

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai *literature review* atau studi literatur, serta teori pendukung dari penelitian tugas akhir yang dilakukan.

2.1. Literature Review

Ada beberapa penelitian yang terkait mendukung penelitian yang dilakukan penulis. Adapun studi literatur yang telah dipelajari ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Studi Literatur

No	Penulis	Tahun	Judul	Pembahasan
1	Ihsan Farrassalam Ammarprawira, Mochamad Septoni Fauzi, Arbi Abdul Jabbaar, dan Niken Syafitri	2020	Implementasi <i>Automatic Waypoint</i> untuk <i>Return Trip</i> pada <i>Autonomous Robot</i> dengan Titik Acuan Potensi Korban Bencana	Autonomous robot dengan sistem navigasi automatic <i>waypoint</i> dengan sistem lokalisasi berbasis GPS dengan nilai <i>error</i> sebesar 2,77 meter.
2	Ahmad Deny Andika, Poltak Sihombing, dan Tulus Ikhsan Nasution	2011	Perancangan Sistem Pengukur Jarak Antara 2 Titik <i>Wireless Xbee</i> Pro Berdasarkan Nilai RSSI	Pengukuran nilai jarak antara dua titik perangkat <i>radiowave</i> berdasarkan nilai RSSI menggunakan model <i>shadowing</i> . Penelitian ini menghasilkan nilai <i>error</i> sebesar 1,1375 meter pada jarak tempuh 15 meter.
3	Türker Türkoral, Özgür Tamer, Suat Yetiş, Enes İnanç, dan Levent Çetin	2017	<i>Short Range Indoor Distance Estimation by Using RSSI Metric</i>	Penelitian ini menggunakan dua metode pengukuran dan tiga metode penentuan nilai jarak berdasarkan nilai RSSI. Pada metode pengukuran pertama dengan menggunakan metode ITU untuk penentu jarak penelitian ini menghasilkan nilai <i>error</i> sebesar 0,66 meter pada jarak tempuh 16 meter dan dengan metode EDR menghasilkan <i>error</i> sebesar 0,53 meter pada jarak yang sama.

No	Penulis	Tahun	Judul	Pembahasan
4	Oguejiofor O.S, Aniedu A.N, Ejiofor H.C, dan Okolibe A.U	2013	<i>Trilateration Based localization Algorithm for Wireless Sensor Network</i>	Sistem lokalisasi yang menggunakan sistem <i>trilateration</i> dengan 4 perangkat <i>wireless Zigbee CC2420</i> , tiga berupa <i>anchor</i> atau <i>node</i> yang koordinatnya tetap dan satu berupa <i>blind node</i> atau <i>node</i> yang koordinatnya dilacak.
5	Mardeni R. dan Shaifull Nizam Othman	2010	<i>Node Positioning in ZigBee Network Using Trilateration Method Based on the Received Signal Strength Indicator (RSSI)</i>	Penelitian ini bertujuan untuk meneliti implementasi <i>node positioning</i> dalam <i>Zigbee wireless network</i> dengan menggunakan nilai RSSI dalam menentukan jarak antara <i>nodes</i> dan menggunakan metode <i>trilateration</i>

Penelitian yang dikerjakan adalah implementasi pengukuran jarak menggunakan nilai RSSI dari *landmark radiowave* sebagai nilai jarak pada sistem lokalisasi *trilateration*.

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Ihsan Farrassalam Ammarprawira, dan kawan - kawan yaitu “Implementasi *Automatic Waypoint* untuk *Return Trip* pada *Autonomous Robot* dengan Titik Acuan Potensi Korban Bencana”, *autonomous robot* yang direalisasikan dengan tipe penggerak *continuous track* serta memiliki sistem navigasi *automatic waypoint* dengan perangkat GPS sehingga tidak diperlukannya pengguna untuk menggerakkan *autonomous robot* dan *autonomous robot* juga disertai sensor – sensor untuk mendeteksi korban yang masih hidup dalam bencana (Ammarprawira, dkk., 2020).

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Ahmad Deny Andika, dan kawan – kawan yaitu “Perancangan Sistem Pengukur Jarak Antara 2 Titik *Wireless Xbee Pro* Berdasarkan Nilai RSSI”, sistem pengukuran jarak antara dua titik menggunakan nilai RSSI melalui persamaan atau *model shadowing* dengan perangkat *wireless Xbee Pro ZB*, nilai RSSI akan diproses dengan *ATMega328P* kemudian dikirim ke *visual basic* pada PC (Andika, dkk., 2013).

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Türker Türkoral, dan kawan – kawan yaitu “*Short Range Indoor Distance Estimation by Using RSSI Metric*”,

penelitian melakukan dua metode pengukuran jarak yaitu metode pengukuran antara satu *receiver* dan satu *transmitter*, metode pengukuran kedua adalah pengukuran jarak antara beberapa node *receiver* dan *transmitter* yang bertujuan untuk menghilangkan *error*, metode pengukuran ini juga digunakan dalam *localization algorithm*. Pada penelitian ini menggunakan tiga metode penentu nilai jarak dari nilai RSSI yang dimiliki yaitu metode ITU, *two-ray ground reflected path loss model*, dan EDR (Türkoral, dkk., 2017).

Penelitian yang telah dilaksanakan oleh Oguejiofor O.S, dan kawan – kawan yaitu “*Trilateration Based localization Algorithm for Wireless Sensor Network*”, sistem lokalisasi yang menggunakan sistem *trilateration* dengan 4 perangkat *wireless* Zigbee CC2420, tiga berupa *anchor* atau *node* yang koordinatnya tetap dan satu berupa *blind node* atau node yang koordinatnya dilacak (S., dkk., 2013).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Mardeni R. dan Shaiful Nizam Othman yaitu “*Node Positioning in ZigBee Network Using Trilateration Method Based on the Received Signal Strength Indicator (RSSI)*”, bertujuan untuk meneliti implementasi *node positioning* dalam *Zigbee wireless network* dengan menggunakan nilai RSSI dalam menentukan jarak antara *nodes* dan menggunakan metode *trilateration* (R. & Othman, 2010).

Berdasarkan literatur metode *trilateration* yang menggunakan perangkat *wireless* pada umumnya banyak menggunakan sistem *Time of Arrival* (TOA) atau *Time Difference of Arrival* (TDOA), namun untuk menggunakan sistem ini diperlukan perangkat *wireless* yang memiliki perhitungan *time of flight* pada paket data yang akurat sedangkan Zigbee tidak memiliki perhitungan *time of flight* pada paket data yang cukup akurat, maka diperlukan sistem lainnya yang dapat menentukan jarak dan posisi untuk menggunakan metode lokalisasi *trilateration* yaitu adalah metode menggunakan nilai RSSI sinyal *radiowave* pada data paket yang dikirim dari perangkat Zigbee.

2.2. Teori Pendukung

2.2.1. Wireless Sensor Network

Merujuk pada jurnal berjudul “Perancangan Dan Implementasi Sistem *Indoor Localization* Berbasis *Wireless Sensor Network* Dengan Perangkat Zigbee”

(Swara, dkk., 2016), *Sensor network* adalah infrastruktur yang terdiri dari kemampuan penginderaan (mengukur), perhitungan, dan elemen komunikasi. Perangkat lebih lanjut dapat memberikan kemampuan untuk instrumen, mengamati, dan bereaksi terhadap peristiwa dan fenomena pada lingkungan tertentu. Pengguna jaringan ini sebagian besar adalah sipil, pemerintah, komersial atau *industry*.

2.2.2. *Localization*

Merujuk pada jurnal berjudul “*Localization Techniques in Wireless Sensor Networks*” (Alrajeh, dkk., 2013), lokalisasi diperkirakan melalui komunikasi antara titik yang lokasinya diketahui dengan titik yang lokasinya tidak atau belum diketahui. Lokasi ditentukan dengan rata-rata dari nilai jarak dan sudut antara *nodes*. Lokalisasi memiliki beberapa konsep yang digunakan antara lain:

1. *Lateration* berlaku ketika jarak antara *nodes* terukur untuk memperkirakan lokasi.
2. *Angulation* berlaku ketika sudut antara *nodes* terukur untuk memperkirakan lokasi.
3. *Trilateration*. Lokasi dari *node* diperkirakan melalui jarak yang diukur dari tiga *nodes*. Dalam konsep ini titik pertemuan dari tiga lingkaran diperhitungkan dan hasil perhitungan merupakan titik lokasi dari *node* yang lokasinya diperkirakan.
4. *Multilateration*. Dalam konsep ini diperlukan lebih dari tiga *nodes* untuk memperkirakan lokasi.
5. *Triangulation*. Dalam mekanisme ini untuk memperkirakan lokasi *node* diperlukan setidaknya dua sudut dari *node* yang lokasinya diperkirakan terhadap dua *nodes* yang lokasinya telah diukur.

Lokalisasi tergolongkan berdasarkan *anchor based* atau *anchor free*, *centralized* atau *distributed*, *GPS based* atau *GPS free*, *fine grained* atau *coarse grained*, *stationary* atau *mobile sensor nodes*, dan *range based* or *range free*.

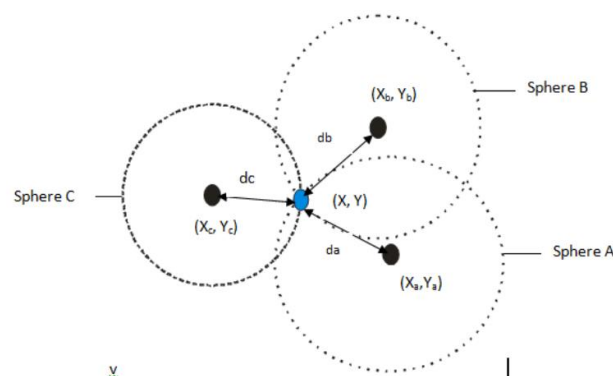
1. *Anchor Based* dan *Anchor Free*. *Anchor based* memiliki mekanisme dimana beberapa dari *nodes* sudah diketahui dan lokasi dari *node* yang belum diketahui akan diperkirakan melalui *nodes* yang lokasi diketahui. Akurasi dari mekanisme ini tergantung pada jumlah *anchor nodes*. Algoritma

Anchor-free memperkirakan posisi relatif dari *node* melainkan menghitung posisi sebenarnya dari *node*.

2. *Centralized* dan *Distributed*. *Centralized* adalah mekanisme dimana semua informasi diteruskan pada satu titik atau *node* yang pada umumnya disebut dengan “*sink node or base station*”. *Sink node* akan mengkomputasi lokasi dari *node* lainnya dan meneruskan informasi tersebut kembali ke *node*-nya masing-masing. Pada *distributed* seluruh *node* menghitung dan memperkirakan lokasinya masing-masing dan berhubung langsung dengan *anchor nodes*.
3. *GPS Based* dan *GPS Free*. *GPS Based* adalah mekanisme dimana setiap *node* memiliki GPS untuk menentukan lokasinya sedangkan algoritma *GPS-free* tidak menggunakan GPS dan menghitung jarak antara *nodes* relatif terhadap *local network*. Beberapa *nodes* perlu diketahui lokasinya dengan GPS yang disebut sebagai *anchor* atau *beacon nodes*.
4. *Coarse Grained* and *Fine Grained*. *Fine-grained* hasil mekanise ketika metode lokalisasi menggunakan kuat sinyal yang diterima, sedangkan *coarse-grained* tanpa menggunakannya.
5. *Stationary* dan *Mobile Sensor Nodes*. Beberapa *nodes* memiliki posisi yang statis atau tidak berubah dan sebagian besar penggunaan sistem lokalisasi menggunakan mekanisme ini.

2.2.3. Metode Trilateration

Merujuk pada jurnal berjudul “*Trilateration Based localization Algorithm for Wireless Sensor Network*” (S., dkk., 2013).



Gambar 2.1. Titik Pertemuan antara Tiga Lingkaran dalam 2D

(S., dkk., 2013)

Berdasarkan Gambar 2.1 terdapat tiga titik dengan koordinat yang sudah diketahui, satu titik dengan lokasi yang tidak diketahui dan jarak berupa lingkaran antara titik-titik yang lokasi sudah diketahui dengan titik yang lokasi tidak diketahui, maka diperoleh 3 persamaan dari tiga lingkaran:

$$\text{Lingkaran A; } d_a^2 = (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 \quad (2.1)$$

$$\text{Lingkaran B; } d_b^2 = (x - x_b)^2 + (y - y_b)^2 \quad (2.2)$$

$$\text{Lingkaran C; } d_c^2 = (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 \quad (2.3)$$

Persamaan (2.1), (2.2), dan (2.3) dapat dikembangkan sehingga diperoleh persamaan (2.4), (2.5), dan (2.6).

$$d_a^2 = x^2 - 2x \cdot x_a + x_a^2 + y^2 - 2 \cdot y \cdot y_a + y_a^2 \quad (2.4)$$

$$d_b^2 = x^2 - 2x \cdot x_b + x_b^2 + y^2 - 2 \cdot y \cdot y_b + y_b^2 \quad (2.5)$$

$$d_c^2 = x^2 - 2x \cdot x_c + x_c^2 + y^2 - 2 \cdot y \cdot y_c + y_c^2 \quad (2.6)$$

Persamaan (2.4), (2.5), dan (2.6) merupakan persamaan *independent non-linear simultaneous equations* yang merupakan persamaan yang tidak dapat diselesaikan secara matematik; namun dengan menggunakan sebuah metode untuk memperoleh nilai jari-jari dari lingkaran yang bersimpangan, persamaan (2.2) dikurangkan dengan persamaan (2.3) akan mendapatkan persamaan (2.7).

$$d_b^2 - d_c^2 = 2x(x_c - x_b) + x_b^2 - x_c^2 + 2y(y_c - y_b) + y_b^2 - y_c^2 \quad (2.7)$$

Dan persamaan (2.2) dikurangkan dengan persamaan (2.1) mendapatkan persamaan (2.8).

$$d_b^2 - d_a^2 = 2x(x_a - x_b) + x_b^2 - x_a^2 + 2y(y_a - y_b) + y_b^2 - y_a^2 \quad (2.8)$$

Menyusun persamaan (2.7) untuk menghasilkan persamaan (2.9) dan variabel baru.

$$x(x_c - x_b) + y(y_c - y_b) = \frac{(d_b^2 - d_c^2) - (x_b^2 - x_c^2) - (y_b^2 - y_c^2)}{2} = v_a \quad (2.9)$$

Menyusun persamaan (2.8) untuk menghasilkan persamaan (2.10) dan variabel baru.

$$x(x_a - x_b) + y(y_a - y_b) = \frac{(d_b^2 - d_a^2) - (x_b^2 - x_a^2) - (y_b^2 - y_a^2)}{2} = v_b \quad (2.10)$$

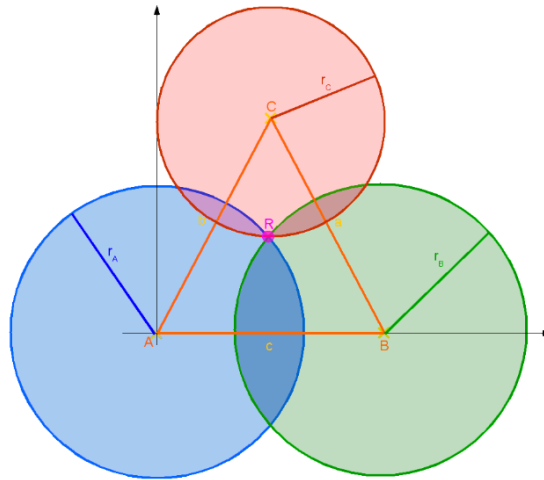
Menyelesaikan persamaan (2.9) dan persamaan (2.10) untuk mendapatkan titik pertemuan 'x' dan 'y' menghasilkan persamaan (2.11) dan (2.12) untuk memperoleh nilai 'y' dan nilai 'x'.

$$y = \frac{v_b(x_c - x_b) - v_a(x_a - x_b)}{(y_a - y_b)(x_c - x_b) - (y_c - y_b)(x_a - x_b)} \quad (2.11)$$

$$x = \frac{v_a - y(y_c - y_b)}{(x_c - x_b)} \quad (2.12)$$

Nilai dari x dan y akan memberikan nilai akurat dari posisi pada 2 dimensi.

Merujuk pada jurnal berjudul “*Localization of Mobile Robot Using Radio Waves*” (Nowacki, dkk., 2009).



Gambar 2.2. *Trilateration* dengan Kondisi $A=(0,0)$, $B=(x_b,0)$, dan $C=(x_c,y_c)$
(Nowacki, dkk., 2009)

Berdasarkan Gambar 2.2 dengan mengasumsi $A=(0,0)$, $B=(x_b,0)$, dan $C=(x_c,y_c)$ maka persamaan untuk menghasilkan nilai x dan nilai y adalah persamaan (2.13) dan persamaan (2.14).

$$x = \frac{x_b^2 + d_a^2 - d_b^2}{2x_b} \quad (2.13)$$

$$y = \frac{y_c^2 + x_c^2 - 2x_c x + d_a^2 - d_c^2}{2y_c} \quad (2.14)$$

2.2.4. *Receive Signal Strength Indicator (RSSI)*

Merujuk pada jurnal berjudul “*Using RSSI value for distance estimation in Wireless sensor networks based on ZigBee*” (Benkič, dkk., 2008), RSSI adalah singkatan dari *Received Signal Strength Indicator*. Ini adalah daya yang diukur dari sinyal radio yang diterima. RSSI diimplementasikan dan digunakan secara luas dalam standar 802.11. Merujuk pada jurnal berjudul “*Perancangan Dan Implementasi Sistem Indoor Localization Berbasis Wireless Sensor Network Dengan Perangkat Zigbee*” (Swara, dkk., 2016), Standar IEEE 802.11 menetapkan mekanisme pengukuran energi frekuensi radio pada perangkat *wireless* dengan nilai numerik berupa integer dengan rentang 0-255 dalam byte. Nilai RSSI biasanya tidak terlihat pada sisi penerima baik *user* maupun sebuah perangkat. Semakin besar nilai RSSI yang diterima mengindikasikan sinyal yang diterima perangkat semakin kuat.

2.2.5. Path Loss dan Perhitungan Jarak

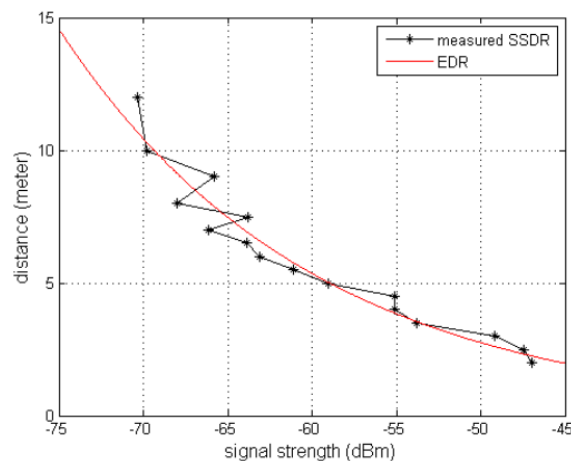
Merujuk pada buku berjudul “RF *Path Loss & Transmission Distance Calculations*” (Debus, 2006), *Path loss* adalah variabel yang tergantung pada frekuensi, tinggi dari antenna, halangan dan pantulan dari lokasi terminal penerima, jarak antara *link*, dan banyak faktor – faktor lainnya. Cara termudah untuk memperkirakan jarak antara pengirim dan penerima adalah dengan menggunakan persamaan *free-space path loss*:

$$FSPL = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) - 27.55 \quad (2.15)$$

Dimana d adalah jarak antara penerima dan pengirim dalam meter, f adalah frekuensi sinyal dalam megahertz, dan FSPL adalah nilai RSSI yang diterima dalam dB.

2.2.6. Metode Entity Relation Diagram (EDR)

Metode *Entity Relation Diagram* (EDR) adalah metode analisis data yang berdasarkan nilai pengukuran dan nilai sebenarnya (Türkoral, dkk., 2017). Pada metode ini akan diperoleh grafik nilai sebenarnya terhadap nilai pengukuran dan dari grafik tersebut akan peroleh persamaan yang menunjukkan karakteristik dari data tersebut.



Gambar 2.3. Metode EDR

(Türkoral, dkk., 2017)

Berdasarkan Gambar 2.3 nilai sebenarnya merupakan nilai jarak dalam meter dan nilai RSSI atau *signal strength* dalam dBm adalah nilai pengukuran. Kurva berwarna merah adalah kurva hasil dari analisis data dalam metode EDR sehingga diperoleh persamaan dari kurva tersebut.

2.2.7. Radio Frequency Transceiver dan Zigbee S2C

Merujuk pada buku berjudul “Perancangan Sistem Pengukur Jarak Antara 2 Titik *Wireless* Xbee Pro Berdasarkan Nilai RSSI” (Andika, dkk., 2011), *Radio Frequency Transceiver* atau pengirim dan penerima frekuensi radio ini berfungsi untuk komunikasi secara nirkabel (*wireless*). Salah satu modul komunikasi *wireless* dengan frekuensi 2.4 GHz adalah Xbee-PRO ZB ZigBee/IEEE 802.15.4 2.4GHz. *Radio frequency transceiver* ini merupakan sebuah modul yang terdiri dari RF receiver dan RF transmitter. Modul RF interface Xbee/XBee-PRO ZB ini berhubungan dengan melalui *logic-level asynchronous serial port*. Melalui *serial port* ini, modul dapat berkomunikasi dengan *logic* dan *voltage* kompatibel *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* (UART) atau melalui level translator ke semua *serial device* contohnya pada RS-232 atau USB interface board. UART adalah bagian perangkat keras komputer yang menerjemahkan bit-bit paralel data dan bit-bit serial. UART biasanya berupa sirkuit terintegrasi yang digunakan untuk komunikasi serial pada komputer atau port serial perangkat peripheral. Perangkat yang memiliki interface UART dapat terhubung langsung pada pin modul RF.

Merujuk pada pembahasan mengenai Xbee S2C RF Module yang dipublikasikan oleh halaman web components101.com (Components101, 2018). Xbee S2C merupakan produk RF modul dari DIGI yang menyediakan komunikasi secara *wireless*.

Tabel 2.2. Spesifikasi Xbee S2C

Indor range	60 meter
Outdoor RF LOS range	1200 meter
Transmit power output	3,1 mW(+5 dBm)
Receiver sensitivity	-100 dBm
RF data rate	250.000 b/s
Supply voltage	2,1-3,6 V
Transmit current	33 mA

Sumber : (Components101, 2018)

Berdasarkan Tabel 2.2 dalam keadaan komunikasi di dalam ruangan akan memiliki jarak sebesar 60 meter dan dalam keadaan komunikasi di luar ruangan dengan kondisi LOS akan memiliki jarak maksimum sebesar 1200 meter. Tegangan masukan yang diperlukan oleh Xbee S2C adalah sebesar 2,1 sampai dengan 3,6 Volt dan arus sebesar 33 mA.

2.2.8. Arduino UNO ATmega328P

Merujuk pada pembahasan mengenai Arduino UNO ATmega328 yang dipublikasikan oleh halaman web labelektronika.com pada materi Arduino (Lab Elektronika, 2017), Board Arduino uno adalah Board Mikrokontroler (Development Board) menggunakan *chip* mikrokontroler ATmega328 yang fleksibel dan *open-source*, *Software* dan *Hardware* pada ATmega328 relatif mudah digunakan sehingga banyak dipakai oleh pemula sampai ahli. Untuk dapat digunakan Board Arduino Uno dihubungkan kepada komputer dengan menggunakan kabel USB atau dengan adaptor atau *Power Supply* 7-12 V DC. Arduino Uno dapat digunakan untuk mendeteksi lingkungan dengan membaca data dari berbagai sensor misalnya jarak, inframerah, suhu, cahaya, ultrasonik, tekanan, kelembapan dan lain-lain.

Tabel 2.3. Spesifikasi Arduino UNO

Mikrokontroler	ATmega328P
Tegangan Pengoperasian	5V
Tegangan Input(Rekomendasi)	7-12V
Batas Tegangan Input	6-20V
Pin I/O Digital	14
Pin Digital PWM	6
Pin Input Analog	6
Arus DC Tiap Pin I/O	20 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
Clock Speed	16 MHz

Sumber : (Lab Elektronika, 2017)

Berdasarkan Tabel 2.2 mikrokontroler ATmega328P memiliki tegangan masukan rekomendasi sebesar 7 sampai dengan 12 Volt, tegangan minimum 7V akan menjadi batas bawah kerja sistem *anchor* yang merupakan sistem *radiowave* yang bersifat *portable* yang menggunakan baterai 12V dengan batas kapasitas sebesar 2000mAh, sehingga dapat diperoleh batas kerja baterai untuk memberi daya kepada sistem *anchor*.

2.2.9. Asus FX553VD

Asus FX553VD adalah laptop DOS yang merupakan produk dari Asus dengan layar sebesar 15,60 inchi, *processor* berupa Intel Core i7, *graphic card* berupa NVIDIA 2GB GeForce 1050, RAM sebesar 8GB, OS berupa windows 10, dan storage sebesar 1TB.

BAB III

METODOLOGI TUGAS AKHIR

Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan sistem penelitian yang dilakukan, seperti gambaran umum berupa blok diagram sistem dan *flowchart* sistem. Setelah pembahasan mengenai perancangan sistem, dilanjutkan dengan gambaran implementasi sistem, serta metode pengujian yang dilakukan pada penelitian ini. Sistem yang dirancang memiliki tujuan spesifikasi yaitu pada sistem pengukuran jarak memiliki nilai error berkisar 1 meter dan pada sistem trilateration memiliki nilai error berkisar 1 meter.

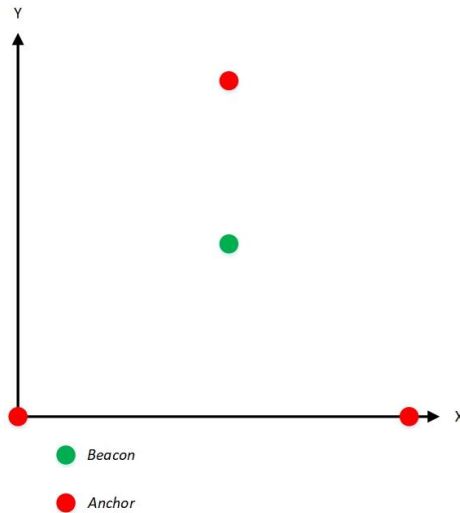
3.1. Spesifikasi Sistem

Sistem yang dirancang memiliki tujuan spesifikasi sebagai berikut:

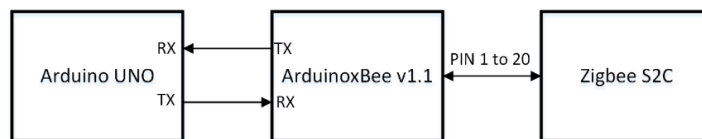
1. Sistem pengukuran jarak memiliki nilai *error* berkisar 1 meter dan pada sistem *trilateration* memiliki nilai *error* berkisar 1 meter.
2. Pengujian dilakukan di ruang tertutup, dalam hal ini lapangan badminton.
3. Untuk pengukuran jarak digunakan satu buah *beacon* dan satu buah *anchor* dengan pengukuran dimulai dari 1 meter hingga 16 meter. Posisi *beacon* stasioner, dan posisi *anchor* digeser setiap meter.
4. Untuk sistem *trilateration* digunakan satu buah *beacon* dan tiga buah *anchor*. Posisi ketiga *anchor* stasioner dan posisi *beacon* berpindah-pindah namun harus berada dalam jangkauan segitiga ketiga *anchor*.
5. Data yang diambil adalah nilai RSSI dengan satuan dB untuk kemudian dikonversi ke dalam satuan meter menggunakan persamaan FSPL dan metode EDR.

3.2. Perancangan Sistem

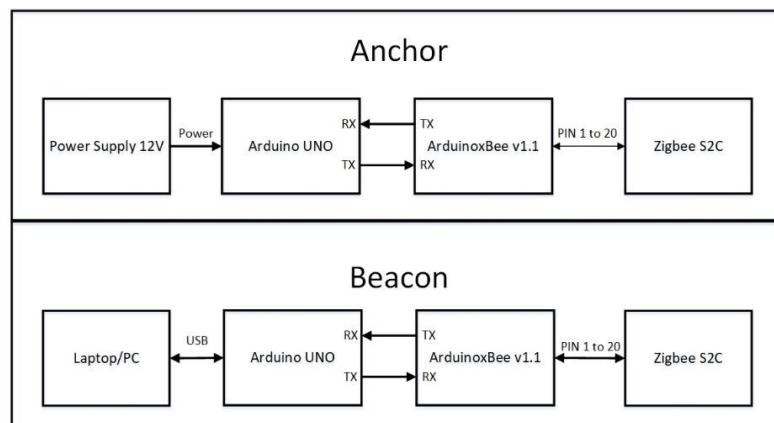
Sistem lokalisasi *trilateration* menggunakan perangkat *radiowave* terdapat 3 *anchor/landmark* yang merupakan *node* yang lokasinya diketahui dan dalam kondisi stasioner serta 1 *beacon* atau *node* yang lokalisasinya belum diketahui.

Gambar 3.1. *Anchor dan Beacon*

Gambar 3.1 menunjukkan lokasi dan jumlah *beacon* dan *anchor*, namun hanya *anchor* yang lokasinya stasioner. Setiap *anchor* dan *beacon* memiliki perangkat *radiowave* berupa Zigbee S2C dengan Arduino UNO sebagai mikrokontroler. Mikrokontroler dan Zigbee saling terhubung dengan Xbee Shield ArduinoXbee v1.1.

Gambar 3.2. Sistem Perangkat *Radiowave*

Gambar 3.2 menunjukkan sistem perangkat *radiowave* dan pin yang terhubung antara perangkat – perangkat pada sistem perangkat *radiowave*. Arduino dan Zigbee saling terhubung dalam komunikasi UART melalui *software serial* dengan rancangan pin digital 2 sebagai RX dan pin digital 3 sebagai TX pada pin di arduino.

Gambar 3.3. Sistem *Anchor dan Beacon*

Gambar 3.3 menunjukkan *anchor* terdiri dari sistem perangkat *radiowave* yang terhubung dengan sumber energi berupa baterai arduino 12V dan *beacon* akan terdiri dari sistem perangkat *radiowave* yang terhubung dengan laptop dikarenakan algoritma perhitungan dan proses pelacak lokasi dilaksanakan pada *beacon*.

3.2.1. Konfigurasi Zigbee S2C

Pada sistem perangkat *radiowave*, Zigbee S2C diperlukan untuk dikonfigurasi dan konfigurasi ini dapat dilakukan dengan menggunakan aplikasi XCTU. Aplikasi XCTU adalah aplikasi yang dirancang untuk pengguna dapat berinteraksi dengan modul Digi RF yang salah satunya yaitu Zigbee S2C. Zigbee S2C dikonfigurasi dengan dihubungkan pada PC melalui modul Xbee USB Adapter funduino. Langkah dan konfigurasi yang diterapkan pada Zigbee S2C:

1. Menghubungkan Zigbee S2C pada laptop/PC menggunakan Xbee USB Adapter.
2. Klik *Discover radio moduls*, pilih port yang terhubung dengan Zigbee, dan klik *Next*.
3. Konfigurasi parameter untuk mencari modeul *radio* lalu klik *Finish*:
 - a. Baud Rate :9600
 - b. Data Bits :8
 - c. Parity :None
 - d. Stop Bits :1
 - e. Flow Control :None
4. Pilih dan tambahkan perangkat yang akan dikonfigurasi.
5. *Update firmware*.
6. Konfigurasi Zigbee S2C (*Beacon*):
 - a. *Channel* : C
 - b. PAN ID : 2244
 - c. *Destination Address High* : 0
 - d. *Destination Address Low* : 1234
 - e. 16-bit *Source Address* : 5678
 - f. *Coordinator Enable* : *Coordinator*
 - g. *Node Identifier* : “*Point*”

h. *API Enable* : *API enabled*

7. Konfigurasi Zigbee S2C (*Anchor 1*):

- a. *Channel* : C
- b. *PAN ID* : 2244
- c. *Destination Address High* : 0
- d. *Destination Address Low* : 5678
- e. *16-bit Source Address* : 1234
- f. *Coordinator Enable* : *End Device*
- g. *Node Identifier* : “*Landmark 1*”
- h. *API Enable* : *API enabled*

8. Konfigurasi Zigbee S2C (*Anchor 2*):

- a. *Channel* : C
- b. *PAN ID* : 2244
- c. *Destination Address High* : 0
- d. *Destination Address Low* : 5678
- e. *16-bit Source Address* : 1233
- f. *Coordinator Enable* : *End Device*
- g. *Node Identifier* : “*Landmark 2*”
- h. *API Enable* : *API enabled*

9. Konfigurasi Zigbee S2C (*Anchor 3*):

- a. *Channel* : C
- b. *PAN ID* : 2244
- c. *Destination Address High* : 0
- d. *Destination Address Low* : 5678
- e. *16-bit Source Address* : 1232
- f. *Coordinator Enable* : *End Device*
- g. *Node Identifier* : “*Landmark 3*”
- h. *API Enable* : *API enabled*

Setelah dikonfigurasi melalui aplikasi XCTU, Zigbee dihubungkan dengan PC dan melalui aplikasi Arduino dipercoabakan untuk mendapatkan alamat setiap *anchor* dengan kode `rx16.getRemoteAddress16()`. Alamat yang diperoleh adalah sebagai berikut:

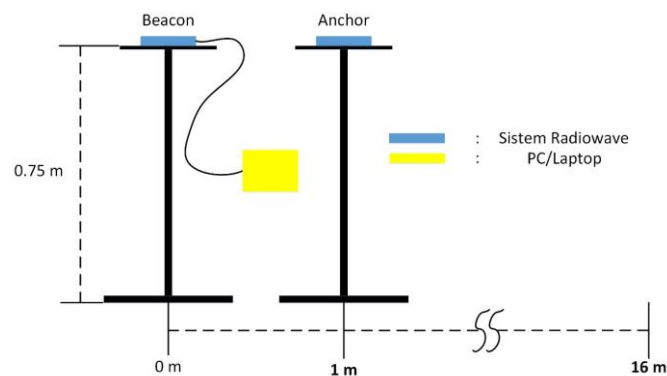
1. *Anchor* 1 : 4660
2. *Anchor* 2 : 4659
3. *Anchor* 3 : 4658

3.2.2. Sistem Pengukuran Jarak

Sistem pengukuran jarak terdiri dari *anchor* dan *beacon*, *anchor* akan mengirim paket data kepada *beacon* dan *beacon* akan menerima nilai RSSI dari paket data yang dikirim, dari nilai RSSI tersebut akan diperoleh nilai jarak dalam meter dari persamaan FSPL:

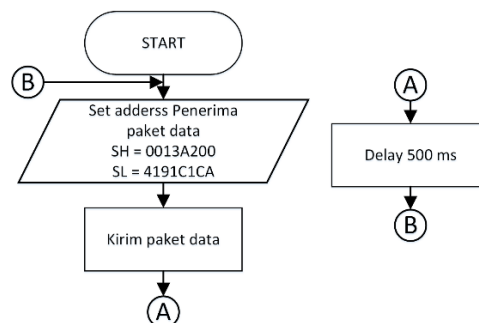
$$\text{Jarak} = 10^{\frac{27.55 - 20 \log_{10}(f) + \text{RSSI}}{20}}; f = \text{frekuensi radiowave} \quad (3.1)$$

Nilai RSSI tersebut akan dianalisis untuk memperoleh persamaan dengan metode EDR dan berdasarkan nilai jarak yang diperoleh dari FSPL, nilai jarak akan dianalisis untuk memperoleh persamaan FSPL-EDR melalui metode EDR.



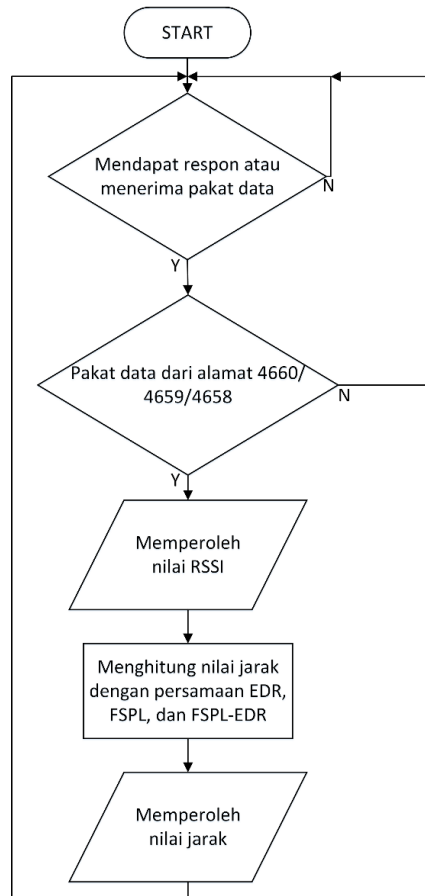
Gambar 3.4. Sistem Pengukuran Jarak

Berdasarkan Gambar 3.4, *anchor* dan *beacon* memiliki kedudukan dengan tinggi 0,75 m, *anchor* akan bekerja secara *portable* karena *anchor* menggunakan baterai *portable* 12 V, dan *beacon* terhubung dengan PC karena perhitungan dan monitor diproses pada *beacon*.



Gambar 3.5. Flowchart Anchor

Berdasarkan Gambar 3.5 *anchor* diatur untuk mengirim paket data kepada alamat *radiowave* 64-bit SH = 0013A200 dan SL = 4191C1CA. *Anchor* hanya berfungsi sebagai pengirim paket data atau sebagai sumber sinyal *radiowave* untuk memperoleh nilai RSSI setiap 0,5 detik. *Beacon* adalah *node* yang melakukan perhitungan dan komputasi untuk memperoleh nilai jarak berdasarkan nilai RSSI.

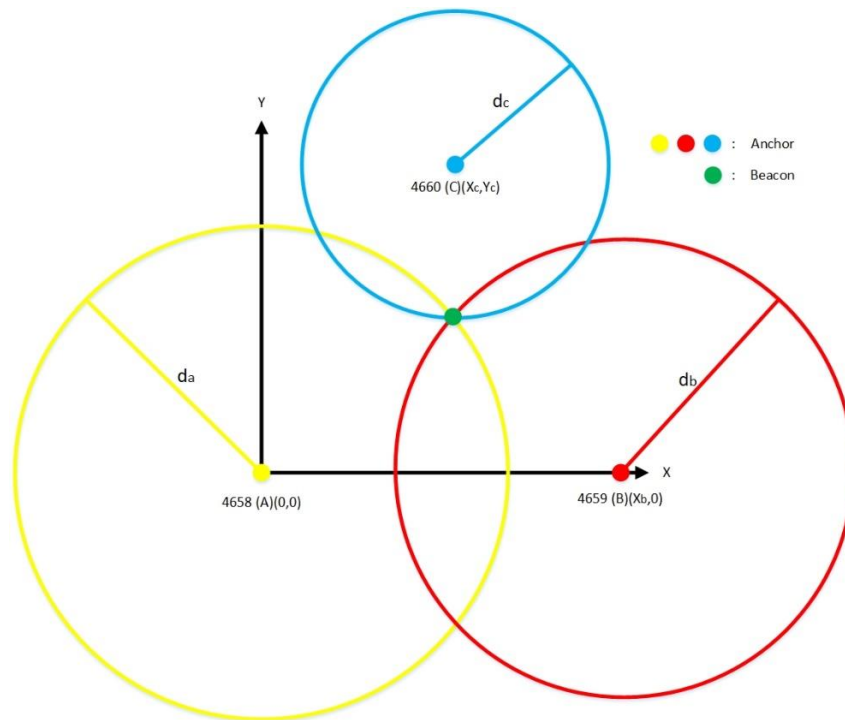


Gambar 3.6 Flowchart Beacon

Berdasarkan Gambar 3.6, *beacon* akan menerima paket data dari salah satu *anchor*, setelah mendapatkan paket data dari *anchor*, *beacon* akan memperoleh alamat 16-bit dan mendapatkan nilai RSSI, nilai RSSI akan diproses untuk memperoleh nilai jarak melalui perhitungan dari persamaan EDR, FSPL, dan FSPL-EDR.

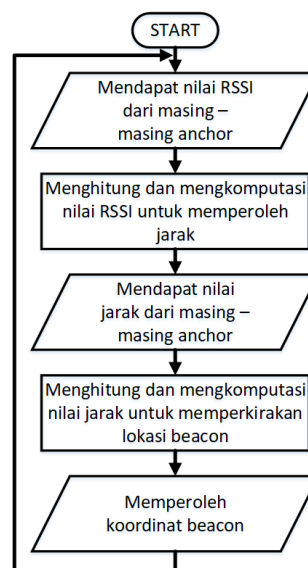
3.2.3. Sistem Trilateration

Sistem *trilateration* terdiri dari 3 *anchor* yang lokasinya sudah diketahui dan dalam kondisi stasioner serta 1 *beacon* yang lokasinya belum diketahui.



Gambar 3.7. Sistem *Trilateration* yang Dirancang

Berdasarkan Gambar 3.1 *anchor* memiliki alamat 16-bit, lokasi, dan jarak antara *anchor* dengan *beacon* masing – masing. Jarak tersebut diperoleh dari nilai RSSI masing – masing paket data yang dikirim dari *anchor* kepada *beacon*.



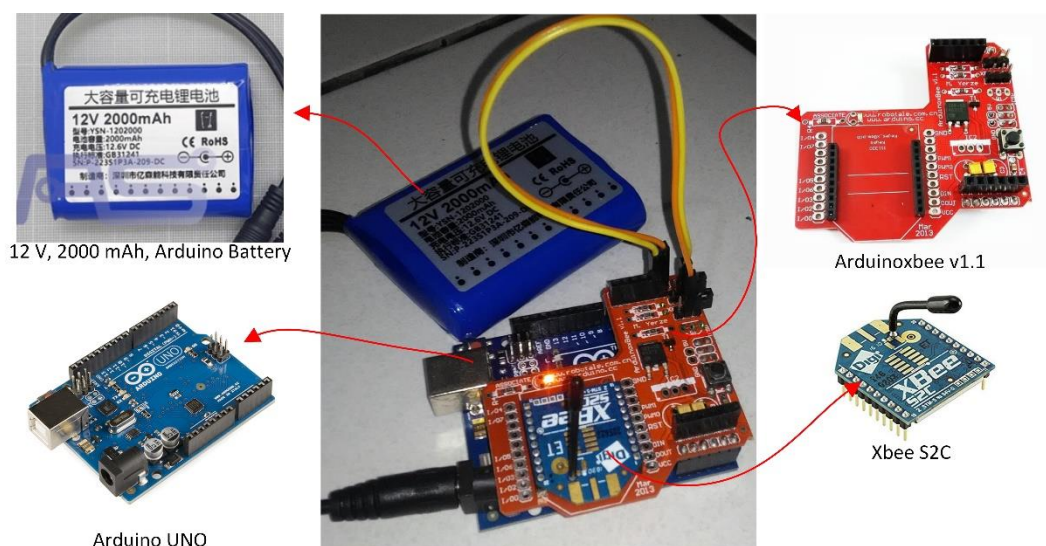
Gambar 3.8. *Flowchart* Sistem *Trilateration* pada *Beacon*

Berdasarkan Gambar 3.8 *beacon* akan memperoleh nilai RSSI dari masing – masing *anchor* berdasarkan paket data yang dikirim oleh *anchor*. *Beacon* akan menghitung dan mengkomputasi nilai RSSI untuk memperoleh nilai jarak antara *beacon* dengan masing – masing *anchor* melalui persamaan EDR atau FSPL-EDR

berdasarkan nilai *error* yang diperoleh dari persamaan tersebut. Melalui nilai jarak diperoleh, *beacon* akan menghitung dan mengkomputasi nilai jarak tersebut untuk memperkirakan lokasi *beacon* menggunakan persamaan (2.13) dan persamaan (2.14).

3.3. Implementasi Sistem

Implementasi sistem terdiri dari 4 perangkat yaitu 3 perangkat yang berupa *anchor* dengan kondisi lokasi yang stasioner serta memiliki sumber energi berupa baterai 12 Volt dan 1 perangkat berupa *beacon* yang terhubung dengan PC/laptop.



Gambar 3.9. *Anchor* dengan Alamat 16-bit 4658

Gambar 3.9 menunjukkan salah satu dari *anchor*, *anchor* dan *beacon* dibedakan berdasarkan 2 hal yaitu secara fisik berupa warna kabel dan secara *software* berupa alamat dari *anchor*.

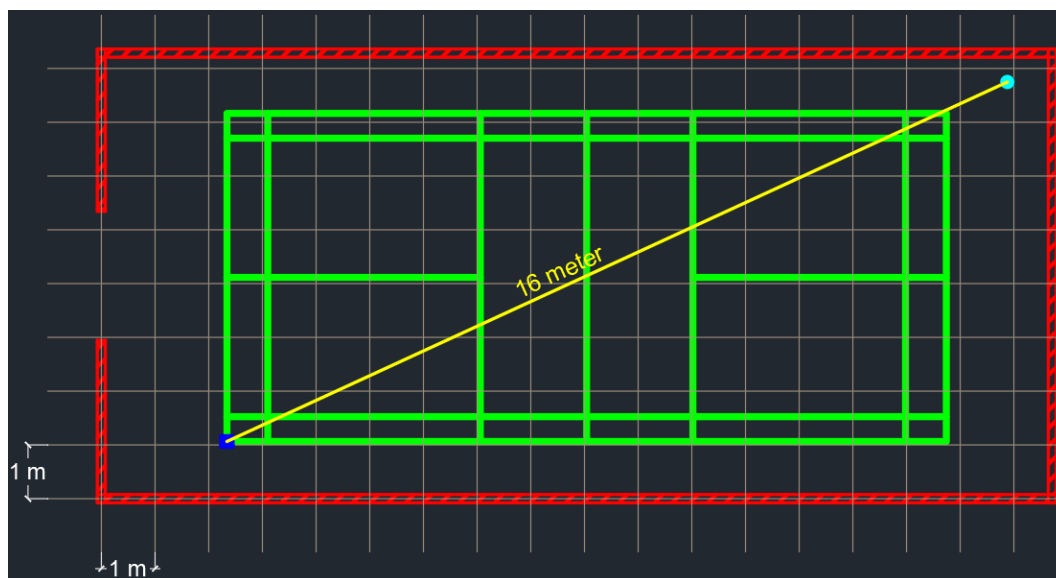
1. *Beacon* : warna kabel hitam-putih
2. *Anchor 3/point A* : warna kabel *orange*-kuning dan alamat 16-bit 4658
3. *Anchor 2/point B* : warna kabel hijau-biru dan alamat 16-bit 4659
4. *Anchor 1/point C* : warna kabel *orange*-merah dan alamat 16-bit 4660

3.4. Metode Pengujian

3.4.1. Pengujian Nilai RSSI dan Nilai Jarak

Pengujian nilai jarak dilaksanakan pada lapangan badminton di dalam ruangan dan percobaan dilaksanakan 2 kali, percobaan pertama bertujuan untuk

memperoleh nilai RSSI dan nilai jarak yang diperoleh dari persamaan FSPL permeternya.



Gambar 3.10. Pengujian Nilai RSSI dan Nilai Jarak

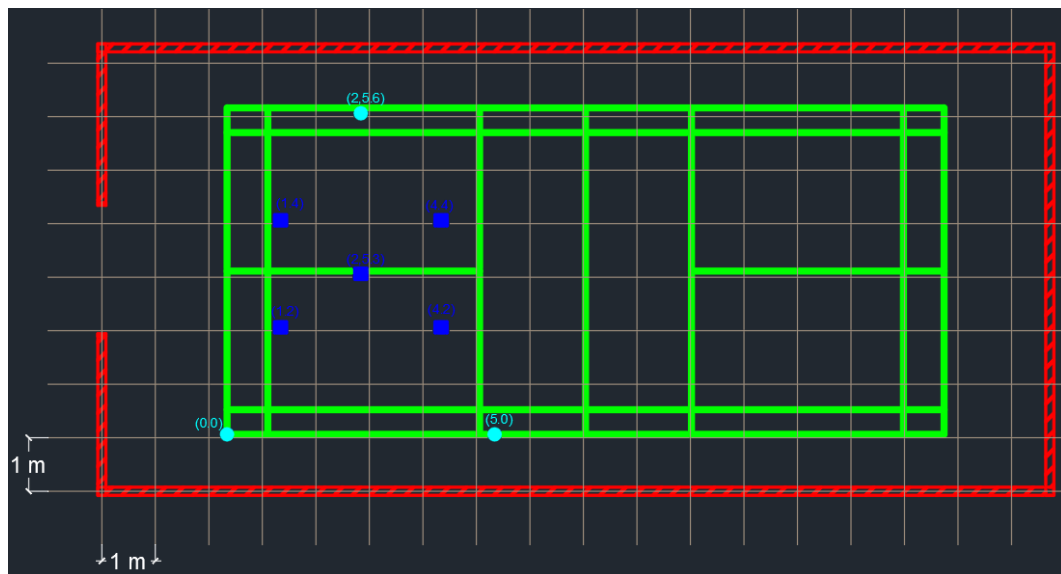
Bedasarkan Gambar 3.10 pengujian dilaksanakan dari 1 meter hingga 16 meter yang merupakan lebih dari panjang diagonal lapangan badminton yang panjangnya sekitar 14,7231 meter. Menggunakan metode EDR data nilai rata-rata RSSI yang diperoleh permeternya akan mewakili setiap meter jarak sebenarnya dan akan diperoleh grafik dan persamaan yang mewakili hasil grafik tersebut. Proses tersebut juga dilaksanakan pada nilai jarak yang diperoleh dari persamaan FSPL untuk mendapatkan grafik dan persamaan dari nilai rata-rata jarak yang diperoleh. Nilai rata-rata RSSI dan nilai jarak melalui persamaan FSPL diperoleh dari monitoring data setiap 2,5 detik atau sebanyak 5 data yang diterima.

Pengujian kedua bertujuan untuk mendapatkan nilai *error* dari dua persamaan yaitu persamaan EDR yang diperoleh dari nilai RSSI permeternya dan persamaan FSPL-EDR yang diperoleh dari metode EDR dari nilai jarak yang diperoleh dari persamaan FSPL. Persamaan dengan nilai *error* terkecil dari persamaan EDR dan persamaan FSPL-EDR tersebut akan digunakan dalam algoritma pada pengujian *trilateration* untuk memperoleh nilai jarak dan dari nilai jarak tersebut akan diperkirakan lokasi dari *beacon*.

3.4.2. Pengujian *Trilateration*

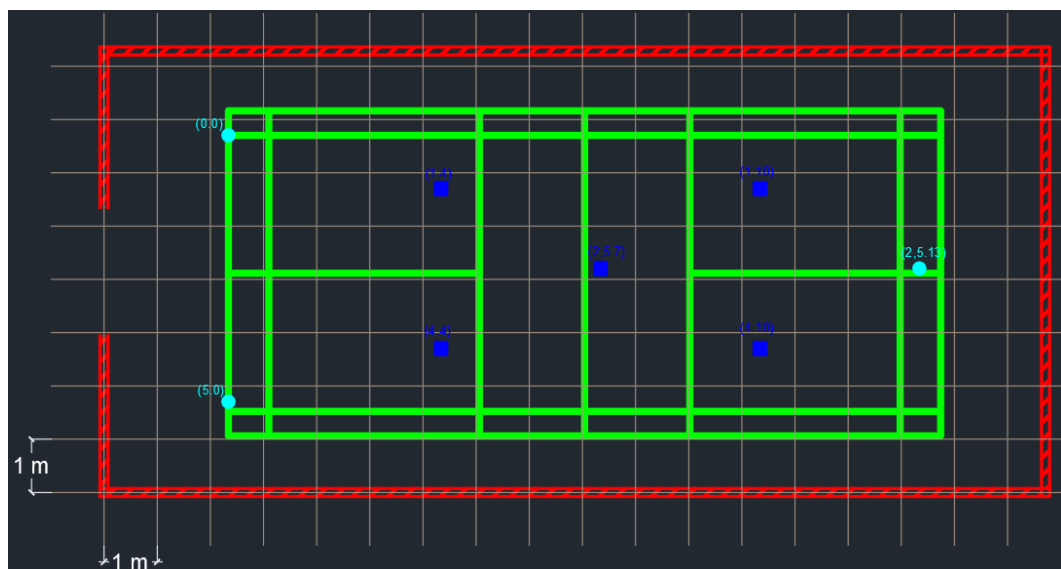
Pengujian *trilateration* dilaksanakan pada lapangan badminton di dalam ruangan dan pengujian dilaksanakan 2 kali. Percobaan pertama dengan luas kurang

dari setengah lapangan badminton yaitu sebesar 30 m^2 dan percobaan kedua dengan luas kurang dari satu lapangan badminton yaitu sebesar 65 m^2 .



Gambar 3.11. Pengujian *Trilateration* pada Luas 30 m^2

Berdasarkan Gambar 3.10 pengujian pertama memiliki panjang X sepanjang 5 meter dan Y sepanjang 6 meter pada pengujian *trilateration* dengan luas daerah sebesar 30 m^2 . Lokasi dari *beacon* akan menjadi lokasi sebenarnya dan dibandingkan dengan lokasi yang diperkirakan oleh sistem. Persegi berwarna hijau menunjukkan lapangan badminton, warna biru merupakan *beacon*, warna biru kehijauan merupakan *anchor*, dan persegi berwarna merah adalah dinding.



Gambar 3.12. Pengujian *Trilateration* pada Luas 65 m^2

Berdasarkan Gambar 3.11 pengujian pertama memiliki panjang X sepanjang 5 meter dan Y sepanjang 13 meter pada pengujian *trilateration* dengan luas daerah sebesar 65 m². Percobaan pertama dan kedua memiliki lokasi – lokasi *anchor* dan *beacon* yang sudah ditentukan.

3.4.3. Pengujian Ketahanan Baterai

Pengujian ketahanan baterai bertujuan untuk memprediksi berapa lama baterai dapat memberi daya kepada masing-masing sistem *anchor* berdasarkan nilai kapasitas baterai dan besar nilai tegangan rekomendasi pada arduino UNO serta pada zigbee S2C.

Tabel 3.1. Spesifikasi Tegangan Rekomendasi dan Arus Ideal Sistem

Tegangan Baterai (V)	Kapasitas Baterai (mAh)	Tegangan Arduino UNO (V)	Tegangan Zigbee S2C (V)	Arus Arduino UNO (mA)	Arus Zigbee S2C (mA)
12,6	2000	12-7	2,1-3,6	50	33

Ketahanan baterai diprediksi berdasarkan perubahan tegangan baterai selama satu jam baterai memberi daya pada sistem *anchor* yang sedang bekerja terhadap tegangan rekomendasi minimum arduino ONU yang berkerja yaitu sebesar 7 Volt dan berdasarkan arus masuk yang terukur dari baterai kepada sistem *anchor* terhadap kapasitas baterai.

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

Pada bab ini dipaparkan hasil dari pengujian yang telah ditentukan sebelumnya. Serta dipaparkan pula analisis yang dilakukan dari hasil yang didapat untuk menarik kesimpulan dari penelitian tugas akhir yang dikerjakan.

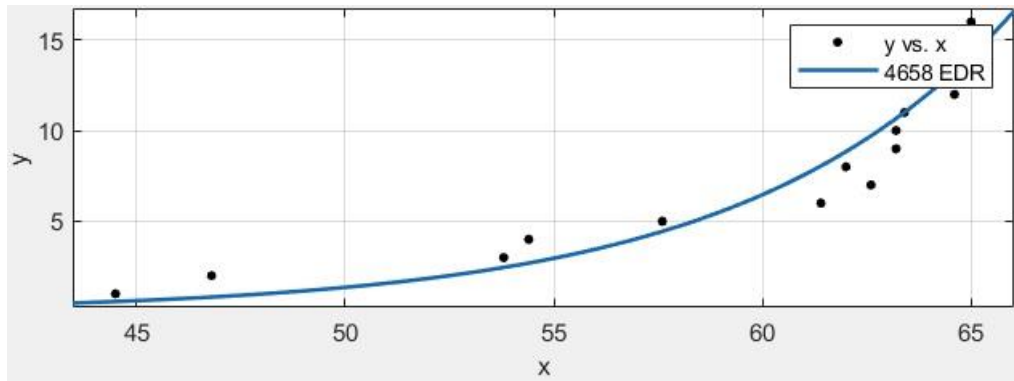
4.1. Pengujian Nilai RSSI Permeter Dan Nilai Meter Dari Persamaan FSPL

Pengujian nilai RSSI setiap meternya bertujuan untuk memperoleh persamaan dengan metode EDR dan pengujian nilai meter yang diperoleh dari persamaan FSPL bertujuan untuk memperoleh persamaan dengan metode EDR. Pengujian dilaksanakan di lapangan badminton dalam ruangan, panjang pengukuran sepanjang 16 meter. Nilai RSSI dan nilai meter yang dihasilkan dari persamaan FSPL merupakan nilai rata-rata dari 5 nilai data yang diambil setiap 0,5 detik setiap datanya.

Tabel 4.1. Nilai RSSI dan Meter *Anchor* (4658)

No	Jarak (m)	RSSI (dB)	FSPL (m)
1	1	44,5	1,73675
2	2	46,8	2,17935
3	3	53,8	4,9504
4	4	54,4	5,22378
5	5	57,6	7,55044
6	6	61,4	11,6946
7	7	62,6	13,4641
8	8	62	12,5109
9	9	63,2	14,5668
10	10	63,2	14,5668
11	11	63,4	14,8807
12	12	64,6	16,95028
13	13	62,2	12,9199
14	14	64,8	17,42334
15	15	64,8	17,42334
16	16	65	17,6721

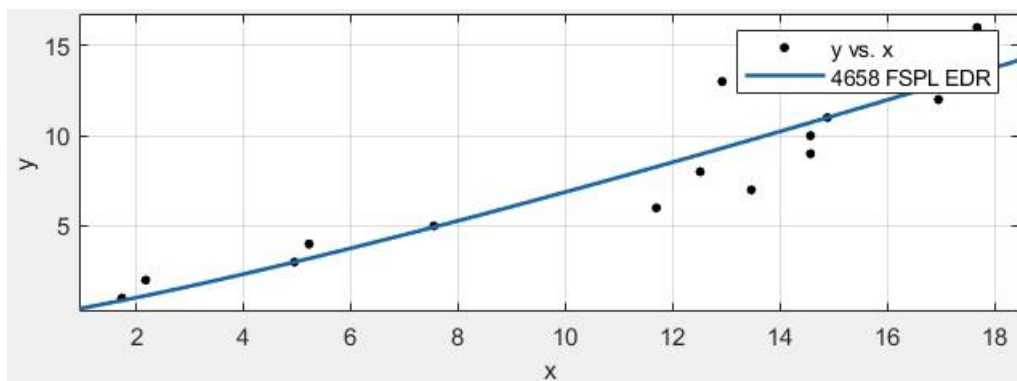
Berdasarkan Tabel 4.1 diperoleh 2 kurva dan 2 persamaan. Kurva dan persamaan pertama merupakan hasil dari nilai RSSI. Kurva dan persamaan kedua merupakan hasil nilai jarak dalam meter dari persamaan FSPL.

Gambar 4.1. Kurva RSSI *Anchor* 4658

Berdasarkan kurva yang ditampilkan pada Gambar 4.1 diperoleh persamaan (4.1):

$$\text{Jarak}(y)(m) = 0,0005449 \times e^{0,1564 \times \text{RSSI}(x)(dB)} \quad (4.1)$$

Persamaan (4.1) memiliki nilai R^2 sebesar 0,8785. Berdasarkan kurva pada Gambar 4.1 dan persamaan (4.1) nilai meter berdasarkan nilai RSSI memiliki karakteristik eksponensial.

Gambar 4.2. Kurva FSPL *Anchor* 4658

Berdasarkan kurva yang ditampilkan pada Gambar 4.2 diperoleh persamaan (4.2).

$$\text{Jarak}(y)(m) = 0,454 \times \text{FSPL}(x)(m)^{1,181} \quad (4.2)$$

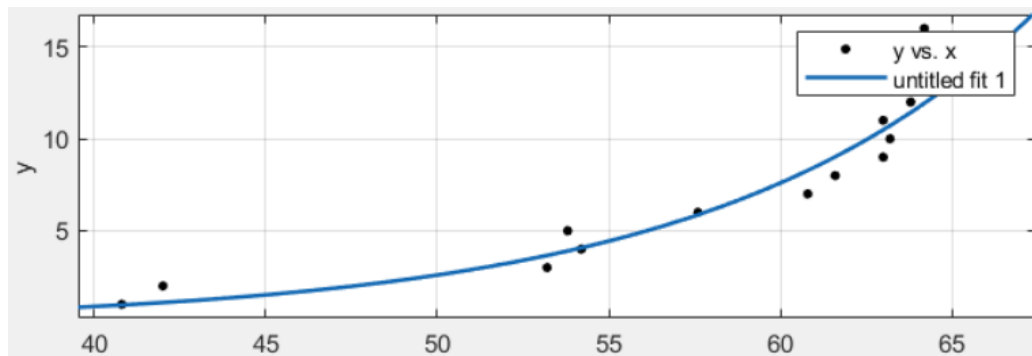
Persamaan (4.2) memiliki nilai R^2 sebesar 0,8735. Berdasarkan kurva pada Gambar 4.2 dan persamaan (4.2) nilai meter berdasarkan nilai RSSI memiliki karakteristik persamaan pangkat.

Tabel 4.2. Nilai RSSI dan Meter *Anchor* (4659)

No	Jarak (m)	RSSI (dB)	FSPL (m)
1	1	40,8	1,0937
2	2	42	1,2511
3	3	53,2	4,5591
4	4	54,2	5,1256
5	5	53,8	4,9504
6	6	57,6	7,55044
7	7	60,8	11,3508

No	Jarak (m)	RSSI (dB)	FSPL (m)
8	8	61,6	12,1295
9	9	63	14,0375
10	10	63,2	14,6296
11	11	63	14,0375
12	12	63,8	15,4077
13	13	65,6	20,1814
14	14	66,2	20,9018
15	15	66,2	20,9018
16	16	64,2	16,1347

Berdasarkan Tabel 4.2 diperoleh 2 kurva dan 2 persamaan. Kurva dan persamaan pertama merupakan hasil dari nilai RSSI. Kurva dan persamaan kedua merupakan hasil nilai jarak dalam meter dari persamaan FSPL.

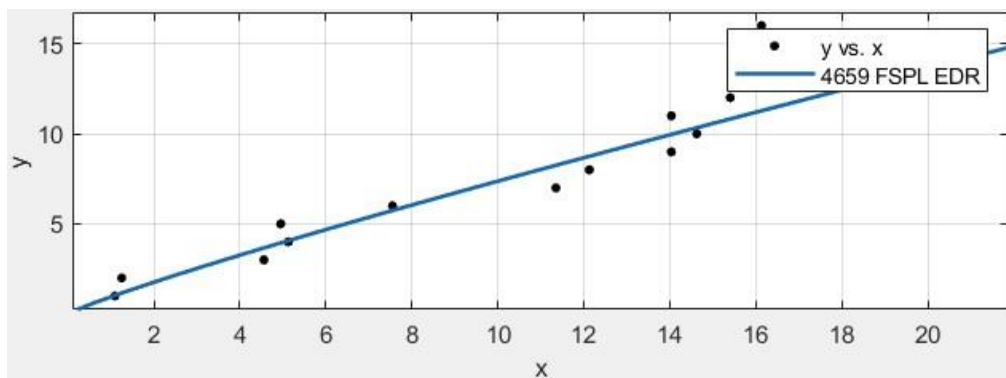


Gambar 4.3. Kurva RSSI Anchor 4659

Berdasarkan kurva yang ditampilkan pada Gambar 4.3 diperoleh persamaan (4.3)

$$Jarak(y)(m) = 0,0161 \times e^{0,1029 \times RSSI(x)(dB)} \tag{4.3}$$

Persamaan (4.3) memiliki nilai R² sebesar 0,9184. Berdasarkan kurva pada Gambar 4.3 dan persamaan (4.3) nilai meter berdasarkan nilai RSSI memiliki karakteristik eksponensial.



Gambar 4.4. Kurva FSPL Anchor 4659

Berdasarkan kurva yang ditampilkan pada Gambar 4.4 diperoleh persamaan (4.4).

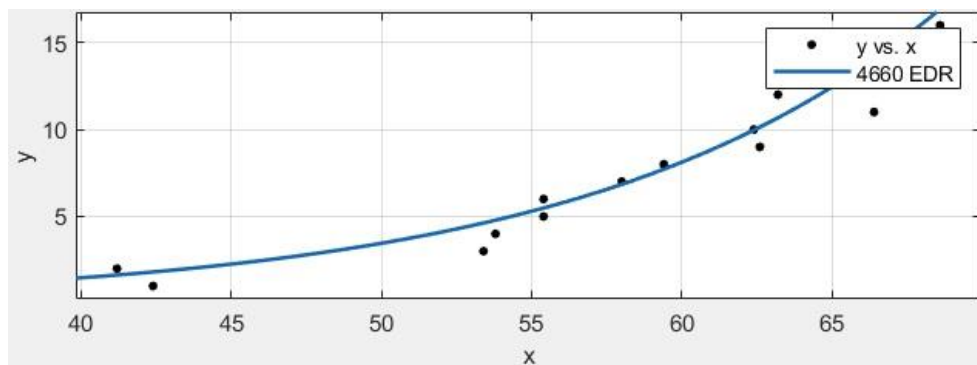
$$\text{Jarak}(y)(m) = 0,9518 \times \text{FSPL}(x)(m)^{0,889} \quad (4.4)$$

Persamaan (4.4) memiliki nilai R^2 sebesar 0,9483. Berdasarkan kurva pada Gambar 4.4 dan persamaan (4.4) nilai meter berdasarkan nilai RSSI memiliki karakteristik persamaan pangkat.

Tabel 4.3. Nilai RSSI dan Meter *Anchor* (4660)

No	Jarak (m)	RSSI (dB)	FSPL (m)
1	1	42,4	1,3121
2	2	41,2	1,1422
3	3	53,4	4,7455
4	4	53,8	5,8760
5	5	55,4	5,8760
6	6	55,4	5,8760
7	7	58	7,8938
8	8	58	9,3128
9	9	62,6	13,4641
10	10	62,4	13,2710
11	11	66,4	21,2443
12	12	63,2	14,5668
13	13	63,6	15,1070
14	14	65,2	18,3615
15	15	65,6	19,1302
16	16	68,6	24,8528

Berdasarkan Tabel 4.3 diperoleh 2 kurva dan 2 persamaan. Kurva dan persamaan pertama merupakan hasil dari nilai RSSI. Kurva dan persamaan kedua merupakan hasil nilai jarak dalam meter dari persamaan FSPL.

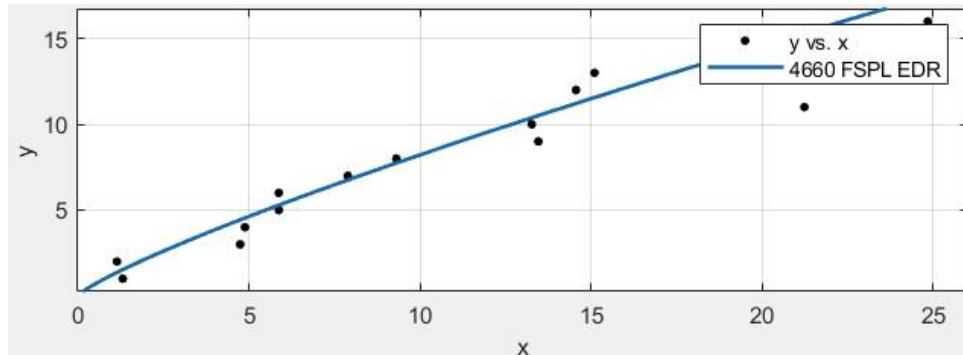


Gambar 4.5. Kurva RSSI *Anchor* 4660

Berdasarkan kurva yang ditampilkan pada Gambar 4.5 diperoleh persamaan:

$$\text{Jarak}(y)(m) = 0,04842 \times e^{0,08537 \times \text{RSSI}(x)(dB)} \quad (4.5)$$

Persamaan (4.5) memiliki nilai R^2 sebesar 0,9208. Berdasarkan kurva pada Gambar 4.5 dan persamaan (4.5) nilai meter berdasarkan nilai RSSI memiliki karakteristik eksponensial.



Gambar 4.6. Kurva FSPL *Anchor* 4660

Berdasarkan kurva yang ditampilkan pada Gambar 4.6 diperoleh persamaan:

$$\text{Jarak}(y)(m) = 1,22 \times \text{FSPL}(x)(m)^{0,8281} \quad (4.6)$$

Persamaan (4.6) memiliki nilai R^2 sebesar 0,9402. Berdasarkan kurva pada Gambar 4.6 dan persamaan (4.6) nilai meter berdasarkan nilai RSSI memiliki karakteristik persamaan pangkat.

4.2. Pengujian Nilai *Error* Pengukuran Jarak

Pengujian nilai *error* dari nilai jarak yang dikomputasi dari persamaan-persamaan pada pengujian nilai RSSI dan nilai jarak dari persamaan FSPL bertujuan untuk menentukan persamaan yang akan digunakan pada percobaan *trilateration*. Persamaan diperoleh berdasarkan nilai *error* terkecil.

Tabel 4.4. Nilai *Error Anchor* (4658)

Jarak (m)	RSSI-EDR (m)		FSPL-EDR (m)	
	Diukur	<i>Error</i>	Diukur	<i>Error</i>
1	0,5308	0,4692	0,7763	0,2237
2	1,3567	0,6433	1,7553	0,2447
3	2,5363	0,4637	3,0238	0,0238
4	3,4677	0,5323	3,9687	0,0313
5	4,7412	0,2588	5,2090	0,2090
6	5,5439	0,4561	5,9677	0,0323
7	7,5798	0,5798	7,8326	0,8326
8	8,8630	0,8630	8,9733	0,9733
9	8,8630	0,1370	8,9733	0,0267
10	10,3635	0,3635	10,2802	0,2802
11	10,3635	0,6365	10,2802	0,7198

Jarak (m)	RSSI-EDR (m)		FSPL-EDR (m)	
	Diukur	Error	Diukur	Error
12	12,1180	0,1180	11,7775	0,2225
13	14,1695	1,1695	13,4929	0,4929
14	14,1695	0,1695	13,4929	0,5071
15	16,5683	1,5683	15,4580	0,4580
16	16,5683	0,5683	15,4580	0,5420
Rata-rata		0,5623	Rata-rata	0,3637

Berdasarkan Tabel 4.4 persamaan RSSI-EDR adalah persamaan (4.1) dan persamaan FSPL-EDR adalah persamaan (4.2). Nilai *error* terkecil diperoleh pada persamaan FSPL yang diproses dari metode EDR atau persamaan (4.2) sehingga persamaan (4.2) akan digunakan pada pengujian *trilateration*.

Tabel 4.5. Nilai *Error Anchor* (4659)

Jarak (m)	RSSI-EDR (m)		FSPL-EDR (m)	
	Diukur	Error	Diukur	Error
1	1,2127	0,2127	1,1615	0,1615
2	2,0286	0,0286	1,9377	0,0623
3	3,0617	0,0617	2,9180	0,0820
4	4,1689	0,1689	3,9668	0,0332
5	5,1216	0,1216	4,8678	0,1322
6	6,2919	0,2919	5,9736	0,0264
7	7,7296	0,7296	7,3305	0,3305
8	8,5674	0,5674	8,1205	0,1205
9	10,5251	1,5251	9,9652	0,9652
10	10,5251	0,5251	9,9652	0,0348
11	11,6658	0,6658	11,0391	0,0391
12	12,9302	0,9302	12,2288	0,2288
13	14,3316	1,3316	13,5468	0,5468
14	15,8848	1,8848	15,0067	1,0067
15	15,8848	0,8848	15,0067	0,0067
16	17,6064	1,6064	16,6240	0,6240
Rata-rata		0,7210	Rata-rata	0,2750

Berdasarkan Tabel 4.5 persamaan RSSI-EDR adalah persamaan (4.3) dan persamaan FSPL-EDR adalah persamaan (4.4). Nilai *error* terkecil diperoleh pada persamaan FSPL yang diproses dari metode EDR atau persamaan (4.4) sehingga persamaan (4.4) akan digunakan pada pengujian *trilateration*.

Tabel 4.6. Nilai *Error Anchor* (4660)

Jarak (m)	RSSI-EDR (m)		FSPL-EDR (m)	
	Diukur	<i>Error</i>	Diukur	<i>Error</i>
1	1,4725	0,4725	1,2137	0,2137
2	1,7466	0,2534	1,4687	0,5313
3	3,1426	0,1426	3,1489	0,1489
4	4,1017	0,1017	3,8104	0,1896
5	5,2989	0,2989	5,0721	0,0721
6	6,8457	0,8457	6,7516	0,7516
7	7,4558	0,4558	7,4269	0,4269
8	8,1202	0,1202	8,1699	0,1699
9	8,8439	0,1561	9,9652	0,9652
10	10,4905	0,4905	10,8750	0,8750
11	11,4254	0,4254	11,9628	0,9628
12	11,4254	0,5746	11,9628	0,0372
13	12,4436	0,5564	13,1595	0,1595
14	13,5526	0,4474	14,4759	0,4759
15	13,5526	1,4474	14,4759	0,5241
16	14,7604	1,2396	15,9239	0,0761
Rata-rata		0,5018	Rata-rata	0,4112

Berdasarkan Tabel 4.6 persamaan RSSI-EDR adalah persamaan (4.5) dan persamaan FSPL-EDR adalah persamaan (4.6). Nilai *error* terkecil diperoleh pada persamaan FSPL yang diproses dari metode EDR atau persamaan (4.6) sehingga persamaan (4.6) akan digunakan pada pengujian *trilateration*.

4.3. Pengujian *Trilateration*

Pengujian *trilateration* bertujuan untuk meneliti nilai *error* memiliki nilai sekitar 1 meter yang diperoleh dari sistem yang dirancang. Pengujian dilaksanakan 2 kali, pengujian pertama memiliki luas sebesar 30 m² dan pengujian kedua memiliki luas sebesar 65 m².

Tabel 4.7. Luas 30 m²

No	Lokasi Sebenarnya		Lokasi Terukur		<i>Error</i> (m)
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	
1	1	2	2,0852	1,864	1,0937
	1	2	2,1848	1,4508	1,3059
	1	2	2,1755	0,9562	1,572
2	4	2	2,5893	1,7647	1,4292
	4	2	2,5142	1,8769	1,4909
	4	2	2,4939	1,8854	1,5104
3	2,5	3	2,6425	1.4666	1,54

No	Lokasi Sebenarnya		Lokasi Terukur		Error (m)
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	
3	2,5	3	2,7695	1,704	1,3237
	2,5	3	2,7388	1,7167	1,3053
4	1	4	1,7485	2,6703	1,5259
	1	4	1,9144	2,7394	1,5573
	1	4	2,1321	2,8301	1,628
5	4	4	2,9412	2,0548	2,2147
	4	4	2,9208	2,2798	2,0307
	4	4	2,8148	2,1207	2,2218
6	Rata-rata				1,5833

Berdasarkan Tabel 4.7 pada lokasi dengan luas sebesar 30 m² sistem *trilateration* yang dirancang memiliki besar nilai rata-rata *error* sebesar 1,5833 meter.

Tabel 4.8. Luas 65 m²

No	Lokasi Sebenarnya		Lokasi Terukur		Error (m)
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	
1	1	4	2,7248	3,8533	1,731
	1	4	2,3109	4,1976	1,3257
	1	4	2,2284	3,7846	1,2471
2	4	4	4,4324	4,9299	1,0255
	4	4	3,9402	3,482	0,5214
	4	4	3,5652	3,9492	0,4377
3	2,5	7	2,2105	4,2735	2,7418
	2,5	7	2,1143	5,4628	1,5848
	2,5	7	2,5985	5,1989	1,8038
4	1	10	2,9536	6,0626	4,3954
	1	10	3,0062	6,0654	4,419
	1	10	3,1347	6,1376	4,413
5	4	10	4,6479	6,5088	3,5508
	4	10	3,6398	6,7688	3,2512
	4	10	4,7526	6,6921	3,3924
6	Rata-rata				2,3894

Berdasarkan Tabel 4.8 pada lokasi dengan luas sebesar 65 m² sistem *trilateration* yang dirancang memiliki besar nilai rata-rata *error* sebesar 2,3894 meter.

Pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 nilai-nilai *error* yang diperoleh dipengaruhi oleh beberapa hal. Pengaruh pertama merupakan pengaruh dari nilai RSSI yang diperoleh yang mana nilai RSSI yang diperoleh hanya memiliki perubahan sebesar satuan dikarenakan nilai RSSI merupakan nilai 0 sampai dengan 255 sedangkan berdasarkan Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3 pada jarak sekitar 6 sampai dengan 16 meter atau pada nilai RSSI yang diterima sekitar lebih besar sama dengan 60 dB

nilai RSSI untuk permeternya memiliki beda kurang dari 1 dB. Perubahan nilai RSSI ini dapat diperhatikan pada kurva yang ditunjukkan pada Gambar 4.1, Gambar 4.3, dan Gambar 4.5 kurva-kurva tersebut menunjukkan karakteristik nilai RSSI yang diperoleh dan berdasarkan kurva tersebut dapat diperhatikan bahwa nilai rata-rata RSSI yang diperoleh kurang dari 60 dB memiliki perbedaan nilai permeternya 1 dB atau lebih besar dari 1 dB. Sedangkan pada nilai 60 dB atau lebih memiliki perbedaan nilai permeternya lebih kecil dari 1 dB. Pengaruh nilai RSSI dapat diperhatikan pada Tabel 4.4, Tabel 4.5, dan Tabel 4.6 yang mana terdapat nilai jarak yang diperoleh terulang.

Pengaruh kedua yang mempengaruhi nilai *error* pada sistem *trilateration* adalah nilai *error* yang diperoleh dari perhitungan jarak dari setiap *anchor*, nilai-nilai *error* tersebut dihitung atau dikomputasi pada persamaan (2.13) dan persamaan (2.14).

```

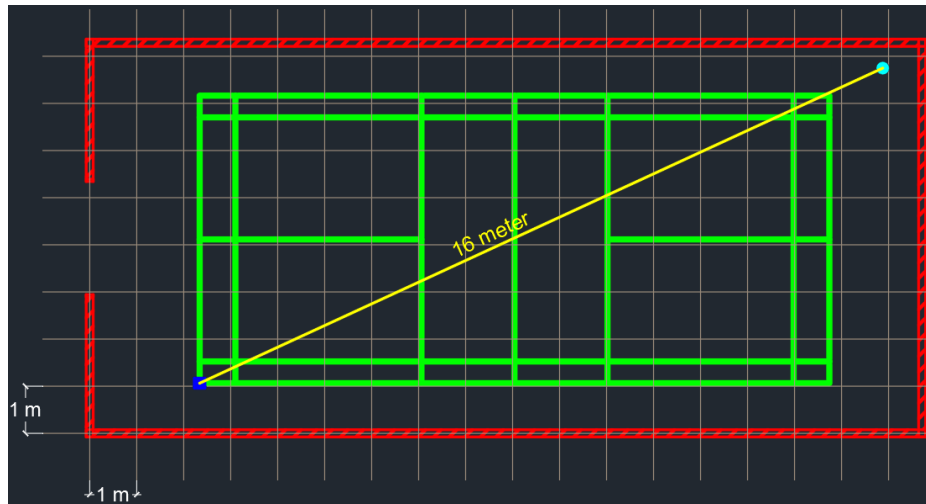
) 4.5468 DA
1.1615 DB
6.7516 DC
COOR = (4.4324
,4.9299

```

Gambar 4.7. Data (4,4) Lokasi 65 m²

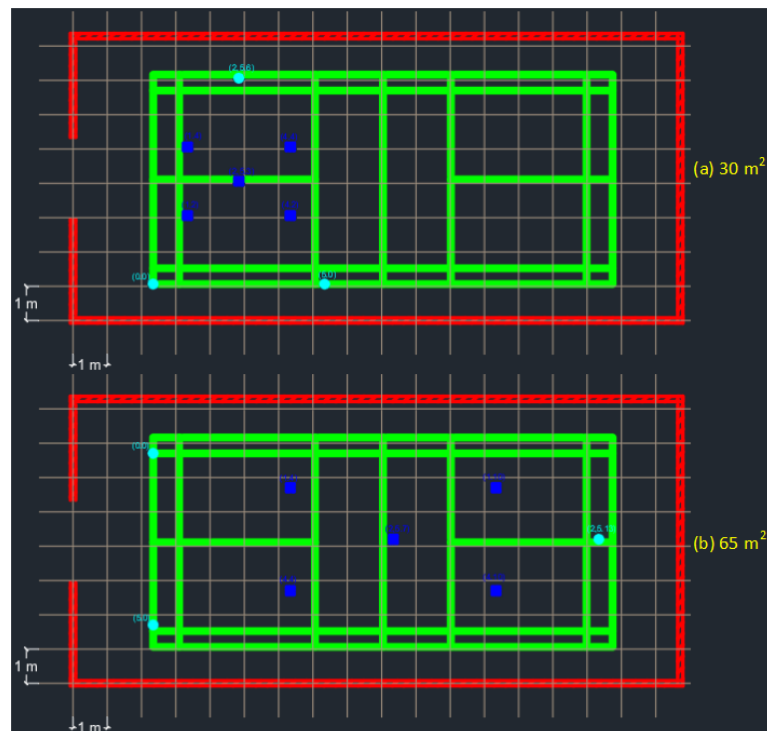
Gambar 4.7 menunjukkan data lokalisasi pada titik (4,4) pada luas lokasi 65 m², data tersebut juga menunjukkan jarak antara setiap *anchor* kepada *beacon*. Pengaruh nilai *error* yang dihasilkan dari *error* jarak ditunjukkan pada data DA atau data jarak *anchor* dengan alamat 16-bit 4658 terhadap *beacon*, jarak yang terukur adalah sebesar 4,5468 meter sedangkan jarak sebenarnya adalah sebesar 5,6568 meter sehingga *error* jarak sebesar 1,11 meter.

Pengaruh ketiga ditunjukkan pada Gambar 4.7 yang merupakan jarak setiap *anchor* terhadap *beacon* yaitu DA *anchor* 4658, DB *anchor* 4659, dan DC *anchor* 4660. Setiap jarak yang diukur lebih rendah dari jarak sebenarnya terhadap *beacon*. Hal ini menunjukkan nilai RSSI yang diterima oleh *beacon* lebih besar dari pengujian nilai jarak terhadap nilai jarak sebenarnya. Hal ini dapat dipengaruhi oleh lokasi dan kondisi pengujian.



Gambar 4.8. Lokasi dan Kondisi Pengukuran RSSI dan Jarak

Gambar 4.8 menunjukkan lokasi dan kondisi pengukuran nilai RSSI dan nilai jarak, persegi berwarna hijau menunjukkan lapangan badminton, warna biru merupakan *beacon*, warna biru kehijauan merupakan *anchor*, dan persegi berwarna merah adalah dinding. Pada pengujian ini hanya terdapat 1 sumber sinyal *anchor* dan seluruh perangkat elektronik lainnya dalam keadaan tidak aktif atau dalam keadaan mode pesawat, sehingga pengaruh terhadap sinyal lainnya lebih minimum namun dengan kondisi pengujian tersebut pengaruh dari sinyal pantulan tidak dapat dihilangkan.



Gambar 4.9. Lokasi dan Kondisi Pengujian *Trilateration*

Gambar 4.9 menunjukkan lokasi dan kondisi pengujian sistem *trilateration*, persegi berwarna hijau menunjukkan lapangan badminton, warna biru merupakan *beacon*, warna biru kehijauan merupakan *anchor*, dan persegi berwarna merah adalah dinding. Pada pengujian ini hanya terdapat 3 sumber sinyal *anchor* dan seluruh perangkat elektronik lainnya dalam keadaan tidak aktif atau dalam keadaan mode pesawat, sehingga pengaruh terhadap sinyal lainnya lebih besar dari pengujian RSSI dan dengan kondisi yang sama dengan pengujian RSSI dan jarak pengaruh dari sinyal pantulan tidak dapat dihilangkan.

4.4. Pengujian Ketahanan Baterai

Pada pengujian ketahanan baterai terdapat dua satuan yang diukur berupa tegangan baterai saat awal sistem *anchor* bekerja, tegangan baterai saat sistem *anchor* berkerja sama satu jam, dan arus pada sistem *anchor* ketika sedang bekerja.

Tabel 4.9. Tegangan dan Arus pada Sistem *Anchor*

No	<i>Anchor</i>	Tegangan Awal (V)	Tegangan Setelah 1 jam (V)	Perubahan Tegangan (V)	Arus Sistem (mA)	Prediksi Ketahanan Baterai	
						Berdasarkan Tegangan (Jam)	Berdasarkan Kapasitas Baterai (Jam)
1	4658	12,6	12,26	0,34	85	16	23
2	4659	12,54	12,23	0,31	88	17	22
3	4660	12,4	12,19	0,21	85	25	23
Rata-rata						19	22

Berdasarkan Tabel 4.9 prediksi ketahanan baterai berdasarkan perubahan tegangan terhadap tegangan rekomendasi minimum sebesar 7 Volt adalah sebesar 19 jam dan prediksi ketahanan baterai berdasarkan kapasitas baterai adalah sebesar 22 jam.