

IMPLEMENTASI TEKNOLOGI BLUETOOTH *LOW ENERGY* DAN METODE TRILATERASI UNTUK PENCARIAN RUTE *INDOOR*

Bahri Rizaldi¹⁾, Doni Setio Pambudi²⁾, dan Taufiqotul Bariyah³⁾

^{1, 2, 3)}Departemen Informatika, Fakultas Teknologi Informasi dan Kreatif, Universitas Internasional Semen Indonesia
Gresik, Indonesia 61122

e-mail: bahri.rizaldi15@student.uisi.ac.id¹⁾, doni.pambudi@uisi.ac.id²⁾, taufiqotul.bariyah@uisi.ac.id³⁾

ABSTRAK

Pencarian rute dewasa ini semakin dipermudah dengan adanya teknologi Global Positioning System (GPS) yang dapat digunakan dengan memanfaatkan aplikasi Maps di ponsel pintar. Dengan menggunakan aplikasi Maps, masyarakat dapat mengetahui lokasi saat ini dan dapat mencari rute ke lokasi tujuan yang diinginkan. Tetapi tingkat akurasi GPS akan menurun apabila pengguna berada di dalam gedung atau di ruang tertutup. Hal ini diakibatkan karena sinyal satelit yang dikirimkan tidak mampu menembus tembok yang tebal maupun beton, sehingga mengakibatkan pencarian rute dengan menggunakan GPS terbatas pada pencarian rute di luar gedung atau di luar ruangan. Pada penelitian ini digunakan Bluetooth Low Energy dan trilaterasi untuk penentuan lokasi di dalam ruangan atau gedung dan algoritma djikstra untuk pencarian rute terpendek menuju lokasi tujuan. Metode yang diusulkan memiliki error penentuan lokasi sebesar 0,728 meter dengan jarak antara user dan beacon kurang dari 10 meter untuk mendapatkan sinyal yang stabil.

Kata kunci: *Bluetooth low energy, Dijkstra, pencarian rute, trilaterasi.*

IMPLEMENTATION OF BLUETOOTH LOW ENERGY TECHNOLOGY AND TRILATERATION METHOD FOR INDOOR ROUTE SEARCH

Bahri Rizaldi¹⁾, Doni Setio Pambudi²⁾, and Taufiqotul Bariyah³⁾

^{1, 2, 3)}Department of Informatics, Faculty of Information and Creative Technology, Universitas Internasional Semen Indonesia
Gresik, Indonesia 61122

e-mail: bahri.rizaldi15@student.uisi.ac.id¹⁾, doni.pambudi@uisi.ac.id²⁾, taufiqotul.bariyah@uisi.ac.id³⁾

ABSTRACT

Currently, route search is made easier by the presence of a Global Positioning System (GPS) technology that can be used by using the Maps application on a smartphone. By using the Maps application, people can find out their current location and can find a route to their desired destination. But the level of GPS accuracy will decrease if the user is in a building or in a closed room. This is caused by the satellite signals being sent that are not able to penetrate thick walls or concrete so that the search for routes using GPS is limited to the search for routes outside the building or outdoors. In this research, Bluetooth Low Energy and trilateration are used to determine the location in a room or building and Dijkstra's algorithm for finding the shortest route to the destination location. The proposed method has a location determination error of 0.728 meters with a distance between the user and the beacon less than 10 meters to get a stable signal.

Keywords: *Bluetooth low energy, Dijkstra, route-finding, trilateration.*

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini pencarian rute dari lokasi asal ke lokasi tujuan semakin dimudahkan dengan adanya teknologi *Global Positioning System* (GPS). Dengan menggunakan aplikasi Maps di *smartphone*, masyarakat dapat mengetahui lokasi saat ini dan mencari arah atau rute ke lokasi tujuan. Sistem GPS sendiri berawal dari proyek yang dikembangkan oleh departemen pertahanan AS dan menggunakan setidaknya 24 satelit yang mengirimkan sinyal radio berdaya rendah. Sinyal ini nantinya akan mengirimkan beberapa informasi seperti arah, kecepatan, posisi, dan waktu [1].

Sistem GPS dapat bekerja dengan baik apabila pengguna berada di area terbuka. Apabila pengguna berada di dalam gedung atau di ruangan tertutup maka tingkat akurasi GPS akan menurun sebab sinyal satelit yang dikirimkan sulit menembus tembok, beton, dan benda-benda tebal lainnya. Hal ini mengakibatkan pencarian rute hanya terbatas pada pencarian di luar ruangan atau gedung, sehingga permasalahan seperti pencarian rute antar ruangan di dalam gedung tidak dapat diselesaikan dengan menggunakan GPS.

Salah satu cara alternatif adalah dengan mengganti sinyal GPS dengan sinyal *wireless*/nirkabel yang dikirim langsung dari dalam gedung sehingga tingkat akurasi dapat terjaga. Beberapa teknologi *wireless* yang saat ini

beredar seperti Wi-Fi dan Bluetooth memungkinkan pengiriman sinyal dengan jarak yang cukup jauh dan sinyal yang dapat menembus benda-benda tebal seperti tembok.

Penelitian ini akan difokuskan pada masalah pencarian rute di dalam gedung dengan menggunakan teknologi Bluetooth *Low Energy* sebagai pemancar yang akan mengirimkan sinyal ke perangkat *smartphone* pengguna untuk mengetahui jarak dari pemancar dan penerima. Jarak tersebut akan diproses dengan menggunakan metode Trilaterasi sehingga dapat diketahui posisi dimana pengguna berada. Sedangkan untuk mencari rute terpendek dari posisi pengguna saat ini ke posisi tujuan akan digunakan algoritma Dijkstra.

II. STUDI LITERATUR

A. Penelitian terkait

Beberapa penelitian terkait yang pernah dibuat antara lain adalah penelitian yang dilakukan oleh Kalbandhe dan Patil tahun 2016 yang menjelaskan bagaimana kekuatan sinyal Bluetooth *Low Energy* (BLE) digunakan untuk mengetahui posisi didalam ruang. BLE CY8CKIT-042 digunakan sebagai *beacon* pemancar sinyal, sedangkan parameter yang digunakan adalah RSSI dan *transmitting power* guna memperkirakan jarak antara *smartphone* sebagai penerima sinyal dan *beacon* sebagai pemancar sinyal [2].

Aryasena, Ginardi, dan Baskoro pada tahun 2016 melakukan penelitian untuk melacak posisi di dalam ruangan dengan konsep *Indoor Localization*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Trilaterasi dengan bantuan sinyal Bluetooth untuk memprediksi posisi pengguna [3].

Penelitian lain yang dilakukan Andika tahun 2016 yaitu melakukan penelitian mengenai pencarian lokasi mobil dalam area gedung parkir dengan menggunakan sensor Altimeter MS5607 dan modul Bluetooth 4.0 BLE sebagai sarana transmisi data. Sensor Altimeter digunakan untuk mengetahui informasi lantai tempat mobil parkir, sedangkan modul Bluetooth digunakan untuk mengirimkan sinyal yang kemudian akan ditangkap oleh ponsel pintar pengguna sehingga dapat diketahui jarak pengguna ke lokasi mobil [4, 1].

B. Indoor Positioning System

Indoor Positioning System (IPS) merupakan teknologi yang digunakan untuk mendeteksi posisi pengguna yang berada di dalam ruangan atau gedung [3]. IPS merupakan alternatif untuk menentukan posisi seseorang selain menggunakan GPS. IPS dinilai lebih akurat dalam menentukan posisi obyek yang berada di dalam ruangan atau gedung dibandingkan dengan menggunakan GPS karena penggunaan GPS sendiri dinilai memiliki kelemahan yaitu tingkat akurasi yang menurun apabila digunakan di dalam ruangan tertutup. Implementasi IPS dapat dilakukan dengan menambahkan beberapa peralatan, seperti sensor *infrared*, RFID, Wi-Fi, dan sensor *ultrasonic* [5].

Teknologi Bluetooth dapat dijadikan sebagai alternatif seiring dengan hadirnya versi terbaru yaitu Bluetooth *Low Energy* (BLE) yang menawarkan akurasi yang lebih baik dan kemudahan dalam hal implementasi [2]. Saat ini banyak dijumpai *smartphone* yang mendukung BLE, sehingga dapat dijadikan *beacon*. Hal ini menjadi keuntungan lebih dibandingkan menggunakan teknologi lain seperti Wi-Fi, sensor *ultrasonic*, atau RFID yang membutuhkan alat tambahan.

LANTAI 1	
uuid: 31d0373b-f5cf-.... major: 3 minor: 1	uuid: 21bc1c15-335d-.... major: 3 minor: 2
LANTAI 2	
uuid: be44fb6b-0f08-.... major: 2 minor: 1	uuid: 59bdd5f0-b301-.... major: 2 minor: 2
LANTAI 3	
uuid: c949514e-1cbd-.... major: 1 minor: 1	uuid: 4d837bd0-a605-.... major: 1 minor: 2

Gambar 1. Ilustrasi penggunaan parameter BLE.

C. *Bluetooth Low Energy*

Bluetooth Low Energy (BLE) dirancang agar konsumsi dayanya dapat jauh lebih rendah daripada *Bluetooth* klasik. Kelebihan BLE dibandingkan dengan teknologi lain diantaranya seperti komunikasi yang relatif cepat, jangkauan sinyal yang luas, komunikasi tidak dipengaruhi benda padat, serta hemat daya [6]. BLE mampu menghemat dayanya dengan tetap benda pada mode *sleep* hingga adanya inisiasi koneksi komunikasi. BLE dioptimalkan untuk digunakan pada aplikasi yang memerlukan transfer data kecil antar-perangkat dan tidak membutuhkan banyak pertukaran data.

BLE bekerja dengan cara secara konstan mengirim data *advertisement* ke *smartphone* yang berada dalam jangkauan. Parameter-parameter yang terdapat pada *beacon*/pemancar BLE antara lain [7]:

1) *Universally Unique Identifier (UUID)*

UUID adalah standar identifikasi berupa 32-digit heksadesimal yang dibagi dalam 5 grup dan dipisahkan oleh tanda penghubung. *UUID* berfungsi untuk mengidentifikasi organisasi pemilik *beacon* tersebut. Salah satu contoh *UUID* adalah f7826da6-4fa2-4e98-8024-bc5b71e0893e.

2) *Receive Signal Strength Indicator (RSSI)*

RSSI merupakan indikator seberapa besar kuat sinyal yang diterima terhadap penerimaan sinyal di titik referensi tertentu. *RSSI* yang dipancarkan oleh *beacon* berkisar antara -0 sampai -100, semakin dekat *RSSI* dengan 0 maka semakin kuat sinyal yang diterima.

3) *Major Value*

Major value adalah standar identifikasi berupa *integer* berukuran 16-bit bernilai antara 0 sampai 65535 yang berfungsi untuk mengidentifikasi sebuah grup *beacon*. Dalam penelitian ini *major value* digunakan untuk mengidentifikasi letak posisi lantai tempat *beacon* berada.

4) *Minor Value*

Minor value merupakan standar identifikasi berupa *integer* berukuran 16-bit bernilai antara 0 sampai 65535 yang berfungsi untuk mengidentifikasi sebuah *beacon* secara individual. Dalam penelitian ini *minor value* digunakan untuk membedakan antara *beacon* satu dengan *beacon* yang lainnya.

Gambar 1 merupakan ilustrasi contoh penggunaan parameter-parameter BLE dalam sebuah gedung. Dapat dilihat bahwa *UUID* tiap *beacon* dalam gedung tersebut diatur sama dalam satu gedung, *major value* dibuat sama untuk tiap *beacon* dalam satu lantai, dan *minor value* dibuat berbeda untuk tiap *beacon* di tiap lantai. Hal tersebut dilakukan untuk mengidentifikasi antara satu *beacon* dan *beacon* yang lain.

D. Trilaterasi

Trilaterasi adalah proses untuk memperkirakan posisi sebuah obyek berdasarkan jarak antara obyek tersebut dengan posisi tiga obyek lain yang telah diketahui koordinatnya. Ilustrasi konsep trilaterasi ditunjukkan oleh Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, posisi pengguna dapat dihitung dengan persamaan lingkaran umum yang ditunjukkan oleh (1), (2), dan (3). Pada persamaan tersebut, variabel x_d dan y_d adalah koordinat posisi pengguna yang akan dicari. $x_1, x_2,$ dan x_3 adalah koordinat x dari masing-masing *beacon*. $y_1, y_2,$ dan y_3 adalah koordinat y dari *beacon*. $r_1, r_2,$ dan r_3 adalah jarak antara *beacon* dengan pengguna.

$$(x_t - x_1)^2 + (y_t - y_1)^2 = r_1^2 \quad (1)$$

$$(x_t - x_2)^2 + (y_t - y_2)^2 = r_2^2 \quad (2)$$

$$(x_t - x_3)^2 + (y_t - y_3)^2 = r_3^2 \quad (3)$$

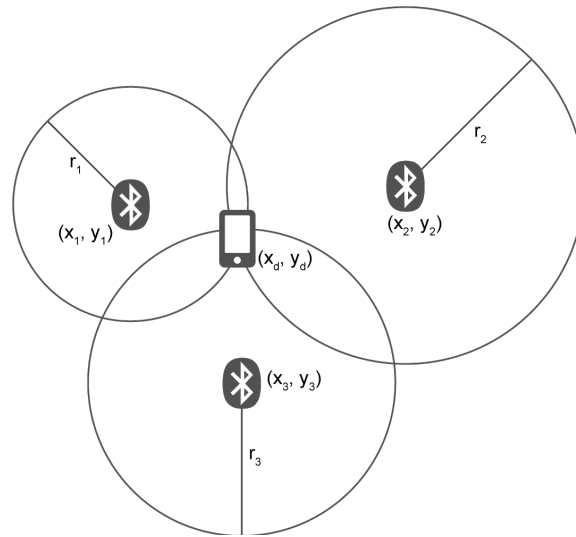
Melalui langkah substitusi dan eliminasi dari (1), (2), dan (3) tersebut, maka x_t dan y_t dapat diperoleh. Hal ini ditunjukkan oleh (4) [8].

$$\begin{bmatrix} 2(-x_3) & 2(-y_3) \\ 2(x_2 - x_3) & 2(y_2 - y_3) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -x_3^2 - y_3^2 + r_3^2 - r_1^2 \\ x_2^2 - x_3^2 + y_2^2 - y_3^2 + r_3^2 - r_2^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

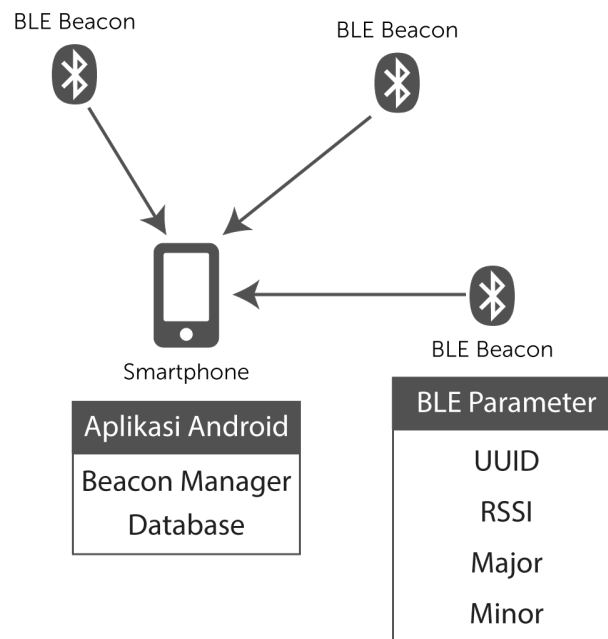
III. METODE PENELITIAN

A. Desain Sistem

Desain arsitektur sistem yang digunakan dalam penelitian ini diilustrasikan oleh Gambar 3. *Beacon* BLE bertugas sebagai pemancar sinyal yang nantinya akan ditangkap oleh *smartphone*. Sinyal yang dipancarkan oleh BLE berisi beberapa parameter antara lain *UUID*, *RSSI*, *major*, dan *minor*. Pada saat diterima oleh *smartphone*, parameter tersebut kemudian akan diproses lebih lanjut oleh *BeaconManager* yang terdapat di aplikasi *indoor positioning*. *Database* pada aplikasi berfungsi untuk menyimpan data detail *beacon* dan *node* yang digunakan pada saat pencarian rute.



Gambar 2. Konsep trilaterasi.



Gambar 3. Desain arsitektur sistem.

B. Alur Kerja

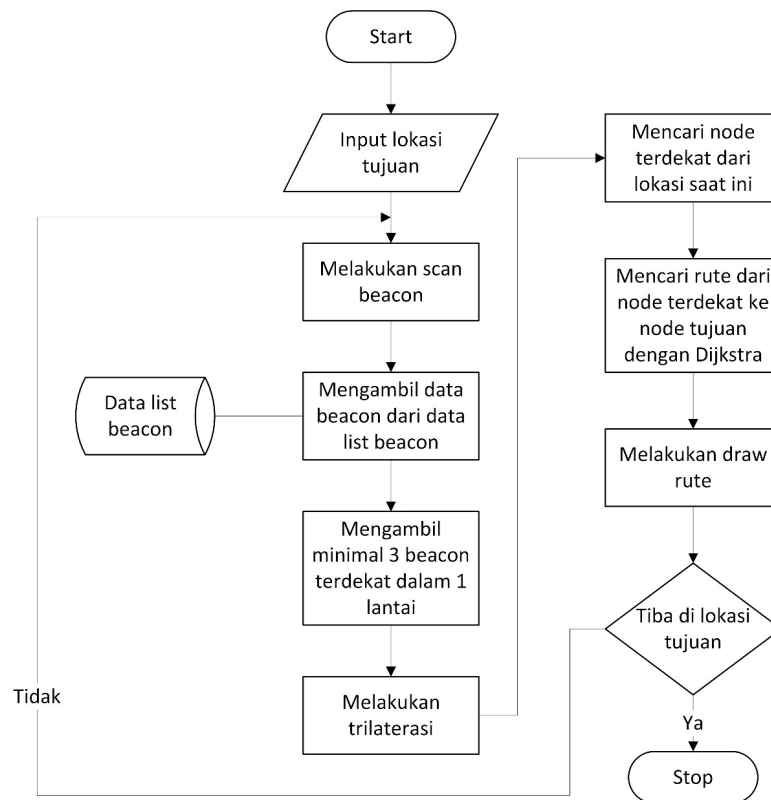
Gambar 4 menunjukkan alur kerja pencarian rute *indoor* yang digunakan pada penelitian ini. Aplikasi akan meminta *input* pengguna berupa lokasi tujuan. Kemudian aplikasi melakukan *scan beacon*, data yang didapat dari hasil *scan* berupa *Major*, *Minor*, dan *Receive Signal Strength Indicator (RSSI)* tiap *beacon*. Selanjutnya aplikasi akan meminta detail data tiap *beacon* dari *database* dengan parameter *major* dan *minor*. *Beacon* yang sudah didapat akan diseleksi dan diambil tiga *beacon* terdekat dihitung berdasarkan *RSSI* tiap *beacon*.

Selanjutnya dilakukan proses Trilaterasi dengan parameter tiga *beacon* terdekat sehingga didapat koordinat (x,y) lokasi saat ini. Proses pencarian rute dilakukan dengan menggunakan algoritma Dijkstra dengan *input* berupa *node* terdekat dari lokasi saat ini sebagai *node* asal, *node* lokasi tujuan, dan data semua *node* sebagai verteks. Langkah terakhir yang dilakukan yaitu melakukan *drawing* rute hasil pencarian. Semua proses tersebut akan dilakukan berulang hingga pengguna sampai ke lokasi tujuan.

C. Desain Tata Letak

Beacon diletakkan di sebuah koordinat lokasi yang sudah ditentukan sebelumnya, dan bersifat permanen alias tidak berpindah-pindah. Beberapa contoh ilustrasi yang akan dijelaskan merupakan desain tata letak pada lantai 1 Gedung Coal Mill Kampus B UIISI. Gambar 5 merupakan ilustrasi posisi penempatan *beacon* di dalam suatu gedung. *Beacon* diletakkan dengan desain penempatan sebagai berikut:

- 1) Jarak maksimum antara beacon dan pengguna maksimal 5 (lima) meter.



Gambar 4. Alur kerja aplikasi.

- 2) Minimal 3 (tiga) beacon yang diletakkan di lantai yang sama dengan lantai pengguna berada harus dapat terdeteksi di posisi manapun di lantai tersebut.
- 3) Apabila beacon terletak di dalam ruangan, beacon diletakkan dekat dengan tembok terluar dari ruangan tersebut.

Penempatan tersebut dibuat sedemikian rupa sehingga dari posisi manapun pengguna berada dapat terdeteksi setidaknya minimal tiga *beacon* untuk kemudian diproses lebih lanjut. Penempatan tersebut merupakan perkiraan awal, pada tahapan berikutnya akan dilakukan pengujian berapa jarak ideal antara *beacon* dan pengguna.

Selain penempatan *beacon*, penempatan *node* juga perlu diperhatikan. *Node* berfungsi sebagai parameter verteks dalam algoritma Dijkstra yang nantinya akan digunakan untuk mencari rute dari lokasi asal ke tujuan. Penempatan *node* diilustrasikan oleh Gambar 6. *Node* diletakkan dengan desain penempatan sebagai berikut:

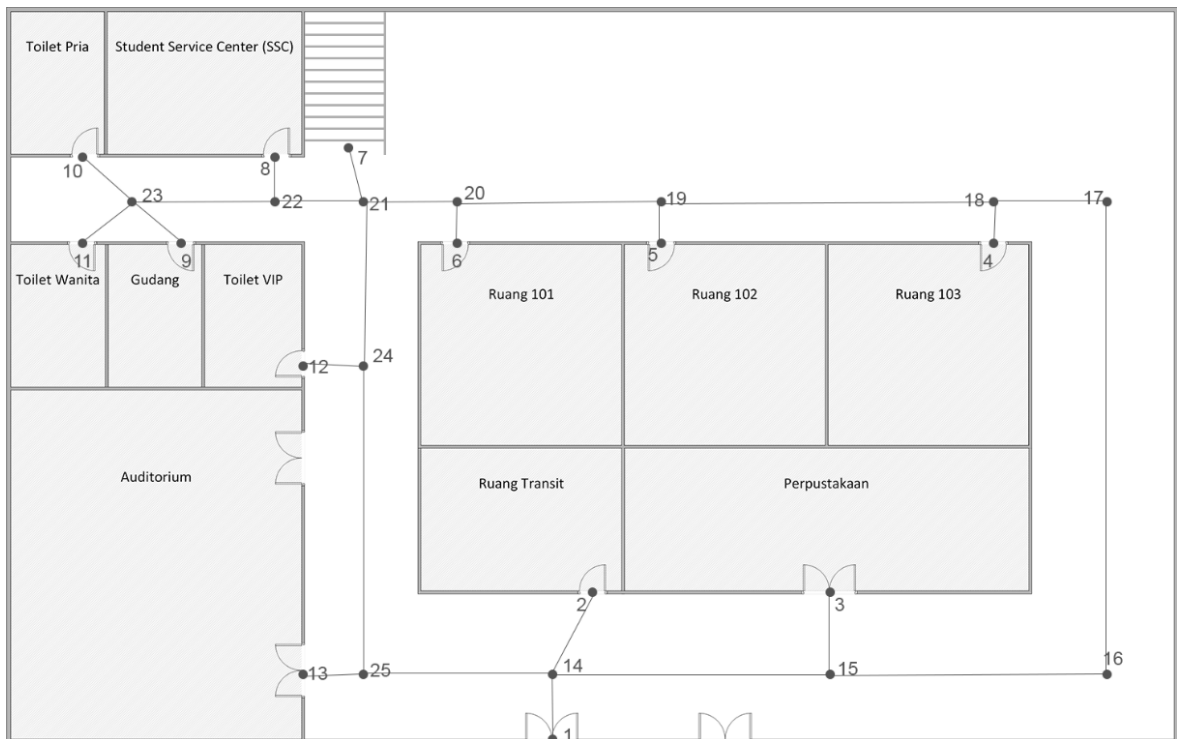
- 1) Setiap ruangan terdapat sebuah *node* yang diletakkan di salah satu pintu keluar ruangan tersebut, *node* tersebut berfungsi untuk mengarahkan rute apabila lokasi saat ini berada di dalam ruangan sekaligus sebagai tujuan akhir rute.
- 2) Setiap persimpangan terdapat sebuah *node* yang terletak ditengah-tengah persimpangan tersebut, *node* tersebut berfungsi untuk melakukan belok kanan/kiri pada rute.

Untuk mendapatkan sebuah rute dari lokasi awal ke tujuan perlu dilakukan pencarian rute dengan menggunakan algoritma Dijkstra. Algoritma Dijkstra sendiri memerlukan graf yang berisi verteks dan edge sebagai parameter masukan. Apabila apabila antara lokasi awal dan lokasi tujuan berada di lantai yang berbeda, maka lokasi tujuan sementara akan diarahkan ke tangga yang menuju ke lantai tempat lokasi tujuan seperti yang dijelaskan pada Gambar 7. Dapat dilihat pada Gambar 7 lingkaran merah pada peta sebelah kiri menunjukkan lokasi awal yang berada pada gudang di lantai 1, sedangkan lokasi tujuan adalah ruang 202 yang terletak di lantai 2. Dikarenakan adanya perpindahan lantai dari lantai 1 ke lantai 2 maka tujuan sementara diubah ke tangga yang menuju ke lantai 2. Apabila posisi pengguna sudah berada di tangga, peta akan otomatis berubah ke lantai 2 dan rute awal berubah tangga menuju ke ruang 202.

Graf yang digunakan merupakan sebuah graf dengan tipe *indirected graph*, tipe tersebut dipilih sebab rute yang dicari tidak memperhatikan arah, misal verteks 1 ke verteks 14, sama saja dengan verteks 14 ke verteks 1. *Node* sendiri digunakan sebagai verteks dan untuk berat dari tiap edge didapat dari selisih jarak koordinat *node*, misal berat edge antara verteks 1 dan verteks 14 didapat dari selisih jarak dari koordinat *node* 1 (x,y) dan *node* 14 (x,y).



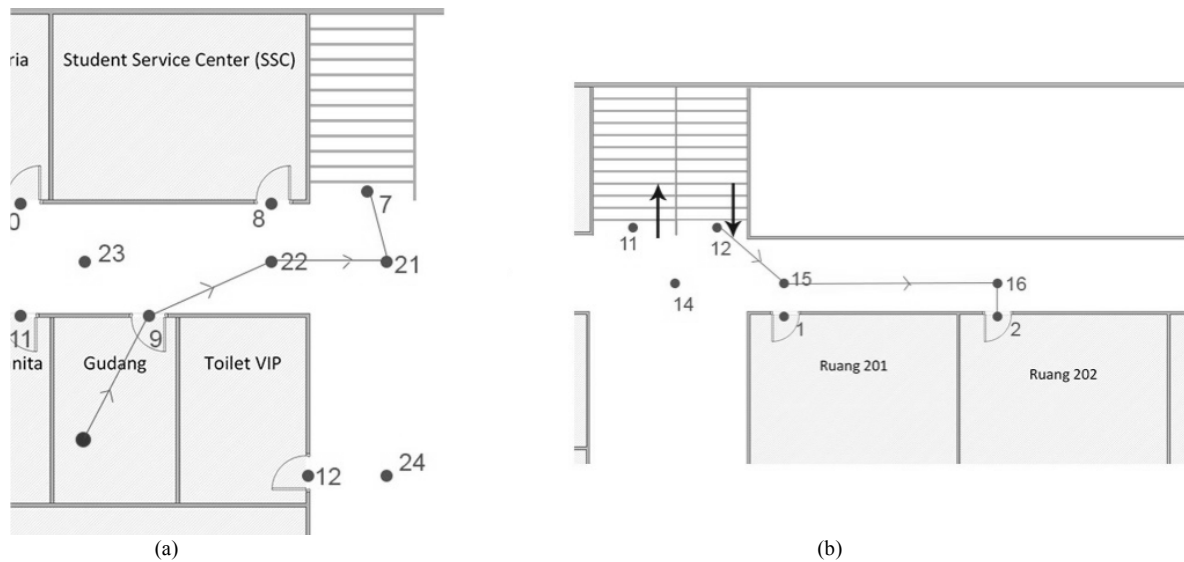
Gambar 5. Desain tata letak penempatan beacon.



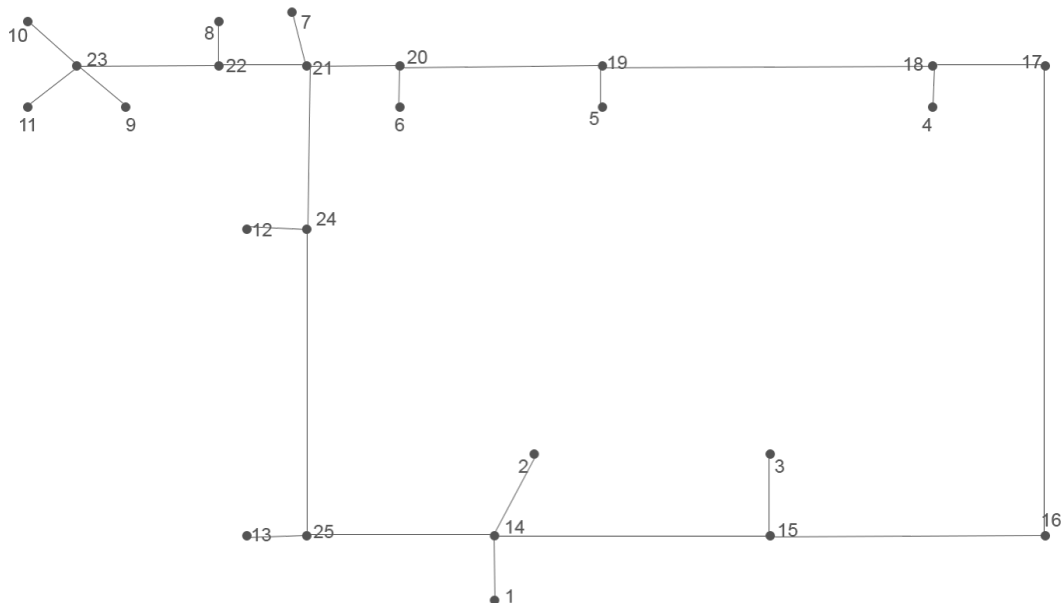
Gambar 6. Desain tata letak penempatan node.

D. Desain Penyimpanan Data

Data yang digunakan untuk pencarian rute *indoor* ada 3, yaitu data beacon, data node, dan data mapping node. Data-data tersebut disimpan kedalam format JSON untuk mempercepat pertukaran data. Contoh format tampilan JSON dapat dilihat pada Gambar 9. Data *beacon* digunakan untuk menyimpan detail dari tiap *beacon*, meliputi nomor identitas, letak lantai, koordinat, dan jenis *beacon*. Detail dari data *beacon* dapat dilihat pada Tabel I. Data *node* digunakan untuk menyimpan detail dari tiap *node*, meliputi koordinat, nomor identitas, jenis *node*, dan letak lantai. Detail data *node* dapat dilihat pada Tabel II. Data *mapping node* digunakan untuk menyimpan *mapping* tiap *node* antara *node* asal ke node tujuan. *Mapping* tersebut digunakan sebagai verteks dalam *routing* Djikstra. Detail data *mapping node* ini dapat dilihat dalam Tabel III.



Gambar 7. (a) Ilustrasi perpindahan lantai pada saat di lantai 1, (b) Ilustrasi perpindahan lantai pada saat di lantai 2.



Gambar 8. Ilustrasi plot graf.

```
{
  "major" : 1, "minor" : 1, "x" : 58, "y" : 69, "room_code" : 10},
  {"major" : 1, "minor" : 2, "x" : 27, "y" : 130, "room_code" : 10},
  {"major" : 1, "minor" : 3, "x" : 94, "y" : 130, "room_code" : 10},
  {"major" : 1, "minor" : 4, "x" : 156, "y" : 28, "room_code" : 8},
  {"major" : 1, "minor" : 5, "x" : 325, "y" : 28, "room_code" : 8},
  {"major" : 1, "minor" : 6, "x" : 156, "y" : 144, "room_code" : 8},
  {"major" : 1, "minor" : 7, "x" : 324, "y" : 145, "room_code" : 8},
  {"major" : 1, "minor" : 8, "x" : 57, "y" : 364, "room_code" : 11},
  {"major" : 1, "minor" : 9, "x" : 26, "y" : 425, "room_code" : 11},
}
```

Gambar 9. Tampilan format JSON.

TABEL I
DETAIL DATA *BEACON*.

Nama	Penjelasan	Contoh Data
<i>Major</i>	Letak lantai dimana <i>beacon</i> diletakkan.	1, 2, 3, ..., dst
<i>Minor</i>	Nomor identitas <i>beacon</i> di lantai tersebut.	1, 2, 3, ..., dst
<i>X</i>	Koordinat x tempat <i>beacon</i> diletakkan.	0, 1, 2, 3, ..., dst
<i>Y</i>	Koordinat y tempat <i>beacon</i> diletakkan.	0, 1, 2, 3, ..., dst
<i>Room code</i>	Nomor identitas yang diberikan jika <i>beacon</i> diletakkan didalam ruangan. Apabila <i>beacon</i> terletak diluar ruangan, misal lorong atau lobi diberi nilai default 0.	0, 1, 2, 3, ..., dst

TABEL II
DETAIL DATA *NODE*.

Nama	Penjelasan	Contoh Data
<i>X</i>	Koordinat x tempat <i>beacon</i> diletakkan.	1, 2, 3, ..., dst
<i>Y</i>	Koordinat y tempat <i>beacon</i> diletakkan.	1, 2, 3, ..., dst
<i>Room code</i>	Nomor identitas <i>node</i> .	1, 2, 3, ..., dst
<i>Type</i>	Bernilai 1 jika <i>node</i> merupakan sebuah ruangan, misal kelas, atau toilet. Bernilai 0 jika bukan ruangan, misal lorong, atau lobi.	0 atau 1
<i>Floor</i>	Lantai tempat <i>node</i> berada.	1, 2, 3, ..., dst

TABEL III
DETAIL DATA MAPPING *NODE*.

Nama	Penjelasan	Contoh Data
<i>From</i>	Nomor identitas <i>node</i> asal.	1, 2, 3, ..., dst
<i>To</i>	Nomor identitas <i>node</i> tujuan.	1, 2, 3, ..., dst
<i>Floor</i>	Lantai tempat <i>mapping</i> .	1, 2, 3, ..., dst

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan implementasi metode yang diusulkan, selanjutnya dilakukan pengujian terhadap implementasi metode yang diusulkan dalam penelitian ini. Pengujian implementasi sistem ini dilakukan dengan menggunakan beberapa perangkat *smartphone* berbasis Android dengan spesifikasi *hardware* dan *software* yang terangkum dalam Tabel IV.

Penelitian ini menggunakan beberapa skenario pengujian, yaitu:

- 1) Pengujian pengaruh jenis *handphone* yang digunakan sebagai *beacon* dengan rata-rata RSSI yang diterima.
- 2) Pengujian terhadap jarak maksimum *beacon*. Dilakukan untuk mengetahui jarak maksimum sinyal yang dikirim oleh *beacon* yang dapat diterima oleh aplikasi.
- 3) Analisis RSSI (kekuatan sinyal) dengan jarak *beacon* pada sumbu vertikal dan horizontal. Dilakukan untuk mengetahui jarak ideal *beacon* yang dapat diterima aplikasi sehingga penempatan antar *beacon* dapat dilakukan secara efisien.
- 4) Analisis tingkat error, dilakukan untuk mengetahui seberapa besar error dari hasil lokasi yang didapat dengan cara membandingkan lokasi sebenarnya dengan lokasi estimasi.
- 5) Berdasarkan hasil pengujian yang terangkum dalam Tabel V, didapat jarak maksimum sinyal yang dapat diterima oleh aplikasi bervariasi berdasarkan jenis perangkat yang digunakan sebagai *beacon*. Saat Redmi 3S dan Redmi Note 4 digunakan sebagai *beacon*, jarak maksimum sinyal yang dapat diterima aplikasi adalah antara 17 meter sampai dengan 18 meter. Sedangkan saat Meizu M6 dan Redmi Note 7 digunakan sebagai *beacon*, jarak maksimum sinyal yang dapat diterima aplikasi adalah 19 meter sampai dengan 20 meter. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jarak maksimum dari *beacon* ke penerima agar sinyal BLE dapat diterima adalah antara 17 sampai 18 meter.

Gambar 10 menunjukkan grafik perbandingan antara jarak ke *beacon* dan rata-rata RSSI yang diterima. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa semakin jauh jarak antara pengguna ke *beacon* maka nilai rata-rata RSSI yang diterima akan semakin turun. Sudut antara *beacon* dan penerima juga mempengaruhi kekuatan sinyal yang diterima. Pada saat *beacon* dan penerima diletakkan pada sumbu horizontal, kekuatan sinyal yang diterima lebih baik daripada saat diletakkan pada sumbu vertikal.

Pada saat pengujian, penulis menemukan adanya perbedaan dalam hal kestabilan saat jarak antara *beacon* dan penerima lebih dari 10 meter. Dalam jarak 10 meter, sinyal yang diterima cenderung stabil dan jarang terjadi lonjakan sinyal secara tiba-tiba. Pada saat jarak lebih dari 10 meter sering terjadi lonjakan sinyal yang mengakibatkan estimasi jarak dari *beacon* ke penerima menjadi tidak dapat dilakukan. Berdasarkan pengujian tersebut maka dapat ditarik kesimpulan bahwa penempatan *beacon* menjadi faktor penting untuk mendapatkan lokasi pengguna yang akurat. Penempatan *beacon* sebaiknya diletakkan dengan jarak maksimum antar *beacon* sebesar 10 meter dengan ketinggian tidak lebih dari 5 meter untuk mendapatkan sinyal yang cukup akurat dan stabil.

Analisis tingkat *error* juga dilakukan untuk mengetahui seberapa besar *error* dari hasil lokasi yang didapat dengan cara membandingkan lokasi sebenarnya dengan lokasi estimasi. Dalam pengujian tersebut diletakkan tiga buah *beacon* pemancar pada koordinat lokasi yang dapat dilihat pada Gambar 11. Pengujian dilakukan dengan mendapatkan koordinat hasil pemrosesan dengan metode Trilaterasi pada lokasi A, B, C, D, dan E. Tiap lokasi dilakukan percobaan sebanyak sepuluh kali untuk mengetahui apakah ada perbedaan hasil dalam tiap iterasi percobaan.

Pada Tabel VII terlihat bahwa jarak *euclidean* (jarak lokasi sebenarnya dengan lokasi estimasi) masing-masing koordinat memiliki nilai yang berbeda-beda. Jarak *euclidean* terkecil terjadi pada lokasi sebenarnya (184,402) terhadap lokasi estimasi (190,390) yaitu sebesar 0,304 meter. Sedangkan jarak *euclidean* terbesar terjadi pada lokasi sebenarnya (221,367) terhadap lokasi estimasi (198,417) yaitu sebesar 1,27 meter.

TABEL IV
SPESIFIKASI PERANGKAT PENGUJIAN.

Handphone	Processor	Versi OS	Versi Bluetooth
<i>Redmi 3S</i>	SDM430 1.4 GHz	Android 6.0	4.1
<i>Redmi Note 4</i>	SDM625 2.0 GHz	Android 6.0	4.1
<i>Meizu M6</i>	MT6750 1.5 GHz	Android 7.0	4.0
<i>Redmi Note 7</i>	SDM660 2.2 GHz	Android 9.0	5.0

TABEL V
HASIL PENGUJIAN JARAK MAKSIMUM.

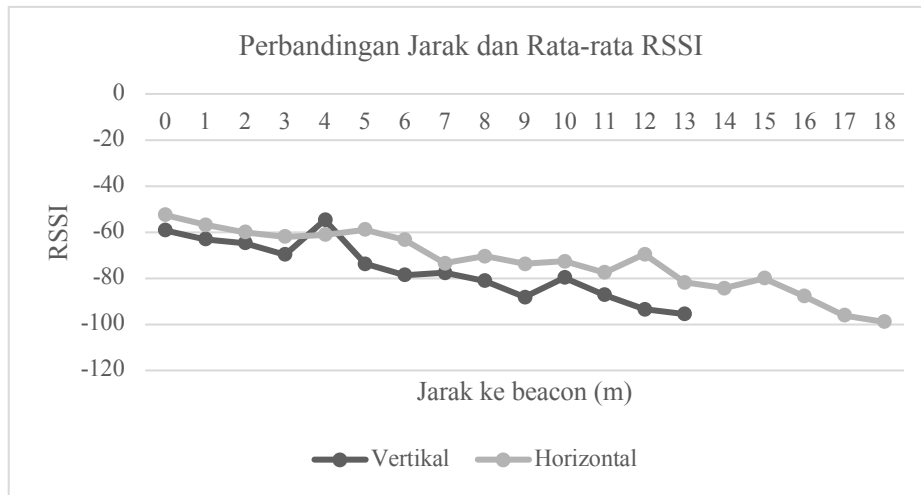
Jarak (m)	Redmi 3S	Redmi Note 4	Meizu M6	Redmi Note 7
1 – 2	✓	✓	✓	✓
2 – 3	✓	✓	✓	✓
3 – 4	✓	✓	✓	✓
4 – 5	✓	✓	✓	✓
5 – 6	✓	✓	✓	✓
6 – 7	✓	✓	✓	✓
7 – 8	✓	✓	✓	✓
8 – 9	✓	✓	✓	✓
9 – 10	✓	✓	✓	✓
10 – 11	✓	✓	✓	✓
11 – 12	✓	✓	✓	✓
12 – 13	✓	✓	✓	✓
13 – 14	✓	✓	✓	✓
14 – 15	✓	✓	✓	✓
15 – 16	✓	✓	✓	✓
16 – 17	✓	✓	✓	✓
17 – 18	✓	✓	✓	✓
18 – 19	×	×	✓	✓
19 – 20	×	×	✓	✓
20 – 21	×	×	×	×

TABEL VI
HASIL PERBANDINGAN JARAK DAN RATA-RATA RSSI.

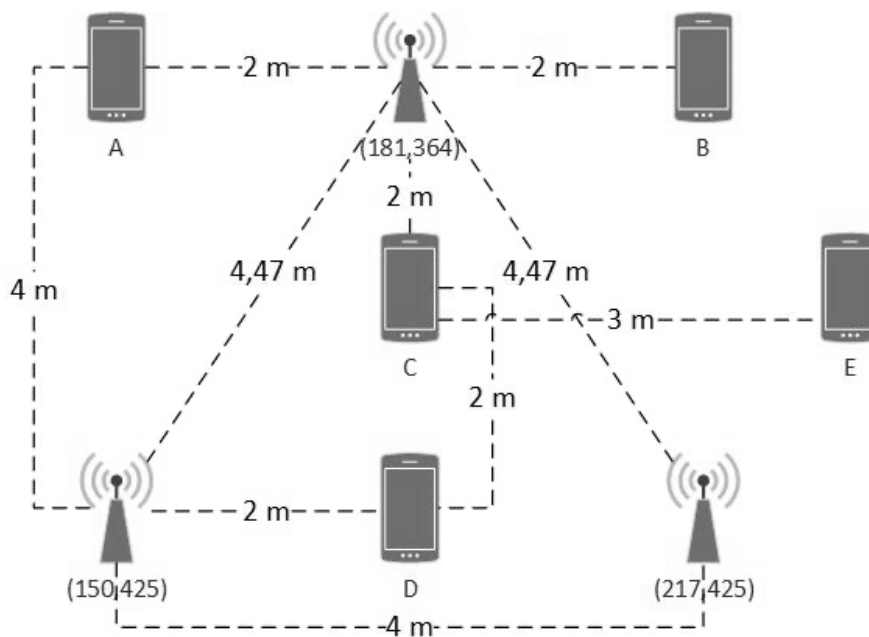
Jarak (m)	RSSI Horizontal	RSSI Vertikal
1	-52,547	-59,145
2	-56,811	-63,057
3	-60,038	-64,736
4	-62,000	-69,698
5	-61,094	-54,698
6	-58,891	-73,774
7	-63,311	-78,547
8	-73,407	-77,660
9	-70,377	-81,057
10	-73,741	-88,151
11	-72,698	-79,698
12	-77,491	-87,208
13	-69,574	-93,434
14	-81,751	–
15	-84,310	–
16	-80,042	–
17	-87,775	–
18	-96,076	–
19	-98,930	–

Perbedaan jarak euclidean yang terjadi setiap lokasi dikarenakan adanya kondisi *non line of sight (nlos)* di dalam Gedung Coal Mill Kampus B UIIS, dimana sinyal mengalami pemantulan, penyerapan, serta dihamburkan sehingga nilai RSSI tidak langsung dipancarkan menuju objek (*smartphone*) yang menerima pancaran sinyal dari BLE. Sehingga pada penelitian ini perbandingan akurasi BLE dalam kondisi *line of sight* dan kondisi *nlos* yaitu sebesar 0,728 meter. Perbedaan ini terjadi karena banyak faktor lingkungan yang terdapat di dalam Gedung Coal Mill Kampus B UIIS. Tingkat akurasi 0,728 meter menurut penelitian Anggeriko, Hari Ginardi, dan Fajar Baskoro tahun 2016 tentang *Indoor Localization* adalah tingkat akurasi yang baik [3]. Tingkat akurasi sendiri dibagi menjadi 3 bagian:

- 1) Apabila akurasi kurang dari 1 meter maka BLE memiliki tingkat akurasi yang baik.
- 2) Apabila akurasi antara 1 sampai 2 meter, maka BLE memiliki tingkat akurasi yang standar.
- 3) Apabila akurasi lebih dari 2 meter maka BLE memiliki tingkat akurasi yang buruk.



Gambar 10. Grafik perbandingan jarak dan rata-rata RSSI.



Gambar 11. Skema penempatan untuk uji tingkat error.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dan dianalisis, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Sinyal BLE yang dipancarkan oleh *beacon* dapat diterima dalam jarak maksimum antara 17 sampai 18 meter.
- Untuk mendapatkan sinyal yang stabil, jarak antara *beacon* dan penerima sebaiknya kurang dari 10 meter.
- Hasil uji *error* menunjukkan *error* sebesar 0,728 meter merupakan tingkat akurasi BLE yang baik.

TABEL VII
HASIL UJI TINGKAT *ERROR*.

Lokasi	Lokasi Sebenarnya (x,y)	Rata-rata Jarak Euclidean (m)
A	(154,368)	0,831
B	(221,367)	1,249
C	(184,402)	0,417
D	(188,430)	0,590
E	(239,402)	0,549
Error		0,728

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. W. Parkinson, "Introduction and Heritage of NAVSTAR," in *Global Positioning System: Theory and Applications*, Washington, D.C, American Institute of Aeronautics and Astronautics, hal. 3-28, 1996.
- [2] A. A. Kalbandhe and S. C. Patil, "Indoor Positioning System using Bluetooth Low Energy," dalam *Proc. International Conference on Computing, Analytics and Security Trends*, 2016.
- [3] A. Aryasena, F. Baskoro and R. V. H. Ginardi, "Perancangan Indoor Localization Menggunakan Bluetooth untuk Pelacakan Posisi Benda di Dalam Ruangan," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, 2016.
- [4] I. M. S. Andika, "Perancangan dan Implementasi Penggunaan Teknologi Bluetooth dan Altimeter untuk Pencarian Lokasi Mobil Dalam Area Gedung Parkir," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 3, no. 3, hal. 4035-4042, 2016.
- [5] Y. Lukito and A. R. Chrismanto, "Perbandingan Metode-Metode Klasifikasi Untuk Indoor Positioning System," *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, hal. 123-131, 2015.
- [6] A. S. Indrayana, R. Primananda and K. Amron, "Rancang Bangun Sistem Komunikasi Bluetooth Low Energy (BLE) pada Sistem Pengamatan Tekanan Darah," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 8, hal. 2462-2472, 2018.
- [7] N. Allurwar, B. Nawale and S. Patel, "Beacon for Proximity Target Marketing," *International Journal of Engineering and Computer Science*, hal. 16359-16364, 2016.
- [8] M. M. Zaniani, A. M. Shahar and I. A. Azid, "Trilateration Target Estimation Improvement Using New Error Correction Algorithm," *Iranian Conference on Electrical Engineering*, hal. 489-494, 2010.
- [9] W. Y. Swara, B. Rahmat and R. Mayasari, "Perancangan dan Implementasi Sistem Indoor Localization Berbasis Wireless Sensor Network - Zigbee," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 3, no. 3, hal. 4489-4495, 2016.
- [10] E. W. Dijkstra, "A Note on Two Problem in Connexion with Graphs," *Numerische Mathematik*, hal. 269-271, 1959.