

SKRIPSI

PERANCANGAN SISTEM PENEMPATAN *SENSOR*
***NODE* MENGGUNAKAN MULTILATERASI**
BERBASIS *WIRELESS FIDELITY* PADA APLIKASI
WIRELESS SENSOR NETWORK



Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Oleh:

WISNU ADI CAHYO

03041382025111

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2025

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN SISTEM PENEMPATAN *SENSOR NODE*
MENGUNAKAN MULTILATERASI BERBASIS *WIRELESS FIDELITY*
PADA APLIKASI *WIRELESS SENSOR NETWORK***



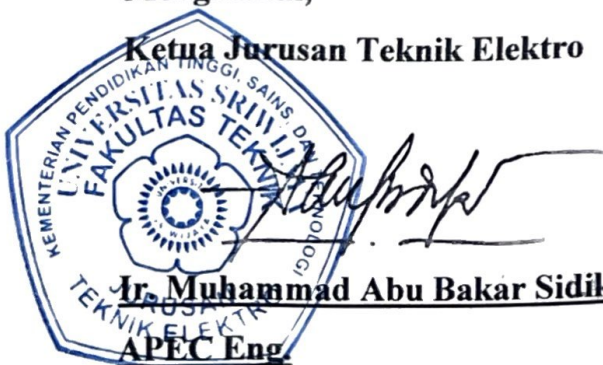
**Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**

Oleh:

**WISNU ADI CAHYO
03041382025111**

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Ir. Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T. M. Eng., Ph.D., IPU.,

APEC Eng.

NIP. 197108141999031005

Palembang, Oktober 2025

Menyetujui,

Dosen Pembimbing Utama

Ir. Puspa Kurniasari, S. T., M. T.

NIP. 198404162012122002

HALAMAN PERNYATAAN DOSEN

Saya sebagai pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya lingkup dan kualitas ini mencukupi sebagai skripsi .

Tanda Tangan

:



Pembimbing

:

Ir. Puspa Kurniasari, S.T., M.T.

Tanggal

:

8 Oktober 2025

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Wisnu Adi Cahyo
NIM : 03041382025111
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Sriwijaya
Jenis Karya : Skripsi

Demi pembangunan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (*Non – exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul, “Perancangan Sistem Penempatan Sensor Node Menggunakan Multilaterasi Berbasis Wireless Fidelity Pada Aplikasi Wireless Sensor Network” Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Palembang, 3 Oktober 2025

Yang Menyatakan,



Wisnu Adi Cahyo
NIM. 03041382025111

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Wisnu Adi Cahyo

NIM : 03041382025111

Fakultas : Teknik

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Universitas : Sriwijaya

Hasil Pengecekan Software *iThenticate/Turnitin*: 1 %

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian saya yang berjudul “Perancangan Sistem Penempatan Sensor Node Menggunakan Multilaterasi Berbasis Wireless Fidelity Pada Aplikasi Wireless Sensor Network” merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari skripsi ini ditemukan unsur penjiplakan/plagiat, maka saya bersedia bertanggung jawab dan menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Palembang, 3 Oktober 2025



WISNU ADI CAHYO

NIM. 03041382025111

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat, rahmat, serta karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perancangan Sistem Penempatan *Sensor Node* Menggunakan Multilaterasi Berbasis *Wireless Fidelity* Pada Aplikasi *Wireless Sensor Network*”. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga, sahabat dan pengikutnya hingga akhir zaman.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari banyaknya bantuan serta dukungan yang diberikan oleh banyak pihak. Ucapan terima kasih yang sebesar - besarnya penulis berikan kepada:

1. Keluarga saya, orang tua saya Ratmanto, Mafirtin, dan saudara – saudara saya Ajeng Sawitri, S. Psi., Endin Miftahudin, dan Jhordy Setiawan yang selalu memberi *support*, mendoakan, memberikan motivasi dan semangat pada penulis.
2. Bapak Ir. Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU., APEC Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Dr. Eng. Suci Dwijayanti, S.T., M.S. selaku Sekretaris Ketua Jurusan
4. Bapak dan Ibu Dosen dari konsentrasi Teknik Telekomunikasi dan Informasi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yaitu Bapak Dr. Ir. Iwan Pahendra Anto Saputra, S.T., M.T., Ibu Ir. Desi Windi Sari, S.T., M.Eng., IPM, Bapak Ir. Abdul Haris Dalimunthe, S.T., M.TI., dan Ibu Ir. Melia Sari, S.T., M.T.
5. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu serta nasihat yang bermanfaat untuk penulis.
6. Penulis juga ingin menyampaikan terima kasih yang tulus kepada Lutfiatun Nisa, S.Pd., atas dukungan, motivasi, dan pengertian yang tiada henti selama proses penyusunan skripsi ini. Kehadiran dan semangat yang

7. Penulis juga ingin menyampaikan terima kasih yang tulus kepada Lutfiatun Nisa, S.Pd., atas dukungan, motivasi, dan pengertian yang tiada henti selama proses penyusunan skripsi ini. Kehadiran dan semangat yang diberikan telah menjadi sumber inspirasi serta kekuatan bagi penulis untuk tetap berusaha menyelesaikan penelitian ini dengan sebaik-baiknya.
8. Teman-teman dari konsentrasi Teknik Telekomunikasi dan Informasi, yakni Moehammad Soelthan Bimo Shakti, S.T., Muhammad Dhafi Alfaridzi, S.T., Hosea Ismail, S.T., Alisya Odilia Shafira, S.T., Thomas Alfa Edison, S.T., Rysman Gyto Sihombing, S.T., Muhammad Renaldi Nugraha, S.T., dan Vandi memberi motivasi, semangat dan dukungan dalam menyelesaikan skripsi.
9. Teman-teman seperjuangan semasa perkuliahan, yakni, Hilman Arief Bijaksana, S.T., Muhammad Raga Naufal, S.T., Rama Nugraha, S.T., Bhanunasmi Bahtiar Apta, S.T., Muhammad Jordy Dwi Hartawan, S.T., Ridwan Saidi, S.T., dan Muhammad Irvin Fadillah, S.T., yang turut ikut serta memberi dukungan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Teman-teman dari Angkatan Teknik Elektro 2020 Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
11. Semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Palembang, 3 Oktober 2025



Wisnu Adi Cahyo

03041382025111

ABSTRAK

PERANCANGAN SISTEM PENEMPATAN *SENSOR NODE* MENGUNAKAN MULTILATERASI BERBASIS *WIRELESS FIDELITY* PADA APLIKASI *WIRELESS SENSOR NETWORK*

(Wisnu Adi Cahyo, 03041382025111, 2025, 200 halaman)

Kebutuhan sistem penentuan posisi akurat semakin meningkat seiring perkembangan Internet of Things (IoT) dan aplikasi berbasis lokasi. GPS memiliki keterbatasan di dalam ruangan sehingga diperlukan alternatif seperti multilaterasi berbasis Wi-Fi dengan Received Signal Strength Indicator (RSSI). Penelitian ini merancang sistem penempatan sensor node menggunakan ESP32 sebagai master dan enam slave dengan komunikasi ESP-NOW, perhitungan Free Space Path Loss (FSPL), moving average filter, serta visualisasi MATLAB dan web server. Pengujian dilakukan pada skenario penempatan garis lurus, diagonal, dan acak di lingkungan indoor. Hasil menunjukkan multilaterasi memiliki akurasi lebih baik dibandingkan trilaterasi, dengan nilai Mean Squared Error (MSE) rata-rata < 1 meter pada sebagian besar skenario. Latensi komunikasi ESP-NOW berada pada kisaran 2–299 ms dengan rata-rata 29 ms. MSE pada penempatan acak lebih rendah 0,19–0,62 m dibandingkan garis lurus dan diagonal 5,03–7,81 m, sehingga sistem ini terbukti efektif meningkatkan akurasi penentuan posisi dalam WSN.

Kata Kunci: Multilaterasi, ESP32, ESP-NOW, RSSI, *Wireless Sensor Network*.

ABSTRACT

DESIGN OF SENSOR NODE PLACEMENT SYSTEM USING WIRELESS FIDELITY-BASED MULTILATERATION IN WIRELESS SENSOR NETWORK APPLICATIONS

(Wisnu Adi Cahyo, 03041382025111, 2025, 200 Pages)

The demand for accurate positioning systems is increasing with the growth of the Internet of Things (IoT) and location-based applications. GPS is limited in indoor environments, making Wi-Fi-based multilateration with Received Signal Strength Indicator (RSSI) a suitable alternative. This study designs a sensor node placement system using ESP32 as a master node and six slave nodes with ESP-NOW communication, Free Space Path Loss (FSPL) calculation, moving average filtering, and multilateration visualization through MATLAB and a web server. Experiments were conducted indoors with linear, diagonal, and random node placements. Results show that multilateration provides higher accuracy than trilateration, achieving an average Mean Squared Error (MSE) of less than 1 meter in most scenarios. ESP-NOW communication latency ranged from 2–299 ms with an average of 29 ms. Random placement yielded lower errors 0.19–0.62 m compared to linear and diagonal placements 5.03–7.81 m, proving the effectiveness of the proposed system in improving positioning accuracy in WSN.

Keywords: Multilateration, ESP32, ESP-NOW, RSSI, Wireless Sensor Network.

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN DOSEN.....	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xxvi
DAFTAR PERSAMAAN MATEMATIKA.....	xxviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Metode Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TEORI DASAR.....	7
2.1 <i>Internet of Things</i>	7
2.2 <i>Wireless Sensor Network (WSN)</i>	7
2.2.1 Layanan pada <i>Wireless Sensor Network (WSN)</i>	8
2.3 Komunikasi Data.....	9

2.3.1	Komponen Utama dalam Komunikasi Data	10
2.3.2	Jenis Komunikasi Data.....	10
2.3.3	Protokol dalam Komunikasi Data	10
2.4	<i>Path Loss</i>	11
2.5	ESP- NOW	13
2.6	Trilaterasi	15
2.7	Multilaterasi	17
2.8	<i>Received Signal Strength Indicator</i>	19
2.9	IEEE 802.11	20
2.10	<i>Mean Squared Error</i> dan <i>General Error Localization</i>	21
2.11	Latensi.....	22
BAB III METODE PENELITIAN		23
3.1	Diagram Alir Penelitian	23
3.2	Waktu dan Lokasi Penelitian	27
3.3	Persiapan Perangkat Keras.....	27
3.4	Persiapan Perangkat Lunak.....	28
3.5	Ilustrasi Penelitian.....	29
3.6	Metode Pengujian Penelitian.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Sistem Penempatan Sensor <i>Node</i>	37
4.2	Perancangan Perangkat Sensor <i>Node</i>	37
4.2.1	Perancangan <i>Software</i>	38
4.2.2	Perancangan <i>Hardware</i>	40
4.2.2.1	Voltase atau Tegangan	41
4.2.2.2	Arus Listrik	42
4.3	Konfigurasi Sistem Sensor <i>Node</i> ESP32.....	43

4.3.1	Pemograman <i>Slave</i> ESP32	43
4.3.1.1	Pengukuran Jarak menggunakan RSSI	43
4.3.1.2	Pengukuran RSSI menggunakan <i>Moving Filter Average</i> 44	
4.3.1.3	Perhitungan Latensi.....	45
4.3.2	Pemograman <i>Master Node</i>	46
4.4	Pengujian Hasil Rancangan Perangkat dan Sistem.....	47
4.4.1	Pengujian Hasil Rancangan Perangkat Sensor <i>Node</i>	47
4.4.2	Pengujian Hasil Rancangan Sistem Perangkat Sensor <i>Node</i> 49	
4.4.3	Penentuan Penempatan Sensor <i>Node</i>	51
4.4.4	Prosedur Pengujian Penempatan <i>Node</i> Dalam Ruangan.....	54
4.5	Pengukuran Performa Sistem Penempatan Sensor <i>Node</i>	54
4.5.1	Pengukuran Performa Sensor <i>Node</i> untuk Penempatan <i>Node</i> Pada Posisi Garis Lurus	55
4.5.1.1	Penempatan Satu <i>Master Node</i> dan Satu <i>Slave Node</i> Pada Posisi Garis Lurus	55
4.5.1.2	Penempatan Satu <i>Master Node</i> Dan Dua <i>Slave Node</i> Pada Posisi Garis Lurus	58
4.5.1.3	Penempatan Satu <i>Master Node</i> dan Tiga <i>Slave Node</i> Pada Posisi Garis Lurus	62
4.5.1.5	Penempatan Satu <i>Master Node</i> Dan Lima <i>Slave Node</i> Pada <i>Posisi Garis Lurus</i>	73
4.5.1.6	Penempatan Satu <i>Master Node</i> Dan Enam <i>Slave Node</i> Pada Posisi Garis Lurus	79
4.5.2	Pengukuran Performa Sensor <i>Node</i> Untuk Penempatan <i>Node</i> Pada Garis Diagonal.....	86
4.5.2.1	Penempatan Satu <i>Master Node</i> Dan Satu <i>Slave Node</i> Pada Garis Diagonal	87

4.5.2.2	Penempatan Satu <i>Master Node</i> Dan Dua <i>Slave Node</i> Pada Garis Diagonal	90
4.5.2.3	Penempatan Satu <i>Master Node</i> Dan Tiga <i>Slave Node</i> Pada Garis Diagonal	94
4.5.2.4	Penempatan Satu <i>Master Node</i> Dan Empat <i>Slave Node</i> Pada Garis Diagonal.....	99
4.5.2.5	Penempatan Satu <i>Master Node</i> Dan Lima <i>Slave Node</i> Pada Garis Diagonal.....	105
4.5.2.6	Penempatan Satu <i>Master Node</i> Dan Enam <i>Slave Node</i> Pada Garis Diagonal.....	111
4.5.3	Penempatan Sensor <i>Node</i> Secara Random.....	120
4.5.3.1	Penempatan Satu <i>Master Node</i> Dan Enam <i>Slave Node</i> Percobaan 1	120
4.5.3.2	Penempatan Satu <i>Master Node</i> Dan Enam <i>Slave Node</i> Percobaan 2	128
4.5.3.3	Penempatan Satu <i>Master Node</i> Dan Enam <i>Slave Node</i> Percobaan 3	134
4.5.3.4	Penempatan Satu <i>Master Node</i> Dan Enam <i>Slave Node</i> Percobaan 4	141
4.5.3.5	Penempatan Satu <i>Master Node</i> Dan Enam <i>Slave Node</i> Percobaan 5	148
4.5.3.6	Penempatan Satu <i>Master Node</i> Dan Enam <i>Slave Node</i> Percobaan 6	155
4.5.4	Latensi <i>Slave</i>	161
4.5.5	<i>Mean Square Error Slave Node</i> Berbasis Multilaterasi	168
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		171
5.1	Kesimpulan.....	171
5.2	Saran.....	172
DAFTAR PUSTAKA		173

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Arsitektur umum WSN.	8
Gambar 2. 2 Skema bentuk pemancar dan penerima FSPL	13
Gambar 2. 3 Trilaterasi dengan 3 <i>slave</i>	15
Gambar 2. 4 Multilaterasi	17
Gambar 3. 1 Diagram alir perancangan perangkat.....	23
Gambar 3. 2 Diagram alir sistem kinerja perangkat	25
Gambar 3. 3 Ilustrasi skema perancangan perangkat.....	29
Gambar 3. 4 Proses pengiriman data oleh ESP-NOW.....	30
Gambar 3. 5 Konfigurasi perangkat.	31
Gambar 3. 6 Peletakkan <i>sensor node</i>	33
Gambar 3.7 Denah pengujian di Laboratorium Teknik Telekomunikasi dan Informasi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya	34
Gambar 3. 8 Lokasi penempatan <i>slave</i> pada sistem.....	34
Gambar 4. 1 Perancangan perangkat menggunakan <i>software fritzing</i>	38
Gambar 4. 2 Perangkat ESP32 tampak depan.....	40
Gambar 4. 3 Tata letak koneksi antar komponen.....	41
Gambar 4. 4 Pemrograman <i>path loss exponent</i>	44
Gambar 4. 5 Fungsi <i>moving average</i> untuk memperhalus nilai RSSI	45
Gambar 4. 6 Pemrograman latensi	45
Gambar 4. 7 Konfigurasi ESP32 <i>master</i> menjadi <i>access point</i>	46
Gambar 4. 8 Data yang diterima <i>wired master</i> di <i>serial monitor</i> arduino	48
Gambar 4. 9 Data yang diterima <i>wired slave</i> di <i>serial monitor</i> arduino.....	49
Gambar 4. 10 ESP32 <i>master node</i> terhubung pada enam <i>slave node</i>	50
Gambar 4. 11 Tampilan <i>web server</i> ketika enam <i>slave node</i> terhubung semua ...	50
Gambar 4. 12 Penempatan <i>sensor node</i> di Laboratorium Teknik Telekomunikasi dan Informasi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya....	51
Gambar 4. 13 Luas koordinat lokasi untuk pengujian	52

Gambar 4. 14 Penempatan sensor <i>node</i> secara posisi garis lurus	53
Gambar 4. 15 Penempatan sensor <i>node</i> secara diagonal	53
Gambar 4. 16 Penempatan sensor <i>node</i> secara random.....	54
Gambar 4. 17 (a) Penempatan satu <i>master node</i> dan satu <i>slave node</i>	55
Gambar 4. 17 (b) Pengukuran RSSI dan jarak di <i>master node</i> untuk satu <i>slave</i> ..	62
Gambar 4. 18 Halaman <i>web sever</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan <i>slave node</i> pada posisi garis lurus	56
Gambar 4.19 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan satu <i>slave node</i> pada posisi garis lurus	57
Gambar 4. 20 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB untuk penempatan satu <i>slave node</i> pada posisi garis lurus	58
Gambar 4. 21 (a) Penempatan satu <i>master node</i> dan dua <i>slave node</i>	59
Gambar 4. 21 (b) Pengukuran RSSI -55 dBm dan jarak estimasi 2,37 meter di <i>master node</i>	59
Gambar 4. 21 (c) Pengukuran RSSI -58 dBm dan jarak estimasi 2,82 meter di <i>master node</i>	59
Gambar 4. 22 Halaman <i>web server</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan dua <i>slave</i> <i>node</i> pada posisi garis lurus	59
Gambar 4.23 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan dua <i>slave node</i> pada posisi garis lurus	61
Gambar 4. 24 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB untuk penempatan dua <i>slave node</i> pada posisi garis lurus.....	62
Gambar 4. 25 Penempatan satu <i>master node</i> dan tiga <i>slave node</i> pada posisi garis lurus.....	63
Gambar 4. 26 (a) Pengukuran RSSI -55 dBm dan jarak estimasi 2,37 meter di <i>master node</i>	63
Gambar 4. 26 (b) Pengukuran RSSI -56 dBm dan jarak estimasi 2,51 meter di <i>master node</i>	63
Gambar 4. 26 (c) Pengukuran RSSI -58 dBm dan jarak estimasi 2,82 meter di <i>master node</i>	63

Gambar 4. 27 Halaman <i>web server</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan tiga <i>slave node</i> pada posisi garis lurus	64
Gambar 4. 28 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan tiga <i>slave node</i> pada posisi garis lurus	66
Gambar 4. 29 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB untuk penempatan tiga <i>slave node</i> pada posisi garis lurus.....	67
Gambar 4. 30 Penempatan satu <i>master node</i> dan empat <i>slave node</i> pada posisi garis lurus.....	68
Gambar 4. 31 (a) Pengukuran RSSI -55 dBm dan jarak estimasi 2,37 meter di <i>master node</i>	69
Gambar 4. 31 (b) Pengukuran RSSI -55 dBm dan jarak estimasi 2,37 meter di <i>master node</i>	69
Gambar 4. 31 (c) Pengukuran RSSI -56 dBm dan jarak estimasi 2,51 meter di <i>master node</i>	69
Gambar 4. 31 (d) Pengukuran RSSI -58 dBm dan jarak estimasi 2,82 meter di <i>master node</i>	69
Gambar 4. 32 Halaman <i>web server</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan empat <i>slave node</i> pada posisi garis lurus	70
Gambar 4. 33 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan empat <i>slave node</i> pada posisi garis lurus	72
Gambar 4. 34 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB untuk penempatan empat <i>slave node</i> pada posisi garis lurus.....	73
Gambar 4. 35 Penempatan satu <i>master node</i> dan lima <i>slave node</i> pada posisi garis lurus.....	74
Gambar 4. 36 (a) Nilai RSSI -54 dBm dan jarak estimasi 2,24 meter di <i>master node</i>	75
Gambar 4. 36 (b) Nilai RSSI -56 dBm dan jarak estimasi 2,51 meter di <i>master node</i>	75
Gambar 4. 36 (c) Nilai RSSI -57 dBm dan jarak estimasi 2,66 meter di <i>master node</i>	75

Gambar 4. 36 (d) Nilai RSSI -56 dBm dan jarak estimasi 2,51 meter di <i>master node</i>	75
Gambar 4. 36 (e) Nilai RSSI -63 dBm dan jarak estimasi 3,76 meter di <i>master node</i>	75
Gambar 4. 37 Halaman <i>web server</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan lima <i>slave node</i> pada posisi garis lurus	76
Gambar 4. 38 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan lima <i>slave node</i> pada posisi garis lurus	78
Gambar 4. 39 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB untuk penempatan <i>lima slave node</i> posisi garis lurus	79
Gambar 4. 40 Penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi garis lurus.....	80
Gambar 4. 41 (a) Nilai RSSI -54 dBm dan jarak estimasi 2,24 meter di <i>master node</i>	81
Gambar 4. 41 (b) Nilai RSSI -56 dBm dan jarak estimasi 2,51 meter di <i>master node</i>	81
Gambar 4. 41 (c) Nilai RSSI -57 dBm dan jarak estimasi 2,66 meter di <i>master node</i>	81
Gambar 4. 41 (d) Nilai RSSI -60 dBm dan jarak estimasi 3,16 meter di <i>master node</i>	81
Gambar 4. 41 (e) Nilai RSSI -55 dBm dan jarak estimasi 2,37 meter di <i>master node</i>	81
Gambar 4. 41 (f) Nilai RSSI -56 dBm dan jarak estimasi 2,51 meter di <i>master node</i>	81
Gambar 4. 42 Halaman <i>web server</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan enam <i>slave node</i> pada posisi garis lurus	82
Gambar 4. 43 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi garis lurus	85
Gambar 4. 44 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB untuk penempatan enam <i>slave node</i> pada posisi garis lurus.....	86

Gambar 4. 45 (a) Penempatan satu <i>master node</i> dan satu <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	87
Gambar 4. 45 (b) Pengukuran RSSI -56 dBm dan jarak estimasi 2,51 meter di <i>master node</i>	87
Gambar 4. 46 Halaman <i>web server</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan satu <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	87
Gambar 4. 47 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan satu <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	89
Gambar 4. 48 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB untuk penempatan satu <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	90
Gambar 4. 49 (a) Penempatan satu <i>master node</i> dan dua <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	90
Gambar 4. 49 (b) Nilai RSSI -55 dBm dan jarak estimasi 2,37 meter di <i>master node</i>	90
Gambar 4. 49 (c) Nilai RSSI -58 dBm dan jarak estimasi 2,82 meter di <i>master node</i>	90
Gambar 4. 50 Halaman <i>web server</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan dua <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	91
Gambar 4. 51 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan dua <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	93
Gambar 4. 52 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB untuk penempatan satu <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	94
Gambar 4. 53 Penempatan satu <i>master node</i> dan tiga <i>slave node</i>	95
Gambar 4. 54 (a) Nilai RSSI -57 dBm dan jarak estimasi 2,66 meter di <i>master node</i>	95
Gambar 4. 54 (b) Nilai RSSI -60 dBm dan jarak estimasi 3,16 meter di <i>master node</i>	95
Gambar 4. 54 (c) Nilai RSSI -52 dBm dan jarak estimasi 2,00 meter di <i>master node</i>	95
Gambar 4. 55 Halaman <i>web server</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan tiga <i>node slave</i> pada posisi garis diagonal	96

Gambar 4. 56 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan tiga <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	98
Gambar 4. 57 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB untuk penempatan tiga <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal.....	99
Gambar 4. 58 Penempatan satu <i>master node</i> dan empat <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	99
Gambar 4. 59 (a) Nilai RSSI -56 dBm dan jarak estimasi 2,51 meter di <i>master node</i>	100
Gambar 4. 59 (b) Nilai RSSI -60 dBm dan jarak estimasi 3,16 meter di <i>master node</i>	100
Gambar 4. 59 (c) Nilai RSSI -50 dBm dan jarak estimasi 1,78 meter di <i>master node</i>	100
Gambar 4. 59 (d) Nilai RSSI -55 dBm dan jarak estimasi 2,37 meter di <i>master node</i>	100
Gambar 4. 60 Halaman <i>web server</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan empat <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	101
Gambar 4. 61 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan empat <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	104
Gambar 4. 62 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB untuk penempatan empat <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	105
Gambar 4. 63 Penempatan satu <i>master node</i> dan lima <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal.....	106
Gambar 4. 64 (a) Nilai RSSI -56 dBm dan jarak estimasi 2,51 meter di <i>master node</i>	107
Gambar 4. 64 (b) Nilai RSSI -59 dBm dan jarak estimasi 2,99 meter di <i>master node</i>	107
Gambar 4. 64 (c) Nilai RSSI -50 dBm dan jarak estimasi 1,78 meter di <i>master node</i>	107
Gambar 4. 64 (d) Nilai RSSI -55 dBm dan jarak estimasi 2,37 meter di <i>master node</i>	107

Gambar 4. 64 (e) Nilai RSSI -60 dBm dan jarak estimasi 3,16 meter di <i>master node</i>	107
Gambar 4. 65 Halaman <i>web server</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan lima <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	107
Gambar 4. 66 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan lima <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	110
Gambar 4. 67 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB untuk penempatan lima <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal.....	111
Gambar 4. 68 Penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	112
Gambar 4. 69 (a) Nilai RSSI -54 dBm dan jarak estimasi 2,24 meter di <i>master node</i>	113
Gambar 4. 69 (b) Nilai RSSI -51 dBm dan jarak estimasi 1,88 meter di <i>master node</i>	113
Gambar 4. 69 (c) Nilai RSSI -53 dBm dan jarak estimasi 2,11 meter di <i>master node</i>	113
Gambar 4. 69 (d) Nilai RSSI -55 dBm dan jarak estimasi 2,37 meter di <i>master node</i>	113
Gambar 4. 69 (e) Nilai RSSI -53 dBm dan jarak estimasi 2,11 meter di <i>master node</i>	113
Gambar 4. 69 (f) Nilai RSSI -57 dBm dan jarak estimasi 2,66 meter di <i>master node</i>	113
Gambar 4. 70 Halaman <i>web server</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan enam <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	114
Gambar 4. 71 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	117
Gambar 4. 72 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB untuk penempatan enam <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	118
Gambar 4. 73 Grafik hasil <i>General Error Localisation slave</i> pada posisi garis lurus dan posisi garis diagonal	119

Gambar 4. 74 Penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> secara random pada percobaan 1	121
Gambar 4. 75 (a) Nilai RSSI -56 dBm dan jarak estimasi 2,51 meter di <i>master node</i>	122
Gambar 4. 75 (b) Nilai RSSI -60 dBm dan jarak estimasi 3,16 meter di <i>master node</i>	122
Gambar 4. 75 (c) Nilai RSSI -61 dBm dan jarak estimasi 3,35 meter di <i>master node</i>	122
Gambar 4. 75 (d) Nilai RSSI -55 dBm dan jarak estimasi 2,37 meter di <i>master node</i>	122
Gambar 4. 75 (e) Nilai RSSI -59 dBm dan jarak estimasi 2,99 meter di <i>master node</i>	122
Gambar 4. 75 (f) Nilai RSSI -66 dBm dan jarak estimasi 4,47 meter di <i>master node</i>	122
Gambar 4. 76 Halaman <i>web server</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 1	123
Gambar 4. 77 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 1	126
Gambar 4. 78 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB pada posisi random percobaan 1	127
Gambar 4. 79 Penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 2	128
Gambar 4. 80 (a) Nilai RSSI -55 dBm dan jarak estimasi 2,37 meter di <i>master node</i>	129
Gambar 4. 80 (b) Nilai RSSI -60 dBm dan jarak estimasi 3,16 meter di <i>master node</i>	129
Gambar 4. 80 (c) Nilai RSSI -59 dBm dan jarak estimasi 2,99 meter di <i>master node</i>	129
Gambar 4. 80 (d) Nilai RSSI -55 dBm dan jarak estimasi 2,37 meter di <i>master node</i>	129

Gambar 4. 80 (e) Nilai RSSI -58 dBm dan jarak estimasi 2,82 meter di <i>master node</i>	129
Gambar 4. 80 (f) Nilai RSSI -64 dBm dan jarak estimasi 3,98 meter di <i>master node</i>	129
Gambar 4. 81 Halaman <i>web server</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 2	130
Gambar 4. 82 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 2	133
Gambar 4. 83 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB pada posisi random percobaan 2	134
Gambar 4. 84 Penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> percobaan 3	134
Gambar 4. 85 (a) Nilai RSSI -65 dBm dan jarak estimasi 4,22 meter di <i>master node</i>	135
Gambar 4. 85 (b) Nilai RSSI -60 dBm dan jarak estimasi 3,16 meter di <i>master node</i>	135
Gambar 4. 85 (c) Nilai RSSI -59 dBm dan jarak estimasi 2,99 meter di <i>master node</i>	135
Gambar 4. 85 (d) Nilai RSSI -55 dBm dan jarak estimasi 2,37 meter di <i>master node</i>	135
Gambar 4. 85 (e) Nilai RSSI -49 dBm dan jarak estimasi 1,68 meter di <i>master node</i>	135
Gambar 4. 85 (f) Nilai RSSI -65 dBm dan jarak estimasi 4,22 meter di <i>master node</i>	135
Gambar 4. 86 Halaman <i>web server</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan enam <i>node slave</i> pada posisi random percobaan 3	136
Gambar 4. 87 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 3	139
Gambar 4. 88 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB pada posisi random percobaan 3	140
Gambar 4. 89 Penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 4	141

Gambar 4. 90 (a) Pengukuran RSSI -51 dBm dan jarak estimasi 1,88 meter di <i>master node</i>	142
Gambar 4. 90 (b) Pengukuran RSSI -62 dBm dan jarak estimasi 3,55 meter di <i>master node</i>	142
Gambar 4. 90 (c) Pengukuran RSSI -55 dBm dan jarak estimasi 2,37 meter di <i>master node</i>	142
Gambar 4. 90 (d) Pengukuran RSSI -50 dBm dan jarak estimasi 1,70 meter di <i>master node</i>	142
Gambar 4. 90 (e) Pengukuran RSSI -57 dBm dan jarak estimasi 2,66 meter di <i>master node</i>	142
Gambar 4. 90 (f) Pengukuran RSSI -50 dBm dan jarak estimasi 1,70 meter di <i>master node</i>	142
Gambar 4. 91 Halaman <i>web server</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 4	143
Gambar 4. 92 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 4	146
Gambar 4. 93 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB pada posisi random pecobaan 4.....	147
Gambar 4. 94 Bentuk penempatan <i>slave</i> secara geometris dan perpotongan garis akurat.....	148
Gambar 4. 95 Penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 5	149
Gambar 4. 96 (a) Nilai RSSI -52 dBm dan jarak estimasi 2,00 meter di <i>master node</i>	150
Gambar 4. 96 (b) Nilai RSSI -56 dBm dan jarak estimasi 2,51 meter di <i>master node</i>	150
Gambar 4. 96 (c) Nilai RSSI -61 dBm dan jarak estimasi 3,35 meter di <i>master node</i>	150
Gambar 4. 96 (d) Nilai RSSI -53 dBm dan jarak estimasi 2,11 meter di <i>master node</i>	150

Gambar 4. 96 (e) Nilai RSSI -56 dBm dan jarak estimasi 2,51 meter di <i>master node</i>	150
Gambar 4. 96 (f) Nilai RSSI -56 dBm dan jarak estimasi 2,51 meter di <i>master node</i>	150
Gambar 4. 97 Halaman <i>web server</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 5	151
Gambar 4. 98 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 5	154
Gambar 4. 99 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB pada posisi random percobaan 5	155
Gambar 4. 100 Penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 6	156
Gambar 4. 101 (a) Nilai RSSI -59 dBm dan jarak estimasi 2,99 meter di <i>master node</i>	157
Gambar 4. 101 (b) Nilai RSSI -63 dBm dan jarak estimasi 3,76 meter di <i>master node</i>	157
Gambar 4. 101 (c) Nilai RSSI -55 dBm dan jarak estimasi 2,37 meter di <i>master node</i>	157
Gambar 4. 101 (d) Nilai RSSI -53 dBm dan jarak estimasi 2,11 meter di <i>master node</i>	157
Gambar 4. 101 (e) Nilai RSSI -46 dBm dan jarak estimasi 1,41 meter di <i>master node</i>	157
Gambar 4. 101 (f) Nilai RSSI -57 dBm dan jarak estimasi 2,66 meter di <i>master node</i>	157
Gambar 4. 102 Halaman <i>web server</i> pada <i>master node</i> untuk pemantauan enam <i>node slave</i> pada posisi random percobaan 6	158
Gambar 4. 103 Visualisasi posisi MATLAB penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 6.....	160
Gambar 4. 104 Hasil perhitungan <i>error</i> estimasi pada <i>command window</i> MATLAB pada posisi random percobaan 6	161

Gambar 4.105 Grafik latensi enam <i>slave</i> pada saat penempatan posisi garis lurus	164
Gambar 4.106 Grafik latensi enam <i>slave</i> pada saat penempatan posisi garis diagonal.....	166

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai n pada lingkungan yang berbeda [2][18].	12
Tabel 2. 2 Aspek perbedaan trilaterasi dan multilaterasi [2].	18
Tabel 2. 3 Parameter kekuatan <i>Received Signal Strength Indicator</i> [6].	19
Tabel 3. 1 Perangkat keras pada penelitian ini.....	27
Tabel 3. 2 Perangkat lunak pada penelitian ini	29
Tabel 3. 3 Bentuk tabel hasil pengukuran latensi, koordinat, RSSI, dan jarak.....	35
Tabel 3. 4 Uji kelayakan protokol komunikasi ESP-NOW	35
Tabel 4. 1 Hasil data penempatan satu <i>master node</i> dan satu <i>slave node</i> pada posisi garis lurus	57
Tabel 4. 2 Hasil data penempatan satu <i>master node</i> dan dua <i>slave node</i> pada posisi garis lurus.....	60
Tabel 4. 3 Hasil data penempatan satu <i>master node</i> dan tiga <i>slave node</i> pada posisi garis lurus.....	65
Tabel 4. 4 Hasil data penempatan satu <i>master node</i> dan empat <i>slave node</i> pada posisi garis lurus.....	71
Tabel 4. 5 Hasil data penempatan satu <i>master node</i> dan lima <i>slave node</i> pada posisi garis lurus.....	77
Tabel 4. 6 Hasil data penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi garis lurus.....	84
Tabel 4. 7 Hasil data penempatan satu <i>master node</i> dan satu <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	88
Tabel 4. 8 Hasil data penempatan satu <i>master node</i> dan dua <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	92
Tabel 4. 9 Hasil data penempatan satu <i>master node</i> dan tiga <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	97
Tabel 4. 10 Hasil data penempatan satu <i>master node</i> dan empat <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal.....	103
Tabel 4. 11 Hasil data penempatan satu <i>master node</i> dan lima <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	109

Tabel 4. 12 Hasil data penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal.....	116
Tabel 4.13 Hasil data penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 1.....	125
Tabel 4. 14 Hasil data penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 2.....	132
Tabel 4. 15 Hasil data penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 3.....	138
Tabel 4. 16 Hasil data penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 4.....	145
Tabel 4. 17 Hasil data penempatan satu <i>master node</i> dan enam <i>slave node</i> pada posisi random percobaan 5.....	153
Tabel 4. 18 Latensi penempatan <i>slave node</i> pada posisi garis lurus.....	162
Tabel 4. 19 Latensi penempatan <i>slave node</i> pada posisi garis diagonal	164
Tabel 4. 20 <i>Error</i> estimasi posisi saat penambahan jumlah <i>slave</i> posisi garis lurus dan posisi garis diagonal	169
Tabel 4. 21 <i>Error</i> estimasi posisi setiap percobaan menggunakan enam <i>slave node</i> pada posisi random.....	170

DAFTAR PERSAMAAN MATEMATIKA

Persamaan 2.1 <i>Free Space Path Loss</i>	12
Persamaan 2.2 RSSI dan <i>path loss</i> eksponen.....	12
Persamaan 2.3 Trilaterasi 1	15
Persamaan 2.4 Trilaterasi 2	15
Persamaan 2.5 Trilaterasi 3.....	15
Persamaan 2.6 Bentuk linier trilaterasi	16
Persamaan 2.7 Metode kuadrat terkecil trilaterasi	16
Persamaan 2.8 Matriks linier trilaterasi	16
Persamaan 2.9 Matriks linier koefisien A.....	16
Persamaan 2.10 Matriks linier koefisien x.....	16
Persamaan 2.11 Matriks linier koefisien b.....	16
Persamaan 2.12 Estimasi posisi (x,y) trilaterasi	16
Persamaan 2.13 Metode kuadrat terkecil multilaterasi	17
Persamaan 2.14 Matriks linier multilaterasi.....	17
Persamaan 2.15 Estimasi posisi multilaterasi	17
Persamaan 2.16 Perhitungan jarak dari RSSI	20
Persamaan 2.17 <i>Moving Average</i> RSSI	20
Persamaan 2.18 <i>Mean Squared Error</i> (MSE).....	21
Persamaan 2.18 Latensi.....	21

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era digital saat ini, kebutuhan sistem penempatan perangkat yang akurat dan efisien menjadi semakin meningkat terutama dalam konteks perangkat untuk aplikasi berbasis lokasi seperti navigasi, pelacakan objek dan sistem manajemen aset. Teknologi *Global Positioning System* (GPS) telah menjadi standar dalam menentukan posisi di luar ruangan namun memiliki keterbatasan signifikan ketika digunakan di dalam gedung atau lingkungan yang padat. Hal ini disebabkan oleh sinyal GPS yang sering terhalang oleh struktur bangunan sehingga mengurangi akurasi dan keandalan sistem [1].

Sebagai alternatif, metode trilaterasi dan multilaterasi telah hadir sebagai solusi yang menjanjikan untuk mengatasi tantangan mengenai penghalang sinyal ini. Trilaterasi menggunakan jarak dari tiga titik referensi untuk menentukan posisi suatu objek sedangkan multilaterasi memanfaatkan lebih dari tiga titik referensi untuk meningkatkan akurasi estimasi posisi. Kedua metode tersebut dapat diimplementasikan menggunakan teknologi nirkabel misalnya *Wireless Fidelity* (Wi-Fi), *bluetooth* dan sensor radio yang memungkinkan pengukuran kekuatan sinyal yang diterima *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) untuk memperkirakan jarak antara *node* [2].

Penelitian yang dilakukan ini disebabkan implementasi teknologi GPS tidak bisa selalu diandalkan di dalam ruangan karena sinyal di dalam ruangan dibatasi oleh tembok yang tebal sehingga sinyalnya melemah atau hilang. Metode multilaterasi membuat penempatan letak perangkat lebih akurat dan kemungkinan ada kesalahan estimasi penempatan posisi lebih kecil. Dengan demikian, penelitian ini perlu dilakukan karena bertujuan untuk mengeksplorasi dan membandingkan efektivitas metode trilaterasi dan multilaterasi dalam sistem penempatan perangkat *node* baik di dalam ruangan maupun di luar ruangan. Penelitian ini juga mempertimbangkan faktor-faktor seperti koefisien *path loss*, jumlah titik referensi dan teknologi sistem komunikasi yang digunakan untuk meningkatkan akurasi dan

efisiensi sistem penempatan perangkat *node*. Hasil penelitian dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi penempatan *node* yang lebih baik dan lebih dapat diandalkan di berbagai aplikasi.

Berkembangnya perangkat telekomunikasi yang semakin canggih didorong oleh peningkatan teknologi komunikasi nirkabel dalam beberapa tahun terakhir dimana salah satunya adalah jaringan *ad-hoc* nirkabel. Jaringan ini merupakan kumpulan *node* yang terhubung melalui media transmisi nirkabel untuk berkomunikasi dan menggunakan daya secara bersama-sama. Sistem penempatan antar perangkat *node* adalah proses penentuan posisi perangkat *node* yang digunakan secara acak pada jaringan nirkabel. Sistem penempatan diperlukan untuk memberikan informasi posisi *node* [3]. Sistem penempatan *sensor node* mengacu pada proses atau metode yang digunakan untuk menentukan lokasi *master node* dengan perangkat – perangkat *slave node* yang saling terhubung dalam suatu jaringan. *Master node* berfungsi mengumpulkan dan memproses data di dalam jaringan. Dalam penelitian ini, penempatan *sensor node* itu bertujuan mencari lokasi *master node* yang efisien sehingga tidak mengalami perubahan sinyal atau sinyal hilang.

Penelitian ini menggunakan protokol komunikasi ESP-NOW untuk mengirimkan data kepada objek yang berada dalam ruangan kemudian dilakukan perhitungan menggunakan *Free Space Path Loss* (FSPL) dan metode multilaterasi. Perangkat ESP-32 digunakan sebagai perangkat *slave* dan *master* dimana perangkat disebar sebanyak enam titik yang menentukan posisi dan menentukan penempatan perangkat dan diatur pada koordinat yang telah ditentukan. Dengan menggunakan metode dan model tersebut maka titik koordinat objek dan area yang telah dirancang dalam perangkat lunak dapat ditemukan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan RSSI melalui metode trilaterasi dan multilaterasi dapat memberikan hasil yang bervariasi tergantung pada lingkungan dan jumlah titik referensi yang digunakan yaitu pada studi penelitian oleh Ismail et al. (2019) yang menunjukkan bahwa multilaterasi memberikan estimasi lokasi yang lebih

akurat dibandingkan trilaterasi dengan *General Error Localization* (GER) yang lebih rendah [4].

Rujukan jurnal yang digunakan sebagai penelitian sebelumnya oleh Huda, Setia Budi (2023) menunjukkan bahwa metode trilaterasi menggunakan tiga *sensor node* komponen ESP8266 berbasis ESP-NOW. Penelitian ini menekankan pada pengukuran akurasi dan waktu komputasi dalam lingkungan *indoor* dimana merupakan tantangan utama dalam sistem penempatan. Selain itu, pada penelitian ini menggunakan model FSPL untuk menghitung jarak serta menguji akurasi di berbagai area yang disebar di beberapa titik koordinat menggunakan koefisien *path loss* ($n = 2$ untuk *Free Space* atau ruangan terbuka) dimana tingkat kesalahan estimasi jarak bervariasi dengan *error* tertinggi 2,02 meter dan terendah 0,48 meter, rata-rata estimasi jarak 0,98 meter dan waktu komputasi rata-rata yaitu 1,3 detik [5]. Untuk lebih meningkatkan akurasi dalam penempatan maka diperlukan penambahan *sensor node* yang disebar jika sebelumnya tiga *node* maka ditambah menjadi enam *node* sensor dan kemungkinan penambahan *node* ini mengurangi *error* jarak yang rata-rata kurang dari atau sama dengan 1,00 meter atau 0,98 m)[5].

Pada penelitian P. Kurniawati (2023) menjelaskan bahwa parameter nilai RSSI lebih dari -70 dBm berarti kekuatan sinyal sangat baik dan ketika menunjukkan -70 dBm ke -85 dBm maka kekuatan sinyal baik sedangkan kategori cukup baik yaitu nilai RSSI -86 ke 100 dBm. Untuk penelitian ini, kategori yang digunakan ialah kategori kekuatan sinyal baik (>-85 dBm) untuk memastikan koneksi yang stabil dan cepat. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengukuran RSSI yang memadai dapat membantu dalam menentukan area cakupan yang optimal untuk *Access Point* (AP) sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya *blind spots* atau area tanpa sinyal. Pada pengujian protokol ESP-NOW dengan jarak 15 meter hingga 20 meter dengan kondisi tanpa hambatan didapatkan kecepatan latensi sebesar 2 ms hingga 299 ms dan RSSI -87 dBm hingga -108 dBm dan disebutkan juga latensi optimal untuk pengujian protokol ESP-NOW pada jarak 10 meter adalah sebesar 29 ms [6].

Dalam penelitian Syahda (2024) mengenai penggunaan ESP-NOW untuk sistem *pelican crossing portable* telah dijelaskan bahwa jangkauan operasional optimal adalah hingga 25 meter dengan kemungkinan diperluas hingga 50 meter.

Namun, perluasan jangkauan dapat mengganggu pengiriman data pada protokol ESP-NOW. Oleh karena itu, pengiriman data lebih optimal pada jarak yaitu kurang dari atau sama dengan 25 meter [7].

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dibahas pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana perancangan sistem kerja sensor *node* menggunakan protokol komunikasi ESP-NOW berbasis *wireless fidelity* melalui rancangan *prototype* perangkat sensor *node* menggunakan ESP-32 ?
2. Bagaimana perancangan sistem penempatan sensor *node* menggunakan metode multilaterasi pada *wireless sensor network* ?
3. Bagaimana kinerja hasil rancangan *prototype* jaringan sensor *node* dan kinerja hasil perancangan sistem penempatan sensor *node* melalui multilaterasi ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Penggunaan ESP32 sebagai *master node* dan sebagai *slave node*
2. Batas jarak pengiriman data berdasarkan ESP32
3. Komponen ESP32 digunakan sebanyak 7 komponen
4. Sumber daya perangkat menggunakan baterai 1860 dengan kapasitas 2000 mAh
5. Perangkat lunak yang digunakan yaitu Arduino IDE dan MATLAB
6. Kondisi ruangan dan luas titik koordinat dalam ruangan Laboratorium Teknik Telekomunikasi dan Informasi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
7. Pengujian penelitian dilakukan di dalam Laboratorium Teknik Telekomunikasi dan Informasi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

1.4 Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini, penulis merancang sistem penempatan sensor *node* menggunakan metode multilaterasi pada aplikasi *wireless sensor network*.

1.5 Metode Penelitian

Dalam penyelesaian penelitian ini terdapat berbagai metode penelitian yang digunakan, yaitu:

a. Studi Literatur

Studi literatur adalah metode pengumpulan data yang penting dalam penelitian yang melibatkan penelusuran dan kajian terhadap sumber-sumber tulisan yang telah ada sebelumnya. Metode ini digunakan untuk mengumpulkan informasi dari berbagai referensi seperti buku, jurnal, artikel, dan laporan penelitian yang relevan dengan topik.

b. Perancangan Sistem

Pada tahap ini penulis melakukan perancangan suatu sistem yang a digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan batasan masalah yang ditetapkan.

c. Pengujian Hasil Perancangan Sistem

Pengujian hasil perancangan sistem adalah tahap penting dalam proses pengembangan yang telah dirancang dimana hasil dari perancangan sistem diuji untuk memastikan bahwa sistem berfungsi sesuai dengan spesifikasi dan parameter yang telah ditetapkan.

d. Pengolahan Hasil Pengujian Sistem

Setelah mendapatkan hasil pengujian sistem maka hasil pengujian diolah dengan metode multilaterasi yang telah ditetapkan.

e. Pembahasan Hasil Perancangan Sistem dan Hasil Pengujian Sistem

Pada tahap ini penulis membahas hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap sistem atau alat yang dirancang berdasarkan spesifikasi dan parameter yang telah ditetapkan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan ditujukan agar penulisan tugas akhir mengenai penelitian ini dapat berurutan, jelas dan lengkap. Adapun sistematika penulisan yang digunakan:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah penelitian, batasan masalah penelitian, tujuan penelitian dan sistematika penulisan penelitian.

BAB 2 TEORI DASAR

Bab ini membahas mengenai teori dasar berisi sekumpulan konsep, definisi dan proposisi yang saling berhubungan serta digunakan untuk menjelaskan keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang proses metode pengembangan yang digunakan dan juga dalam pengembangan sistem yang akan diteliti, dibentuk dan juga berisi pembahasan tentang tahap-tahap dari metode tersebut. Pada penelitian ini, metodologi penelitian yang digunakan merupakan rancang bangun *prototype* dan sistem yang diuji fungsinya kemudian hasil tahap metode tersebut diolah sebagai data kuantitatif.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini terdapat hasil penelitian dan dilakukan pembahasan terhadap hasil yang telah didapatkan di dalam penelitian ini. Penelitian ini mengolah data yang diterima saat multilaterasi dan visualisasi penempatan sensor *node*.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas tentang kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran untuk pengembangan penelitian ini ke tahap yang selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Kunhoth, A. G. Karkar, S. Al-Maadeed, and A. Al-Ali, "Indoor positioning and wayfinding systems: a survey," *Human-centric Comput. Inf. Sci.*, vol. 10, no. 1, 2020, doi: 10.1186/s13673-020-00222-0.
- [2] M. A. Amanaf, D. W. Brigitta, and R. D. Ainul, "Skema Penentuan Posisi Lingkungan Indoor untuk Aplikasi Monitoring Lokasi Dosen Berbasis Multilaterasi," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 8, no. 3, p. 266, 2019, doi: 10.22146/jnteti.v8i3.522.
- [3] A. Pratiarso, A. S. Putra, P. Kristalina, A. Sudarsono, M. Yuliana, and I. G. P. Astawa, "Skema Lokalisasi Posisi Node Terdistribusi pada Lingkungan Free Space Path Loss," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 6, no. 3, pp. 352–358, 2017, doi: 10.22146/jnteti.v6i3.338.
- [4] M. I. M. Ismail *et al.*, "An RSSI-based Wireless Sensor Node Localisation using Trilateration and Multilateration Methods for Outdoor Environment," 2019, doi: 10.48550/arXiv.1912.07801.
- [5] H. W. Huda and A. Setia Budi, "Lokalisasi Dalam Ruangan Menggunakan ESP-Now berbasis Wireless Sensor Network Trilateration dengan Model Free Space Path Loss," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 7, no. 6, pp. 3009–3015, 2023, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [6] P. Kurniawati, "Rancang Bangun protokol ESP-Now untuk Monitoring Kondisi Lingkungan Tanaman Hidroponik Rancang," *Univ. Nisant. PGRI Kediri*, vol. 01, pp. 1–7, 2023.
- [7] R. O. Syahda, R. Rahmadewi, and D. B. Santoso, "Penerapan Teknologi ESP-NOW : Komunikasi Nirkabel untuk Portable Pelican Crossing," vol. xx, no. xx, pp. 235–242, 2024, doi: 10.33650/jeecom.v4i2.
- [8] D. Eridani, A. F. Rochim, and F. N. Cesara, "Comparative Performance Study of ESP-NOW, Wi-Fi, Bluetooth Protocols based on Range, Transmission Speed, Latency, Energy Usage and Barrier Resistance," *Proc.*

- 2021 *Int. Semin. Appl. Technol. Inf. Commun. IT Oppor. Creat. Digit. Innov. Commun. within Glob. Pandemic, iSemantic 2021*, pp. 322–328, 2021, doi: 10.1109/iSemantic52711.2021.9573246.
- [9] Hassan Rizky Putra Sailallah, “Apa itu Internet of Things : Pengertian, Cara Kerja dan Contohnya,” *it.telkomuniversity.ac.id*. [Online]. Available: <https://it.telkomuniversity.ac.id/internet-of-things-adalah/>
- [10] F. Susanto, N. K. Prasiani, and P. Darmawan, “Implementasi Internet of Things Dalam Kehidupan Sehari-Hari,” *J. Imagine*, vol. 2, no. 1, pp. 35–40, 2022, doi: 10.35886/imagine.v2i1.329.
- [11] L. M. M. Esp-wroom, M. Nurkamid, and A. Widodo, “Penerapan Wireless Sensor Network Untuk Monitoring,” vol. 5, no. 3, pp. 72–78.
- [12] U. Fitria, T. B. Santoso, and P. Kristalina, “Analisa Kinerja Dan Simulasi Coverage Pada Wireless Sensor Network (WSN) Menggunakan Algoritma Genetika Pareto,” *EEPIS Final Proj.*, pp. 2–7, 2011, [Online]. Available: <file:///C:/Users/BANU/Zotero/storage/94FMEHLM/1027.html>
- [13] W. N. Aini, H. Ubaya, S. Sembiring, P. Studi, T. Komputer, and D. Komputer, “Implementasi Komunikasi Data pada Internet of Things (IoT) Menggunakan Radio Frekuensi 868Mhz Berbasis Arduino Uno,” *Generic*, vol. 10, no. 1, pp. 29–33, 2019, [Online]. Available: <http://generic.ilkom.unsri.ac.id/index.php/generic/article/view/83>
- [14] C. Pradhana and M. Sulaiman, “SinarFe7,” *Simulasi Komun. Ser. Dengan Protok. I2C Menggunakan Arduino IDE dan Proteus 8*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2020.
- [15] C. Bayılmış, M. A. Ebleme, Ü. Çavuşoğlu, K. Küçük, and A. Sevin, “A survey on communication protocols and performance evaluations for Internet of Things,” *Digit. Commun. Networks*, vol. 8, no. 6, pp. 1094–1104, 2022, doi: 10.1016/j.dcan.2022.03.013.
- [16] G. P. Naik and A. U. Bapat, “A Brief Comparative Analysis on Application

- Layer Protocols of Internet of Things: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP,” *Int. J. Comput. Sci. Mob. Comput.*, vol. 9, no. 9, pp. 135–141, 2020, doi: 10.47760/ijcsmc.2020.v09i09.014.
- [17] A. Maulana and W. Sulisty, “Analisis Kualitas Signal Wireless Menggunakan Received Signal Strength Indicator (Rssi) Di Smp Negeri 10 Salatiga,” *IT-Explore J. Penerapan Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 3, no. 1, pp. 63–78, 2024, doi: 10.24246/itexplore.v3i1.2024.pp50-65.
- [18] S. Nindito, N. A. Siswandari, and O. Puspitorini, “Analisa Pathloss Exponent Pada Daerah Urban dan Suburban Satrio,” pp. 1–5, 2022, [Online]. Available: <https://repo.pens.ac.id/1007/1/paper.pdf>
- [19] N. Azmi Ali, N. A. Abdul Latiff, and I. S. Ismail, “Performance of LoRa Network for Environmental Monitoring System in Bidong Island Terengganu, Malaysia,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 10, 2019, doi: 10.14569/IJACSA.2019.0101117.
- [20] Espressif, “ESP-NOW A wireless communication protocol for quick responses and low-power control.” Accessed: Dec. 01, 2024. [Online]. Available: <https://www.espressif.com/en/solutions/low-power-solutions/esp-now>
- [21] N. A. Sholicha and A. S. Budi, “IMPLEMENTASI PROTOKOL AODV MENGGUNAKAN ESP-NOW PADA WIRELESS SENSOR NETWORK BERBASIS ESP32,” vol. 11, no. 4, 2024, doi: 10.25126/jtiik.1148398.
- [22] I. G. Susrama, M. Diyasa, S. Winardi, A. A. Ansyah, and D. Dzaky, “Making the Internet of Things Trainer Based on ESP-32 Microcontroller,” vol. 2022, pp. 176–182, 2022, doi: 10.11594/nstp.2022.2429.
- [23] Hervyn Awang, “MAC Address Adalah Identitas Hardware, Apa Fungsinya?,” Telkom University PuTi. Accessed: Dec. 20, 2024. [Online]. Available: <https://it.telkomuniversity.ac.id/mac-address-adalah/>
- [24] N. Tamami, “Teknik dan Implementasi Trilaterasi Dasar Teori,” no. January,

- pp. 3–6, 2022, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/358043393_Teknik_dan_Implementasi_Trilaterasi_Dasar_Teori
- [25] N. Tamami, B. Sumantri, and P. Kristalina, “Local positioning system for autonomous vertical take-off and landing using ultra-wide band measurement ranging system,” *J. Mechatronics, Electr. Power, Veh. Technol.*, vol. 12, no. 1, pp. 18–27, 2021, doi: 10.14203/j.mev.2021.v12.18-27.
- [26] P. Kurniawati, “Rancang Bangun Protokol ESP-Now Untuk Monitoring Kondisi Lingkungan Tanaman Hidroponik,” *Univ. Nisant. PGRI Kediri*, vol. 01, pp. 1–7, 2023.
- [27] Mochammad Haldi Widiyanto, “Rssi Dan Tdoa Teknik Dalam Wireless Sensor Network,” Binus Univesity. [Online]. Available: <https://www.binus.edu/fostering-and-empowering/post/rssi-dan-tdoa-teknik-dalam-wireless-sensor-network>
- [28] S. Gunawan and E. Suhardi Rahman, “Metode Penentuan Perbaikan Noise Pada Data Musik Menggunakan Algoritma Least Mean Square,” *J. Digit. Technol. Comput. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 48–56, 2023, [Online]. Available: <https://journal.unm.ac.id/index.php/FOESIA/index>