TUGAS AKHIR – EE 184801

DETEKSI LOKASI TUBUH MANUSIA DI DALAM RUANGAN MENGGUNAKAN SENSOR MULTI-ANTENNA DAN WEARABLE ANTENA

Adam Maulana
NRP 07111640000069

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

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR – EE 184801

DETEKSI LOKASI TUBUH MANUSIA DI DALAM RUANGAN MENGGUNAKAN SENSOR MULTI-ANTENNA DAN WEARABLE ANTENA

Adam Maulana
NRP 07111640000069

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

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Lembar ini sengaja dikosongkan

FINAL PROJECT – EE 184801

INDOOR HUMAN BODY LOCALIZATION USING MULTI-ANTENNA SENSOR AND WEARABLE ANTENNA

Adam Maulana
NRP 07111640000069

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

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Lembar ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**DETEKSI LOKASI TUBUH MANUSIA DI DALAM RUANGAN MENGGUNAKAN SENSOR MULTI-ANTENNA DAN WEARABLE ANTENA"** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

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

Surabaya, 7 Juni 2020

Adam Maulana
NRP. 07111640000069

Lembar ini sengaja dikosongkan

DETEKSI LOKASI TUBUH MANUSIA DI DALAM RUANGAN MENGGUNAKAN SENSOR MULTI-ANTENNA DAN WEARABLE ANTENA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

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

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

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

SURABAYA

JUNI, 2020

Lembar ini sengaja dikosongkan

DETEKSI LOKASI TUBUH MANUSIA DI DALAM RUANGAN MENGGUNAKAN SENSOR MULTI-ANTENNA DAN WEARABLE ANTENA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

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

Menyetujui:

Dosen Pembimbing II,

Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

SURABAYA

JUNI, 2020

Lembar ini sengaja dikosongkan

DETEKSI LOKASI TUBUH MANUSIA DI DALAM RUANGAN MENGGUNAKAN SENSOR MULTI-ANTENNA DAN WEARABLE ANTENA

Nama : Adam Maulana
Pembimbing I : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng.,Ph.D.
Pembimbing II : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

ABSTRAK

Wireless Body Area Network (WBAN) adalah jaringan dari tubuh manusia ke sensor yang diletakkan di permukaan tubuh atau di sekitar tubuh. WBAN merupakan bidang penelitian dan pengembangan yang sedang aktif diteliti karena menawarkan potensi peningkatan yang cukup besar untuk pemantauan dan pengembangan pada layanan kesehatan.

Pada penelitian tugas akhir ini akan dilakukan penelitian mengenai pendeteksian lokasi tubuh manusia. Perkembangan antena *Ultra-Wide Band* (UWB) memungkinkan untuk pendektesian lokasi tubuh manusia yang akurat dikarenakan resolusi yang tinggi, profil yang kecil, dan konsumsi daya yang rendah.

Penelitian akan dilakukan di dalam ruangan di area berbentuk kubus dengan panjang sisi-sisinya 1,5 m^3 dengan konfigurasi satu antena di tubuh manusia dan *multiple-antenna* di sudut area pengukuran. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *time of arrival* (TOA) yaitu perhitungan jarak menggunakan waktu propagasi antara Tx dan Rx dan juga metode trilateration. Parameter yang akan diukur dalam penelitian ini adalah nilai S_{21} dari *mobile station* (MS) ke *base station* (BS) menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA). Penelitian ini menghasilkan penentuan lokasi dengan akurasi dengan rentang 2-5cm.

Keyword: Wireless Body Area Network, Lokalisasi, Time of Arrival, Pemantauan Dalam Ruangan.

Lembar ini sengaja dikosongkan

INDOOR HUMAN BODY LOCALIZATION USING MULTI-ANTENNA SENSOR AND WEARABLE ANTENNA

Name : Adam Maulana
Supervisor I : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng.,Ph.D.
Pembimbing II : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

ABSTRACT

Wireless Body Area Network (WBAN) is a wireless network that can connect sensors that are placed on the surface of the human body, around the body or even implanted inside the skin. WBAN is an area of research and development that is being actively researched because it offers a substantial increase in potential for monitoring and development in health services.

On this occasion, there will be research on the detection of the location of the human body indoor. The development of Ultra-Wide Band (UWB) antennas open the possibility for accurate detection of the location of the human body due to its high resolution, low profile, and very low power consumtion.

The study will be conducted indoor in an area of 1.5 x 1.5 x 1.5 m3 cube with the configuration of one antenna in the human body and multiple antennas in the corner of the measurement area. The method used in this study is the time of arrival (TOA) method, which is the calculation of the distance using the propagation time between Tx and Rx and also trilateration method. The parameter to be measured in this study is the value of S_{21} from mobile station (MS) to base station (BS) using Vector Network Analyzer (VNA). This study resulted a localization with accuracy accuracy with a range of 2-5cm.

Keyword: Wireless Body Area Network. Localization, Time of Arrival, Indoor monitoring.

Lembar ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Dengan segala rasa syukur saya sebagai penulis memanjatkan puji syukur kehadirat Tuhan YME atas berkat dan karunia-Nya sehingga saya sebagai penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir dengan judul " **Deteksi Lokasi Tubuh Manusia di Dalam Ruangan Menggunakan Sensor *Multi-Antenna* dan *Wearable* Antena"**

Dengan mengucap rasa syukur yang begitu besar, akhirnya proses penyusunan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik, setelah melewati rangkaian proses yang cukup panjang. Tentunya dalam proses penyusunan tugas akhir ini banyak mendapatkan dukungan maupun bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua yang senantiasa memberikan motivasi kepada penyusun dalam menyelesaikan Laporan Resmi ini.
2. Dosen pembimbing, Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng.,Ph.D. dan Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT. yang telah membimbing penulis dari awal sampai akhir penulisan tugas akhir ini
3. Charis dan Fachry dari tim WBAN yang terus mendukung dan membantu dalam pengukuran.
4. Teman teman dari program studi telekomunikasi atas segala motivasi dan dukungan yang telah diberikan.
5. Teman-teman angkatan 2016 Teknik Elektro ITS yang selalu memberikan semangat yang sangat berarti bagi penyusun dan seluruh pihak yang secara lagsung maupun tidak langsung telah berperan dalam penyusunan Laporan Resmi ini yang tentunya tidak dapat penyusun sebutkan satu per satu.

Semoga dengan penulisan tugas akhir ini dapat membawa kegunaan di dunia ini walaupun masih ada kekurangan. Dikarenakan pandemic yang berjalan pada saat penulisan masih banyak perbaikan yang dapat dilakukan.

Akhir kata penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya dan selamat membaca.

Jakarta, Juni 2020

Penulis

Lembar ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK ..... **i**
ABSTRACT ..... **iii**
KATA PENGANTAR ..... **v**
DAFTAR ISI ..... **vii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xi**
DAFTAR TABEL ..... **xiii**
BAB 1 PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 2
1.3 Tujuan 2
1.4 Batasan Masalah 2
1.5 Metodologi 3
1.6 Sistematika Penulisan 4
1.7 Relevansi 5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA **7**
2.1 WBAN 7
2.2 Antena 8
2.2.1 Antena UWB 8
2.2.2 Koefisien Pantul 10
2.2.3 Return Loss 11
2.2.4 VSWR 11
2.2.5 Bandwidth 12
2.3 Scattering Parameter 12
2.4 Inverse Fast Fourier Transform 13
2.5 Channel Impulse Response 14
2.6 Time of Arrival 14
2.7 Trilateration 15
2.8 Instrumen Pengukuran 17
2.8.1 Vector Network Analyzer 17
2.8.2 Kabel RG58 18
2.8.3 Kabel RG402 19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN **21**
3.1 Pendahuluan 21
3.2 Alur Penelitian 21

3.3 Persiapan Peralatan Pengukuran 22
3.3.1 Kalibrasi VNA 23
3.3.2 Pengukuran VSWR Antena 24
3.3.3 Pengukuran Redaman Kabel 25
3.4 Pembuatan Kerangka Pengukuran 26
3.5 Skenario Pengukuran 27
3.6 Proses Pengambilan Data 29
3.7 Resolusi Pengukuran 31
3.8 Pengolahan Data 32
3.8.1 Pengolahan Menjadi Respon Impuls 33
3.8.2 Menghitung Jarak 35
3.8.3 Proses Trilateration 36
BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN 39
4.1 Pendahuluan 39
4.2 Analisa Pengukuran Jarak 39
4.3 Analisa Hasil Trilateration 40
BAB 5 PENUTUP 43
5.1 Kesimpulan 43
5.2 Saran 43
DAFTAR PUSTAKA 45
LAMPIRAN 47
BIOGRAFI PENULIS 58

TABLE OF CONTENT

ABSTRAK ..... **i**
ABSTRACT ..... **iii**
FOREWORD ..... **v**
TABLE OF CONTENT ..... **vii**
LIST OF FIGURE ..... **ix**
LIST OF TABLE ..... **xii**
CHAPTER 1 PREFACE **1**
1.1 Background 1
1.2 State of Problem 2
1.3 Purpose 2
1.4 Scope of Problem 2
1.5 Methodology 3
1.6 Systematic report 4
1.7 Relevance 5
CHAPTER 2 LITERATURE REVIEW **6**
2.1 Wireless Body Area Network 7
2.2 Antenna 8
2.2.1 Antenna UWB 8
2.2.2 Reflection Coefficient 10
2.2.3 Return Loss 11
2.2.4 VSWR 11
2.2.5 Bandwidth 12
2.3 Scattering Parameter 12
2.4 Inverse Fast Fourier Transform 13
2.5 Channel Impulse Response 14
2.6 Time of Arrival 14
2.7 Trilateration 15
2.8 Measurement Instrument 17
2.8.1 Vector Network Analyzer 17
2.8.2 RG58 Cable 18
2.8.3 RG402 Cable 19
CHAPTER 3 RESEARCH METHODOLOGY **21**
3.1 Preface 21
3.2 Research Flow 21

3.3 Measurement Instrument Set Up 22
3.3.1 VNA Calibration 23
3.3.2 Antenna VSWR Measurement 24
3.3.3 Cable Loss Measurement 25
3.4 Fabrication of Measurement Framework 26
3.5 Measurement Scenario 27
3.6 Data Collection Process 29
3.7 Measurement Resolution 31
3.8 Data Processing 32
3.8.1 Processing into CIR 33
3.8.2 Distance Calculation 35
3.8.3 Trilateration Processing 36
CHAPTER 4 DATA ANALYSIS AND DISCUSSION 39
4.1 Preface 39
4.2 Distance Measurement Analysis 39
4.3 Trilateration Analysis 40
CHAPTER 5 CLOSURE 42
5.1 Conclusion 42
5.2 Suggestion 42
REFRENCES 43
ATTACHMENT 46
WRITER BIOGRAPHY 58

DAFTAR GAMBAR

Gambar Bab 2

Gambar 2.1 Arsitektur WBAN [3] 7
Gambar 2.2 Dimensi Antena Vivaldi 10
Gambar 2.3 S-Parameter dengan 2 port [7] 13
Gambar 2.4 Trilateration menggunakan tiga lingkaran [11] 16
Gambar 2.5 VNA *Handheld* Agilent N9923A 17

Gambar Bab 3

Gambar 3.1 Alur penelitian 22
Gambar 3.2 Gambar VSWR antena vivaldi 25
Gambar 3.3 Magnitude redaman kabel 26
Gambar 3.4 Phasa redaman kabel 26
Gambar 3.5 Kerangka Pengukuran 27
Gambar 3.6 Konfigurasi base station 28
Gambar 3.7 Skenario Pengukuran 29
Gambar 3.8 Skema Pengukuran 30
Gambar 3.9 *Magnitude* pengukuran 31
Gambar 3.10 Phasa Pengukuran 31
Gambar 3.11 Proses pengolahan data menjadi jarak 33
Gambar 3.12 Hasil IFFT 34
Gambar 3.13 Diagram perhitungan jarak 35
Gambar 3.14 Perpotongan tiga bola 37

Gambar Bab 4

Gambar 4.1 Perbanding Lokasi Asli dengan Lokasi pengukuran 41

Lembar ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel Bab 2

Tabel 2.1 Spesifikasi VNA *Handheld* Agilent N9923A 17
Tabel 2.2 Spesifikasi kabel RG58 19
Tabel 2.3 Spesifikasi kabel RG402 19

Tabel Bab 4

Tabel 4.1 Rata Rata Error Pengukuran Pertama 5 GHz 39
Tabel 4.2 Rata Rata Error Pengukuran Pertama 3 GHz 39
Tabel 4.5 Error Pengukuran Trilateration 3 GHz 40
Tabel 4.6 Error Pengukuran Trilateration 5 GHz 40

Lembar ini sengaja dikosongkan

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wireless Body Area Network (WBAN) saat ini merupakan salah satu bidang penelitian yang menarik karena memiliki aplikasi yang banyak di layanan kesehatan, seperti *monitoring*, kesehatan, olahraga, layanan darurat, dan perawatan untuk orang lansia atau disabilitas. WBAN terdiri dari beberapa sensor yang digunakan untuk memantau kesehatan tubuh manusia menggunakan teknologi *wireless*, sensor ini ditempatkan di *wearable* atau di tubuh manusia dan berkomunikasi dengan kordinator *node*. Teknologi WBAN memerlukan sebuah antena yang cukup kecil dan tingkat konsumsi energi yang rendah untuk digunakan untuk komunikasi yang lebih efektif antar node [4].

Ultra-Wide Band (UWB) merupakan antena yang cocok digunakan di aplikasi WBAN karena dapat menyediakan komunikasi jarak pendek dengan bandwidth tinggi, kepadatan spektral daya yang cukup rendah, dan konsumsi energi yang rendah. Karena sifat lebar pita yang berkisar antara 3,1 hingga 10,6 GHz, UWB menyediakan resolusi yang besar. Sinyal UWB mentransmisikan *ultra-short pulses* sehingga cocok untuk membedakan antara komponen multipath untuk lingkungan di dalam ruangan. Beberapa sistem UWB berhasil diterapkan di WBAN, salah satunya adalah pendeteksian lokasi tubuh manusia dalam ruangan dengan resolusi tinggi [1], [4].

Saat ini pendeteksian posisi tubuh manusia manusia dengan menggunakan sensor tubuh yang sederhana dan berukuran kecil muncul sebagai area penelitian dan pengembangan yang penting. Salah satu contoh sistem lokalisasi UWB komersial seperti Ubisense, Multispectral Solutions Inc. telah memiliki akurasi 10–15 cm dengan jangkauan operasi sekitar 50 m. Namun, untuk aplikasi industri, olahraga, dan medis jangka pendek tertentu membutuhkan akurasi yang lebih tinggi daripada sistem UWB komersial.

Berbagai aplikasi yang membutuhkan akurasi posisi dan arah gerakan tubuh manusia yang lebih tepat antara lain, pelacakan gerakan kaki, tangan dan dada saat melakukan olahraga dan bermain *games*, motion tracking untuk analisis gait, fisioterapi atau rehabilitasi di dunia kesehatan. Maka akan dibuat penelitian cara mendeteksi posisi manusia yang akurat menggunakan antena UWB [1], [2].

Dalam penelitian ini akan dilakukan penelitan lokasi tubuh manusia di dalam ruangan menggunakan antena vivaldi sebagai *multi antenna sensor* dan *wearable antenna.* Diharapkan dengan penelitian ini didapatkan sebuah metode yang bisa memantau lokasi tubuh manusia dengan akurasi lebih tinggi dibandingkan dengan sistem UWB komersial. Pada penelitian ini akan digunakan metode *time of arrival* (TOA) dan metode trilatertion.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dari tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana cara menghitung jarak dari *mobile station* ke *base station*?
2. Bagaimana cara mendapatkan mendapatkan posisi seseorang di dalam ruangan dengan akurasi dibawah 10 cm menggunakan sensor *multi-antenna* dan *wearable antenna*?
3. Berapa besar akurasi yang didapat dari pendektesian lokasi tubuh manusia menggunakan sensor *multi antenna* dan *wearable* antena?

1.3 Tujuan

Tugas akhir ini bertujuan untuk menghasilkan metode untuk menentukan lokasi tubuh manusia di dalam ruangan yang akurat menggunakan konfigurasi sensor *multi antenna* dan *wearable antenna.*

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari tugas akhir ini adalah:

1. Pengambilan data dan pengukuran dilakukan di dalam ruangan, yaitu di lab. Antena dan Propagasi B306.
2. Instrumen pengukuran yang digunakan adalah VNA Agilent N9923A.
3. Pengukuran menggunakan antena Vivaldi.
4. Daerah yang dicakup untuk pendeteksian lokasi sebesar 1,5 x 1,5 x 1,5 m^3.
5. Antena yang digunakan pada base station berjumlah 4.
6. Semua pengukuran dilakukan secara *line of sight* (LOS).
7. Subjek yang diteliti hanya satu orang.

1.5 Metodologi

Berikut merupakan metodologi yang digunakan :

1. **Studi Literatur**
   Pada tahap studi literatur ini akan dicari referensi yang bisa membantu dan menunjang dalam penyelesaian tugas akhir ini. Referensinya bisa berbentuk literatur dan paper-paper publikasi IEEE mengenai lokalisasi tubuh manusia, metode TOA dan WBAN, dan algoritma apa saja yang digunakan dalam mencari jarak.
2. **Pembuatan Kerangka Model Pengukuran**
   Akan dibuat sebuah kerangka tempat untuk tempat pengkuran agar selama pengambilan data, jarak yang ditetapkan selalu sama dan mempersingkat waktu untuk mempersiapkan pengukuran. Disini kerangka akan dibuat sebesar 1,5 x 1,5 x 1,5 m^3.
3. **Pengukuran Kerangka**
   Setelah dibuatnya kerangka dilakukan pengetesan ukuran kerangkanya agar sesuai dengan daerah cakupan yang ingin diukur. Bila telah sesuai akan dilanjutkan ke langkah sebelumnya, bila tidak, akan dilakukan koreksi atau pembuatan ulang.
4. **Persiapan Peralatan**
   Dimulai dengan pengukuran bandwidth antena, kalibrasi alat pengukuran *vector network analyzer* (VNA), dan mengukur redaman dari kabel.
5. **Pengambilan Data dari VNA**
   Pengambilan data dilakukan setelah semua persiapan telah dilakukan. Data yang diambil adalah data parameter S_{21} dari *mobile station* (MS) yang diletakkan di tubuh manusia ke *base station* (BS) yang terletak di kerangka pengukuran, data tersebut akan lalu disimpan dalam bentuk excel
6. **Algoritma Pengukuran Jarak**
   Nilai S_{21} yang telah diambil dari VNA akan diolah menjadi nilai *channel impulse response* (CIR) dengan mengaplikasikan teknik *inverse fast fouirer transform* (IFFT).
   Setelah mendapat nilai CIR maka akan dilakukan *Peak Detection* untuk mengetahui jaraknya. Dengan cara menghitung waktu propagasi antara *mobile station* (MS) dan *base station* (BS) karena jarak dihitung dengan mengkalikan nilai kecepatan dengan waktu propagasinya.

Lalu dibandingkan dengan jarak perhitungannya, bila sesuai, akan digunakan, apabila tidak sesuai, akan dilakukan kalibrasi agar bisa mendapat jarak yang sebenarnya.

7. **Pencarian Koordinat**
   Setelah mendapat jarak antara *mobile station* (MS) dan *base station* (BS) akan dilakukan trilateration agar mendapat nilai koordinat lokasi tubuh MS secara tiga dimensi.
8. **Pengetesan lokasi**
   Dilakukan pengetesan lokasi yang terukur lalu dibandingkan dengan lokasi aslinya. Apabila sesuai, akan dilanjutkan ke langkah setelah itu, bila tidak sesuai akan dilakukan pengukuran ulang kembali.
9. **Pembuatan kesimpulan**
   Pada tahap ini akan dilakukan analisis semua data yang telah didapat dan akan dibuat kesimpulan akhirnya.
10. **Penyusunan Laporan**
    Tahap ini dilakukan sebagai tahap akhir dari serangkaian pengerjaan tugas akhir ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Pembahasan dalam tugas akhir ini akan dibagi dalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan hal-hal terkait dilakukannya penelitian ini, diantaranya adalah latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan hal-hal teori penunjang perancangan sistem pada bab selanjutnya. Tinjauan pustaka yang digunakan diantaranya adalah penjelasan mengenai WBAN, parameter pada antena, dan instrument untuk pengukuran.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini membahas konfigurasi pengukuran, skenario pengukuran, parameter-parameter antena yang digunakan, dan spesifikasi dari instrumen pengukuran yang digunakan.

BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil pengukuran dan hasil pengolahan data dari algoritma perhitungan jarak dan melihat error yang dihasilkan menurut metode yang digunakan. Menganalisis performa dari trilateration dan membandingkan errornya.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan menyeluruh dari penelitian ini dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

1.7 Relevansi

Akan halnya ada manfaat dari penelitian ini, bisa membantu dalam menghasilkan penentuan lokasi dalam waktu real-time sehingga bisa digunakan dalam bidang medis atau di dunia perfilman.

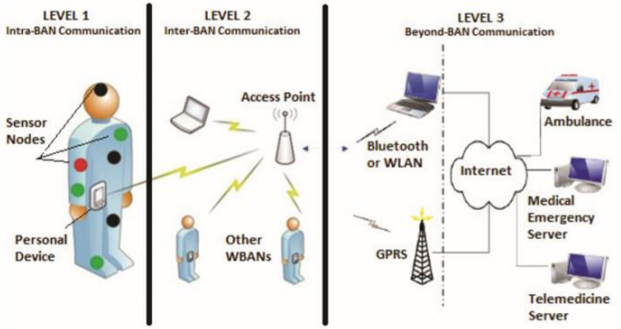
Lembar ini sengaja dikosongkan

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 WBAN

Wireless Body Area Network (WBAN) adalah jaringan nirkabel berbasis radio yang dirancang khusus untuk monitoring kondisi vital pada tubuh manusia. Meningkatnya penggunaan jaringan nirkabel dan miniaturisasi perangkat listrik yang non-invasif telah memberdayakan pengembangan WBAN. WBAN menyediakan pemantauan kesehatan terus menerus dari pasien tanpa kendala dengan aktivitas normal sehari harinya.

WBAN terdiri dari sejumlah sensor. Sensor-sensor ini ditempatkan di berbagai bagian tubuh dan dapat dipakai atau ditanamkan di bawah kuli pengguna. Masing-masing dari sensor memiliki kualifikasi dan digunakan untuk kepreluan yang berbeda beda. WBAN dapat digunakan untuk mengukur perubahan tanda vital pasien dan mendeteksi emosi atau status manusia, seperti rasa takut, stres, kebahagiaan, dll. Mereka berkomunikasi dengan *node* koordinator khusus, yang umumnya membutuhkan sedikit energi dan memiliki kapasitas pemrosesan yang cukup besar. Alat tersebut ini bertanggung jawab untuk mengirimkan sinyal biologis pasien ke dokter untuk memberikan diagnosa medis secara *real-time* dan memungkinkannya mengambil keputusan yang tepat dalam waktu yang sigkat.



Gambar 2.1 Arsitektur WBAN [3]

Arsitektur umum WBAN terdiri dari tiga tingkatan komunikasi: komunikasi Intra-BAN, komunikasi Inter-BAN dan komunikasi *beyond*-BAN. Komunikasi Intra-BAN menunjukkan komunikasi antara sensor tubuh nirkabel dan *node* utama WBAN. Komunikasi Inter-BAN melibatkan komunikasi antara node master dan perangkat pribadi seperti notebook, robot, layanan rumah, dan sebagainya. *Beyond*-BAN menghubungkan perangkat pribadi ke Internet. Komunikasi antara bagian yang berbeda porting oleh beberapa teknologi, seperti Bluetooth, IEEE802.15.4. IEEE802.15.6 dirancang khusus untuk aplikasi WBAN saat merespons sebagian besar persyaratan mereka [3].

2.2 Antena

Antena adalah alat yang digunakan untuk mengirimkan ataupun menerima sinyal elektromagnetik di udara maupun di ruang bebas. Antena memiliki tujuan untuk membuat sinyal listrik untuk mencapai jarak yang jauh dari antena dengan kata lain meradiasikan sinyalnya. Misalnya, antena pemancar yang baik akan menghasilkan kerapatan daya yang dapat dideteksi pada jarak yang jauh dari sumber. IEEE mendefinisikan antena sebagai "bagian dari sistem pengirim atau penerima yang dirancang untuk memancarkan atau menerima elektromagnetik. Panjang gelombang dari suatu antena dapat ditentukan dari persamaan berikut [8]:

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{2.1}$$

dimana,

λ : panjang gelombang,
c : kecepatan cahaya ($3x10^8$ m/s),
f : frekuensi kerja antena.

2.2.1 Antena UWB

Teknologi antena *Ultra-Wide Band* (UWB) menyediakan komunikasi jarak pendek dengan bandwidth yang cukup lebar dan tingkat konsumsi energi yang sangat rendah merupakan hal yang sangat menarik untuk pengembangan teknologi WBAN. UWB mengurangi kepadatan spektral daya, yang berarti waktu pakai baterai lebih lama dan pengurangan paparan elektromagnetik untuk penggunaan on-body berkelanjutan, teknologi ultra-wideband (UWB) juga membantu

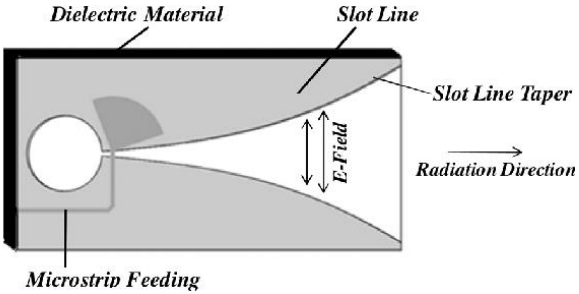
pengembangan teknologi WBAN. Antena UWB juga cukup kecil sehingga bisa digunakan dalam aplikasi *wearable* [4].

Sinyal *ultra-wide-band* (UWB) dikarakteristikkan dengan bandwidth yang sangat besar dibandingkan dengan sinyal *narrow-bandwide-band* konvensional. Menurut Federal Communications Comission (FCC), sinyal UWB didefinisikan memiliki bandwidth absolut minimal sebesar 500 MHz atau bandwidth fraksional (relatif) lebih besar dari 20%. Karena sinyal UWB menempati bagian yang sangat besar dalam spektrum frekuensi, maka UWB perlu bisa bekerja dengan sistem yang sudah ada tanpa menyebabkan interfrensi yang signifikan. Oleh karena itu, seperangkat aturan dibuat untuk sistem yang mentransmisikan sinyal UWB. Menurut peraturan FCC, sinyal UWB harus mentransmisikan di bawah level daya tertentu agar tidak menyebabkan interfrensi di sistem yang lama dalam spektrum frekuensi yang sama. Jadi, *power spectral density* (PSD) tidak boleh melebihi -41,3 dBm/Mhz dan diatas pita frekuensi 3,1 hingga 10,6 GHz, dan itu harus lebih rendah di luar pita ini, tergantung aplikasi spesifik [6].

2.2.1.1 Antena Vivaldi

Antena Vivaldi adalah antena planar dengan bobot ringan berukuran kecil, *bandwith* lebar, pola radiasi terarah, dan gain tinggi. Antena Vivaldi bisa digunakan untuk mendekteksi melewati dinding,, *imaging*, radar dan komunikasi. Bandwidth dan kinerja pola radiasi antena Vivaldi tergantung pada geometri seperti panjang dan lebar, mulut dari *tapered slot* dan kemiringan *tapered slot*. Bentuk *feeding*, bentuk radiator dan substrat juga mempengaruhi bandwidth dan kinerja pola radiasi [8].

Dalam hal struktur desain, antena Vivaldi dapat dibagi menjadi tiga kelas, yaitu Antena Coplanar Vivaldi, Antipodal Vivaldi Antena (AVA) dan Balanced Antipodal Vivaldi Antena (BAVA), masing-masing dengan kekuatannya sendiri. Sebagai contoh, keluarga AVA umumnya menunjukkan gain tinggi dan lebar. Namun, bandwidth lebar menyiratkan munculnya *grating lobes* ketika antena digunakan dalam konfigurasi array terutama di wilayah frekuensi tinggi band [8].



Gambar 2.2 Dimensi Antena Vivaldi

2.2.2 Koefisien Pantul

Koefisien pantul adalah nilai yang digunakan menyatakan perbandingan dari gelombang pantul dengan gelombang datang. Rumus untuk melihat hubungan daya, tegangan, dan impedansi karakteristik ditunjukkan pada persamaan 2.1 [7].

$$P = \frac{v^2}{Z_0} \tag{2.1}$$

dimana,

P : daya,

v : tegangan,

Z_0 : impedansi karakteristik.

Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks di mana merepresentasikan besaran magnitudo dan fasa refleksi, dimana koefisien refleksi tegangan dapat digunakan untuk menganalisis kondisi dari saluran transmisi dan dapat dihitung dengan persamaan 2.2 [7]:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \tag{2.2}$$

dimana,

Γ : koefisien refleksi tegangan,

V_0^- : tegangan terpantul,

V_0^+ : tegangan masuk,

Z_L : impedansi beban,
Z_0 : impedansi karakteristik.

Untuk beberapa kasus, saat bagian imajiner dari persamaan Γ sama dengan nol, maka:
Γ = -1, refleksi negatif maksimum, saat saluran terhubung singkat
Γ = 0, tidak ada refleksi, saat saluran dalam kondisi *matched* sempurna
Γ = 1, refleksi positif maksimum, saat saluran dalam keadaan *open circuit*

2.2.3 Return Loss

Return loss merupakan nilai yang menyatakan perbandingan antara daya yang dipantulkan dengan daya yang masuk dalam besaran dB. Rumus untuk menemukan return loss dapat dilihat di persamaan 2.3 [7]:

$$RL\ (dB) = 20 \log|\Gamma| = 10 \log\left(\frac{Pi}{Pr}\right) \qquad (2.3)$$

dimana,
RL : return loss,
Γ : koefisien refleksi tegangan,
Pi : tegangan pantul,
Pr : tegangan masuk.

Nilai dari *return loss* digunakan untuk melihat kinerja dari antena, terutama sebagai pertimbangan penentuan frekuensi kerja dari antena. Semakin rendah nilai *return loss* suatu antena maka akan semakin baik kinerja dari antena tersebut karena menandakan daya yang dipantulkan semakin kecil jika dibandingkan dengan daya yang masuk. Nilai *return loss* harus ≤ -10dB [7].

2.2.4 VSWR

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) adalah rasio perbandingan antara tegangan gelombang berdiri maksimum dengan tegangan gelombang berdiri minimum. VSWR juga dapat ditentukan dengan menggunan koefisien pantul tegangan. Persamaan yang digunakan untuk mencari nilai VSWR [7]:

$$VSWR = \frac{|Vmax|}{|Vmin|} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.4)$$

dimana,

VSWR : voltage standing wave ratio,
Γ : koefisien refleksi tegangan,
Vmax : amplitudo tegangan gelombang berdiri maksimum,
Vmin : amplitudo tegangan gelombang berdiri minimum.

2.2.5 Bandwidth

Bandwidth dari sebuah antena adalah rentang frekuensi di mana kinerja antena, dengan mempertimbangkan karateristik, sesuai dengan standar yang ditentukan. Bandwidth dapat dianggap sebagai rentang frekuensi, di kedua sisi frekuensi pusat (biasanya frekuensi resonansi untuk dipol), di mana karakteristik antena (seperti impedansi input, pattern, beamwidth, polarization, level *side lobe*, gain, beam direction, efisiensi radiasi) berada dalam nilai yang dapat diterima dari mereka yang berada di frekuensi pusat. Berikut adalah persamaan untuk menghitung *bandwidth* [9]:

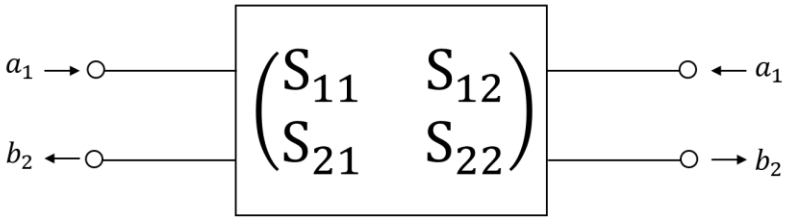
$$BW = f_1 - f_2 \quad (2.5)$$

dimana,

BW : bandwidth,
f_1 : batas atas frekuensi kerja,
f_2 : batas bawah frekuensi kerja.

2.3 Scattering Parameter

S-parameter atau *scattering parameter* adalah deskriptor gelombang daya yang memungkinkan kita untuk menentukan hubungan input-output dari jaringan dalam hal *incident* dan gelombang daya yang terpantulkan. S-parameter hanya dapat ditentukan dalam kondisi *matching* yang sempurna pada sisi input atau output [7].



Gambar 2.3 S-Parameter dengan 2 port [7]

Di gambar 5, telah ditunjukkan S-parameter yang didapat pada kondisi 2 port. Dari hal tersebut dapat S-Parameter dapat dijelaskan sebagai [7]:
S_{11}: input reflection coefficient (perbandingan daya yang masuk dan keluar dari port 1),
S_{12}: reverse transmission (perbandingan daya masuk dari port 1 dan keluar ke port 2),
S_{21}: forward transmission (perbandingan daya masuk dari port 2 dan keluar ke port 1),
S_{22}: output reflection coefficient (perbandingan daya yang masuk dan keluar dari port 2),

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \quad (2.6)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \quad (2.7)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \quad (2.8)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \quad (2.9)$$

Keterangan
a_1: daya yang masuk dari port 1
a_2: daya yang masuk dari port 2
b_1: daya yang keluar ke port 1
b_2: daya yang keluar ke port 2

2.4 Inverse Fast Fourier Transform

Discrete fourier transform (DFT) adalah transformasi seperti transformasi integral Fourier atau transformasi seri fourier. Ini adalah

operasi pemetaan reversibel yang kuat untuk deret waktu. DFT memiliki sifat matematika yang sepenuhnya analog dengan transformasi integral Fourier. Secara khusus, DFT mendefinisikan sebuah spektrum frekuensi dari deret waktu. Sementara, *inverse discrete fourier transform* (IDFT) adalah kebalikan dari IDFT, dimana mengubah dari spektrum frekuensi menjadi deret waktu. IDFT dapat dijelaskan dengan persaamaan berikut:

$$\mathrm{x(n)} = 1/N \sum_{k=0}^{N-1} \mathrm{X(k)} W_N^{-nk} \tag{2.10}$$

Inverse fast fourier transform (IFFT) adalah prosedur yang sangat efisien untuk menghitung IDFT dari spektrum frekuensi. Ini mengambil keuntungan dari kenyataan bahwa perhitungan koefisien DFT dapat dilakukan secara iteratif, yang menghasilkan penghematan waktu komputasi yang cukup besar [13].

2.5 Channel Impulse Response

Channel Impulse Response (CIR) atau respon impuls adalah fungsi transfer kanal dalam domain waktu $h(t)$. Respon impuls tersebut biasanya didapat dengan metode *Inverse Fast Fourier Transformation* dari fungsi transfer kanal domain frekuensi $H(f)$. Respon Impuls juga dapat dimodelkan sebagai *Respon Impulse Time Invariant* karena biasanya dilakukan pada sistem yang *Linear Time-Invariant*. Respon impuls $h(t)$ dari sebuah sistem *Linear Time-Invariant* (*T*) didefiniskan sebagai respon dari sistem. Jika $h(t) = 0$ untuk $t < 0$, maka sistem dapat dikatakan sebagai sistem yang causal [1].

2.6 Time of Arrival

Time of Arrival (TOA) merupakan teknik mencari jarak paling sederhana dan paling umum. TOA yang paling terkenal digunakan dalam Global Positioning System (GPS). Metode ini didasarkan pada mengetahui waktu paket yang dikirim yang tepat, waktu yang tepat sinyal tiba di titik referensi, dan kecepatan di mana sinyal bergerak (biasanya kecepatan cahaya). Setelah ini diketahui, jarak dari titik referensi dapat dihitung menggunakan persamaan sederhana [12]:

$$d = c * (t_{arrival} - t_{sent}) \quad (2.11)$$

dimana,

d : jarak,
c : kecepatan cahaya,
$t_{arrival}$: waktu sampai pada tujuan,
t_{sent} : waktu saat paket mulai dikirim.

Dalam dua dimensi, ini menghasilkan lingkaran dengan persamaan [12]:

$$d = \sqrt{(X_{ref} - X)^2 + (Y_{ref} - Y)^2} \quad (2.12)$$

dimana,

d : jarak,
X_{ref} : titik koordinat referensi dalam dimensi *X*,
X : titik koordinat yang dicari dalam dimensi *Y*,
Y_{ref} : titik koordinat referensi dalam dimensi *X*,
Y : titik koordinat yang dicari dalam dimensi *Y*.

di mana (X_{ref}, Y_{ref}) adalah posisi titik referensi yang diketahui. Setelah himpunan ini dihitung untuk titik referensi yang cukup (setidaknya tiga untuk dua dimensi atau setidaknya empat untuk tiga dimensi), posisi tepat target dapat dihitung dengan menemukan persimpangan [12].

2.7 Trilateration

Trilateration adalah sebuah metode untuk menentukan posisi relatif dari tiga titik atau lebih dengan menggunakan titik titik ini sebagai simpul dari segitiga atau segitiga di mana sudut dan sisi dapat diukur. Trilateration bisa menggunakan lingkaran maupun bola untuk mengestimasi posisi yang ingin dicari.

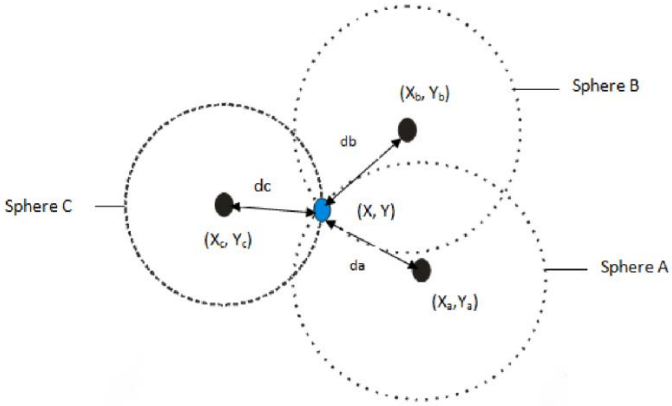
Mempertimbangkan rumus dasar untuk persamaan umum bola seperti yang ditunjukkan dalam persamaan:

$$d^2 = x^2 + y^2 + z^2 \qquad (2.13)$$

Dimana d adalah jarak dan (x, y, z) adalah dimensi dari bola. Untuk bola yang berpusat pada titik base station (BS) (X_a, Y_a, Z_a) persamaan untuk mengetahui jarak antara bola dengan titik yang dicari disederhanakan seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.14);

$$d^2 = (X - X_a)^2 + (Y - Y_a)^2 + (Z - Z_a)^2 \qquad (2.14)$$

Dimana (X, Y, Z) adalah titik koordinat dari lokasi yang ingin dicari. Dan adalah nilai jaraknya [11].



Gambar 2.4 Trilateration menggunakan tiga lingkaran [11]

Bila diasumsikan semua node berada pada bidang yang sama, pertimbangkan tiga node *base station* (BS) (a, b dan c) yang memiliki jarak (d_a, d_b, d_c) ke *mobile station* (MS) yang tidak diketahui lokasinya seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.4.

Untuk mencari lokasi node yang ingin dicari maka dicari maka perlu mendapatkan nilai bidang persimpangan dari lingkaran. Untuk memeperhitungkan bisa menggunakan beberapa metode [11].

2.8 Instrumen Pengukuran

Intrumen pengukuran yang digunakan adalah *vector network analzer* (VNA), kabel RG402, Kable RG58. Spesifikasi dan penjelasan mengenai instrument pengukuran dijelaskan di subbab ini.

2.8.1 Vector Network Analyzer

Vector network analyzer (VNA) adalah alat ukur atau instrumen yang dapat digunakan untuk mengukur parameter antena dalam domain frekuensi. Parameter yang dapat diukur diantaranya ialah *scattering parameter*, *voltage standing wave ratio, return loss,* dan *bandwidth.*

Gambar 2.5 VNA *Handheld* Agilent N9923A

Pada penelitian ini VNA yang digunakan adalah VNA Agilent N9923A. VNA ini dapat melakukan pengukuran pada frekuensi 2 MHz hingga 6 GHz. Spesifikasi dari *Vector Network Analyzer* Agilent N9923A dapat dilihat dari tabel berikut.

Tabel 2.1 Spesifikasi VNA *Handheld* Agilent N9923A

No.	Deskripsi	Keterangan
1	Frekuensi *range*	2 Mhz *to* 6 Ghz

2	*Data points*	101, 201, 401, 601, 801, 1001, 1601, 4001, 10,001
3	*Measurements*	*S_{11}, S_{21} magnitude and phase S_{22}, S_{12} magnitude and phase*
4	Format	*Log magnitude, linear magnitude, VSWR, phase, Smith chart, polar, group delay, unwrapped phase, real, imaginary*
5	VSWR	1.01 *to* 1000
6	VSWR *Resolution*	0.01
6	*Directivity*	42 dB 38 dB (*Corrected with quick cal)*
7	*System Impedance*	50Ω (nominal) 75Ω *with appropriate adapter and calibration kit*
8	*IF bandwidths*	300 Hz, 1 KHz, 3 KHz, 10 KHz, *and* 30 KHz
9	*Test port output power*	+5 dBm (nominal) -40 dBm (nominal)
10	*Phase*	-180 *to* 180 *degrees*
11	*Log Magnitude S11 or S_{22}*	-1000 *to* 1000 dB
12	*Log Magnitude S_{21} or S_{12}*	-1000 *to* 1000 dB

2.8.2 Kabel RG58

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 RG58.

Tabel 2.2 Spesifikasi kabel RG58

	Polythene/PVC	
	50 Ω	**75 Ω**
RG Type	RG58BU/CU	RG59/BU
Conductor Type	TC	CCS
Conductor Area	19/0.18	1/0.58
Insulation	Polythene	
Insulation Diameter	2.95	3.70
Screen Braid	TC	PAC
Screen Diameter	3.50	4.40
Sheath	PVC	
Sheath Diameter	4.95	6.15
Weigh Kg/100m	37	52
Capacitance (pF/m)	100	67
Impedance (Ω)	50	75
Attenuation dB per 100 meters at 400MHz	39.5	29.5
Velocity Ratio	666	

Dimensions : milimeter

2.8.3 Kabel RG402

RG402 adalah kabel *semi-rigid*. Jenis kabel koaksial dicirikan oleh konduktor luar yang kaku. Aplikasi dari kabel ini adalah untuk *internal wiring* peralatan *radio frequency* (RF) atau untuk aplikasi radio.

Tabel 2.3 Spesifikasi kabel RG402

Description	**Specification**
Impedance	50 Ω
Capacitance	Mom. 94 pF/m
Velocity of signal Propagation	71%
Signal Delay	4.8 ns/m

Working voltage AC r.m.s	2500 max
Suitable Frequency	Up to 20 GHz
Shielding Effectiveness	Typically <-130dB/m

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Pada bagian ini akan dibahas mengenai rancangan penelitian ini, dimulai dengan alur pengerjaan, persiapan instrumen pengukuran, skenario pengukuran, dan cara pengolahan data. Persiapan instrumen pengukuran meliputi hal hal seperti, kalibrasi instrumen *vector network analyzer* (VNA), pengukuran VSWR antena vivaldi, dan mengukur redaman dari kabel. Selain itu, di dalam penelitian ini juga tertera tahap pembuatan kerangka pengukuran serta membahas mengenai skenario yang dipilih pada penelitian ini. Data yang diambil atau diukur pada penelitian ini adalah parameter S_{21} dari antena vivaldi pada tubuh manusia atau *mobile station* (MS) ke antena vivaldi yang terletak di sekitar subjek yang digunakan sebagai sensor atau *base station* (BS), jenis data yang diambil adalah magnitude dan phasanya. Semua pengukuran di penelitian ini dilakukan di Laboratorium Propagasi dan Antena ITS sejak tanggal 10 Februari hingga 2 April 2020.

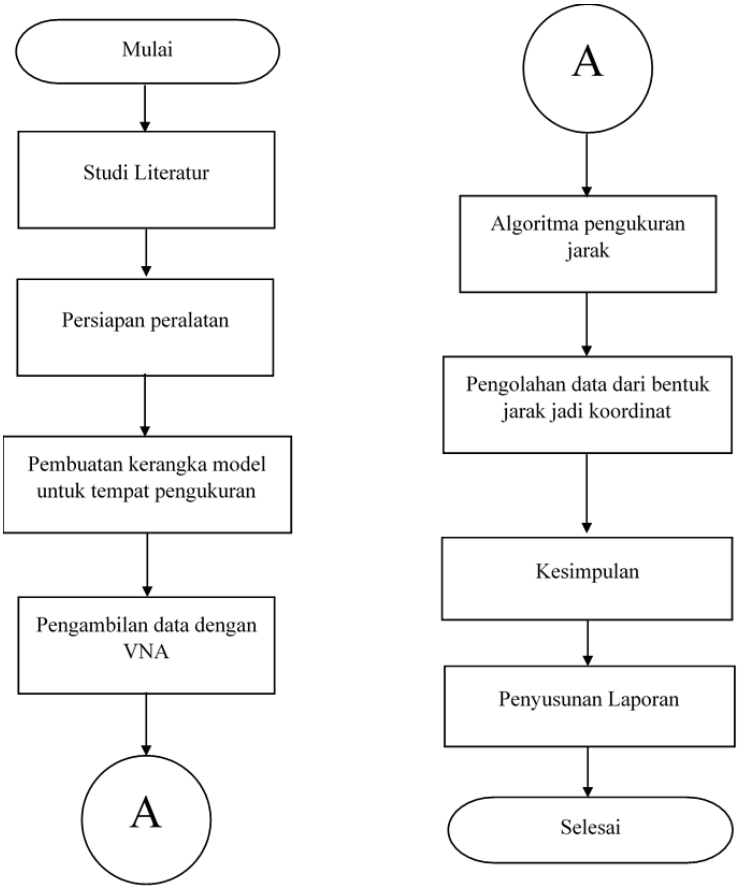
Dilanjutkan dengan proses pengolahan data, yang dimulai dengan proses *inverse fast fourier transform* (IFFT), perhitungan data menjadi jarak, dan melakukan trilateration sehingga mendapat estimasi lokasi koordinat MS. Semua pengolahan data dilakukan di software Matlab.

Dalam pengukuran ini, alat-alat yang diperlukan adalah lima antena vivaldi, kabel RG58 dan RG402 dan VNA Handheld Agilent N9923A. Satu antenna akan diletakkan di badan manusia dan antena dan empat antena akan diletakkan di kerangka pengukuran yang berfungsi sebagai sensor *multi-antenna*.

3.2 Alur Penelitian

Alur dari penelitian ini dari awal sampai akhir dapat dilihat di gambar 3.1. Dari diagram tersebut, penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur, lalu dilanjutkan dengan persiapan peralatan, kemudain dilanjutkan dengan pembuatan kerangka untuk tempat pengukuran. Setelah semua persiapan telah selesai, baru akan dilakukan

pengukuran S_{21} dari dua antena vivaldi. dengan pengolahan data tersebut dan diakhiri dengan penyusunan laporan tugas akhir ini.



Gambar 3.1 Alur penelitian

3.3 Persiapan Peralatan Pengukuran

Hal yang dilakukan pertama setelah studi literatur adalah mempersiapkan peralatan. Persiapan peralatan bisa dibagi menjadi beberapa tahap, antara lain, kalibrasi *vector network analyzer* (VNA),

pengukuran *voltage standing wave ratio* (VSWR) dan bandwidth dari antena, dan pengukuran redaman dari RG56 dan RG402

3.3.1 Kalibrasi VNA

Sebelum memulai pemakaian alat ukur *vector network analyzer* (VNA), perlu dilakukan kalibrasi agar instrumen memenuhi standard yang sudah diketahui. Kalibrasi VNA yang dilakukan perlu disesuaikan dengan jenis pengukuran yang dilakukan, seperti untuk pengukuran VSWR satu antena yang hanya perlu menggunakan satu port maka dikalibrasi menggunakan metode 1 port *calibration,* sedangkan, pengukuran S_{21} antar dua antena memerlukan metode 2 port *calibration*. Disini akan dijelaskan tahap-tahap untuk setiap kalibrasi yang dilakukan. Berikut langkah langkah yang diperlukan untuk kalibrasi VNA untuk 1 port:

1. Menyiapkan alat ukur VNA dan load, dan short circuit adapter.
2. Menghidupkan *vector network analyzer* dan menunggu proses *booting vector network analyzer* hingga selesai.
3. Masuk ke menu kalibrasi.
4. Dipilih metode quick cal dan lalu menggunakan pilihan 1 port dan mulai kalibarinya.
5. menyambungkan short circuit adapter pada port 1, tekan next dan tunggu hingga selesai.
6. Memasang load pada port 1 lalu menekan next dan menunggu hingga selesai.
7. VNA akan terkalibrasi setelah itu.

Dan untuk kalibrasi dengan 2 port berikut adalah langkah langkah yang perlu dilakukan:

1. menyiapkan alat ukur VNA dan load, dan short circuit adapter, dan adapter untuk menghubungkan 2 port.
2. Menghidupkan *vector network analyzer* dan menunggu proses *booting vector network analyzer* hingga selesai.
3. Masuk ke menu kalibrasi.
4. Pilih metode quick cal dan lalu klik pilihan 2 port dan mulai.
5. Port 1 dan port 2 dibiarkan kosong dan lalu memilih next dan menunggu hingga selesai.

6. Memasang load pada port 1 dan menekan next, lalu menunggu hingga selesai.
7. Memasang load pada port 2 dan menekan next, lalu menunggu hingga selesai.
8. Menghubungkan port 1 dan port 2 menggunakan adapter lalu tekan next dan tunggu hingga selesai.
9. VNA akan terkalibrasi untuk 2 port setelah itu.

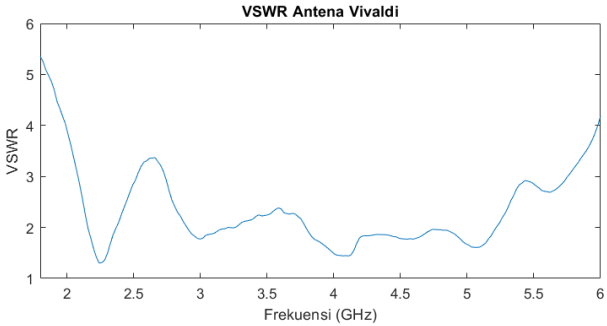
Setelah ini VNA akan bisa mulai digunakan untuk melakukan pengukuran pada penelitian ini.

3.3.2 Pengukuran VSWR Antena

Untuk mengetahui rentang frekuensi atau bandwidth yang digunakan untuk pengukuran, maka perlu diketahui rentang kerja frekuensi dari antena yang digunakan. *Voltage standing wave ratio* (VSWR) dapat digunakan sebagai batas kelayakan antena di frekuensi tertentu. Frekuensi antena dianggap layak bila mempunyai nilai VSWR kurang dari 2. Oleh karena itu, kita dapat melakukan estimasi rentang dengan mengurangi batas atas frekuensi kerja antenna dengan batas bawah frekuensi kerja dari antena.

Untuk mencari nilai VSWR digunakan instrument *vector network analyzer* (VNA) dengan kalibrasi untuk satu port dan kabel RG402. Langkah langkah untuk mendapat VSWR adalah:

1. menyiapkan instrumen VNA, kabel RG402 dan antena yang ingin diukur.
2. Menghidupkan *vector network analyzer* dan menunggu proses *booting vector network analyzer* hingga selesai.
3. Sambungkan antena ke port 1 VNA dengan menggunakan kabel RG402.
4. Memilih tombol measure dan pilih parameter S_{11}.
5. Menggunakan mode pengukuran VSWR.
6. Digunakan cursor untuk melihat batas atas dan batas bawah rentang frekuensi antena.



Gambar 3.2 Gambar VSWR antena vivaldi

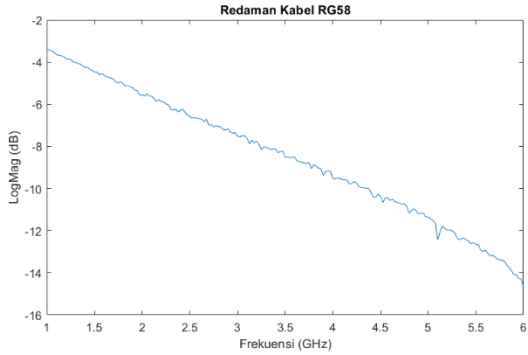
Setelah dilakukan tahap tahap tersebut, akan terlihat nilai VSWR antena tersebut dalam suatu rentang frekuensi pengukuran. Salah satu contoh nilai VSWR antena dapat dilihat di gambar 3.2.

3.3.3 Pengukuran Redaman Kabel

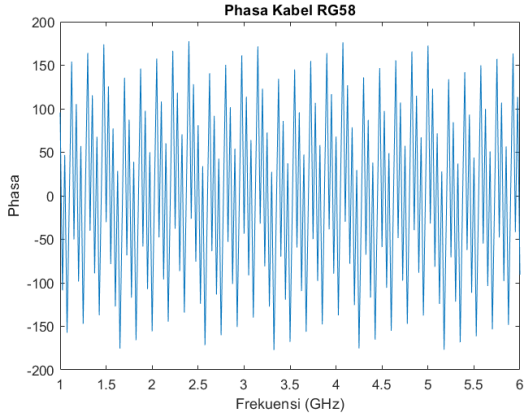
Untuk mendapatkan pengukuran yang lebih akurat, maka perlu diketahui nilai *losses* yang terjadi saat pengukuran. Salah satu *losses* dari pengukuran berasal dari kabel. Kabel yang digunakan pada penelitian ini adalah kabel RG58 sepanjang 5 m, dan juga kabel RG402 sepanjang 30 cm.

Vector network analyzer (VNA) digunakan untuk mengukur redaman dari setiap kabel yang digunakan. Langkah langkah untuk mengukur redaman kabel adalah:

1. menyiapkan instrumen VNA, kabel RG58 yang ingin diukur.
2. Menghidupkan *vector network analyzer* dan menunggu proses *booting vector network analyzer* hingga selesai.
3. Melakukan kalibrasi antena dengan mode 2 port.
4. Sambungkan kabel yang ingin diukur ke port 1 dan port 2
5. memilih measure dan pilih parameter S_{21}.
6. Menggunakan mode pengukuran LogMag dan Phase.
7. Digunakan cursor untuk melihat batas atas dan batas bawah rentang frekuensi antena.
8. Menekan “Start” untuk mengatur awal rentang frekuensi, menggunakan “Stop” untuk mengatur akhir rentang frekuensi.
9. Mengulangi langkah 1 sampai 8 untuk kabel yang lainnya.



Gambar 3.3 Magnitude redaman kabel



Gambar 3.4 Phasa redaman kabel

3.4 Pembuatan Kerangka Pengukuran

Dalam penelitian ini dibutuhkan kerangka untuk memudahkan proses pengukuran. Tujuan dari pembuatan kerangka pengukuran adalah sebagai tempat untuk meletakkan antena *base station* (BS) atau *multi-antenna sensor* dan untuk merepresentasikan daerah pengukuran yang dilakukan.

Volume dari kerangka pengukuran ini adalah sebesar 1,5 x 1,5 x 1,5 m^3. Kerangka dibuat dari pipa PVC dengan diameter 1 inch. Langkah langkah untuk membuat kerangka pengukuran adalah:

1. menyiapkan 8 buah pipa pvc sepanjang 2 m dan 4 fitting 3 way.
2. memotong 4 pipa pvc hingga sepanjang 1,5 m.
3. menyambungkan 4 pipa PVC yang telah dipotong menggunakan fitiing hingga terbentuk persegi di tanah.
4. Merangkai 4 pipa lainya sehingga berdiri ke atas.

Gambar 3.5 Kerangka Pengukuran

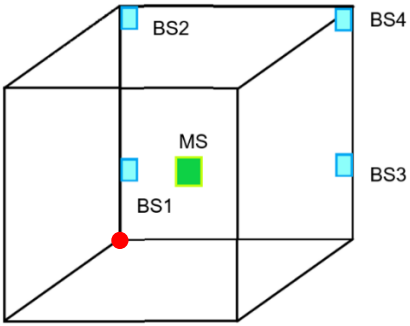
Bentuk kerangka pengukuran dapat dilihat di gambar 3.5, kerangka berada di Laboratorium Propagasi dan Antena ITS. Kerangka berbentuk persegi panjang tanpa tutup.

3.5 Skenario Pengukuran

Pada penelitian ini semua pengukuran dilakukan dengan skenario *line of sight* (LOS). Subjek berdiri di dalam kerangka pengukuran dan ditempelkan *wearable antenna* sebagai *mobile station* (MS) dan di sekelilingnya diletakkan antena vivaldi berjumlah empat sebagai *multi-antenna sensor* atau *base station* (BS). Pada proses pengukuran subjek manusia atau MS dapat berubah-ubah lokasinya namun harus tetap dalam daerah cakupan sebesar 1,5 x 1,5 x 1,5 m^3. Dan

subjek selalu menghadap antena pada BS agar pengukuran selalu dalam keadaan LOS.

Pada penelitian ini, pengukuran dilakukan pada dua nilai bandwidth yang berbeda. Bandwidth yang dipilih adalah 3GHz (2GHz-5GHz) dan 5GHz (1GHz-6GHz). Bandwidth 3GHz dipilih karena itu merupakan nilai bandwidth maksimum dari antena vivaldi yang digunakan. Bandwidth 5 GHz digunakan untuk mendapat nilai resolusi yang besar.



Gambar 3.6 Konfigurasi base station

Pada penelitian kali ini, digunakan empat base station di lokasi yang berbeda, ini dikarenakan untuk mendapat estimasi koordinat menggunakan trilateration membutuhkan minimal tiga lokasi BS dan jaraknnya ke MS. Konfigurasi BS yang dipilih pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.6. Konfigurasi ini dipilih untuk memaksimalkan kemungkinan untuk pengukuran dilakukan secara *line of sight.* Antena pada BS diarahkan ke tengah kerangka pengukuran.

Penempatan base station berada pada koordinat BS1 (0, 0, 50 cm), BS2 (0, 0, 2 m), BS3 (0, 1.5m, 50 cm), BS4 (0, 1.5m, 2 m). Titik nol ditujukkan pada lingkaran merah pada gambar 3.6.

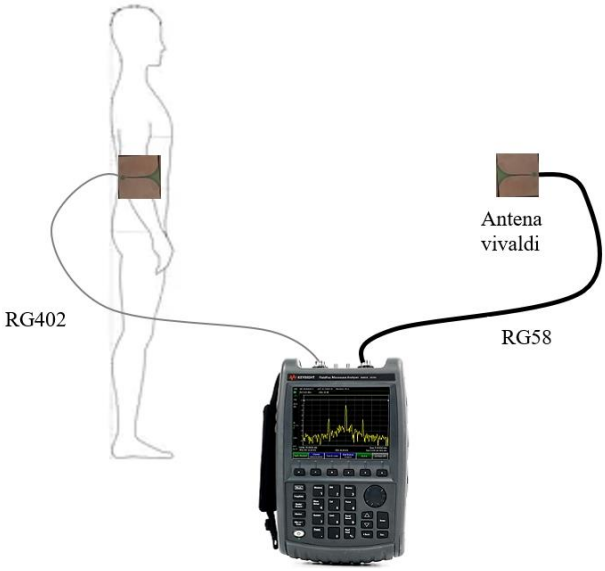
Gambar 3.7 Skenario Pengukuran

Pada gambar 3.7, dapat dilihat skenario pengukuran yang dilakukan. Di gambar tersebut kedua antena tersebu terlihat berhadapan antara satu sama lain. Lokasi MS atau *wearable antenna* terletak di siku subjek manusia, lokasi ini dipilih karena memiliki error yang paling rendah menurut referensi [1] dan kemungkinan paling besar untuk mendapatkan *line of sight*. Lokasi base station pada gambar tersebut adalah lokasi BS3 menurut gambar 3.6

3.6 Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data semua dilakukan di Laboratorium Propagasi dan Antena ITS, ini untuk melihat efek dari lingkungan dalam ruangan. Prose pengambilan data menggunakan instrumen pengukuran *vector network analyzer* (VNA). Proses pengambilan data dilakukan secara satu per satu untuk setiap *base station* (BS) ke *mobile station* (MS) karena instrumen VNA Handheld Agilent N9923A hanya mempunyai

dua port. Jadi untuk setiap pengukuran dilakukan empat kali pengambilan data.

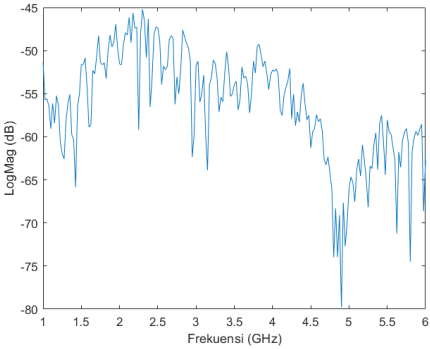


Gambar 3.8 Skema Pengukuran

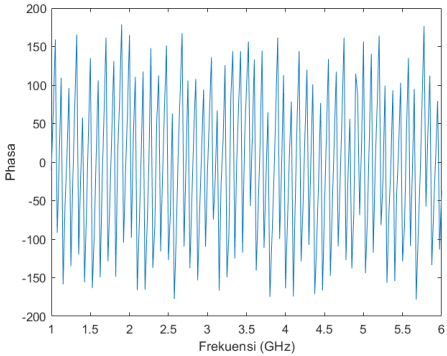
Bentuk skema pengukurannya dapat dilihat pada gambar 3.8. Dilihat dari skema pengukurannya, port 1 VNA tersambung dengan *mobile station* dengan menggunakan kabel RG402 dan port 2 VNA tersambung dengan *base station* dengan kabel RG58.

Data yang diambil atau diukur pada proses pengukuran ini adalah parameter S_{21} dari MS ke BS. Dari parameter tersebut dicari nilai *magnitude*-nya dan juga nilai phasanya.

Setelah dilakukan pengukuran menggunakan VNA, dilakukan juga pengukuran lokasi secara manual lokasi dari MS dan BS yang sebenarnya. Ini dilakukan untuk menghitung akurasi dari pengukuran.



Gambar 3.9 *Magnitude* pengukuran



Gambar 3.10 Phasa Pengukuran

Dua data yang diukur pada penetian ini bisa dilihat di gambar 3.10 dan 3.11.

3.7 Resolusi Pengukuran

Untuk mengukur resolusi dari pengukuran, perlu diketahui jarak antar sampel. Di respon impuls jarak antara sampel adalah sebuah notasi waktu dengan simbol Δt, yang bisa di cari dengan menggunakan persamaan:

$$\Delta t = \frac{1}{BW}$$

Karena pada penelitian ini menggunakan dua bandwidth, maka resolusi untuk bandwidth 3GHz dan 5GHz memiliki nilai berbeda. Untuk bandwidth 5GHz dan 3GHz dapat dihitung menjadi:

$$\Delta t = \frac{1}{5 \times 10^9 Hz}$$
$$\Delta t = 2ns$$

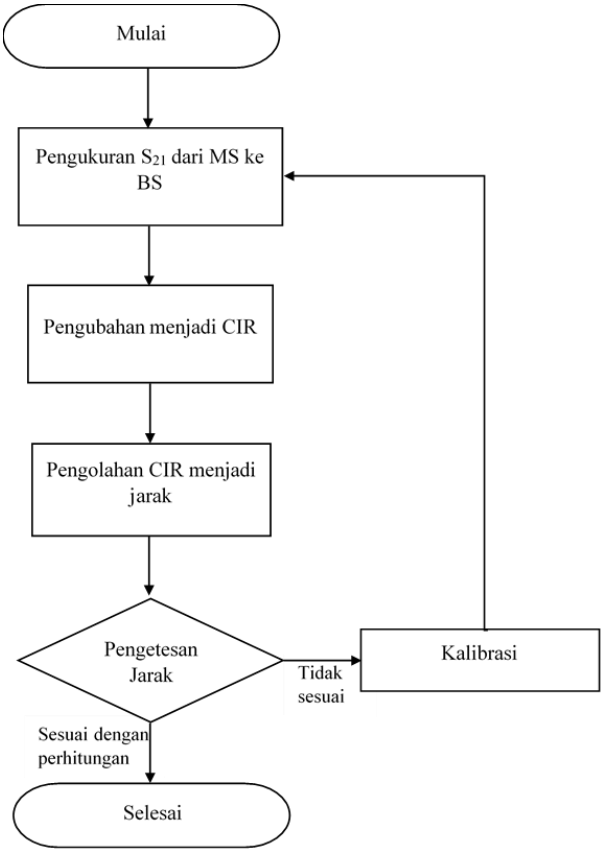
$$\Delta t = \frac{1}{3 \times 10^9 Hz}$$
$$\Delta t = 3{,}33ns$$

Karena diketahui rumus jarak adalah waktu dikali kecepatan dan sudah diketahui kecepatan dari propagasi gelombang elektromagnetik hampir sama dengan kecepatan cahaya maka jarak antara sampel bisa dihitung. Untuk bandwidth 5GHz memiliki resolusi jarak sebesar 6cm dan untuk perhitungan 3GHz memiliki resolusi jarak sebesar 10 cm.

3.8 Pengolahan Data

Proses pengolahan data dapat dipisahkan menjadi beberapa langkah. Semua pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan software MatLab. Langkah langkah dari proses pengolahan data dapat dilihat di gambar 3.11. Setelah dilakukan pengukuran, akan terkumpul data S_{21} dari *mobile station* (MS) ke *base station* (BS) dalam bentuk magnitude dan phasa.

Kedua data ini lalu diolah menjadi respon impuls untuk mengetahui waktu propagasi gelombang elektromagnetik saat pengukuran. Kemudian data berupa waktu tersebut akan diolah menjadi jarak menggunakan teknik *time of arrival* (TOA), bila jaraknya belom sesuai dengan estimasi, akan dilakukan kalibrasi perhitungan untuk mengurangi errornya. Data jarak tersebut dan data lokasi BS akan diubah menjadi estimasi lokasi MS dengan menggunakan teknik trilateration, yaitu teknik estimasi lokasi dengan mencari perpotongan antar tiga bola.

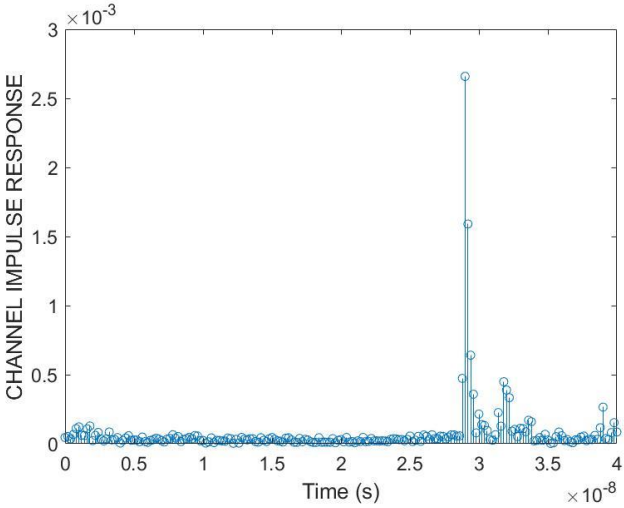


Gambar 3.11 Proses pengolahan data menjadi jarak

3.8.1 Pengolahan Menjadi Respon Impuls

Proses pengolahan data menjadi respon impuls semua dilakukan di dalam *software matrix laboratory*. Proses ini dilakukan untuk melihat waktu yang propagasi gelombang elektromagnetik di udara. Untuk mendapat respon impuls maka menggunakan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT). Dengan ini, penulis dapat mengubah data dari domain frekuensi menjadi domain waktu.

Setelah mendapat nilai magnitude dan phasa dari pengukuran S_{21} antara kabel, kedua nilai tersebut dimasukkan ke dalam program MatLab. Data kemudian diubah menjadi bilangan kompleks diskrit dengan domain frekuensi. Kemudian data tersebut ditransfomasi menggunakan function *inverse discrete Fourier transform* (IDFT). Hasil data tersebut merupakan amplitudo diskrit pada domain waktu. Kemudian domain waktunya diperoleh dengan menghitung periode waktu satu pengukuran.



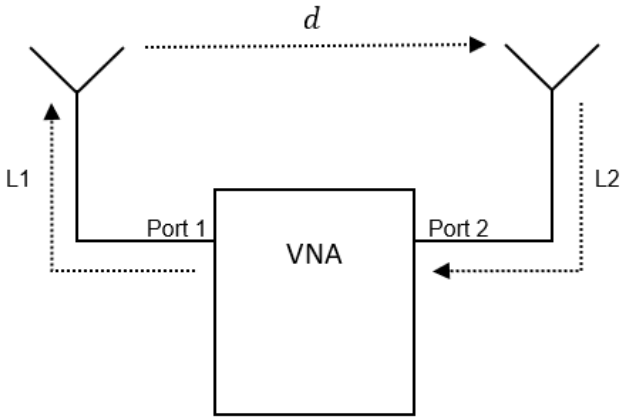
Gambar 3.12 Hasil IFFT

Hasil penerapan IFFT dapat dilihat pada gambar 3.12. Di gambar tersebut terlihat data amplitude terhadap waktu secara diskrit. Dengan menggunakan *peak detection*, untuk melihat nilai puncak pada data tersebut. Di gambar 3.12, terlihat titik puncak berada pada waktu 29 ns. Ini merupakan waktu lamanya propagasi gelombang elektromagnetik di dalam pengukuran.

3.8.2 Menghitung Jarak

Pada penelitian ini untuk menemukan jarak dari antena *base station* dan antena *mobile station* menggunakan waktu yang diperlukan gelombang elektromagnetik untuk propagasi antar keduanya. Karena gelombang kecepatannya mendekati nilai kecepatan cahaya maka jarak keduanya bisa diperhitungkan dengan cara mengalikan nilai waktu yang didapatkan antar keduanya dengan nilai kecepatan cahaya. Metode ini disebut dengan teknik *time of arrival* (TOA).

Namun untuk mengetahui waktu propagasi yang sebenarnya melalui respon impuls tidak dapat dilakukan karena ada banyak *losses* yang terjadi pada pengukuran antara lain dari kabel, alat pengukuran, *multipath, fading,* redaman tubuh manusia, dan error polarisasi antena. Untuk itu perlu dilakukan kalibrasi untuk mengurangi *losses* yang ada pada pengukuran.



Gambar 3.13 Diagram perhitungan jarak

Pada gambar 3.13, terlihat bahwa VNA tidak hanya menghitung waktu propagasi di udara, namun juga menghitung waktu propagasi di dalam kabel juga. Sehingga pengurangan losses maka akan dikurangi *losses* dari kabel juga.

Perhitungan yang dilakukan dengan mengurangi nilai dari *loss* kabel nilai RG58 5m yang telah diukur sebelumnya. Maka perhitungannya menggunakan persamaan (2.11):

$$d = c \times \tau \quad (3.1)$$

$$t = t_{total} - t_{L2} - t_{L1} \quad (3.2)$$

$$t_{L2} = L2/(\frac{2}{3} \times c) \quad (3.3)$$

$$t_{L2} = 5m/(\frac{2}{3} \times 3 \times 10^{8} m/s) \quad (3.4)$$

$$t_{L2} = 2{,}5 \times 10^{-8} s \quad (3.5)$$

$$\tau = t_{total} - (2{,}5 \times 10^{-8} s) - 0 \quad (3.6)$$

$$d = c \times (t_{total} - 2{,}5 \times 10^{-8} s) \quad (3.7)$$

Dimana,

d : jarak antara MS dan BS,
c : kecepatan cahaya (3. 10^8 m/s),
τ : waktu propagasi di udara,
t_{total} : waktu hasil pengukuran,
t_{L1} : waktu propagasi di dalam kabel RG402
t_{L2} : waktu propagasi di dalam kabel RG58
L1 : panjang kabel RG402
L2 : panjang kabel. RG58

Saat kalibrasi dua port alat pengukuran *vector network analyzer* (VNA), adapater yang digunakan adalah kabel RG402. Sehingga pada pengukuran kali ini *losses* dari kabel RG402 tidak dihitung atau sudah dianggap nol.

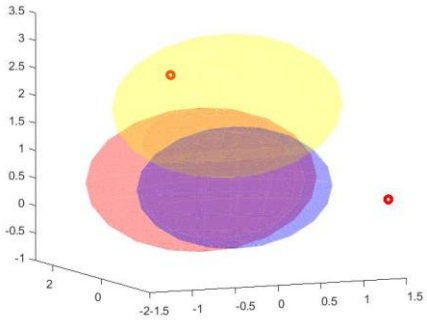
3.8.3 Proses Trilateration

Setelah didapatkan nilai jarak antara antena *base station* (BS) dan antena *mobile station* (MS), dilakukan proses trilateration untuk mengolah data menjadi estimasi koordinat dari MS. dibutuhkan data koordinat tiga BS dan juga jaraknya ke MS. Semua proses trilateration dilakukan menggunakan software *matrix laboratory* dan semua dilakukan secara matematis.

Pada proses ini, data jarak antara MS dan BS digunakan sebagai jari-jari dari sebuah bola yang berpusat di koordinat BS tersebut, dan ini dilakukan terhadap setiap pengukuran BS ke MS. Hasilnya dapat dilihat

pada gambar 3.14, di gambar tersebut terlihat tiga bola, setiap bola adalah representasi dari setiap BS dan ukuran jari jarinya adalah jarak dari BS ke MS.

Data yang ingin dicari pada proses trilateration adalah koordinat tempat perpotongan dari ketiga bola tersebut. Setelah proses ini selesai, akan menghasilkan dua buah koordinat. Untuk menentukan koordinat MS yang digunakan, maka dipilih koordinat yang termasuk di dalam daerah cakupan pengukuran. *Base station* keempat digunakan sebagai cadangan bila salah satu *base station* memiliki error yang terlalu besar sehingga tidak bisa mendapat koordinat tertentu.



Gambar 3.14 Perpotongan tiga bola

Algoritma untuk menentukan estimasi perpotongan tiga bola menggunakan software maple dengan memasukkan persamaan 3.14. Salah satu contoh bila tiga base station dengan koordinat dan jaraknya bs sebagai berikut:

- BS 1: [0,07 1,43 0,49] d = 1.268
- BS 2: [0,08 0,09 0,51] d = 1.093
- BS 3: [0.01 0,15 1,99] d = 1.357

Hasil yang didapat dari data tersebut jika dimasukkan dalam programnya adalah [0,868 0,619 1,050], nilai yang didapat dari pengukuran manual adalah [0,87 0,62 1,05]. Jika dibandingkan bisa

dilihat bahwa estimasi menggunakan program trilateration cukup akurat dengan error hanya sebesar 0-1,3 mm.

BAB 4
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Setelah melakukan pengumpulan data dan pengolahan data, maka perlu dilakukan analisis untuk melihat apakah data yang didapatkan cukup layak. Pada bagian ini akan membahas mengenai analisa perhitungan jarak menggunakan metode TOA dan akurasinya. Selain itu, juga membahas mengenai besar error yang didapat setelah melakukan proses trilateration.

4.2 Analisa Pengukuran Jarak

Pada penelitian ini akan melihat hasil dari seluruh pengukuran dan membandingkan nilai yang dihitung dengan nilai yang sebenarnya. Untuk mengetahui jarak antara *mobile station* (MS) dan *base station* (BS) yang sebenarnya maka akan digunakan persamaan 2.14. Persamaan akan digunakan untuk setiap pengukuran MS ke BS. Error yang dicatat adalah nilai selisih dari data pengukuran dengan data sebenarnya. Data dibawah adalah data rata-rata dari error pengukuran empat MS ke BS.

Tabel 4.1 Rata Rata Error Pengukuran Pertama 5 GHz

Pengukuran	Rata Rata Error (cm)
1	4.745288517
2	0.63243575
3	5.156197929
4	7.282944299
5	6.283927489
total	4.820158797

Tabel 4.2 Rata Rata Error Pengukuran Pertama 3 GHz

Pengukuran	Rata Rata Error (cm)
1	4.144110303
2	3.075171254
total	3.609640779

Data yang telah hasilkan dari perhitungan dapat dilihat dari tabel 4.1 dan tabel 4.2. Berdasarkan data yang tertera, nilai error yang didapatkan dari pengukuran 5GHz memiliki rentang dari 1-10 cm dengan rata rata total 5 cm. Untuk pengukuran 3 GHz, memiliki rentang error sebesar 1-7 cm dan rata rata total sebesar 3.6 cm. Akurasi yang didapat masih lebih besar dari perkiraan, yaitu lebih besar dibanding nilai resolusi pengukuran. Data keduanya masih bisa digunakan untuk estimasi lokasi dari *mobile station* (MS). Pengaruh dari frekuensi pada penelitian ini masih belum disimpulkan karena jumlah data yang dikumpulkan pada penelitian ini cukup sedikit.

4.3 Analisa Hasil Trilateration

Data hasil trilateration akan berupa sebuah data ketiga dimensi estimasi lokasi *mobile station* (MS). Lalu akan dicari error dari setiap dimensi X, Y, Z dan juga resultan dari ketiganya. Nilai error dihitung dengan menghitung selisih dari nilai pengukuran dengan nilai MS sebenarnya.

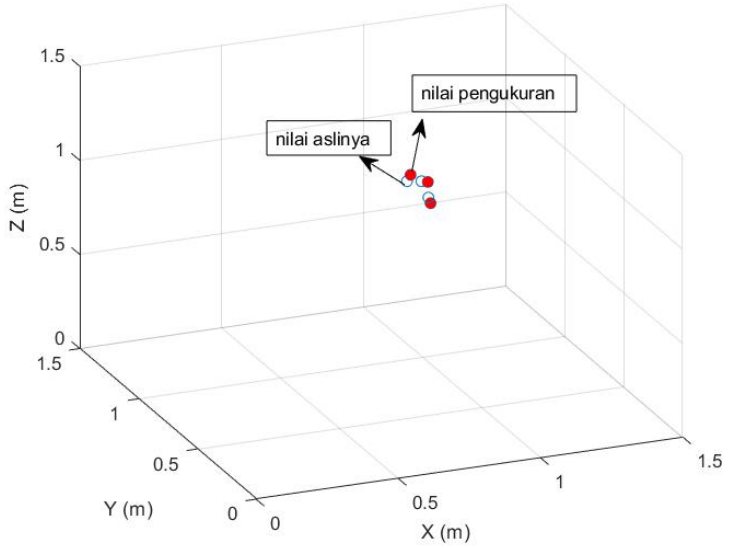
Tabel 4.3 Error Pengukuran Trilateration 3 GHz

Koordinat	Data 1 (cm)	Data 2 (cm)	Rata- Rata (cm)
X	1.665866	3.399855	2.532860188
Y	2.42395	4.418316	3.421132933
Z	5.678261	2.9149	4.296580736
Resultan	6.394786	6.291039	6.048152

Tabel 4.4 Error Pengukuran Trilateration 5 GHz

Koordinat	Data 1 (cm)	Data 2 (cm)	Data 3 (cm)	Data 4 (cm)	Rata-Rata (cm)
X	5.776	0.894	10.655	4.479	5.451
Y	1.038	0.912	3.263	4.591	2.451
Z	1.757	0.464	7.217	0.489	2.482
Resultan	6.127	1.359	13.276	6.433	6.472

Hasil dari proses trilateration dapat dilihat dari tabel 4.5 dan tabel 4.6. Berdasarkan data yang didapat, nilai error yang didapat memiliki rentang sebesar 1-10 cm dengan rata rata error sebesar sekitar 6 cm. Nilai pengukuran dengan bandwidth 7GHz bisa menghasilkan akurasi dengan rentang 0-2 cm [1]. Bila dibandingkan nilai error pada pengukuran ini masih lebih besar, ini disebabkan oleh resolusi dari bandwidth 7GHz lebih besar dibandingkan pengukuran ini dimana jarak antara sampelnya lebih kecil sehingga akurasinya bisa lebih besar.



Gambar 4.1 Perbanding Lokasi Asli dengan Lokasi pengukuran

Pada gambar 4.1 terlihat perbandingan lokasi antara hasil pengukuran dengan aslinya. Terlihat di gambar 3 dimensi bahwa lokasi antara keduanya cukup dekat.

Lembar ini sengaja dikosongkan

BAB 5
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dengan ini berikut adalah kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini:

1. Jarak antara dua antena vivaldi dapat diperhitungkan menggunakan teknik *time of arrival* (TOA) dengan akurasi dengan rentang 0-7 cm.
2. Dimensi X, Y, Z tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai error pada metode trilateration.
3. Menghasilkan metode untuk menentukan lokasi tubuh manusia dalam ruangan dengan akurasi dengan rentang 2-5 cm menggunakan konfigurasi sensor *multi antenna* dan *wearable antenna*.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Menggunakan instrumen pengukuran dengan rentang frekuensi yang lebih besar agar resolusi dari pengukuran akan lebih baik.
2. Menggunakan antena dengan bandwidth yang lebih lebar, profil yang lebih kecil agar mudah dalam pengukurannya.

Lembar ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

[1] R. Bharadwaj, C. G. Parini, and A. Alomainy, ‘‘Experimental investigation of 3-D human body localization using wearable ultra-wideband antennas,’’ IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 63, no. 11, pp. 5035–5044, Nov. 2015.

[2] R. Bharadwaj, S. Swaisaenyakorn, C. G. Parini, J. Batchelor, and A. Alomainy, ‘‘Localization of wearable ultrawideband antennas for motion capture applications,’’ IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 13, pp. 507–510, 2014.

[3] Negra, Rim, Jemili, Imen and Belgith, Abdelfettah “Wireless Body Area Networks: Applications and technologies”, 2016.

[4] S. Yan, P. J. Soh and G. A. E. Vandenbosch, "Wearable Ultrawideband Technology—A Review of Ultrawideband Antennas, Propagation Channels, and Applications in Wireless Body Area Networks," in IEEE Access, vol. 6, pp. 42177-42185, 2018.

[5] Stutzman Warren L., Thiele Gary A., “Antenna Theory and Design, Third Edition”, Wiley, 2012.

[6] S. Gezici and H.V. Poor, “Position estimation via ultra-wide-band signals,” Proc. IEEE, vol. 97, no. 2, pp. 386–403, Feb. 2009.

[7] Ludwig Reinhold, Bretchko Pavel “RF Circuit Design Theory and Application”, Prentice-Hall, Inc., 2000.

[8] Nurhayati, E. Setijadi and G. Hendratoro, “Radiation Pattern Analysis and Modelling of Coplanar Vivaldi Antenna Element for Linear Array Pattern Evaluation”, Progress in Electromagnetics Research B, Vol. 84, 79–96, 2019.

[9] C. A. Balanis, “Radiation Pattern,” dalam Antenna Theory Analysis and Design 4th edition, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2016, p. 25.

[10] Downey Allen B., “Think Stats, Second Edition”, United States of America: O’Reilly Media, Inc. 2014.

[11] Oguejiofor, O.S., Aniedu, A.N., Ejiofor, H.C. and Okolibe, A.U., “Trilateration based localization algorithm for wireless sensor network”, International Journal of Science and Modern Engineering (IJISME) 1, no,10, pp.2319-6386, 2013.

[12] Shi, G., & Ming, Y., “Survey of Indoor Positioning Systems Based on Ultra-wideband (UWB) Technology. In Wireless

Communications, Networking and Applications", Springer India, pp. 1269-1278, 2016.
[13] W. T. Cochran et al., "What is the fast Fourier transform?," in Proceedings of the IEEE, vol. 55, no. 10, pp. 1664-1674, Oct. 1967, doi: 10.1109/PROC.1967.5957.

LAMPIRAN

Program IFFT

```
% Hasil Pengukuran
Mag_peng = [……,……,……];
Phase_peng =[……,……,……];
Volt_peng = [……,……,……];
Compl_peng = Volt_peng .*exp(I*Phase_peng.*pi./
180);

% Hasil Pengukuran
Loss_cable1 = [……,……,……];
Phase_cable1 = [……,……,……];
Volt_cable1 = [……,……,……];
Compl_cable1 = Volt_peng.*exp(I*Phase_peng.*pi./
180);

% Hasil Pengukuran
Loss_cable2 = [……,……,……];
Phase_cable2 = [……,……,……];
Volt_cable2 = [……,……,……];
Compl_cable2 = Volt_peng.*exp(I*Phase_peng.*pi./
180);


%Nilai tanpa loss
No_loss = Compl_peng;

%Nilai dengan loss
With_loss =
Compl_peng./Compl_cable1./Compl_cable2;

%IFFT
Hasil = ifft(No_loss);
R = sqrt((real(Hasil).^2)+(imag(Hasil).^2));

Hasil2 = ifft(With_loss);
G = sqrt((real(Hasil2).^2)+(imag(Hasil2).^2));
```

```
%Waktu
Waktu_per_titik = 1/(5*10^9);
X = [0:200];
Waktu = X.*Waktu_per_titik;

%Plot
figure(1)
plot(Waktu, R)
figure(2)
plot(Waktu, G)
```

Program Trilateration

```
function result=interx(X1,X2,X3,r1,r2,r3,pos)
if(nargin<7), pos=1; end % default value
x1=X1(1); y1=X1(2); z1=X1(3);
x2=X2(1); y2=X2(2); z2=X2(3);
x3=X3(1); y3=X3(2); z3=X3(3);
% convert in coord sys at [x1 y1 z1] oriented
same as global
% x2=1; y2=1; z2=0.2; x3=2; y3=1; z3=1; r1=2.5;
r2=2.6; r3=2.7; % TEST
x2=x2-x1; y2=y2-y1; z2=z2-z1;
x3=x3-x1; y3=y3-y1; z3=z3-z1;
a=(16*y2^2*z3*y3^2*z2*x3*r1^2*x2-
4*y2^3*z3*y3*z2*x3*r1^2*x2+4*y2^3*z3*y3*z2*x3*x2
*r3^2-
4*y2*y3^3*z2*x2*z3*r1^2*x3+4*y2*y3^3*z2*x2*z3*r2
^2*x3+16*z2*x3^2*x2^2*r1^2*y3*y2*z3-
4*z2*x3^3*x2*r1^2*y3*y2*z3+4*z2*x3^3*x2*y2*z3*r2
^2*y3-
4*x2^3*z3*x3*y2*r1^2*z2*y3+4*x2^3*z3*x3*y2*r3^2*
z2*y3-
4*y2*z3*z2^3*y3*x3*r1^2*x2+4*y2*z3*z2^3*y3*x3*x2
*r3^2+8*y2*z3^2*z2^2*y3*x2*r1^2*x3-
4*y2*z3^2*z2^2*y3*x2*r2^2*x3+4*x2^2*y3^2*z2*y2^2
*z3*x3^2-4*x2^4*z3^2*x3^2*y3*y2-
2*z2^2*x3^4*x2^2*y2^2+2*z2^2*x3^3*y2^2*r1^2*x2-
```

```
2*z2^2*x3^3*y2^2*x2*r3^2+2*z2^2*x3^5*x2*y2*y3+2*
x2^5*z3^2*x3*y3*y2+2*z2^3*y3^2*y2^2*z3*x3^2+2*z2
^3*y3^2*x2^2*z3*x3^2+2*z2^3*y3^2*x2^2*z3*r1^2-
2*z2^3*y3^2*x2^2*z3*r3^2+2*x2^2*y3^4*z2*y2^2*z3-
4*x2^2*y3^2*z2^2*x3^2*y2^2+2*x2^4*y3^2*z2*z3*x3^
2-
2*x2^2*y3^3*z2^2*y2*x3^2+2*x2^2*y3^3*z2^2*y2*z3^
2+2*x2^3*y3^2*z2^2*x3*z3^2+2*x2^2*y3^2*z2*y2^2*z
3^3+2*x2^2*y3^3*z2^2*y2*r1^2+2*x2^2*y3^2*z2^2*x3
^2*r2^2+2*x2^4*y3^2*z2*z3*r1^2-
2*x2^4*y3^2*z2*z3*r3^2-
2*x2^2*y3^3*z2^2*y2*r3^2+2*x2^3*y3^2*z2^2*x3*r1^
2-
2*x2^3*y3^2*z2^2*x3*r3^2+2*y2^4*z3*x3^2*y3^2*z2+
2*y2^2*z3*x3^4*z2*x2^2-
4*y2^2*z3^2*x3^2*x2^2*y3^2+2*y2^3*z3^2*x3^2*z2^2
*y3+2*y2^2*z3^2*x3^3*x2*z2^2-
2*y2^3*z3^2*x3^2*x2^2*y3+2*y2^3*z3^2*x3^2*r1^2*y
3+2*y2^2*z3*x3^4*z2*r1^2-
2*y2^2*z3*x3^4*z2*r2^2+2*y2^2*z3^2*x3^2*x2^2*r3^
2-
2*y2^3*z3^2*x3^2*r2^2*y3+2*y2^2*z3^2*x3^3*x2*r1^
2-2*y2^2*z3^2*x3^3*x2*r2^2-
2*y2^2*z3^2*y3^2*x2^3*x3-
4*y2^4*z3^2*y3^2*x2*x3+2*y2^2*z3^2*y3^2*x2^2*r3^
2+4*y2^3*z3^2*y3*x2^3*x3+2*y2^5*z3^2*y3*x2*x3+4*
y2*y3^3*z2^2*x3^3*x2+2*y2*y3^5*z2^2*x3*x2-
2*y2^2*y3^2*z2^2*x3^3*x2-
4*y2^2*y3^4*z2^2*x3*x2+2*y2^2*y3^2*z2^2*x3^2*r2^
2-
4*z2^2*x3^4*x2^2*y2*y3+2*z2*x3^2*x2^2*y2^2*z3^3+
2*z2*x3^2*y2^4*z3*r1^2+2*z2^2*x3^2*y2^3*r1^2*y3-
2*z2*x3^2*y2^4*z3*r3^2-2*z2^2*x3^2*y2^3*r3^2*y3-
z2^4*y3^2*x3^2*x2^2-
z2^4*y3^2*x3^2*y2^2+2*z2^3*y3^4*x2^2*z3+2*z2^3*y
3^2*x2^2*z3^3+2*x2^2*y3^5*z2^2*y2-
2*x2^2*y3^4*z2^2*y2^2-
2*x2^4*y3^2*z2^2*x3^2+2*x2^3*y3^2*z2^2*x3^3+2*x2
^4*y3^4*z2*z3+2*x2^3*y3^4*z2^2*x3+2*x2^2*y3^4*z2
^2*r2^2-
```

```
2*y2^4*z3^2*x3^2*y3^2+2*y2^5*z3^2*x3^2*y3+2*y2^4
*z3*x3^4*z2+2*y2^2*z3^2*x3^3*x2^3-
2*y2^2*z3^2*x3^4*x2^2+2*y2^4*z3^2*x3^3*x2+2*y2^2
*z3*x3^4*z2^3-
y2^2*z3^4*x3^2*x2^2+2*y2^4*z3^2*x3^2*r3^2-
2*y2^2*z3^2*y3^4*x2^2+2*y2^3*z3^2*y3^3*x2^2-
y2^2*z3^4*y3^2*x2^2-
y2^4*z3^2*y3^2*x2^2+2*y2^3*y3^3*z2^2*x3^2-
y2^2*y3^4*z2^2*x3^2-2*y2^4*y3^2*z2^2*x3^2-
z2^4*y3^4*x2^2-2*x2^4*y3^4*z2^2-
2*y2^4*z3^2*x3^4-y2^4*z3^4*x3^2-
2*z2^2*x3^4*y2^4-z2^4*x3^4*y2^2-
2*x2^4*z3^2*y3^4-x2^4*z3^4*y3^2-z3^2*y2^6*x3^2-
x3^6*z2^2*y2^2-z3^2*x2^6*y3^2-
2*y2^4*x3^4*y3^2+2*y2^4*x3^4*r3^2+2*y2^5*x3^4*y3
-y2^4*x3^2*r1^4-y2^4*x3^2*y3^4+2*y2^5*x3^2*y3^3-
y2^4*x3^2*r3^4-y2^6*x3^2*y3^2-y2^2*x3^4*r1^4-
y2^2*x3^4*x2^4+2*y2^2*x3^5*x2^3-y2^2*x3^4*r2^4-
y2^2*x3^6*x2^2-
2*y2^4*x3^4*x2^2+2*y2^4*x3^4*r2^2+2*y2^4*x3^5*x2
+2*x2^4*y3^5*y2-
2*x2^4*y3^4*y2^2+2*x2^4*y3^4*r2^2-
x2^2*y3^4*r1^4-x2^2*y3^6*y2^2+2*x2^2*y3^5*y2^3-
x2^2*y3^4*y2^4-x2^2*y3^4*r2^4-x2^4*y3^2*r1^4-
x2^6*y3^2*x3^2+2*x2^5*y3^2*x3^3-x2^4*y3^2*x3^4-
x2^4*y3^2*r3^4+2*x2^5*y3^4*x3-
2*x2^4*y3^4*x3^2+2*x2^4*y3^4*r3^2-
y3^6*z2^2*x2^2-y2^4*x3^6-y2^6*x3^4-x2^6*y3^4-
x2^4*y3^6-2*z2*x3^2*r1^2*y2^2*z3*r3^2-
2*z2*y3^2*r2^2*x2^2*z3*r1^2+2*z2*y3^2*r2^2*x2^2*
z3*r3^2+2*x2^4*y3^2*z2*z3^3+2*y2*r1^4*z2^2*y3*x3
*x2+2*x2^2*y3^2*z2*y2^2*z3*r1^2-
8*x2^2*y3^3*z2*r1^2*y2*z3-
2*x2^2*y3^2*z2*y2^2*z3*r3^2-
8*x2^3*y3^2*z2*z3*r1^2*x3+2*y2^2*z3*x3^2*r1^2*y3
^2*z2-8*y2^3*z3*x3^2*r1^2*z2*y3-
2*y2^2*z3*x3^2*z2*y3^2*r2^2-
8*y2^2*z3*x3^3*z2*r1^2*x2-
4*y2^2*z3^2*y3^2*x2*z2^2*x3-
4*y2^2*z3^2*y3^2*x2*r1^2*x3+4*y2^2*z3^2*y3^2*x2*
```

```
r2^2*x3-4*y2^3*z3*y3*z2*x3^3*x2-
4*y2^3*z3*y3^3*z2*x3*x2-
4*y2^3*z3^3*y3*z2*x3*x2+4*y2^3*z3^2*y3*x2*z2^2*x
3-4*y2^3*z3^2*y3*x2*r2^2*x3-
4*y2*y3^3*z2*x2^3*z3*x3+4*y2*y3^3*z2^2*x3*x2*z3^
2-4*y2*y3^3*z2^3*x2*z3*x3-
4*y2*y3^3*z2^2*x3*x2*r3^2-
4*y2^2*y3^2*z2^2*x3*r1^2*x2+4*y2^2*y3^2*z2^2*x3*
x2*r3^2-
4*z2^2*x3^2*x2^2*y2*z3^2*y3+2*z2*x3^2*x2^2*y2^2*
z3*r1^2-4*z2^2*x3^2*x2^2*y2*r1^2*y3-
2*z2*x3^2*x2^2*y2^2*z3*r3^2+4*z2^2*x3^2*x2^2*y2*
r3^2*y3-
4*z2^3*x3^3*x2*y2*z3*y3+4*z2^2*x3^3*x2*y2*z3^2*y
3-4*z2*x3^3*x2^3*y3*y2*z3-
4*z2^2*x3^3*x2*y2*r3^2*y3+4*x2^3*z3^2*x3*y2*z2^2
*y3-4*x2^3*z3^3*x3*y2*z2*y3-
4*x2^3*z3^2*x3*y2*r2^2*y3+2*x2^2*z3*x3^2*r1^2*y3
^2*z2-4*x2^2*z3^2*x3^2*r1^2*y3*y2-
2*x2^2*z3*x3^2*z2*y3^2*r2^2+4*x2^2*z3^2*x3^2*y2*
r2^2*y3-
4*y2*z3^3*z2^3*y3*x3*x2+2*y2*z3^2*z2^4*y3*x2*x3+
2*y2*z3^4*z2^2*y3*x3*x2-
2*r1^2*y3^2*z2*x2^2*z3*r3^2-
2*y2^2*z3*r1^2*z2*x3^2*r2^2+2*r1^4*y3*y2*z3^2*x2
*x3+2*z2^2*x3^5*y2^2*x2+2*z2^2*x3^4*y2^3*y3+2*z2
*x3^2*y2^4*z3^3+2*z2^2*x3^4*y2^2*r2^2-
z2^2*x3^4*x2^2*y3^2+2*x2^5*z3^2*x3*y3^2-
x2^4*z3^2*x3^2*y2^2-
2*x2^4*z3^2*x3^2*y3^2+2*x2^4*z3^2*y3^3*y2+2*x2^4
*z3^2*y3^2*r3^2-2*y2^2*x3^4*z2^2*y3^2-
2*z2^2*x3^2*x2^2*y3^4-2*x2^2*z3^2*y2^4*x3^2-
2*x2^4*y3^2*y2^2*z3^2+2*y2^2*z3^3*z2^3*x3^2-
z3^2*y2^2*r1^4*x3^2-z3^2*y2^2*z2^4*x3^2-
z3^2*y2^2*r2^4*x3^2-
2*z3^2*y2^4*x3^2*z2^2+2*z3^2*y2^4*x3^2*r2^2-
2*x3^4*z2^2*y2^2*z3^2+2*x3^4*z2^2*y2^2*r3^2-
x3^2*z2^2*y2^2*r1^4-x3^2*z2^2*y2^2*z3^4-
x3^2*z2^2*y2^2*r3^4-
2*z3^2*x2^4*y3^2*z2^2+2*z3^2*x2^4*y3^2*r2^2-
```

```
z3^2*x2^2*r1^4*y3^2-z3^2*x2^2*z2^4*y3^2-
z3^2*x2^2*r2^4*y3^2+2*y2^3*x3^4*r1^2*y3-
2*y2^3*x3^4*x2^2*y3-
2*y2^3*x3^4*r2^2*y3+2*y2^4*x3^3*r1^2*x2-
2*y2^4*x3^3*x2*y3^2-
2*z2^2*x3^2*x2^2*y3^2*z3^2+2*z2^2*x3^2*x2^2*y3^2
*r3^2-
2*x2^2*z3^2*y2^2*x3^2*z2^2+2*x2^2*z3^2*y2^2*x3^2
*r2^2+2*x2^2*y3^2*y2^2*z3^2*r2^2+2*y2^2*z3^3*z2*
x3^2*r1^2-
2*y2^2*z3^3*z2*x3^2*r2^2+2*z2^3*x3^2*y2^2*z3*r1^
2-
2*z2^3*x3^2*y2^2*z3*r3^2+2*x2^2*z3^3*r1^2*y3^2*z
2-
2*x2^2*z3^3*z2*y3^2*r2^2+2*r1^4*y3^2*z2*x2^2*z3+
2*y2^2*z3*r1^4*z2*x3^2+2*x2^2*z3*y3^4*r1^2*z2+2*
x2^2*z3^2*y3^3*r1^2*y2-2*x2^2*z3*y3^4*z2*r2^2-
2*x2^2*z3^2*y3^3*y2*r2^2+2*x2^3*z3^2*y3^2*r1^2*x
3-2*x2^3*z3^2*y3^2*r2^2*x3-
2*y2^2*z3^2*z2^2*y3^2*x2^2-
2*y2^2*x3^2*z2^2*y3^2*z3^2+2*y2^2*x3^2*z2^2*y3^2
*r3^2-4*y2*z3^2*z2^2*y3*x3*x2*r3^2-
4*y2*z3^3*z2*y3*x2*r1^2*x3+4*y2*z3^3*z2*y3*x2*r2
^2*x3-4*r1^4*y3*y2*z3*z2*x3*x2-
4*r1^2*y3*y2*z3^2*x2*r2^2*x3-
4*y2*r1^2*z2^2*y3*x3*x2*r3^2+4*r1^2*y3*y2*z3*z2*
x3*x2*r3^2+4*y2*r1^2*z2*y3*x2*z3*r2^2*x3+2*z2*x3
^2*r2^2*y2^2*z3*r3^2+2*y2*z3^2*r2^4*y3*x2*x3+2*y
2*r3^4*z2^2*y3*x3*x2+4*y2^2*x3*x2*y3^2*r1^2*r3^2
+4*y2^2*x3*x2*y3^2*r1^2*r2^2-
4*y2^2*x3*x2*y3^2*r3^2*r2^2+4*y2*x3^2*x2^2*y3*r1
^2*r2^2+4*y2*x3^2*x2^2*y3*r1^2*r3^2-
4*y2*x3^2*x2^2*y3*r2^2*r3^2-
4*y2^3*x3*x2*y3*z3^2*r3^2-
4*y2*x3*x2*y3^3*r1^2*r2^2-
4*y2^3*x3*x2*y3*r1^2*r3^2-
4*y2*x3*x2*y3^3*z2^2*r2^2-
4*y2*x3*x2^3*y3*r1^2*r3^2-
4*y2*x3^3*x2*y3*r1^2*r2^2-
4*y2*x3^3*x2*y3*z2^2*r2^2-
```

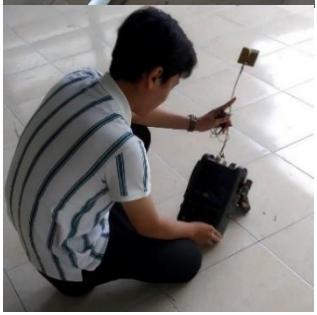
```
4*y2*x3*x2^3*y3*z3^2*r3^2-
4*z3^2*y2^2*r1^2*x3^2*z2^2+2*z3^2*y2^2*r1^2*x3^2
*r2^2+2*z3^2*y2^2*z2^2*x3^2*r2^2+2*x3^2*z2^2*y2^
2*z3^2*r3^2+2*x3^2*z2^2*y2^2*r1^2*r3^2-
4*z3^2*x2^2*r1^2*y3^2*z2^2+2*z3^2*x2^2*r1^2*y3^2
*r2^2+2*z3^2*x2^2*z2^2*y3^2*r2^2-
2*y2^3*x3^2*r1^2*y3*r3^2-
2*y2^3*x3^2*x2^2*y3*r1^2+2*y2^3*x3^2*x2^2*y3*r3^
2-
2*y2^3*x3^2*r1^2*r2^2*y3+2*y2^3*x3^2*r3^2*r2^2*y
3-2*y2^2*x3^3*r1^2*x2*r2^2-
2*y2^2*x3^3*r1^2*x2*y3^2-
2*y2^2*x3^3*r1^2*x2*r3^2+2*y2^2*x3^3*r2^2*x2*y3^
2+2*y2^2*x3^3*r2^2*x2*r3^2+2*y2^2*x3^2*r1^2*y3^2
*r2^2+4*y2^2*x3^2*x2^2*y3^2*r2^2+2*y2^2*x3^2*r1^
2*x2^2*r3^2+4*y2^2*x3^2*x2^2*y3^2*r3^2-
8*y2^3*x3^3*r1^2*x2*y3-2*x2^2*y3^3*r1^2*y2*x3^2-
2*x2^2*y3^3*r1^2*y2*r3^2-
2*x2^2*y3^3*y2*r1^2*r2^2+2*x2^2*y3^3*y2*x3^2*r2^
2+2*x2^2*y3^3*y2*r3^2*r2^2-
2*x2^3*y3^2*r1^2*y2^2*x3-
2*x2^3*y3^2*r1^2*r2^2*x3-
2*x2^3*y3^2*r1^2*x3*r3^2+2*x2^3*y3^2*y2^2*x3*r3^
2+2*x2^3*y3^2*r2^2*x3*r3^2+2*x2^2*y3^2*y2^2*r1^2
*r3^2-4*y2*z3*r2^2*y3*z2*x3*x2*r3^2-
4*x2^4*y3^2*r1^2*x3^2+2*x2^4*y3^2*r1^2*r3^2+2*x2
^3*y3^2*r1^2*x3^3+2*x2^4*y3^2*x3^2*r2^2-
2*x2^5*y3^2*x3*r3^2-
2*x2^3*y3^2*r2^2*x3^3+2*x2^4*y3^2*x3^2*r3^2-
y3^2*z2^2*r1^4*x2^2-y3^2*z2^2*x2^2*z3^4-
y3^2*z2^2*x2^2*r3^4-
2*y3^4*z2^2*x2^2*z3^2+2*y3^4*z2^2*x2^2*r3^2+4*y2
^3*x3*x2^3*y3^3+4*y2^3*x3^3*x2*y3^3+2*y2*x3*x2^5
*y3^3+2*y2^3*x3^5*x2*y3+2*y2^3*x3*x2*y3^5-
4*y2^4*x3*x2*y3^4+2*y2^5*x3*x2*y3^3+2*y2*x3^3*x2
^5*y3-
4*y2*x3^4*x2^4*y3+2*y2^5*x3^3*x2*y3+2*y2*x3^5*x2
^3*y3+2*y2*x3*x2^3*y3^5+4*y2^3*x3^3*x2^3*y3+4*y2
*x3^3*x2^3*y3^3-2*y2^4*x3^3*x2*r3^2-
2*y2^5*x3^2*r3^2*y3+2*y2^4*x3^2*y3^2*r2^2+2*y2^3
```

```
*x3^2*r1^2*y3^3+2*y2^3*x3^2*r1^4*y3-
4*y2^4*x3^2*r1^2*y3^2-
3*y2^4*x3^2*x2^2*y3^2+2*y2^4*x3^2*r1^2*r3^2+2*y2
^5*x3^2*r1^2*y3+2*y2^4*x3^2*y3^2*r3^2-
2*y2^3*x3^2*y3^3*r2^2-y2^2*x3^2*r1^4*y3^2-
3*y2^2*x3^2*x2^4*y3^2-y2^2*x3^2*r2^4*y3^2-
y2^2*x3^2*r1^4*x2^2-3*y2^2*x3^2*x2^2*y3^4-
y2^2*x3^2*x2^2*r3^4+2*y2^2*x3^3*r1^4*x2+2*y2^2*x
3^3*r1^2*x2^3-
4*y2^2*x3^4*r1^2*x2^2+2*y2^2*x3^4*r1^2*r2^2+2*y2
^2*x3^5*r1^2*x2+2*y2^2*x3^4*x2^2*r2^2-
2*y2^2*x3^3*x2^3*r3^2-2*y2^2*x3^5*r2^2*x2-
3*y2^2*x3^4*x2^2*y3^2+2*y2^2*x3^4*x2^2*r3^2+2*x2
^4*y3^3*y2*r1^2-2*x2^4*y3^3*y2*x3^2-
2*x2^4*y3^3*y2*r3^2+2*x2^3*y3^4*r1^2*x3-
2*x2^3*y3^4*y2^2*x3-2*x2^3*y3^4*r2^2*x3-
2*x2^2*y3^3*y2^3*r3^2+2*x2^2*y3^4*y2^2*r2^2+2*x2
^2*y3^5*r1^2*y2+2*x2^2*y3^3*r1^4*y2-
4*x2^2*y3^4*r1^2*y2^2+2*x2^2*y3^4*r1^2*r2^2+2*x2
^2*y3^3*y2^3*r1^2+2*x2^2*y3^4*y2^2*r3^2-
2*x2^2*y3^5*y2*r2^2-x2^2*y3^2*y2^2*r1^4-
x2^2*y3^2*y2^2*r3^4-x2^2*y3^2*r1^4*x3^2-
x2^2*y3^2*r2^4*x3^2+2*x2^3*y3^2*r1^4*x3+2*x2^5*y
3^2*r1^2*x3+2*x2^2*y3^2*r1^2*x3^2*r2^2-
8*x2^3*y3^3*r1^2*y2*x3+2*y3^2*z2^2*r1^2*x2^2*r3^
2+2*y3^2*z2^2*x2^2*z3^2*r3^2+4*y2^4*x3*x2*y3^2*r
3^2+4*y2^3*x3*x2*y3^3*z2^2-
4*y2^3*x3*x2*y3^3*r2^2-4*y2^2*x3*x2*y3^4*r1^2-
4*y2^2*x3*x2*y3^2*r1^4+8*y2^3*x3*x2*y3^3*r1^2+4*
y2*x3*x2^3*y3^3*z2^2-4*y2*x3*x2^3*y3^3*r2^2-
4*y2^4*x3*x2*y3^2*r1^2+4*y2^3*x3^3*x2*y3*z3^2-
4*y2^3*x3^3*x2*y3*r3^2+4*y2^3*x3*x2*y3^3*z3^2-
4*y2^3*x3*x2*y3^3*r3^2+4*y2^2*x3*x2*y3^4*r2^2+2*
y2*x3*x2*y3^3*r1^4+2*y2^3*x3*x2*y3*r1^4+2*y2^3*x
3*x2*y3*z3^4+2*y2^3*x3*x2*y3*r3^4+2*y2*x3*x2*y3^
3*z2^4+2*y2*x3*x2*y3^3*r2^4+2*y2*x3*x2^3*y3*r1^4
+2*y2*x3^3*x2*y3*r1^4+2*y2*x3^3*x2*y3*z2^4+2*y2*
x3^3*x2*y3*r2^4+2*y2*x3*x2^3*y3*z3^4+2*y2*x3*x2^
3*y3*r3^4-4*y2*x3^2*x2^2*y3*r1^4-
4*y2*x3^2*x2^4*y3*r1^2+8*y2*x3^3*x2^3*y3*r1^2-
```

```
4*y2*x3^4*x2^2*y3*r1^2+4*y2*x3^3*x2^3*y3*z2^2-
4*y2*x3^3*x2^3*y3*r2^2+4*y2*x3^2*x2^4*y3*r3^2+4*
y2^3*x3^3*x2*y3*z2^2-
4*y2^3*x3^3*x2*y3*r2^2+4*y2*x3^4*x2^2*y3*r2^2+4*
y2*x3^3*x2^3*y3*z3^2-
4*y2*x3^3*x2^3*y3*r3^2+4*y2*x3*x2^3*y3^3*z3^2-
4*y2*x3*x2^3*y3^3*r3^2+16*y2^2*x3^2*x2^2*y3^2*r1
^2);
b=(-z2^3*y3^2-x2^2*y3^2*z2-y2^2*z3*x3^2-
y2^2*z3*y3^2+y2^3*z3*y3+y2*y3^3*z2-y2^2*y3^2*z2-
z2*x3^2*x2^2-z2*x3^2*y2^2+z2*x3^3*x2+x2^3*z3*x3-
x2^2*z3*x3^2-
x2^2*z3*y3^2+y2*z3*z2^2*y3+y2*x3^2*z2*y3+y2*z3^2
*z2*y3+z2*x3*x2*y3^2+z2*x3*x2*z3^2+x2*z3*y2^2*x3
+x2*z3*z2^2*x3+x2^2*y3*y2*z3-y2^2*z3^3-
z2^3*x3^2-x2^2*z3^3-r1^2*y3^2*z2-
y2^2*z3*r1^2+r1^2*y3*y2*z3+y2*r1^2*z2*y3+z2*y3^2
*r2^2-z2*x3^2*r1^2+z2*x3^2*r2^2-
x2^2*z3*r1^2+x2^2*z3*r3^2+y2^2*z3*r3^2-
y2*z3*r2^2*y3-y2*r3^2*z2*y3+z2*x3*r1^2*x2-
z2*x3*x2*r3^2+x2*z3*r1^2*x3-x2*z3*r2^2*x3);
c=(-2*y2*z3*z2*y3-
2*z2*x3*x2*z3+z3^2*y2^2+x3^2*z2^2+z3^2*x2^2+y2^2
*x3^2+x2^2*y3^2+y3^2*z2^2-2*y2*x3*x2*y3);
if(a<0||c==0), result=[nan;nan;nan]; return; end
% coz c is the denominator and a is under a root
%     error('Error in interx.m at z'); end
za=-1/2*(b-a^(1/2))/c;
zb=-1/2*(b+a^(1/2))/c;
if(za>zb)
    if(pos), z=za; else z=zb; end
else
    if(pos), z=zb; else z=za; end
end
a=(2*z*z2*x3-2*x2*z*z3+r1^2*x2-r1^2*x3-x2^2*x3-
y2^2*x3-z2^2*x3+r2^2*x3+x2*x3^2+x2*y3^2+x2*z3^2-
x2*r3^2);
b=(-2*y2*x3+2*x2*y3);
if(b==0), result=[nan;nan;nan]; return; end %
coz b is the denominator in the expression
```

```
%     error('Error in interx.m at y'); end
y=a/b;
if(x2==0), result=[nan;nan;nan]; return; end
%     error('Error in interx.m at x'); end
x = 1/2*(r1^2+x2^2-2*y*y2+y2^2-2*z*z2+z2^2-
r2^2)/x2;
%% convert result back to global
result=[x1;y1;z1;1]+[x;y;z;0];
% disp([x1 y1 z1 x2+x1 y2+y1 z2+z1 x3+x1 y3+y1
z3+z1]);
disp('Solution'); disp(result');
disp('Constraints'); % check distances to three
centers
disp((result(1)-X1(1))^2+(result(2)-
X1(2))^2+(result(3)-X1(3))^2-r1^2);
disp((result(1)-X2(1))^2+(result(2)-
X2(2))^2+(result(3)-X2(3))^2-r2^2);
disp((result(1)-X3(1))^2+(result(2)-
X3(2))^2+(result(3)-X3(3))^2-r3^2);
```

Foto Foto Pengukuran



BIOGRAFI PENULIS

Adam Maulana adalah seorang mahasiswa Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas Sepuluh Nopember angkatan 2016. Ia lahir di Jakarta pada tanggal 6 Oktober tahun 1998. Ia mengikuti beberapa organisasi dan acara di lingkungan kampus.