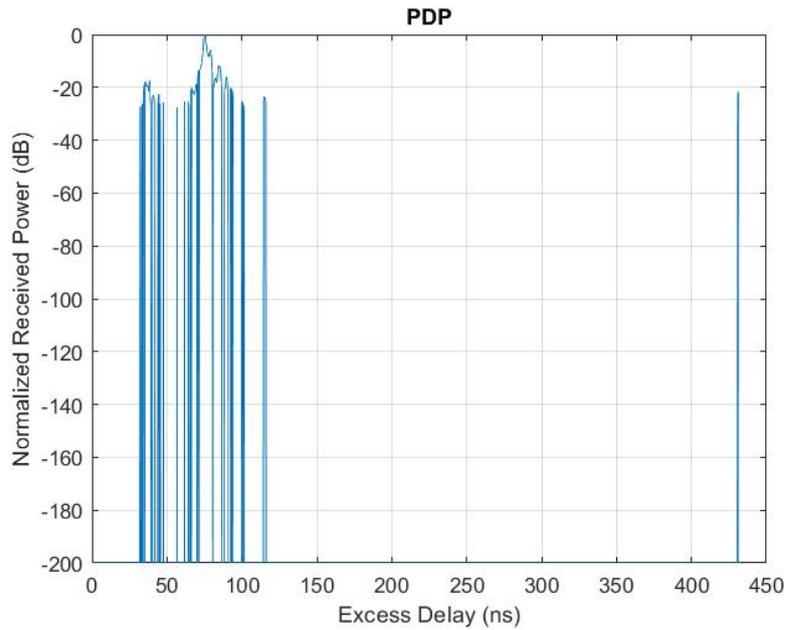
$$\Delta\tau = \frac{1}{B_{lp}} = \frac{1}{3,7 \times 10^9} = 0,27 \text{ ns}$$

$$\tau_{max} = 1601 \times 0,27 \text{ ns} = 432,27 \text{ ns}$$

$$\Delta r = \frac{c}{B_{lp}} = \frac{3 \times 10^8}{3,7 \times 10^9} = 0,08 \text{ m}$$

4.1.2.5 Power Delay Profile (PDP) dan Parameter Statistik Delay

PDP didapatkan dengan menggunakan persamaan 2.2 seperti yang ditampilkan pada gambar 4.16 berikut.



Gambar 4.16 Grafik *Power Delay Profile*

Dari nilai PDP yang telah didapatkan dapat ditemukan parameter statistik delay seperti *maximum excess delay*, *mean excess delay*, dan *RMS Delay Spread*. Nilai *maximum excess delay* dapat diperoleh menggunakan persamaan 2.6.

$$\text{Maximum Excess Delay} = 432,53 \text{ ns}$$

Nilai *mean excess delay* dapat diperoleh menggunakan persamaan 2.3, sehingga didapatkan:

$$\text{Mean Excess Delay} = 76,19 \text{ ns}$$

Untuk nilai *RMS delay spread* dapat diperoleh menggunakan persamaan 2.4 sehingga diperoleh:

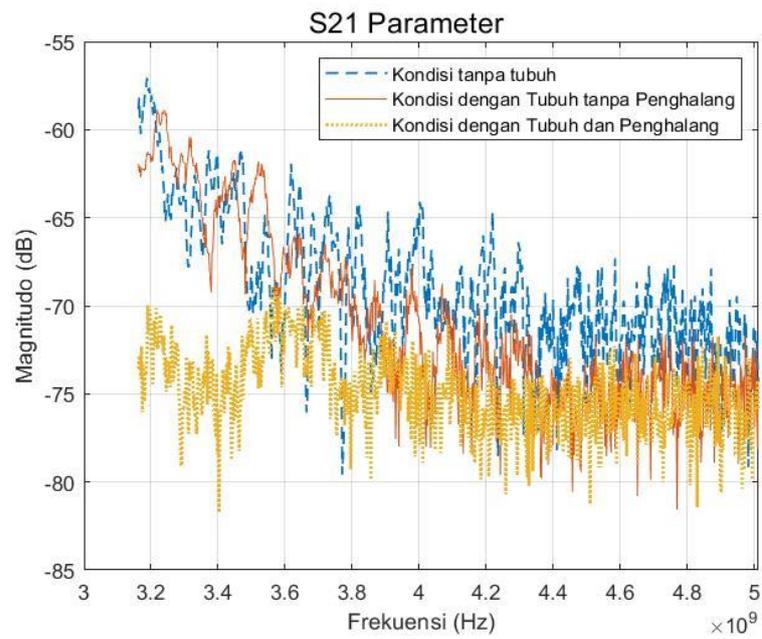
$$\text{RMS Delay Spread} = 13,93 \text{ ns}$$

4.2 Pembahasan

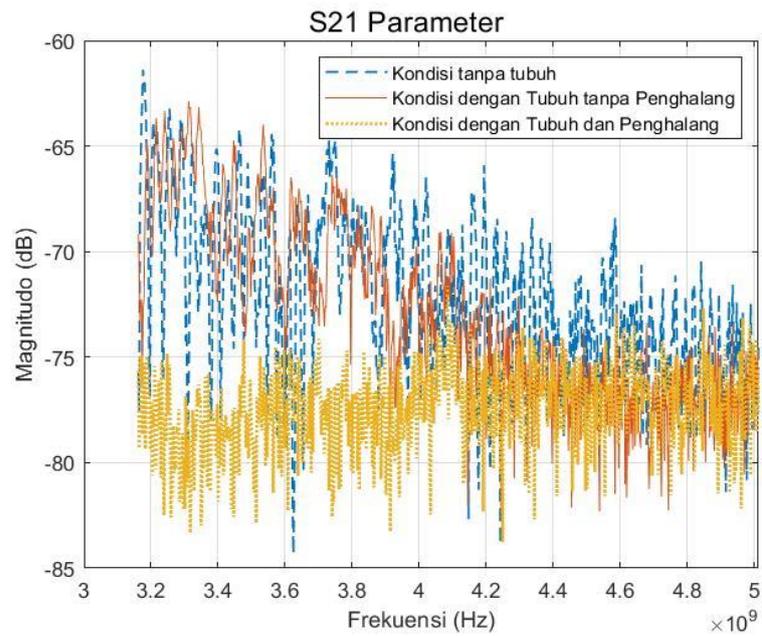
Pada bagian ini dibahas mengenai analisis hasil pengukuran berupa parameter S21. Analisis hasil pengolahan data pengukuran model kanal tubuh berupa model *power delay profile* (PDP) yang didalamnya terdapat *maximum excess delay*, *mean excess delay*, dan *rms delay spread* turut dibahas pada bagian ini.

4.2.1 Pengukuran Parameter S21

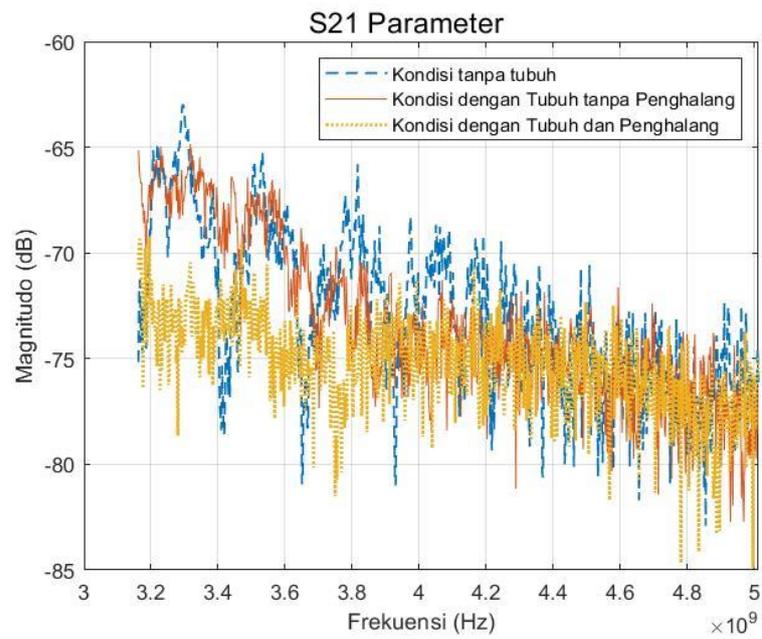
Pengukuran parameter S21 dilakukan untuk melihat hubungan input-output antar port dalam sistem elektronik, dimana pada parameter S21 ini melihat hubungan antara besar daya yang diterima port 2 dengan daya pancar oleh port 1. Pengukuran parameter S21 meliputi magnitudo dan fase sehingga kita dapat mengamati bentuk sinyal yang terjadi selama proses dikirim hingga sampai di penerima. Parameter S21 ini yang kemudian diolah sehingga mendapatkan model PDP kanal UWB WBAN.



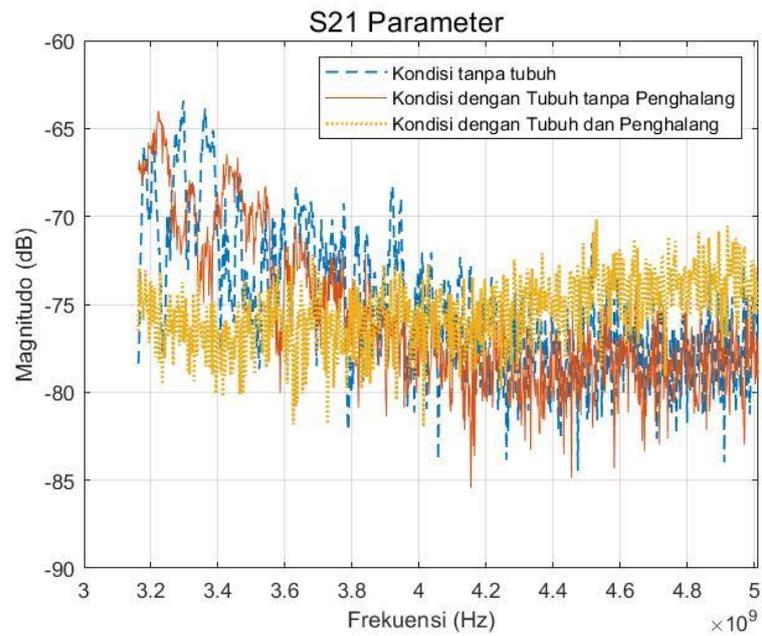
Gambar 4.17 Perbandingan Magnitudo S21 Parameter LOS 0° tiap Kondisi



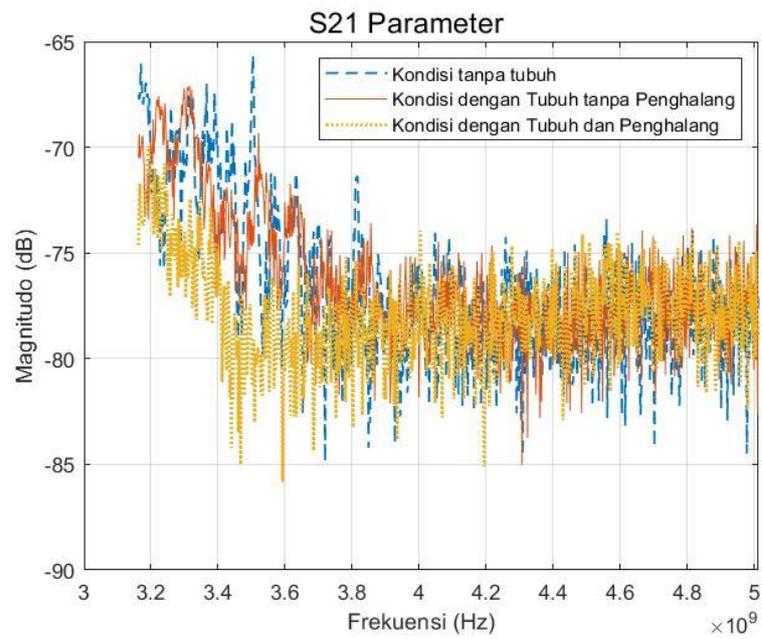
Gambar 4.18 Perbandingan Magnitudo S21 Parameter LOS 45° tiap Kondisi



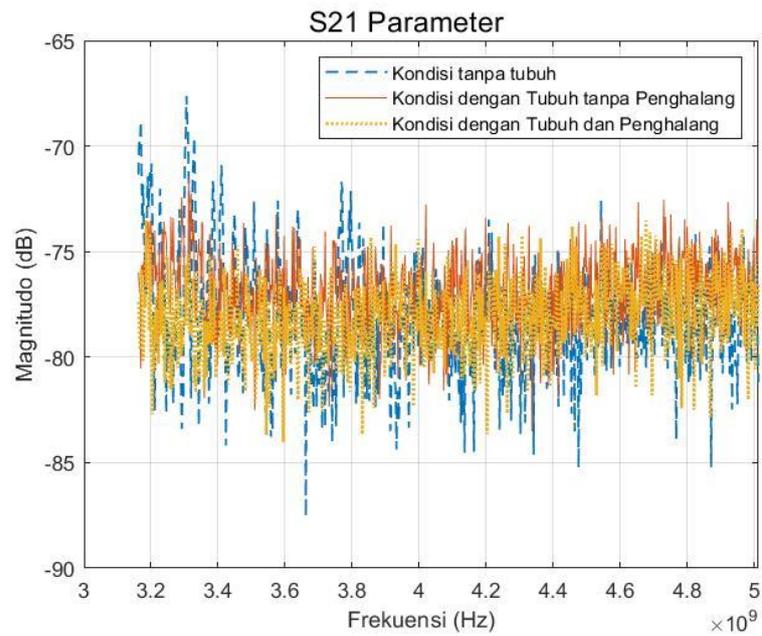
Gambar 4.19 Perbandingan Magnitudo S21 Parameter LOS 315° tiap Kondisi



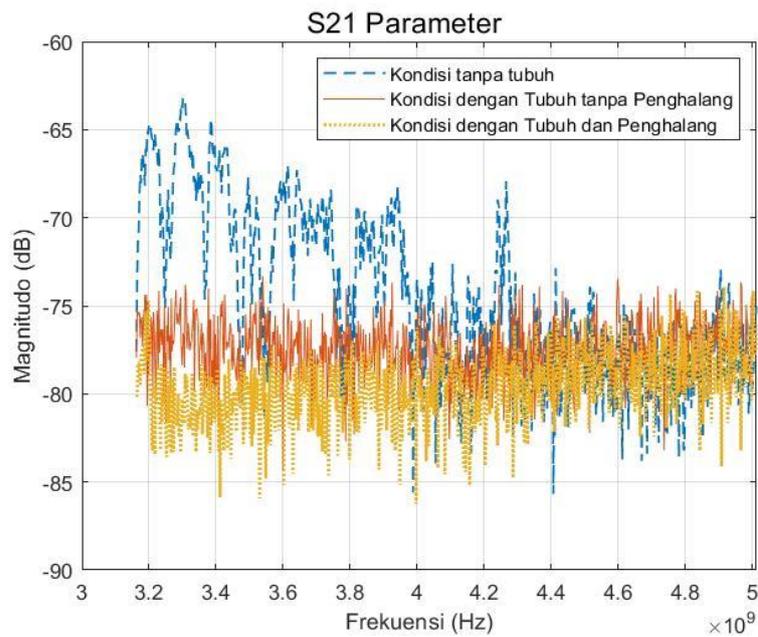
Gambar 4.20 Perbandingan Magnitudo S21 Parameter QLOS 90° tiap Kondisi



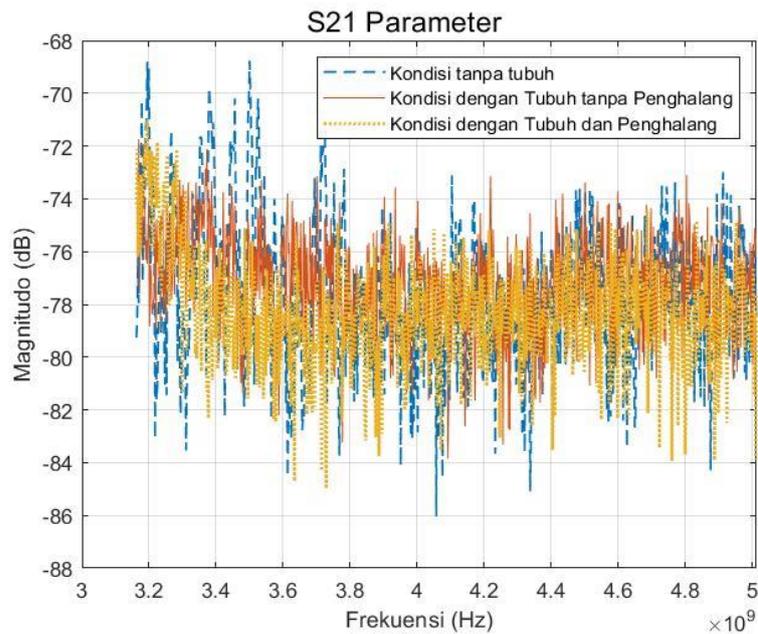
Gambar 4.21 Perbandingan Magnitudo S21 Parameter QLOS 270° tiap Kondisi



Gambar 4.22 Perbandingan Magnitudo S21 Parameter NLOS 135° tiap Kondisi



Gambar 4.23 Perbandingan Magnitudo S21 Parameter NLOS 180° tiap Kondisi



Gambar 4.24 Perbandingan Magnitudo S21 Parameter NLOS 225° tiap Kondisi

Pada penelitian ini diukur magnitudo dan fase parameter S21 dengan tiga skenario yang berbeda dengan jarak ukur tetap yang tiap kondisi dilakukan pengukuran sebanyak sepuluh kali. Gambar 4.17 menunjukkan besar magnitudo S21 LOS dengan arah rotasi badan 0° pada tiap kondisi, ditunjukkan bahwa pada saat antenna dipasang pada kondisi tanpa tubuh menerima daya magnitudo lebih besar dibandingkan dengan pada saat antenna dipasang pada kondisi dengan tubuh tanpa penghalang dan kondisi dengan tubuh dan penghalang. Perbedaan daya magnitudo kedua kondisi antara kondisi tanpa tubuh dengan kondisi dengan tubuh tanpa penghalang tidak terlalu signifikan dikarenakan jalur propagasi antenna tidak terhalang oleh tubuh. Pada kondisi dengan tubuh dan penghalang daya magnitudo yang didapatkan paling rendah dikarenakan jalur

propagasi terhalang oleh benda-benda yang ada di atas meja, seperti yang terlihat pada gambar 3.10. Selain itu, pada kondisi tanpa tubuh dan kondisi dengan tubuh tanpa penghalang terdapat pelemahan daya magnitudo seiring bertambahnya frekuensi, sedangkan untuk kondisi dengan tubuh dan penghalang tidak terlalu signifikan.

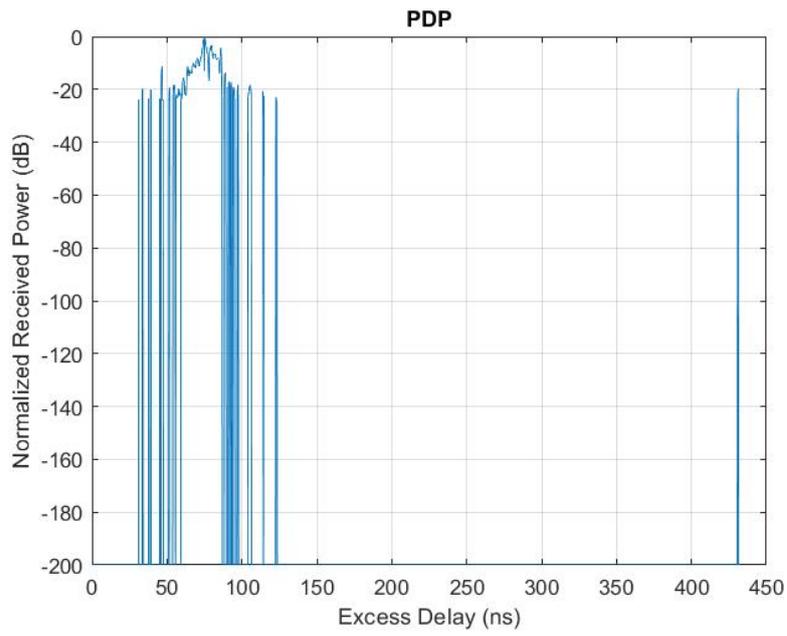
Pada gambar 4.18 dan gambar 4.19 merupakan skenario pengukuran LOS dengan arah rotasi badan secara berturut-turut 45° dan 315° atau dapat dikatakan arah tubuh berotasi 45° ke kanan dan ke kiri dari pengukuran sebelumnya. Tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari grafik yang didapatkan dibandingkan dengan pengukuran sebelumnya dikarenakan masih dalam kondisi LOS. Namun, terdapat penurunan daya magnitudo yang diterima dikarenakan perbedaan arah rotasi badan. Selain itu, pada kondisi tanpa tubuh terdapat fluktuasi yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi lainnya. Terdapat perbedaan daya magnitudo antara arah rotasi tubuh 45° dan 315° dikarenakan kondisi lingkungan di sekitar pengukuran pada sisi kanan dan kiri yang berbeda seperti yang terlihat pada gambar 3.3.

Kondisi selanjutnya yaitu kondisi QLOS, pada kondisi ini dapat dilihat pada gambar 4.20 dan gambar 4.21. Gambar 4.20 merupakan skenario pengukuran QLOS dengan arah rotasi tubuh 90° dan gambar 4.21 merupakan skenario pengukuran QLOS dengan arah rotasi tubuh 270° atau dapat dikatakan arah tubuh berotasi 90° ke kanan dan kiri dari kondisi semula (0°). Kondisi tanpa tubuh memiliki daya magnitudo yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi lainnya. Terjadi penurunan daya magnitudo pada kondisi tanpa tubuh dan kondisi dengan tubuh tanpa penghalang seiring bertambahnya frekuensi. Sedangkan untuk kondisi dengan tubuh dan penghalang daya magnitudo tidak terlalu signifikan. Terdapat perbedaan daya magnitudo antara arah rotasi tubuh 90° dan 270° . Hal tersebut dikarenakan kondisi lingkungan di sekitar pengukuran pada sisi kanan dan kiri yang berbeda.

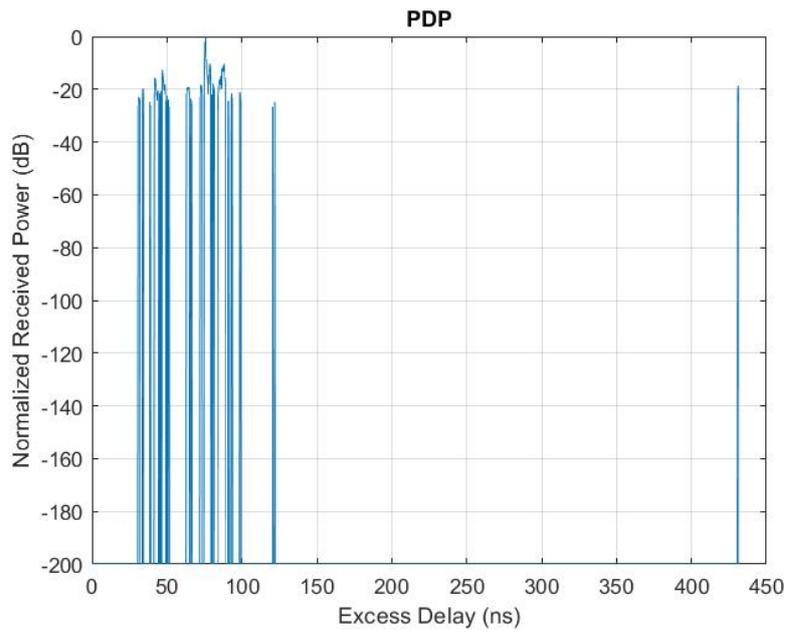
Perbandingan magnitudo NLOS pada tiap kondisi untuk arah tubuh 135° , 180° , dan 225° berturut-turut dapat dilihat pada gambar 4.22 sampai gambar 4.24. Pada gambar 4.22 dan 4.24 dimana arah rotasi tubuh secara berturut-turut yaitu 135° dan 225° atau dapat dikatakan tubuh berotasi sebesar 135° ke arah utara dan selatan dari arah semula (0°), ditunjukkan bahwa daya magnitudo antar kondisi tidak terdapat perbedaan yang signifikan, namun daya magnitudo pada kondisi tanpa tubuh lebih besar dibandingkan dengan kondisi lainnya. Hal tersebut dikarenakan lintasan propagasi dihalangi oleh tubuh dan arah radiasi antenna Tx tidak mengarah ke arah antenna Rx. Pada gambar 4.23 dimana arah rotasi tubuh 180° dari semula (0°) menunjukkan bahwa daya magnitudo yang terdapat pada kondisi tanpa tubuh lebih besar dibandingkan kedua kondisi lainnya diikuti dengan kondisi dengan tubuh tanpa penghalang kemudian kondisi dengan tubuh dan penghalang. Selain itu fluktuasi yang terjadi pada kondisi tanpa tubuh cukup besar dibandingkan dengan kondisi lainnya. Dengan adanya tubuh mengakibatkan *beam* antenna Tx akan tertutupi sepenuhnya oleh tubuh sehingga menutupi jalur propagasi langsung antenna sehingga menghasilkan nilai parameter S21 yang semakin kecil.

4.2.2 Power Delay Profile (PDP)

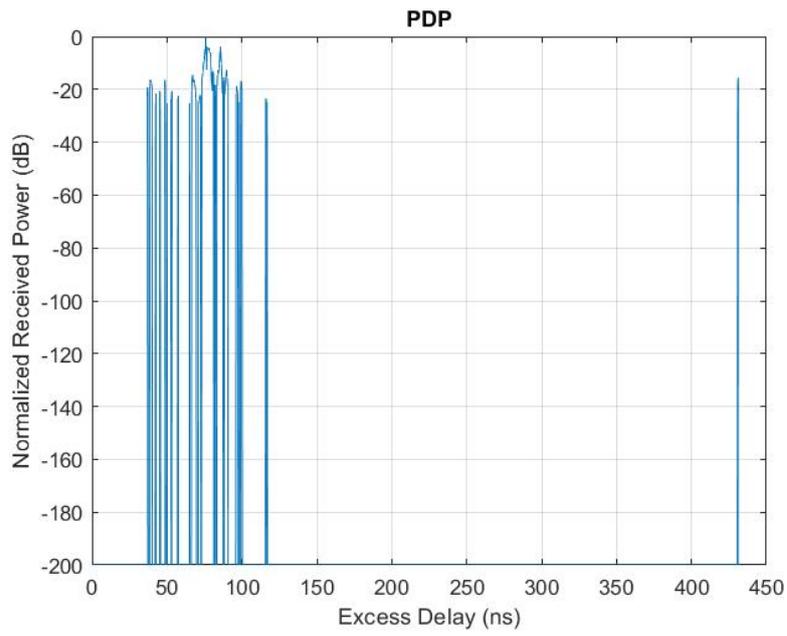
Power delay profile (PDP) dimodelkan untuk dapat mengetahui daya yang diterima per satuan waktu yang mengalami kelebihan *delay* dari rata-rata respon impuls sejumlah sampel spasial. Setelah didapatkan PDP, kemudian dapat diketahui parameter statistik *delay* seperti *maximum excess delay*, *mean excess delay*, dan *root mean square (RMS) delay spread*. Grafik hasil perhitungan PDP setiap kondisi dapat dilihat pada gambar 4.25 sampai 4.36.



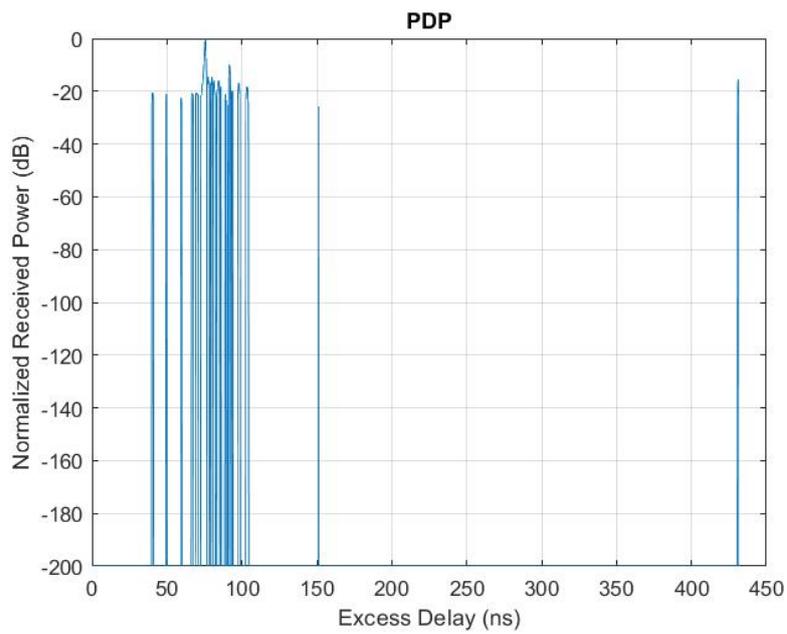
Gambar 4.25 PDP LOS 0° Kondisi tanpa Tubuh



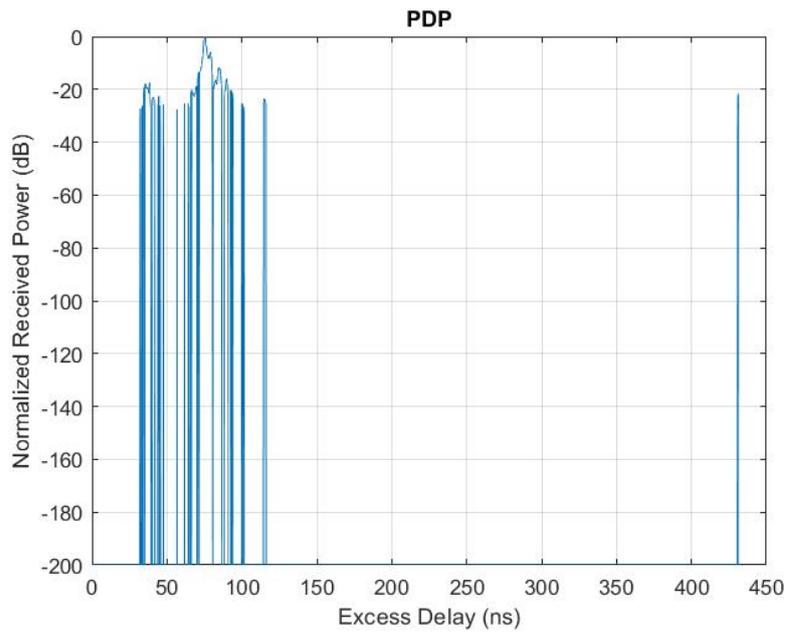
Gambar 4.26 PDP QLOS 90° Kondisi tanpa Tubuh



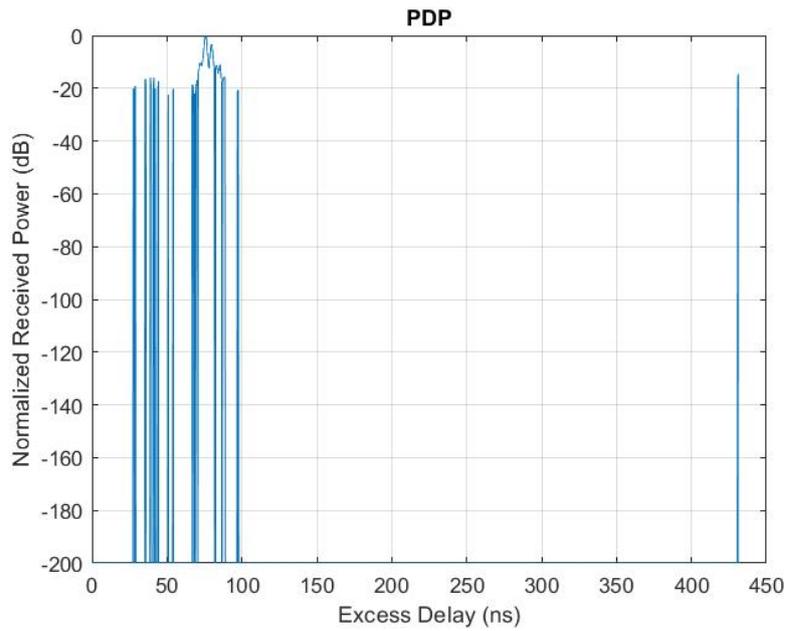
Gambar 4.27 PDP NLOS 180° Kondisi tanpa Tubuh



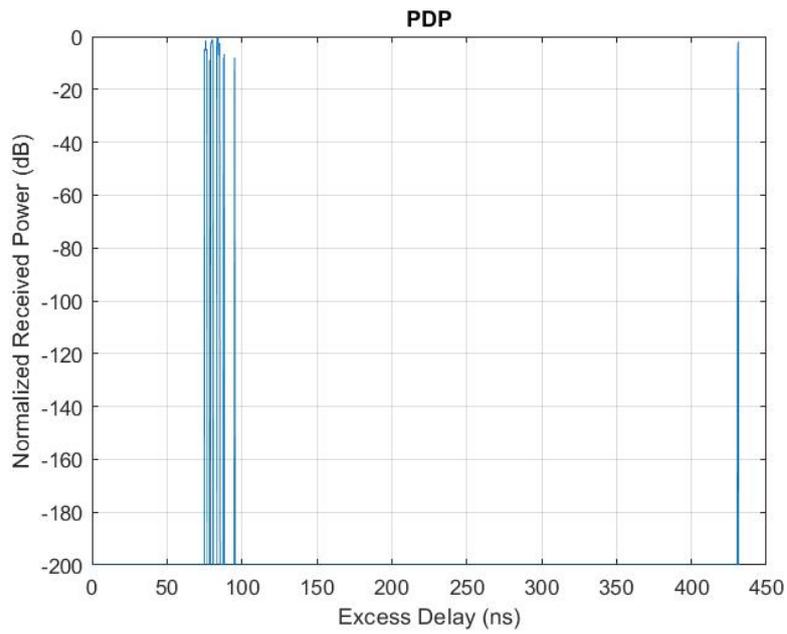
Gambar 4.28 PDP QLOS 270° Kondisi tanpa Tubuh



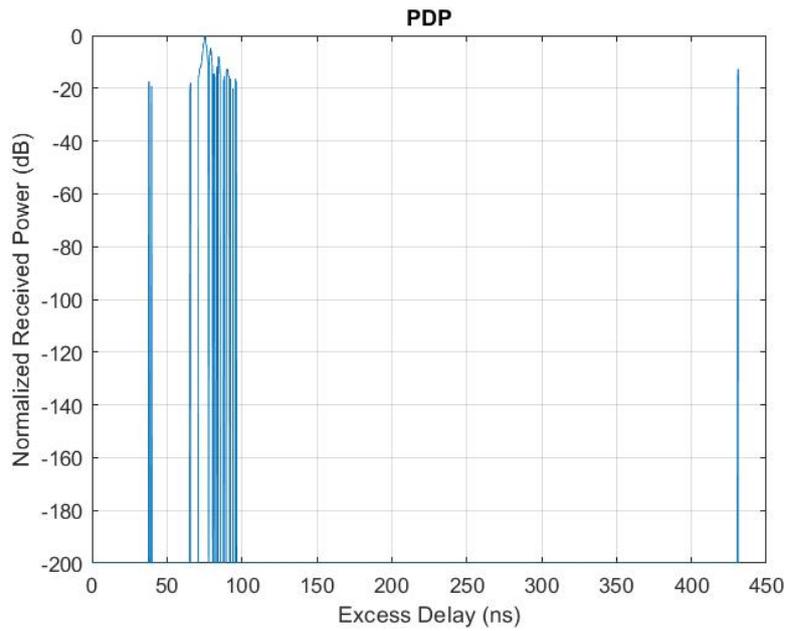
Gambar 4.29 PDP LOS 0° Kondisi dengan Tubuh tanpa Penghalang



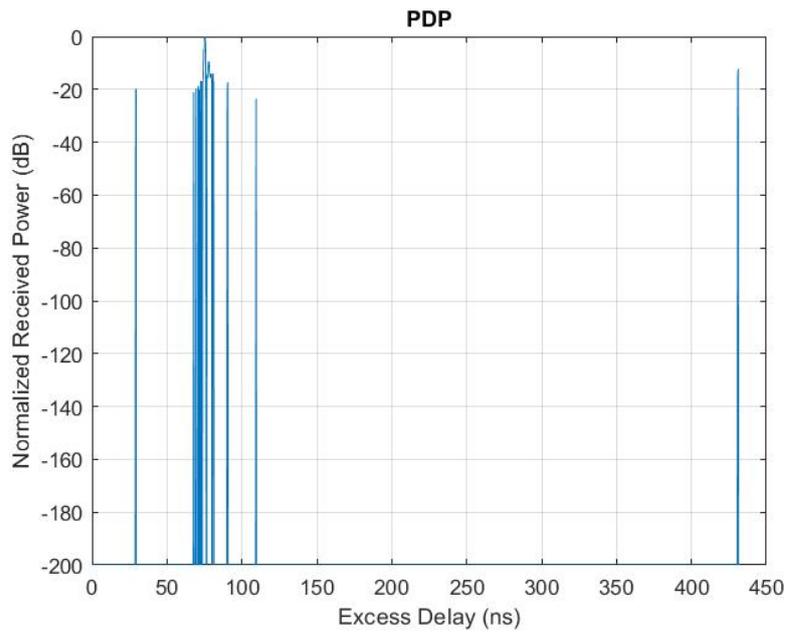
Gambar 4.30 PDP QLOS 90° Kondisi dengan Tubuh tanpa Penghalang



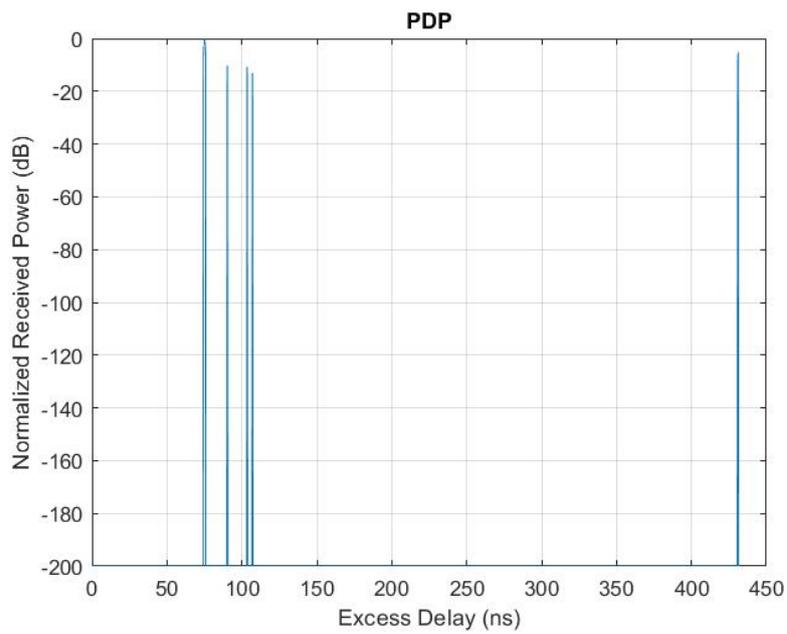
Gambar 4.31 PDP NLOS 180° Kondisi dengan Tubuh tanpa Penghalang



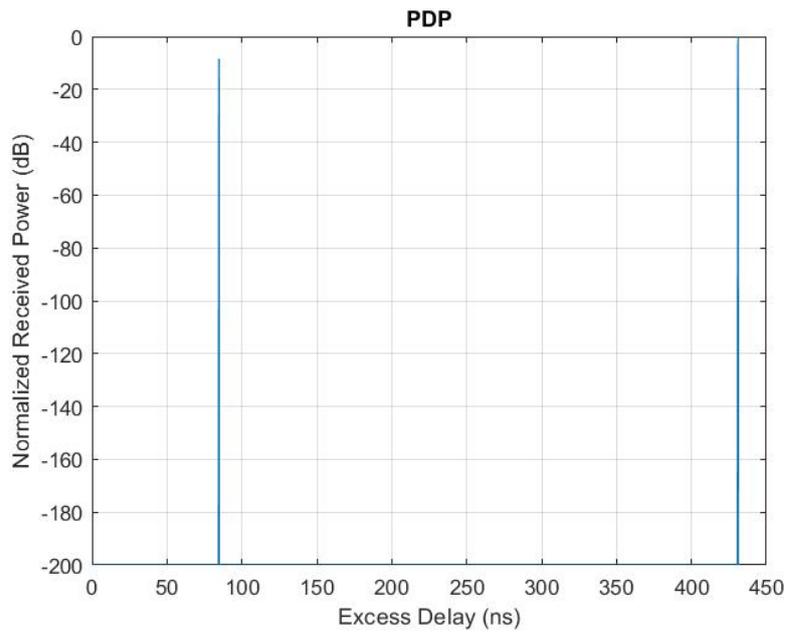
Gambar 4.32 PDP QLOS 270° Kondisi dengan Tubuh tanpa Penghalang



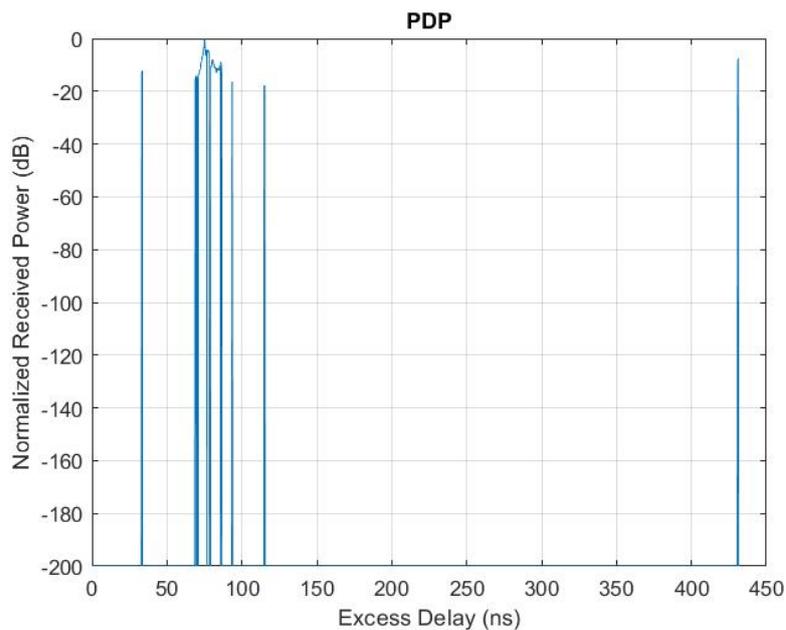
Gambar 4.33 PDP LOS 0° Kondisi dengan Tubuh dan Penghalang



Gambar 4.34 PDP QLOS 90° Kondisi dengan Tubuh dan Penghalang



Gambar 4.35 PDP NLOS 180° Kondisi dengan Tubuh dan Penghalang



Gambar 4.36 PDP QLOS 270° Kondisi dengan Tubuh dan Penghalang

Berdasarkan hasil yang didapat dari beberapa kondisi gambar di atas, didapatkan bahwa bentuk impuls pada tiap kondisi terjadi perbedaan pada skenario LOS, QLOS, dan NLOS. Perbedaan jumlah impuls yang terjadi pada skenario LOS antara kondisi tanpa tubuh (gambar 4.25) dengan kondisi dengan tubuh tanpa penghalang (gambar 4.29) tidak terlalu signifikan namun jumlah impuls yang didapat pada kondisi dengan tubuh tanpa penghalang berkurang karena faktor adanya tubuh. Adapun untuk skenario LOS pada kondisi dengan tubuh dan penghalang (gambar 4.33) memiliki jumlah impuls yang paling sedikit. Hal tersebut dikarenakan jalur propagasi terhalang oleh penghalang sehingga banyak sinyal yang teredam. Banyaknya impuls yang terjadi dikarenakan oleh banyaknya jalur yang dilewati oleh sinyal

seperti pantulan oleh objek-objek di sekitar tempat pengukuran dan pantulan oleh dinding ruangan pengukuran seperti yang terlihat pada gambar 3.3.

Untuk skenario QLOS pada kondisi tanpa tubuh didapatkan bahwa jumlah impuls yang didapatkan pada arah rotasi 90° (gambar 4.26) lebih sedikit dibandingkan dengan yang didapatkan pada arah rotasi 270° (gambar 4.28). Hal tersebut dikarenakan objek yang ada di sekitar antenna pada arah rotasi 90° yang menghadap ke utara atau sisi kiri posisi antenna dan arah rotasi 270° yang menghadap ke selatan atau sisi kanan antenna berbeda. Seperti pada gambar 3.3, pada rotasi 270° terdapat banyak objek yang menyebabkan terjadinya pantulan seperti meja, monitor, televisi, beberapa kursi, dinding, dan lain-lain. Sedangkan arah rotasi 90° terdapat meja setinggi 1 m di tengah ruangan, beberapa kursi, serta peralatan laboratorium. Untuk skenario QLOS pada kondisi dengan tubuh tanpa penghalang dengan arah rotasi 90° (gambar 4.30) dan arah rotasi 270° (gambar 4.32) sama seperti dengan kondisi tanpa tubuh. Namun, jumlah impuls yang didapat berkurang dikarenakan pengaruh adanya tubuh yang menghalangi sebagian jalur propagasi. Untuk skenario QLOS pada kondisi dengan tubuh dan penghalang terjadi perbedaan dimana arah rotasi 90° menghadap ke selatan dan arah rotasi 270° menghadap ke utara seperti pada gambar 3.3. Namun berdasarkan hasil yang didapat arah rotasi 90° (gambar 4.34) lebih sedikit impuls yang didapat dibandingkan dengan arah rotasi 270° (gambar 4.36). Hal tersebut dikarenakan objek yang ada disekitar tempat pengukuran di arah rotasi 270° lebih banyak dan dekat dengan posisi antenna seperti meja, beberapa kursi, peralatan laboratorium, lemari laboratorium, dan lain-lain. Hasil yang didapat pada kondisi dengan tubuh dan penghalang memiliki jumlah impuls yang lebih sedikit dibandingkan dengan kondisi lainnya. Hal tersebut dikarenakan adanya tubuh yang menghalangi sebagian jalur propagasi dan adanya penghalang berupa meja dan peralatan laboratorium yang ada di atas meja.

Untuk skenario NLOS pada kondisi tanpa tubuh (gambar 4.27), kondisi dengan tubuh tanpa penghalang (gambar 4.31), dan kondisi dengan tubuh dan penghalang (gambar 4.35) memiliki perbedaan jumlah impuls. Jumlah impuls paling banyak yaitu pada kondisi tanpa tubuh dikarenakan tidak adanya tubuh yang menutupi jalur propagasi langsung antenna. Untuk jumlah impuls yang paling sedikit yaitu pada kondisi dengan tubuh dan penghalang karena jalur propagasi langsung terhalangi oleh tubuh dan penghalang. Skenario NLOS memiliki jumlah impuls paling sedikit dibandingkan dengan skenario LOS dan QLOS. Setiap impuls memiliki nilai *excess delay* yang berbeda, hal tersebut diperkirakan karena melalui lintasan yang berbeda seperti pemantulan dan/atau difraksi terhadap objek-objek yang terdapat di dalam ruangan.

4.2.3 Parameter Statistik Delay

Parameter statistik *delay* seperti *mean excess delay* dan *RMS delay spread* dihasilkan setelah mendapat model PDP. Untuk nilai *mean excess delay* didapatkan berdasarkan persamaan 2.3. Untuk nilai *RMS delay spread* didapatkan berdasarkan persamaan 2.4. Perhitungan nilai kedua parameter tersebut menggunakan aplikasi *Microsoft Office Excel* dengan mengambil data yang telah diolah melalui *software Matlab* seperti yang tertera pada tabel 4.1 untuk tabel parameter *mean excess delay* tiap arah rotasi dan kondisi dan tabel 4.2 untuk tabel parameter *RMS delay spread* tiap arah rotasi dan kondisi.

Tabel 4.1 Tabel Parameter Mean Excess Delay Tiap Arah Rotasi dan Kondisi

Mean Excess Delay (ns)			
Arah Rotasi	Kondisi		
	Tanpa Tubuh	Dengan Tubuh Tanpa Penghalang	Dengan Tubuh dan Penghalang
0° (LOS)	76,71	76,19	81,73

45° (LOS)	67,82	74,30	95,05
315° (LOS)	79,25	94,01	80,10
90° (QLOS)	76,74	78,17	110,99
270° (QLOS)	81,57	80,01	86,08
180° (NLOS)	79,89	104,95	373,47
135° (NLOS)	78,02	104,57	276,81
225° (NLOS)	82,36	93,40	91,47

Tabel 4.2 Tabel Parameter RMS Delay Spread Tiap Arah Rotasi dan Kondisi

RMS Delay Spread (ns)			
Arah Rotasi	Kondisi		
	Tanpa Tubuh	Dengan Tubuh Tanpa Penghalang	Dengan Tubuh dan Penghalang
0° (LOS)	12,43	13,93	46,66
45° (LOS)	25,67	24,13	84,02
315° (LOS)	29,35	8,96	41,73
90° (QLOS)	28,25	25,91	105,32
270° (QLOS)	37,59	33,65	57,48
180° (NLOS)	27,49	88,18	128,99
135° (NLOS)	69,07	98,35	176,32
225° (NLOS)	55,52	71,99	70,80

Berdasarkan hasil yang telah didapat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2, terlihat bahwa tiap arah rotasi dan kondisi memiliki nilai *mean excess delay* dan *RMS delay spread* yang berbeda. Untuk skenario LOS, nilai *mean excess delay* terbesar pada kondisi tanpa tubuh dan kondisi dengan tubuh tanpa penghalang terjadi ketika arah rotasi 315°, sedangkan untuk kondisi dengan tubuh dan penghalang terjadi ketika arah rotasi 45°. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak objek yang ada di arah lintasan propagasi mempengaruhi delay sinyal. Seperti pada gambar 3.3, terlihat bahwa ketika kondisi tanpa tubuh dan kondisi dengan tubuh tanpa penghalang mengarah rotasi 315° dan kondisi dengan tubuh dan penghalang mengarah rotasi 45°, antenna menghadap ke arah selatan atau ke arah dinding laboratorium dan beberapa objek lainnya seperti meja kayu, televisi, kursi, monitor, lemari, dan lain-lain. Untuk nilai *RMS delay spread* pada skenario LOS, pada kondisi tanpa tubuh terjadi ketika arah rotasi 315°, sedangkan untuk kondisi dengan tubuh tanpa penghalang dan kondisi dengan tubuh dan penghalang terjadi ketika arah rotasi 45°. Nilai *RMS delay spread* yang didapat saat arah rotasi 315° pada kondisi dengan tubuh tanpa penghalang paling kecil dibandingkan pada skenario LOS lain karena memiliki level daya yang besar sehingga menghasilkan nilai *RMS delay spread* yang kecil.

Untuk skenario QLOS, nilai *mean excess delay* terbesar pada kondisi tanpa tubuh dan dengan tubuh tanpa penghalang terjadi ketika arah rotasi 270°, sedangkan untuk kondisi dengan tubuh dan penghalang terjadi ketika arah rotasi 90°. Sama halnya dengan skenario LOS, nilai *mean excess delay* terjadi pada saat antenna menghadap ke arah selatan atau ke arah dinding laboratorium dan beberapa objek lainnya. Hal ini menandakan bahwa kondisi lingkungan mempengaruhi *delay* sinyal. Untuk nilai *RMS delay spread* pada skenario QLOS, pada kondisi tanpa tubuh dan kondisi dengan tubuh tanpa penghalang nilai terbesar terjadi ketika arah rotasi 270° dan pada kondisi dengan tubuh dan penghalang terjadi ketika arah rotasi 90°.

Untuk skenario NLOS, nilai *mean excess delay* terbesar pada kondisi tanpa tubuh nilai *mean excess delay* didapatkan pada arah rotasi 225°, sedangkan pada kondisi dengan tubuh

dengan tanpa penghalang dan kondisi dengan tubuh dan penghalang nilai *mean excess delay* terbesar pada saat arah rotasi 180°. Hal tersebut menandakan bahwa tubuh berpengaruh pada *delay* sinyal. Untuk nilai *RMS delay spread* pada skenario NLOS, pada tiap-tiap kondisi memiliki nilai *RMS delay spread* terbesar pada arah rotasi 135°.

4.2.4 Sintesis

Untuk mencari karakteristik kanal UWB WBAN dalam ruangan, dilakukan dalam beberapa tahap. Tahap pertama dilakukan pengukuran parameter S21 dalam bentuk magnitudo dan fase pada berbagai kondisi dan arah rotasi untuk mendapatkan hasil pengukuran skenario LOS, QLOS, dan NLOS. Pada kondisi LOS antena Tx langsung terarah dengan antena Rx. Pada kondisi QLOS antena Tx berorientasi orthogonal pada antena Rx dan jalur propagasi sebagian terbayangi oleh tubuh. Kondisi NLOS yaitu pada saat antena Tx tidak berhadapan langsung dengan antena Rx dan tubuh sepenuhnya menghalangi jalur propagasi langsung. *Vector Network Analyzer* (VNA) digunakan untuk mengukur parameter S21.

Data yang telah diukur kemudian disimpan ke penyimpanan eksternal VNA dan diolah menggunakan *software Matlab*. Data yang didapat dalam bentuk *bandpass* kemudian diolah menjadi sinyal *low pass* dan dilakukan pencerminan terhadap sumbu y. Kemudian dilakukan proses *windowing* terhadap sinyal *low pass* untuk mengurangi efek *aliasing* dan membatasi sinyal dalam domain waktu. Kemudian digunakan metode *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) untuk mengubah sinyal yang semula dalam domain frekuensi ke dalam domain waktu dan dilanjutkan dengan proses *filtering* untuk menghilangkan *noise*. Setelah tidak ada *noise*, kemudian dilakukan pemodelan PDP. Setelah model PDP yang telah didapat, kemudian dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui parameter statistik *delay* seperti *maximum excess delay*, *mean excess delay*, dan *RMS delay spread*.

Berdasarkan model PDP yang telah dibuat, didapatkan bahwa pada tiap kondisi semakin bertambah penghalang pada lintasan propagasi maka semakin sedikit jumlah impuls yang didapat. Dengan adanya tubuh manusia mengakibatkan penurunan jumlah impuls yang didapat. Selain itu, banyaknya objek di sekitar tempat antena berada mempengaruhi jumlah impuls yang didapat. Semakin banyak objek di sekitar tempat antena maka semakin banyak pantulan yang terjadi sehingga jumlah impuls yang muncul akan semakin banyak.

Nilai parameter statistik *delay* pada tiap arah menghadap antena dan kondisi memiliki nilai yang bervariasi. Dengan adanya tubuh manusia dan bertambahnya penghalang mengakibatkan bertambahnya nilai *mean excess delay* dan *RMS delay spread* yang cukup signifikan. Arah antena menghadap dan banyak objek di sekitar tempat pengukuran mempengaruhi besar nilai *mean excess delay* dan *RMS delay spread*. Semakin banyak objek di sekitar tempat pengukuran maka semakin besar nilai *mean excess delay* dan *RMS delay spread*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan serangkaian alur penelitian seperti pengukuran, pengambilan data, pengolahan data, dan analisis data, dapat ditarik kesimpulan mengenai kanal UWB WBAN *off-body* dalam berbagai perbedaan kondisi lingkungan dan saran untuk pengembangan penelitian terkait kedepannya.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ini adalah sebagai berikut.

1. Respon impuls kanal dalam domain waktu didapatkan dari proses IFFT respon impuls kanal dalam domain frekuensi yang berasal dari pengukuran parameter S21 menggunakan VNA.
2. Dengan jarak ukur yang sama, respon impuls kanal dapat memiliki hasil yang berbeda karena dipengaruhi arah antenna menghadap dan adanya penghalang pada lintasan propagasi.
3. Tubuh mempengaruhi besar magnitudo parameter S21 yang didapat, terutama pada skenario NLOS.
4. Dengan jarak ukur yang sama, adanya tubuh dan penghalang berpengaruh terhadap jumlah impuls yang didapat pada hasil pemodelan PDP. Semakin banyak penghalang yang menghalangi maka semakin sedikit jumlah impuls pada model PDP yang didapat.
5. Banyak jumlah impuls pada model PDP yang didapat juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan ruangan dan lintasan pengukuran.
6. Adanya tubuh dan penghalang mengakibatkan nilai *Mean excess delay* bertambah cukup signifikan pada kondisi NLOS.
7. Kondisi lingkungan mempengaruhi variasi nilai *RMS delay spread*. Semakin banyak objek di sekitar tempat pengukuran maka semakin besar nilai *RMS delay spread*.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yang terkait UWB WBAN *off-body* dari penulis adalah sebagai berikut.

1. Dipertimbangkan untuk melakukan pengukuran pada kondisi dalam ruangan yang tidak terdapat objek selain objek pengukuran dan/atau ruangan *anechoic* untuk mendapatkan hasil pengaruh pantulan ruangan.
2. Dipertimbangkan untuk memakai antenna jenis lain dengan pola radiasi dan *beamwidth* yang lebar untuk mempertimbangkan jenis antenna yang optimal untuk karakteristik kanal UWB WBAN dan dapat diterapkan dalam model *wearable device*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, B. T. (2020). Propagation Loss Measurement of Wireless Body Area Network at 2.4 GHz and 3.35 GHz Bands. In *Wireless Personal Communications* (Vol. 112, Issue 2). Springer US. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07068-w>
- Balanis, C. A. (2016). *Antenna Theory: Analysis and Design*. Wiley.
- Dautov, R., & Tsouri, G. R. (2020). Dynamic Off-Body Rician Channel Modeling for Indoor Wireless Body Area Networks. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 24(5), 1246–1254. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2019.2935475>
- Fardhiyansyah, M. A., Hendrantoro, G., & ... (2020). Pengukuran dan Karakterisasi Kanal Propagasi Radio untuk Aplikasi Wireless Body Area Network dari Tubuh Pasien ke Data Collector Device di ICU Rumah Sakit. *Jurnal Teknik ...*, 8(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i2.42985>
- Hayes, M. (1998). *Schaum's Outline of Digital Signal Processing* (1st ed.). McGraw-Hill.
- Kartika, K. P., Hendrantoro, G., & Mauludiyanto, A. (2018). Pathloss Modeling based on Measurement At 3 GHz for On Body Area Network Application. *International Conference on Information and Communication Technology (ICOIACT)*, 905–910.
- Kumpuniemi, T., Hämäläinen, M., Yazdandoost, K. Y., & Iinatti, J. (2015). Measurements for body-to-body UWB WBAN radio channels. *2015 9th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2015*.
- Ludwig, R., & Bretchko, P. (2000). RF Circuit Design: Theory and Applications. In *Microelectronics Journal* (Vol. 32, Issue 3). Prentice Hall. [https://doi.org/10.1016/s0026-2692\(00\)00141-5](https://doi.org/10.1016/s0026-2692(00)00141-5)
- Mauludiyanto, A., Hendrantoro, G., & Nova, M. F. (2021). The Attenuation Characteristics of the Body Tissue on Frequency Function in WBAN Channel. *Journal on Advanced Research in Electrical Engineering*, 5(2), 107–113. <https://doi.org/10.12962/jaree.v5i2.185>
- Mohamed, M., Cheffena, M., Moldsvor, A., & Fontan, F. P. (2017). Physical-Statistical Channel Model for Off-Body Area Network. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 16(c), 1516–1519. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2016.2647323>
- Oppenheim, A. V., Schafer, R. W., & Buck, J. R. (1999). *Discrete-Time Signal Processing* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Rappaport, T. S. (2002). *Wireless Communications: Principles and Practice*. Prentice Hall.
- Stutzman, W. L., & Thiele, G. A. (2012). *Antenna Theory and Design* (3rd ed.). Wiley.
- Thotahewa, K. M. S., Redouté, J. M., & Yuce, M. R. (2014). Ultra wideband wireless body area networks. In *Ultra Wideband Wireless Body Area Networks* (Vol. 9783319052). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-05287-8>
- Tiengthong, T., Promwong, S., & Deepunya, C. (2018). Delay characteristics of UWB transmission waveform with human body for WBAN system. *3rd International Conference on Digital Arts, Media and Technology, ICDAMT 2018*, 233–237. <https://doi.org/10.1109/ICDAMT.2018.8376530>

Ulaby, F. T., & Ravaioli, U. (2015). *Fundamentals of Applied Electromagnetics*. Pearson.

LAMPIRAN

Script Matlab yang digunakan

Script Pengolahan VSWR Antena

```
clear all;
close all;
clc;

figure(1);
filename1 = 'ANTENA1.xlsx'; %mendefinisikan tujuan file antena
pertama
vswr1 = xlsread(filename1);
filename2 = 'ANTENA3.xlsx'; %mendefinisikan tujuan file antena
kedua
vswr2 = xlsread(filename2);

plot(vswr1(:,1), vswr1(:,2), 'b-');
hold ON;
plot(vswr2(:,1), vswr2(:,2), 'r-');
xlim([2e9 6e9]);
hold OFF;
grid ON;
xlabel('Frekuensi (Hz)'), ylabel('Nilai VSWR');
title('NILAI VSWR ANTENA 1 DAN 3');
legend('Antena 1', 'Antena 3');
```

Script Pengolahan Rugi-rugi Kabel

```
clear all;
close all;
clc;

figure(1);
filename = 'loss_mgtd_phase_10m.xlsx'; %definisi tujuan file
loss = xlsread(filename);

subplot(3,1,1);
plot(loss(:,1), loss(:,2));
grid ON;
hold ON;
xlabel('Frekuensi (Hz)'), ylabel('Loss (dB)');
title('Rugi-rugi Kabel RG58 10m');
subplot(3,1,2);
plot(loss(:,1), loss(:,3));
grid ON;
hold ON;
xlabel('Frekuensi (Hz)'), ylabel('Magnitude (dB)');
subplot(3,1,3);
```

```

plot(loss(:,1), loss(:,4));
grid ON;
hold ON;
xlabel('Frekuensi (Hz)'), ylabel('Phase (degree)');

```

Script Pengolahan Parameter S21

```

clear all;
close all;
clc;

filename = 'P1LOSDB.xlsx';
mgnt1 = xlsread(filename); %definisi tujuan file
filename2 = 'P2LOSDB.xlsx';
mgnt2 = xlsread(filename2);
filename3 = 'NBLOSDB.xlsx';
mgnt3 = xlsread(filename3);

figure(1);
plot(mgnt1(:,1), mgnt1(:,9), 'LineWidth',2);
grid on;
hold on;
plot(mgnt2(:,1), mgnt2(:,9), '-*', 'LineWidth',2);
grid on;
hold on;
plot(mgnt3(:,1), mgnt3(:,9), ':', 'LineWidth',2);
grid on;
hold on;
xlabel('Frekuensi (Hz)'), ylabel('Magnitudo (dB)');
sgtitle('S21 Parameter');
legend('Kondisi dengan Tubuh tanpa Penghalang', 'Kondisi dengan Tubuh dan Penghalang', 'Kondisi tanpa tubuh');

```

Script Pengolahan Respon Impuls Kanal

```

clear all;
close all;
clc;

filename = 'respon_impuls_315_degree_dB_p2.xlsx';
mgnt = xlsread(filename); %definisi tujuan file
filename2 = 'respon_impuls_315_degree_PH_p2.xlsx';
phase = xlsread(filename2);

%lowpass
delta_f = -(mgnt(2,1) - mgnt(1,1));
mgHf = zeros(1601,10);
Hf = zeros(1601,10);
for k = 1:10
    mgHf(:,k) = 10.^(mgnt(:,k+1)/10); %skala dB ke linear

```

```

    Hf((1:800),k) = mgHf(1:800,k) .*exp(-j*(phase(1:800,k+1))
* (pi/180));
    Hf(801,k) = 2 * abs(mgHf(801,k)) .*cos(phase(801,k+1)) *
(pi/180);
    Hf((802:1601),k) =
mgHf((802:1601),k) .*exp(j*(phase((802:1601),k+1)) *(pi/180));
end

lf = linspace(-1.85e9, 1.85e9, 1601);
lf = transpose(lf);
figure(1);
for p=1:10
    plot(lf, abs(Hf(:,p)));
    grid on;
    hold on;
end
xlabel('Frekuensi (Hz)');
ylabel('Magnitudo (dB)');

%Window Hamming
n = 0:1600;
Wnt = 0.54-0.46*cos(2*pi*n/1600);
Wn = Wnt';
Hf_r = real(Hf);
Hf_i = imag(Hf);
figure(2);
plot(lf(:,1),Wn);
xlabel('Frekuensi (Hz)');
ylabel('Amplitudo');

%respon filter setelah windowing
Hwn = zeros(1601,10);
for i = 1:10
    Hwn(:,i) = Hf(:,i).*Wn;
end
figure(3);
for j=1:10
    plot(lf, abs(Hwn(:,j)));
    grid on;
    hold on;
end
xlabel('Frekuensi (Hz)');
ylabel('Magnitudo');

%Hwn transvormasi invers
tau_ori = linspace(0,1/delta_f,1601);
tau = tau_ori.*1e9;
Ht = zeros(1601,10);
for j = 1:10
    Ht(:,j) = (ifft(Hwn(:,j)));

```

```

end
Ht_r = real(Ht);
Ht_i = imag(Ht);

PFa = 0.05;
Htabs = abs(Ht);
med = zeros(1,10);
stdvar = med;
threshold = med;
for i = 1:10
    med(:,i) = median(Htabs(:,i));
    stdvar(:,i) = med(:,i)/sqrt(log(4));
    zeta = sqrt(-2*log(PFa));
    threshold(:,i) = zeta.*stdvar(:,i);
end

figure(5);
absht = abs(Ht);
for i = 1:10
    plot(tau, absht(:,i)./max(absht,[],'all'));
    grid on;
    hold on;
    title('Respon Impuls Kanal');
    xlabel('Waktu (ns)'), ylabel('Magnitudo Ternormalisasi');
end

%PDP
%Filtering CIR dengan nilai threshold
[x,y] = size(Ht);
Htfil = zeros(1601,10);
for jj = 1:y
    Htfil(:,jj) = Ht(:,jj).*ge(Htabs(:,jj), threshold(:,jj));
end

%Pengecekan Tetangga
data = (Htfil);
for i = 1:10
    for j = 2:800
        if or(data(j-1,i)~=0, data(j+1,i)~=0)
            data(j,i)=data(j,i);
        else
            data(j,i)=0;
        end
    end
    if data(2,i)==0
        data(1,i)=0;
    end
    if data(1600,i)==0
        data(1601,i)=0;
    end
end

```

```

end

%Cek konsistensi
h = zeros(1601,10);
temp = h;
for i = 1:1601
    a = data(i,:);
    K = [];
    for j = 1:10
        if a(j) ~=0
            h(i,j) = a(j);
            temp(i,j) = 1;
        else
            h(i,j) = 0;
            temp(i,j) = 0;
        end
    end
end
end
hh = (abs(h)).^2; %CIR menjadi PDP
kon = mean(hh,2); %PDP dirata2kan
tmpe = sum(temp,2); %menolkan konsistensi <80%
tmpe2 = zeros(1601,1);
for i = 1:1601
    if tmpe(i) < 7
        tmpe2(i,:)=0;
    else
        tmpe2(i,:)=1;
    end
end
end
besp = kon.*tmpe2; %PDP konsist <80% di-nol-kan
figure(6);
plot(tau,(tmpe)); %plot konsistensi
grid on;
title('Cek Konsistensi');
xlabel('Excess Delay (ns)');
ylabel('Prosesntase Kemunculan (%)')

%plot pdp min 70%
figure(7);
bespa = besp./max(besp);
pdptaugk = 10*log10((bespa + (1e-20)));
tawu = tau;
plot(tawu,pdptaugk);
grid on
title('PDP');
xlabel('Excess Delay (ns)');
ylabel('Normalized Received Power (dB)');
figure(8);
plot(tawu,bespa);
grid on;

```

```

title('PDP');
xlabel('Excess Delay (ns)')
ylabel('Normalized Power')

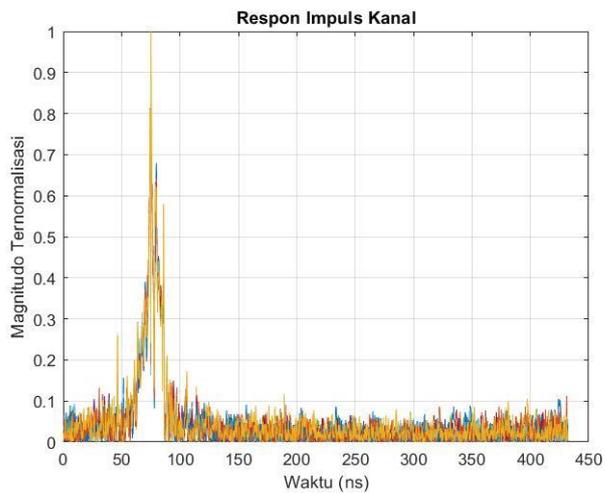
% PDP
pdp = zeros(1601,10);
for i = 1:10
    pdp(:,i) = abs(Htfil(:,i)).^2;
end

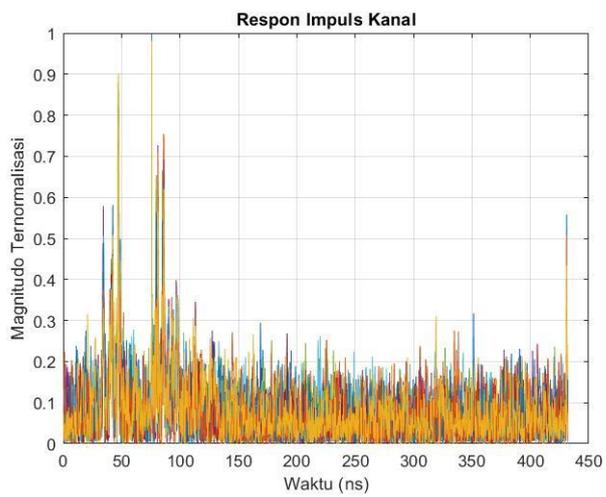
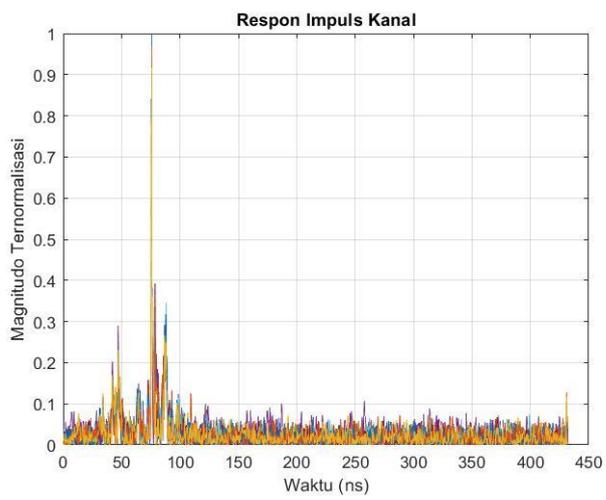
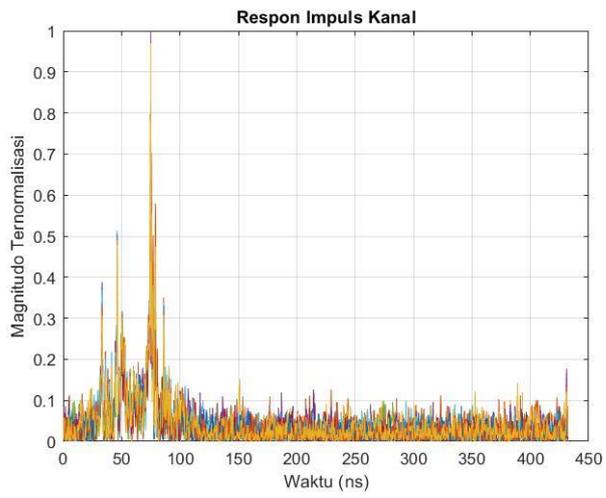
figure(9);
for i = 1:10
    plot(tau, pdp(:,i)./max(pdp,[],'all'));
    grid on;
    hold on;
    xlabel('excess delay(t)'),
    ylabel('Normalized Received Power');
end
title('PDP');

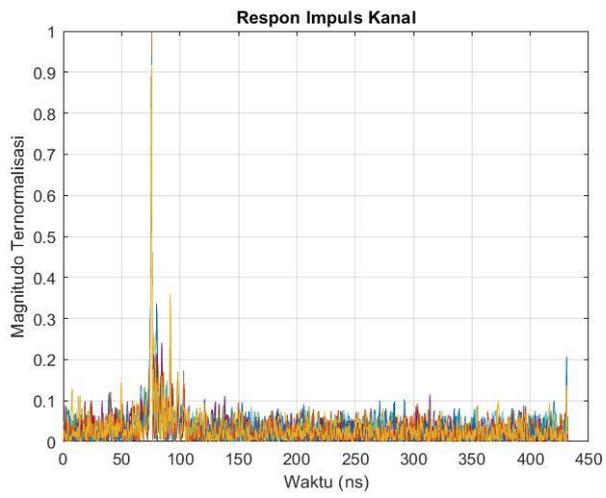
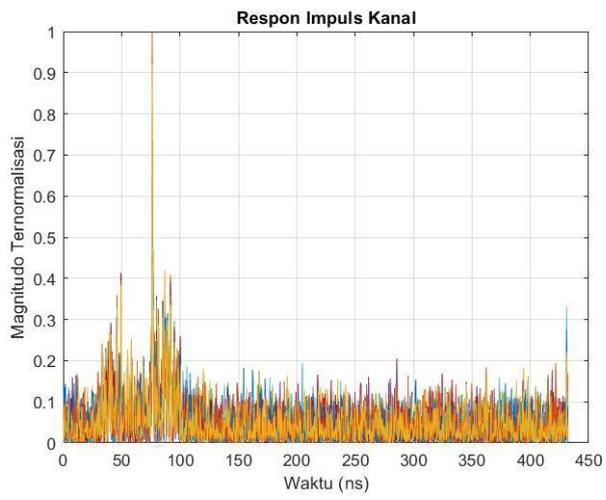
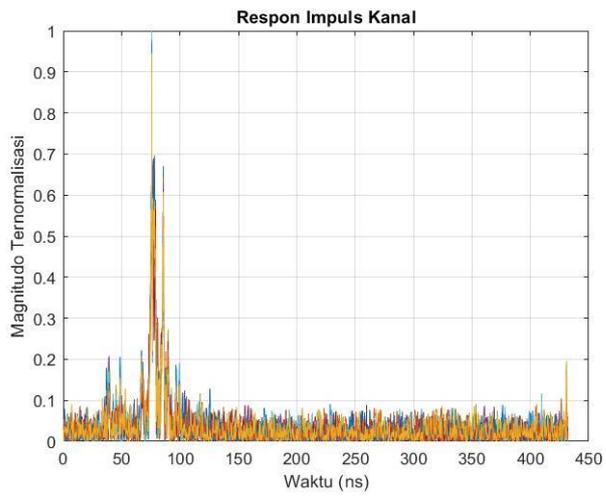
```

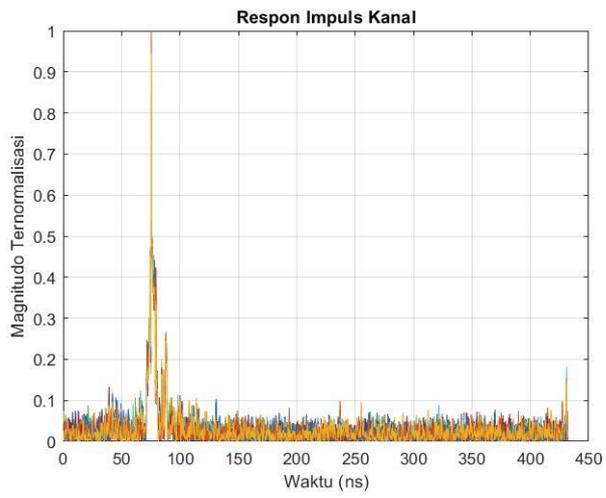
Hasil Respon Impuls Kanal (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°, 315° Berurutan)

Kondisi tanpa tubuh

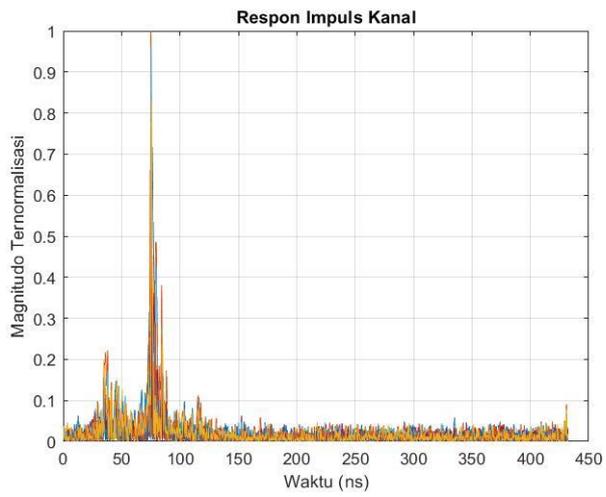
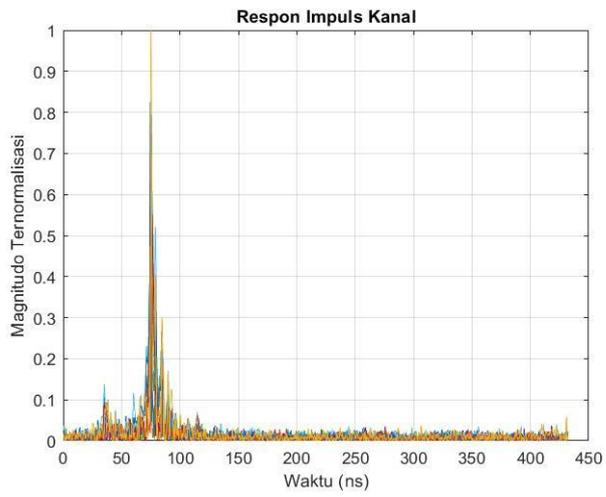


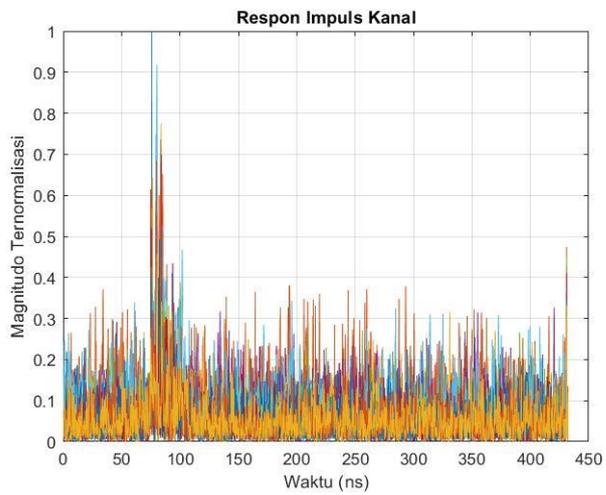
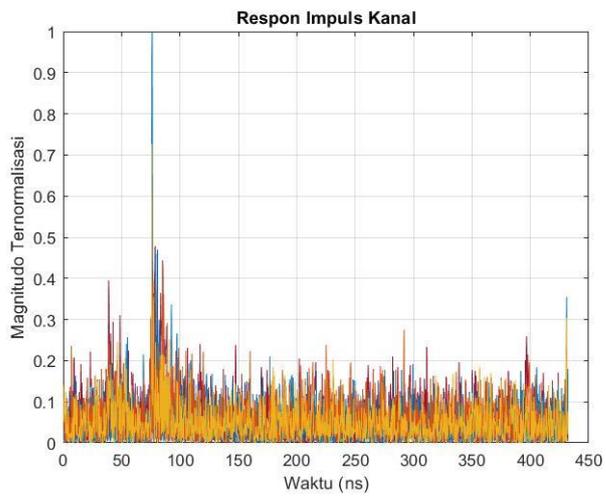
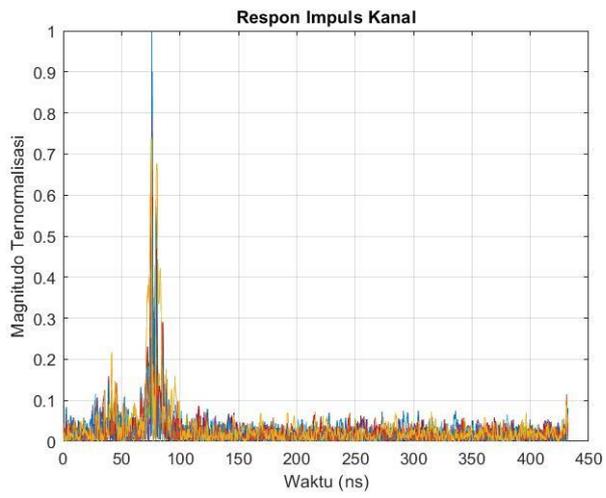


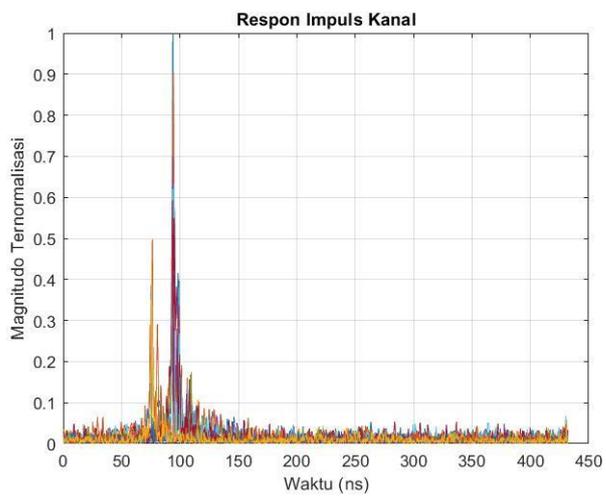
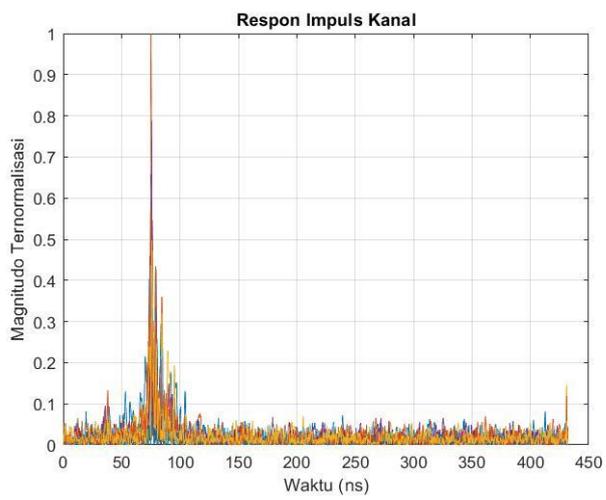
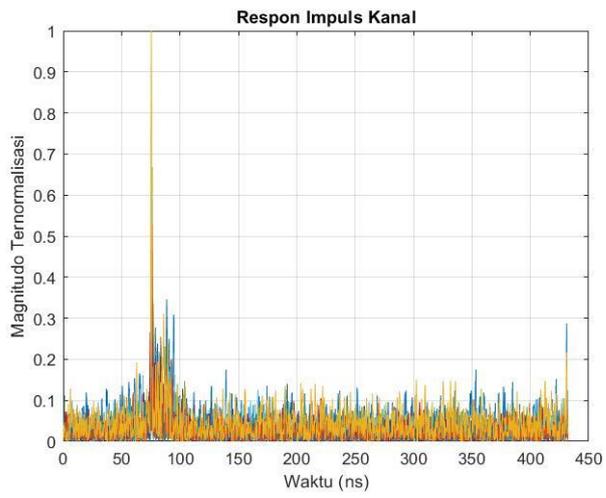




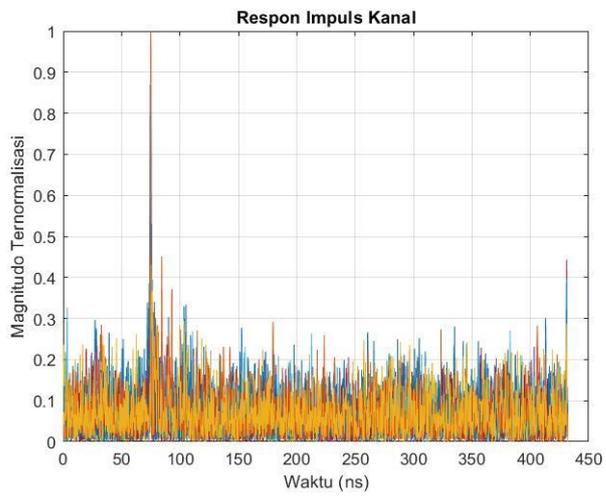
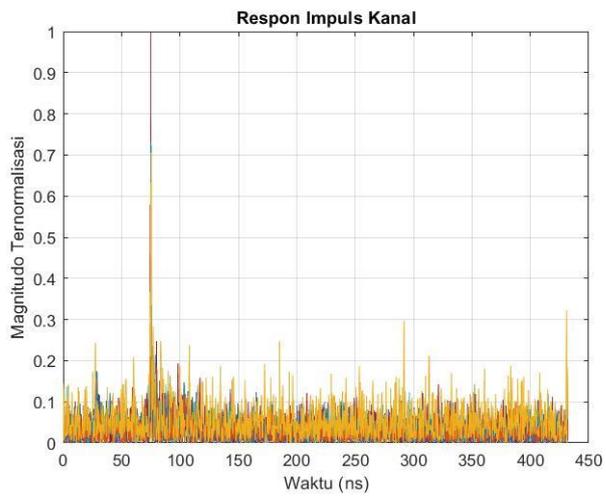
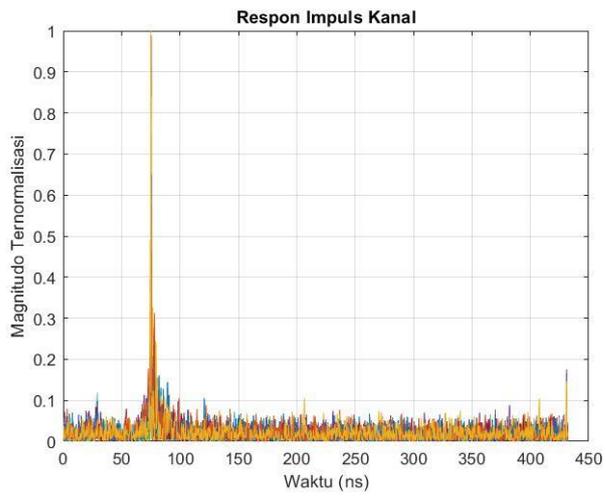
Kondisi dengan tubuh tanpa penghalang

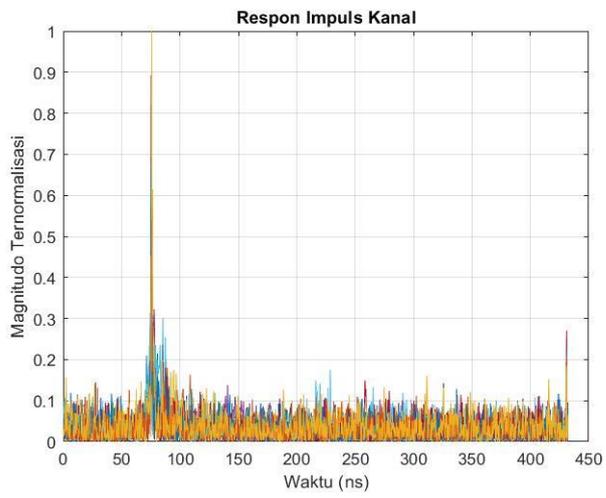
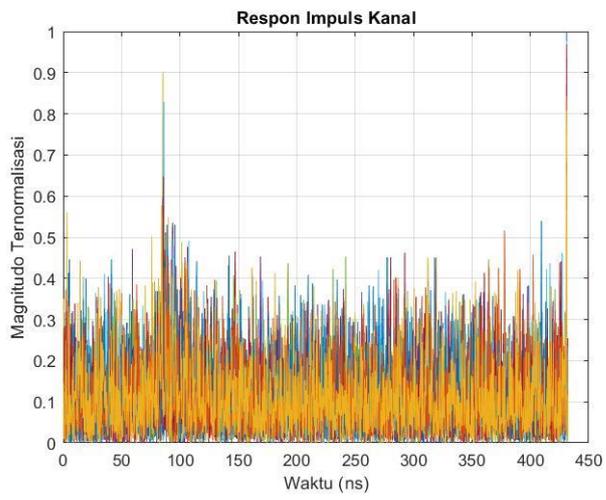
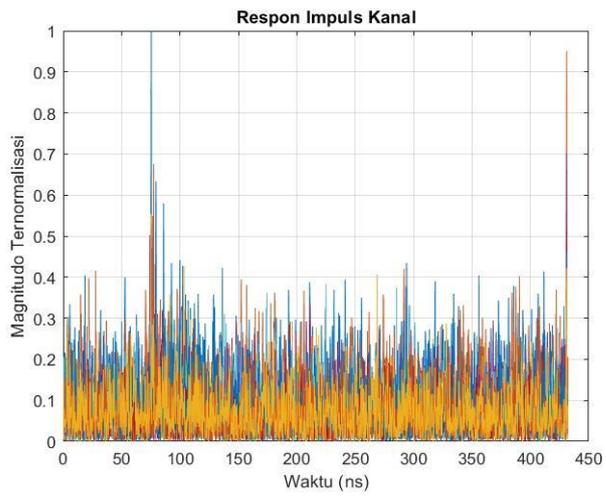


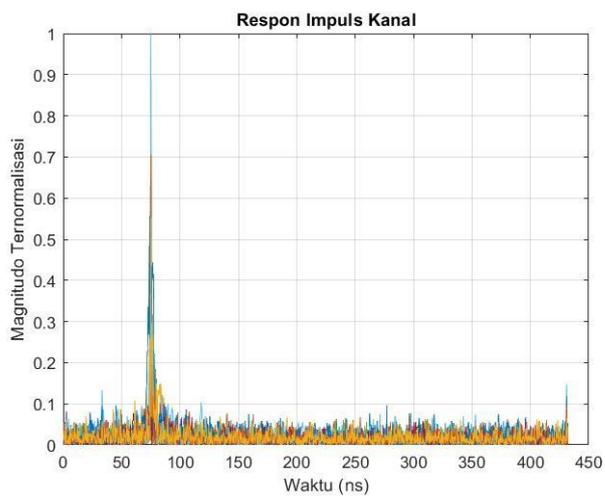
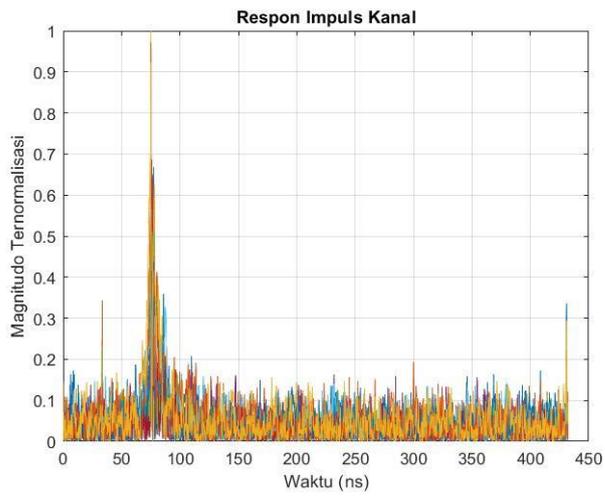




Kondisi dengan tubuh dan penghalang

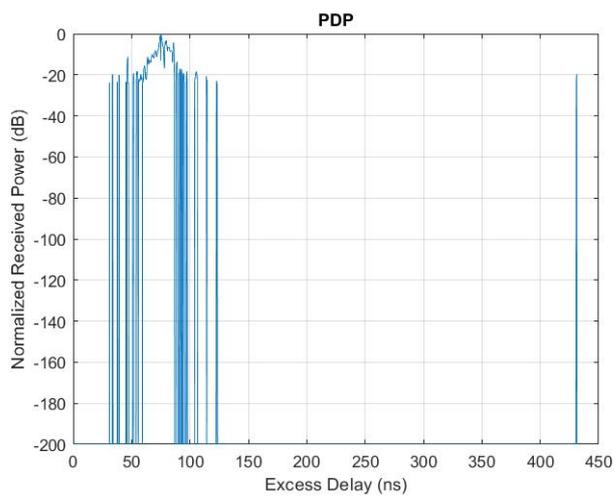


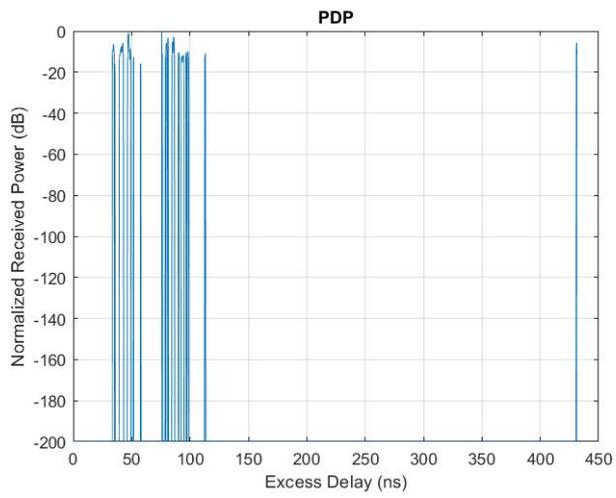
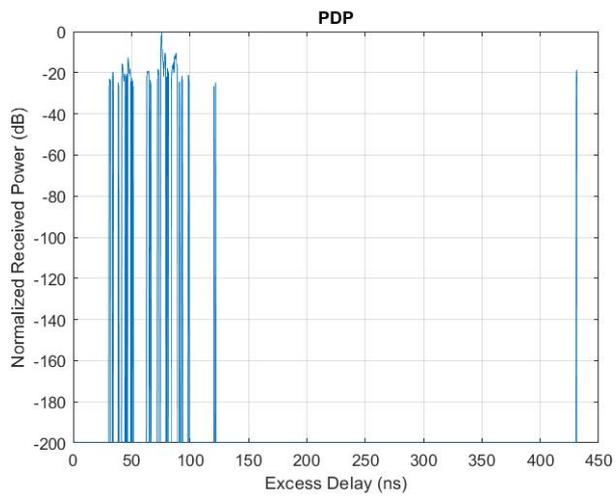
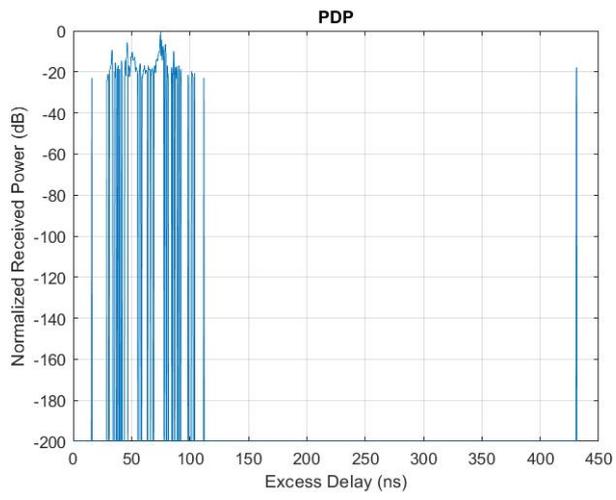


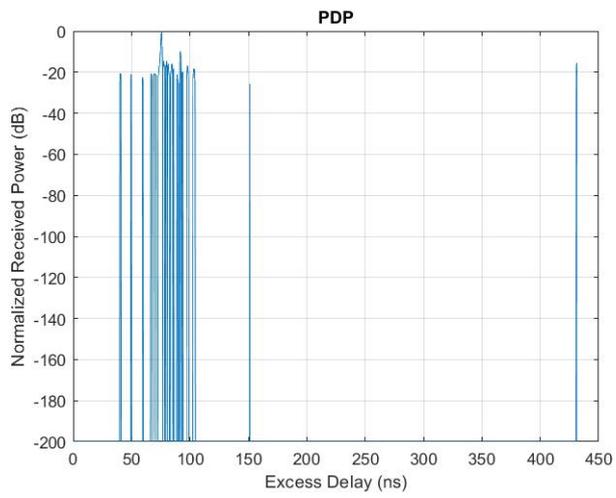
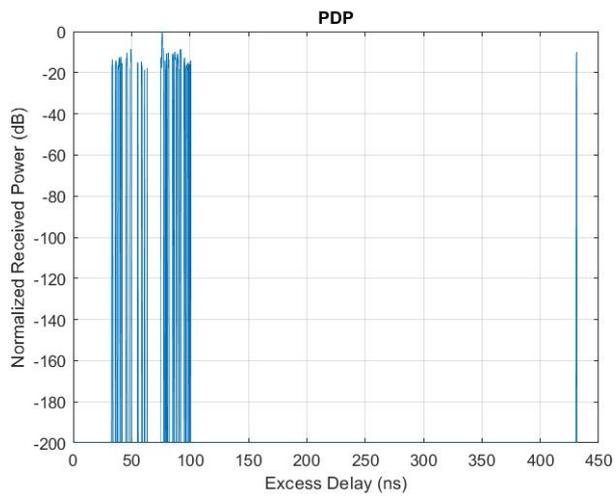
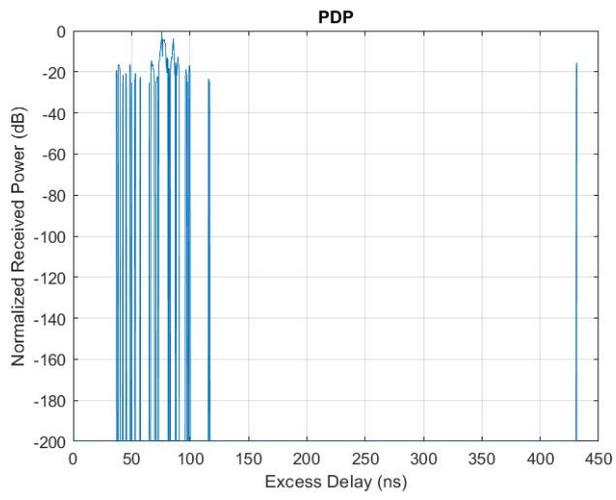


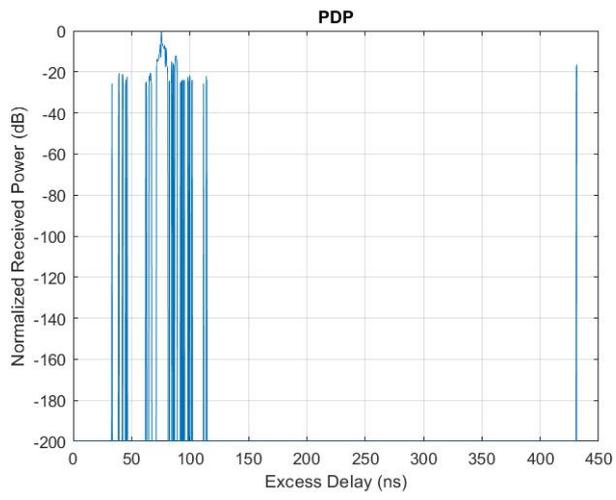
Hasil PDP (arah hadap 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°, 315° berurutan)

Kondisi tanpa tubuh









Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis lahir pada tanggal 8 April 2000 di DKI Jakarta, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDIT Az-Zahra Pondok Petir, Depok, MTsN 1 Tangerang Selatan dan SMAN 2 Tangerang Selatan. Setelah lulus dari SMAN 2 Tangerang Selatan tahun 2018, Penulis mengikuti SBMPTN dan diterima di Departemen Teknik Elektro FTE – ITS yang sekarang menjadi FTEIC – ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 07111840000101.

Di Departemen Teknik Elektro penulis sempat aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro ITS (HIMATEKTRO ITS) dan aktif sebagai Asisten Praktikum Dasar Sistem Jaringan Telekomunikasi (DSJT). Penulis sempat mengikuti berbagai kegiatan lain seperti Program Bangkit dengan *learning path Cloud Computing*. Penulis sempat mengikuti PKM pada tahun 2021 dan mendapatkan pendanaan PKM-GFK 2021 hingga menjadi salah satu finalis PIMNAS PKM-GFK 2021 dengan judul “Pemanfaatan 5G Network Slicing untuk Mewujudkan Smart Healthcare”. Penulis sempat mengikuti kegiatan IDEA Indosat dengan membuat *Prototype* Aplikasi “THE CITIZEN – 5G Smart City Monitoring System”. Selain itu penulis mengikuti beberapa seminar nasional dan internasional, serta beberapa pelatihan.