

Skema Lokalisasi Posisi *Node* Terdistribusi pada Lingkungan *Free Space Path Loss*

Aries Pratiarso¹, Adam Surya Putra², Prima Kristalina³, Amang Sudarsono⁴, Mike Yuliana⁵, I Gede Puja Astawa⁶

Abstract—A wireless sensor network consists of interconnected nodes that exchange information and use shared resource in a wireless transmission medium. Sensor nodes are randomly deployed in observation area in static or moving term. During this situation, the position of each sensor nodes is required to be known to monitor the circumstances around the node according to the information collected by sensor. Localization is the process to determine the position of nodes. This process could be done in centralized or distributed manner. In this paper, a distributed localization mechanism is proposed, where the calculation of node position is carried out on the node itself. Trilateration method is employed to calculate the position of node based on estimated distance measured by Received Signal Strength Indicator (RSSI) technique using Zigbee module in Free-Space Path Loss (FSPL) outdoor area. The experiment result shows that, based on log-normal shadowing model, the path loss coefficient for observation area is 2.5443, whereas average estimated position error from three different measured nodes are 23.504 m, 17.369 m, and 17.95 m respectively. Each node needs 2.73 second to undertake localization process completely.

Intisari— Jaringan sensor nirkabel (JSN) terdiri atas kumpulan *node* terinterkoneksi yang saling bertukar informasi dan menggunakan daya bersama dalam sebuah media transmisi nirkabel. *Node-node* sensor tersebar secara acak pada bidang observasi secara diam ataupun bergerak. Dalam kondisi demikian, posisi *node* sensor perlu diketahui untuk memantau perkembangan wilayah sekitar *node-node* tersebut sesuai dengan informasi yang dikumpulkan oleh sensor. Lokalisasi adalah proses penentuan posisi perangkat *node* pada JSN. Pada makalah ini diusulkan mekanisme lokalisasi terdistribusi dengan proses penghitungan posisi *node* dilakukan di masing-masing *node* sensor. Metode trilaterasi digunakan untuk menghitung posisi *node*, dan hasil estimasi posisi dari masing-masing *node* sensor akan dikirim ke *server* untuk ditampilkan di layar monitor. Jarak antar *node* pada bidang luar ruangan yang dipengaruhi *Free-Space Path Loss* (FSPL) diukur menggunakan teknik *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) dengan modul Zigbee. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa koefisien *path loss* untuk wilayah pengujian adalah 2,5443, sedangkan kesalahan posisi rata-rata dari tiga *node* yang diukur berturut-turut adalah 23,504 m, 17,369 m, dan 17,95 m. Waktu komputasi yang dibutuhkan sebuah *node* untuk menghitung proses lokalisasi adalah 2,73 detik.

Kata Kunci— *Free-Space Path Loss*, trilaterasi, lokalisasi, RSSI.

^{1,3,4,5,6} Staf Pengajar, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Raya ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111 (telp: 031-5947280; fax: 031-5946111; e-mail: aries@pens.ac.id; prima@pens.ac.id, amang@pens.ac.id, mieke@pens.ac.id, puja@pens.ac.id)

²Mahasiswa, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Raya ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111 (telp: 031-5947280; fax: 031-5946111; e-mail: adam115telkom@gmail.com)

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi nirkabel yang semakin pesat beberapa tahun belakangan ini mendorong berkembangnya perangkat-perangkat telekomunikasi yang semakin canggih. Salah satunya adalah jaringan *ad-hoc wireless*, yaitu kumpulan *node* terinterkoneksi yang saling bertukar informasi dan menggunakan daya bersama dalam sebuah media transmisi nirkabel. Salah satu aplikasi jaringan nirkabel yang dapat diimplementasikan di bidang *e-health* khususnya pencarian posisi adalah sistem lokalisasi antar perangkat *node* [1]. Lokalisasi adalah proses penentuan posisi dari perangkat *node* yang digunakan secara acak pada jaringan nirkabel [2]. Sistem lokalisasi diperlukan untuk memberikan informasi posisi dari *node* ke *server* [3].

Global Positioning System (GPS) merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk identifikasi posisi *node*. Namun, GPS mengonsumsi energi dalam jumlah besar dan apabila diaplikasikan pada jaringan sensor nirkabel (JSN) akan menyebabkan biaya yang mahal karena harus diimplementasikan pada *node* dalam jumlah besar. Dibandingkan dengan teknologi yang lain, GPS memberikan akurasi lokalisasi yang sangat tinggi, tetapi GPS menyerap sejumlah besar energi pada *node sensor*, sehingga dengan alasan-alasan tersebut penggunaan GPS tidak disarankan untuk sebagian besar aplikasi berbasis JSN. Kalaupun terpaksa digunakan, maka hanya diaplikasikan pada *node-node* referensi saja, tidak pada seluruh *node* dalam sistem [3].

Pada makalah ini, diusulkan skema lokalisasi posisi secara terdistribusi pada jaringan nirkabel berdasarkan kuat sinyal yang diterima dari *node* lain. Lokalisasi terdistribusi menyatakan bahwa proses kalkulasi estimasi posisi sebuah *node* dilakukan pada *node* itu sendiri. *Node-node* yang menghitung posisinya berkomunikasi secara kooperatif dengan *node-node* referensi dan *server*. Dengan *node* referensi, *node* penghitung posisi mengestimasi jarak antar mereka menggunakan kuat sinyal terima (*Received Signal Strength Indicator*/RSSI). Apabila telah diterima sejumlah kuat sinyal dari beberapa *node* referensi, *node* penghitung tadi dapat mengestimasi posisinya menggunakan metode trilaterasi. Hasil estimasi posisi yang dihitung pada *node-node* penghitung dikirimkan ke *server* secara nirkabel untuk ditampilkan pada media monitor [4]–[6]. Hasil pengujian dari sistem yang dibuat dianalisis dan dibandingkan dengan kinerja dari skema lokalisasi sebelumnya [3]. Diperoleh hasil bahwa sistem yang diusulkan memiliki keunggulan dalam waktu kalkulasi *node* sebesar 10%.

Sisa bagian dari makalah ini diatur sebagai berikut. Bab II membahas tentang Konsep dan Karakterisasi Lokalisasi. Bab III mendiskusikan tentang desain sistem yang berisi tentang

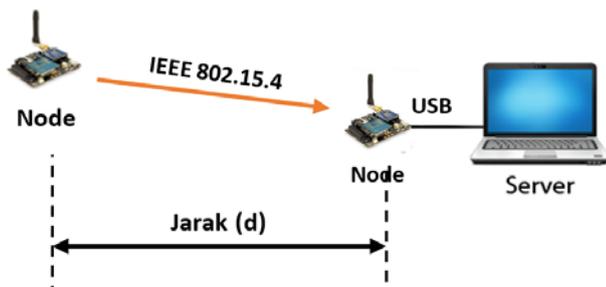
perangkat *node* serta mekanisme lokalisasi terdistribusi. Bab IV berisi hasil dan pembahasan, sedangkan kesimpulan dari makalah ada pada bab V.

II. KONSEP DAN KARAKTERISASI LOKALISASI

Skema lokalisasi pada sebuah jaringan nirkabel memiliki tiga tahapan, yaitu mendapatkan data pengukuran antar *node*, mengonversi data pengukuran yang diperoleh menjadi parameter jarak, dan melakukan proses estimasi posisi. Dari ketiga tahap tersebut, akan digunakan metode *range-based* untuk memperoleh data kuat sinyal terima dari *node* lain, di sini digunakan teknik RSSI, mengonversi nilai kuat sinyal menjadi jarak menggunakan pemodelan *log-normal shadowing*, dan melakukan penghitungan estimasi posisi *node* dengan metode trilaterasi berdasarkan jarak yang telah dihitung sebelumnya. Pada bagian ini dijelaskan tahap demi tahap proses lokalisasi terdistribusi yang diusulkan.

A. Mendapatkan Data Pengukuran

Data pengukuran adalah parameter yang akan digunakan untuk mengestimasi jarak antar *node*. Data pengukuran dapat terdiri atas bermacam-macam jenis, seperti menggunakan kuat sinyal yang diterima dari *node* lain (RSSI), selisih waktu kedatangan sinyal (*Time Difference of Arrival/TDOA*), atau mengukur sudut kedatangan sinyal pada *receiver* (*Angle of Arrival/AOA*). Teknik RSSI mengukur kuat sinyal terima dari perangkat penerima yang dilengkapi dengan salah satu dari modul-modul komunikasi nirkabel, seperti *Access Point*, Zigbee, Bluetooth, dan RF. Teknik TDOA digunakan untuk perangkat yang dilengkapi dengan modul ultrasonik dan teknik AOA diaplikasikan pada perangkat yang dilengkapi dengan antena larik. Besaran data yang diukur pada teknik RSSI menggunakan satuan *decibel*, dan besaran ini berbanding terbalik dengan jarak antara perangkat pengirim kuat sinyal dan penerimanya. Semakin jauh jaraknya, semakin kecil nilai kuat sinyal yang diterima. *Setup* pengambilan data kuat sinyal oleh *node* penerima ditunjukkan pada Gbr. 1.



Gbr. 1 *Setup* pengambilan data kuat sinyal.

B. Mengolah Data Hasil Pengukuran

Penggunaan RSSI adalah salah satu pendekatan yang paling sering dijumpai untuk tujuan lokalisasi, karena hampir setiap *node* yang ada di pasaran memiliki kemampuan untuk menganalisis kuat sinyal yang diterima. Model propagasi radio *path loss log-distance* menganggap daya yang diterima (P_{RX}) sebagai fungsi dari jarak pemancar ke penerima dengan kenaikan beberapa pangkat. Model ini adalah model propagasi

deterministik dan hanya memberikan nilai rata-rata, dengan nilai RSSI adalah sebagai berikut [7], [8].

$$RSSI = 10 \times \log \left[\frac{P_{RX}}{P_{ref}} \right] \tag{1}$$

dengan

- RSSI = Perbandingan kuat sinyal yang diterima terhadap kuat sinyal referensi (dB).
- P_{RX} = Daya yang diterima pada *receiver* (watt)
- P_{ref} = Daya yang diterima pada jarak referensi d_0 (watt)

dengan kuat sinyal yang diterima, P_{RX} diubah menjadi bentuk RSSI yang didefinisikan sebagai rasio daya yang diterima terhadap daya referensi, P_{ref} . Sedangkan daya sinyal yang diterima dari titik kirim yang diasumsikan berada di tengah-tengah bidang bola pada sebuah titik tertentu di permukaan bola berjarak d dari titik kirim, P_{RX} , dinyatakan sebagai (2) [1].

$$P_{RX} = P_{TX} \times G_{TX} \times G_{RX} \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^n \tag{2}$$

dengan

- P_{RX} = Daya yang diterima pada *receiver* (watt)
- P_{TX} = Daya yang dikirim oleh *transmitter* (watt)
- G_{TX} = *Gain transmitter* (watt)
- G_{RX} = *Gain receiver* (watt)
- λ = panjang gelombang (meter)
- d = Jarak *transmitter* dan *receiver* (meter)
- n = *Koefisien path loss*

Persamaan *log-normal shadowing* merupakan pengembangan dari model propagasi radio *path-loss log distance* untuk kondisi lingkungan pengamatan yang antara *node* pemancar dan penerima tidak berkomunikasi secara *Line of Sight*. Kondisi ini disebabkan oleh adanya beberapa *obstacle* maupun *fading* yang memengaruhi nilai kuat sinyal. Persamaan *log-normal shadowing* menggunakan asumsi-asumsi bahwa daya kirim sinyal yang berasal dari pemancar ke titik referensi penerima berjarak d_0 dan ke titik penerima tertentu berjarak d dari pemancar memiliki nilai yang sama, dan ada penambahan derau propagasi sinyal X_σ sebagai variabel terdistribusi random Gaussian dengan *zero-mean* dan *standard deviasi* σ (dalam dB). Persamaan tersebut dinyatakan sebagai (3).

$$-P_{RX} = -P_{RX0} + 10n \log \frac{d}{d_0} + X_\sigma \tag{3}$$

Dari (3) akan diperoleh koefisien *pathloss* dari bidang pengamatan sebagai (4).

$$n = \frac{P_{RX0} - P_{RX}}{10 \log d / d_0} - X_\sigma \tag{4}$$

dengan P_{RX0} adalah daya terima pada jarak referensi 1 meter (dB), dan d_0 adalah jarak referensi (1 meter). Tabel I

menunjukkan varian dari koefisien *path loss* (n) di beberapa jenis lingkungan pengamatan [2].

Setelah nilai koefisien *path loss*, n dari bidang pengamatan diperoleh berdasarkan kuat sinyal yang diterima oleh *node*, maka dengan menggunakan nilai n tersebut dapat dicari estimasi jarak antar *node* tersebut dengan *node* pemancar. Perlu diketahui, nilai n hanya berlaku di daerah pengamatan tempat kuat sinyal terima diukur saat itu. Apabila pengukuran kuat sinyal dijalankan di tempat lain yang tidak sejenis, maka perlu dicari nilai koefisien *path loss* yang baru. Estimasi jarak antar *node* dinyatakan sebagai (5).

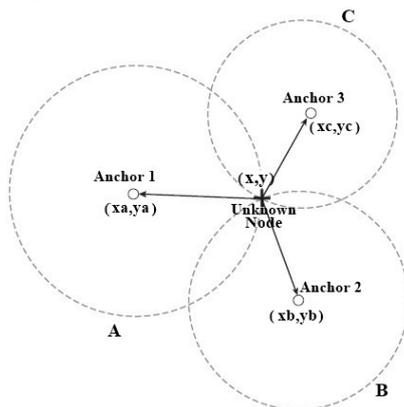
$$d = d_0 10^{\frac{P_{RX0} - P_{RX}}{10n}} \quad (5)$$

TABEL I
VARIAN KOEFISIEN *PATH LOSS*

Lingkungan	Koefisien <i>Path Loss</i> (n)
Free space	2
Wilayah Urban radio seluler	2,7 sampai 3,5
Urban radio seluler dengan shadowing	3 sampai 5
Dalam Gedung <i>Line-of-sight</i>	1,6 sampai 1,8
Dalam Gedung dengan Penghalang	4 sampai 6
Dalam pabrik dengan Penghalang	2 sampai 3

C. Proses Estimasi Posisi

Proses estimasi posisi dikerjakan di dalam *node* penerima setelah menerima kuat sinyal dari beberapa *node* referensi. Pada metode trilaterasi dibutuhkan tiga *node* referensi untuk mendapatkan estimasi posisi sebuah titik yang berada di tengah-tengah perpotongan dari tiga lingkaran dengan titik pusat (x_i, y_i) dan memiliki jarak d_i terhadap titik potong tadi, dengan $\{i=1,2,3\}$. Pada sistem yang diusulkan, nilai d_i diperoleh dari konversi data pengukuran terhadap jarak sebagaimana dinyatakan pada (5). Gbr. 2 menunjukkan ilustrasi metode trilaterasi dari tiga titik terhadap sebuah titik potong tiga lingkaran.



Gbr. 2 Ilustrasi metode trilaterasi.

Pada Gbr. 2, titik A, B, dan C masing-masing sebagai $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)\}$ merupakan *node-node* referensi dari *node* yang mengestimasi posisinya. Pada pembahasan

selanjutnya, *node* referensi dinamai *anchor node* dan *node* yang mengestimasi posisinya dinamai *unknown node*. Jika posisi dari *unknown node* yang akan dicari dinyatakan sebagai (x, y) maka berdasarkan persamaan Phytagoras untuk mencari jarak dua titik sebagaimana diberikan pada (6) dapat diturunkan (7) untuk memperoleh estimasi posisi dari titik potong tersebut.

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = d_i^2 \quad (6)$$

Untuk masing-masing *anchor node* diturunkan satu persamaan dari (6), kemudian antar persamaan tersebut saling disubstitusikan sehingga diperoleh persamaan akhir dalam bentuk matriks.

$$2 \begin{bmatrix} (x_1 - x_2)(y_1 - y_2) \\ (x_3 - x_2)(y_3 - y_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) + (d_2^2 - d_1^2) \\ (x_3^2 - x_2^2) + (y_3^2 - y_2^2) + (d_2^2 - d_3^2) \end{bmatrix} \quad (7)$$

Jika (7) dibuat dalam bentuk matriks linier $\mathbf{A}\mathbf{v}=\mathbf{b}$, dengan koefisien masing-masing memiliki persamaan

$$\mathbf{A} = 2 \begin{bmatrix} (x_1 - x_2) & (y_1 - y_2) \\ (x_3 - x_2) & (y_3 - y_2) \end{bmatrix} \text{ adalah matrix } 2 \times 2$$

$$\mathbf{v} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \text{ adalah matrix } 2 \times 1$$

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) + (d_2^2 - d_1^2) \\ (x_3^2 - x_2^2) + (y_3^2 - y_2^2) + (d_2^2 - d_3^2) \end{bmatrix} \text{ adalah matrix } 2 \times 1$$

maka koordinat estimasi posisi untuk *unknown node*, (x, y) dapat dicari dengan mendapatkan nilai matriks \mathbf{v} , yaitu

$$\mathbf{v} = \mathbf{inv}(\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{A}) \mathbf{x} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{b} \quad (8)$$

Hasil estimasi posisi yang diperoleh dengan (8) dibandingkan dengan koordinat sesungguhnya dari *unknown node* untuk mendapatkan kesalahan estimasi posisi rata-rata pada sistem. Jika nilai estimasi posisi dari *unknown node* dinyatakan sebagai (\hat{x}, \hat{y}) dan nilai koordinat sesungguhnya *unknown node* sebagai (x_r, y_r) maka kesalahan estimasi posisi rata-rata dari *unknown node* tersebut dinyatakan sebagai *mean square error* (MSE), diberikan pada (9).

$$MSE = \sqrt{(x_r - \hat{x})^2 + (y_r - \hat{y})^2} \quad (9)$$

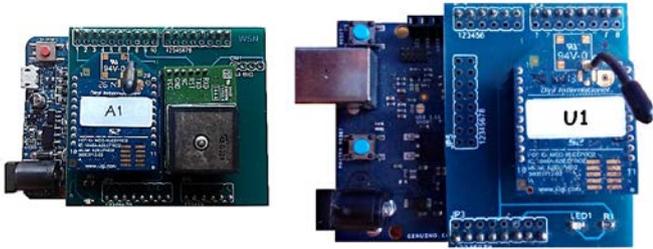
III. DESAIN SISTEM

Pada bagian desain sistem dibahas mengenai desain perangkat *node*, sistem lokalisasi terdistribusi, dan komunikasi kooperatif antar *node* pada sistem yang diusulkan.

A. Perangkat Node

Perangkat *node* terdiri atas *anchor node* dan *unknown node*. *Anchor node* didesain sebagai *node* yang berfungsi mengirimkan data koordinat referensi menuju *unknown node* secara nirkabel. *Unknown node* mengirim *data request* ke masing-masing *anchor node* untuk kemudian mendapatkan

balasan pesan berisi ID dan koordinat masing-masing *anchor node* dan nilai RSSI. Perangkat *anchor node* terdiri atas mikrokontroler Arduino DT AVR UNO R3, XBee Pro S2, dan GPS (modul untuk mengambil koordinat referensi *anchor node*), sedangkan untuk perangkat *unknown node* meliputi mikrokontroler Genuino 101 dan XBee Pro S2. Gbr. 3 menunjukkan *anchor node* dan *unknown node*, sedangkan Gbr. 4 menunjukkan *data frame* dari *anchor node* ke *unknown node* dan dari *unknown node* ke server [9], [10].



Gbr. 3 *Anchor node* dan *unknown node*.

1	2	3	4	5	6	7	6	7
Header	@	ID Anchor	@	Koord X	@	Koord Y	@	Tail

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Header	@	ID Unk	@	Koor X	@	Koor Y	@	ID Anc1	@	Koor X

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
@	Koor Y	@	ID Anc2	@	Koor X	@	Koor Y	@	ID Anc3

22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	32
@	Koor X	@	Koor Y	@	ID Anc4	@	Koor X	@	Koor Y	@	Tail

Gbr. 4 Susunan *data frame* *anchor node* dan *unknown node*

B. Sistem Lokalisasi Terdistribusi

Sistem lokalisasi terdistribusi dikerjakan pada *unknown node*, setelah menjalankan fungsi **SendRequest()** yaitu *send data request* ke semua *anchor node* dalam satu PAN ID yang sama. Selanjutnya, jika *anchor node* menerima *data request* yang sesuai dengan inisialisasinya, maka *anchor node* mengirimkan paket data yang berisi informasi posisinya ke *unknown node* secara *unicast* dengan cara menyesuaikan alamat DL *anchor node* dan SL *unknown node*. Pada sisi *unknown node*, akan terjadi proses penerimaan RSSI dan konversi data sinyal yang diterima menjadi jarak sesuai (5) yang dilakukan pada fungsi **PerhitunganRSSI()** dan **PembacaanRefrensiRSSI()**. Selanjutnya, dipilih tiga *anchor node* berdasarkan jarak terdekat. Kemudian dilakukan komputasi posisi *unknown node* menggunakan metode trilaterasi sesuai (8). Dari hasil komputasi tersebut, kemudian dibentuk satu paket data pada fungsi **AddPacketInfo()** dan dikirimkan ke *server* dengan susunan *data frame* seperti pada Gbr. 4. Algoritme selengkapnya untuk sistem lokalisasi terdistribusi ini ditunjukkan pada Gbr. 5.

C. Sistem Komunikasi Kooperatif antar Node

Data frame yang dikirim oleh sebuah *anchor node* ke *unknown node* maupun secara *multicast* tidak terinterferensi

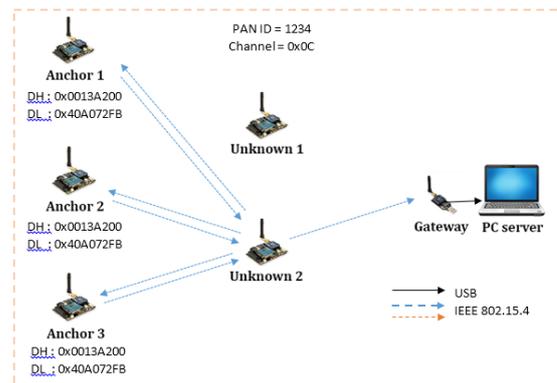
dengan data dari *anchor node* yang lain, sebab pengiriman data *multicast* dilakukan secara bergantian (tidak pada waktu yang sama). *Setting Destination Low (DL), Destination High (DH), Source Low (SL), dan Source High (SH)* pada modul komunikasi XBee Pro S2 yang digunakan pada masing-masing *node* merupakan kunci agar komunikasi kooperatif antar *node* tetap terjaga. Untuk pengaturan mode *unicast*, di antara *unknown node* dan *server* pada *setting DL* diatur menjadi sama dengan alamat SL, dan pada *setting DH* diatur menjadi sama dengan alamat SH. Selain itu, tiap *node* juga memiliki inialisasi SL dan SH yang berbeda-beda. Gbr. 6 merupakan konfigurasi perangkat *node* dan pengalamatan masing-masing *node* pada sistem yang diusulkan [10].

Algoritma Lokalisasi Terdistribusi

```

1: SendRequest()
2: p=PerhitunganRSSI()
3: z=PembacaanRefrensiRSSI()
4: epz=EvaluasiError(p,z)
5: while inBoundary do
6: SelectDistanceMeasurement()
7:     if numberOfReference >=3, then
8:     CalculatePosition()
9:     end if
10: AddPacketInfo()
11: SetDLGateway()
12: SendUnicast()
13: end while
    
```

Gbr. 5 Algoritme lokalisasi terdistribusi pada *anchor node*.



Gbr. 6 Contoh pengalamatan pada *unknown node*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dijelaskan ilustrasi pengujian sistem, pengambilan data, dan analisis hasil pengujian berdasarkan data yang diperoleh.

A. Ilustrasi Pengujian Sistem

Sistem terdiri atas empat *anchor node*, tiga *unknown node*, dan sebuah *server* dengan parameter-parameter pengujian seperti ditunjukkan pada Tabel II. Pengujian dilakukan di luasan luar ruangan taman Alumni ITS, seperti ditunjukkan pada Gbr. 7, dengan metode pengambilan kuat sinyal terima untuk memperoleh nilai koefisien *path loss* lingkungan sekitar. Selanjutnya, dengan nilai koefisien *pathloss* yang diperoleh, diuji estimasi jarak antar *node* dan estimasi posisi *unknown*

node dengan bidang observasi yang sama, dan posisi *unknown node* berpindah-pindah.

TABEL II
PARAMETER PENGUJIAN

No.	Parameter	Keterangan
1	Anchor Node	Mikrokontroler DT AVR Uno R3, 14 MHz, SRAM 8KB, EEPROM 4KB, Flash 128KB, Clock RTC 32KHz, SkyNav SKM53 GPS, X-Bee Pro S2 2,4GHz
2	Unknown Node	Mikrokontroler Genuino 101, 14 MHz, SRAM 8KB, EEPROM 4KB, Flash 128KB, Clock RTC 32KHz, X-Bee Pro S2 2,4GHz
3	PC Server	PC Desktop Intel Core i3 Proc 2,2GHz, RAM 2GB, Windows 7 Prof 32-bit O/S, Java SE runtime environment Jre-1.8.0_20, MySQL server 5.5.27
4	Luas Bidang Observasi	120x42 m ²
5	Jangkauan Komunikasi	Max 120 meter (LOS)
6	Baudrate	9.600 bps
7	Ketinggian Modul	45 cm dari permukaan tanah
8	Daya pancar Xbee Pro S2	+17 dBm

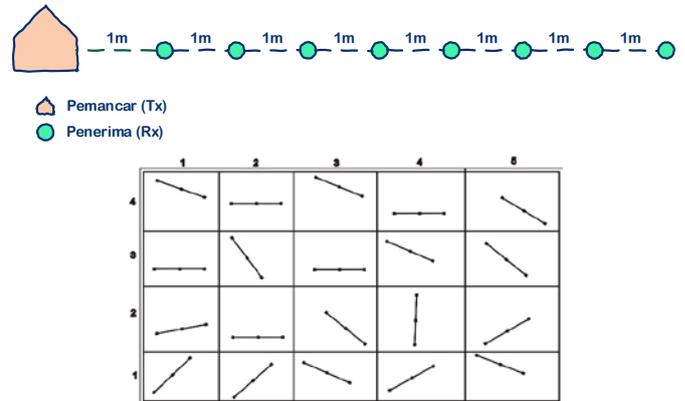


Gbr. 7 Lapangan Alumni ITS.

B. Pengambilan Data untuk Koefisien Path Loss

Pengambilan data kuat sinyal dilakukan dalam dua cara. Cara pertama adalah meletakkan sepasang *node* pemancar dan penerima. *Node* penerima diletakkan pada jarak tertentu dari *node* pemancar. Selanjutnya pada jarak tersebut diukur kuat sinyal (RSSI) yang diterima selama beberapa kali. Lalu, *node* penerima dipindah pada jarak yang lebih jauh terhadap *node* pemancar, sementara *node* pemancar tetap pada posisi yang sama. Pengukuran RSSI dilakukan kembali. Demikian berulang-ulang dilakukan sampai *node* penerima tidak dapat menerima informasi kuat sinyal dari *node* pemancar. Cara kedua adalah dengan mengaplikasikan sepasang *node* pemancar-penerima dengan jarak 1 meter antar keduanya, dan diletakkan di sembarang lokasi pada bidang observasi. Pengukuran RSSI dilakukan pada *node* penerima. Kemudian, sepasang *node* tersebut dipindahkan ke lokasi lain, dengan jarak antar *node* tetap 1 meter. Lalu, kuat sinyal terima diukur kembali. Demikian berulang-ulang dilakukan di beberapa lokasi sembarang pada bidang observasi. Cara pertama

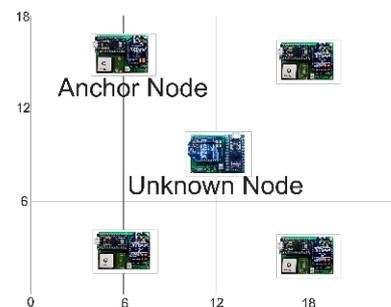
digunakan untuk mendapatkan pemodelan hubungan antara kuat sinyal terima terhadap jarak antar *node*, sedangkan cara kedua digunakan untuk mendapatkan *variable random Gaussian*, X_{σ} untuk data kuat sinyal di daerah observasi. Gbr. 8 menunjukkan ilustrasi dua cara pengambilan data kuat sinyal.



Gbr. 8 Dua cara pengambilan data kuat sinyal di bidang observasi.

C. Pengambilan Data Posisi Unknown

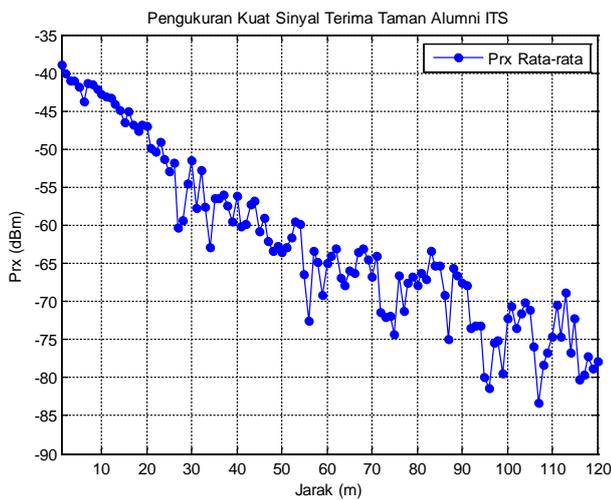
Pada proses pengambilan data posisi *unknown node*, langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan *geo reference* pada GPS. GPS hanya terletak pada *anchor node*, sedangkan *unknown node* tidak dilengkapi dengan GPS. Data posisi *anchor node* diperoleh dari konversi data GPS menjadi Kartesian. Koordinat *anchor node* digunakan sebagai referensi *unknown node* untuk melakukan proses trilaterasi. Setelah mendapatkan estimasi posisi *unknown node*, posisi tersebut dibandingkan dengan hasil konversi data GPS Garmin. Hasil akhir yang diperoleh adalah MSE posisi *unknown node* dengan metode trilaterasi dengan konversi data GPS Garmin. Gbr. 9 menunjukkan ilustrasi pengambilan data posisi *unknown node*.



Gbr. 9 Ilustrasi pengambilan data posisi *unknown node*.

D. Hasil Pengujian

1) *Penentuan Koefisien Path Loss*: Dari pengambilan data kuat sinyal menggunakan cara 1 didapatkan model hubungan antara jarak antar *node* dengan kuat sinyal terima seperti ditunjukkan pada Gbr. 10. Pngukuran dilakukan mulai dari 1 hingga 120 meter. Dari hasil pengukuran terlihat bahwa semakin jauh jarak pengukuran, semakin lemah kuat sinyal yang diterima.



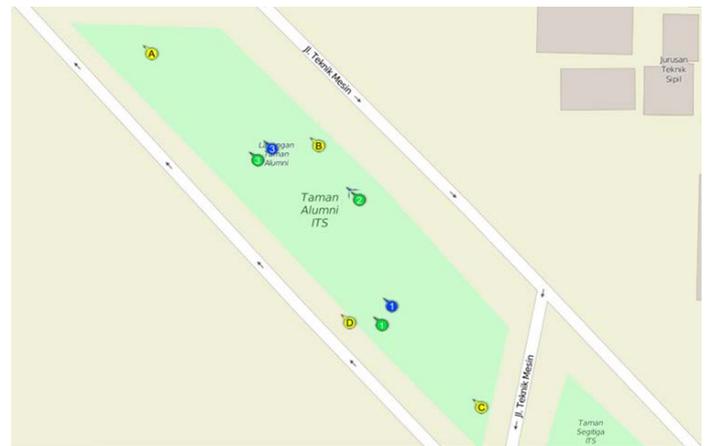
Gbr. 10 Grafik rata-rata kuat sinyal terima.

TABEL III
SCHEDULING TIGA UNKNOWN NODE

	Anchor 1	Anchor 2	Anchor 3	Anchor 4
Unknown Node 1	1	2	3	4
Unknown Node 2	4	1	2	3
Unknown Node 3	3	4	1	2

Berdasarkan (5), perhitungan koefisien *path loss* memperoleh hasil nilai n sebesar 2,5443. Nilai tersebut melebihi nilai koefisien *path loss* di area *free space* pada Tabel I. Seharusnya nilai eksponen *path loss* untuk area *free space* mendekati atau sama dengan 2 atau $error \leq 10\%$, sedangkan hasil pengukuran menunjukkan *error* 25%. Hal ini disebabkan oleh beberapa factor, di antaranya di daerah taman alumni ITS banyak pohon yang lebat, sehingga transmisi sinyal mengalami *scattering*. *Scattering* terjadi jika media (udara) yang dilalui sinyal berisi sejumlah besar objek yang secara fisik lebih kecil dari panjang gelombang sinyal, seperti daun-daun, awan, dan sebagainya, sehingga hasil pengukuran bersifat fluktuatif pada jarak-jarak tertentu.

2) *Penentuan Estimasi Posisi Node*: Estimasi posisi *unknown node* merupakan tujuan dari proses lokalisasi pada JSN. Proses ini bertujuan untuk mengetahui koordinat posisi *unknown node* yang disebarkan secara acak pada daerah observasi pengujian. Empat *anchor node* akan mencakup tiga *unknown node*, sehingga menghitung estimasi posisi sebanyak tiga *unknown node* yang dilakukan secara bersama-sama. Pada proses *unknown node* mengirim pesan *request* ke *anchor node*, terdapat tahap *scheduling*. Tabel III menunjukkan proses *scheduling unknown node* dalam mengirimkan pesan *request* ke *anchor node*. Saat *session 1*, *unknown node 1* melakukan *request* ke *anchor 1*, *unknown node 2* melakukan *request* ke *anchor 2*, dan *unknown node 3* melakukan *request* ke *anchor 3*. Kemudian, saat *session 2*, *unknown node 1* melakukan *request* ke *anchor 2*, *unknown node 2* melakukan *request* ke *anchor 3*, dan *unknown node 3* melakukan *request* ke *anchor 4*. Begitu juga untuk *session 3* dan 4. Dengan adanya *scheduling* tersebut, proses transmisi data dapat berjalan tanpa terjadi antrian.



Gbr. 11 Konfigurasi *anchor* dan *unknown node*.

TABEL IV
ESTIMASI POSISI UNKNOWN NODE 1

No	d1 (m)	d2 (m)	d3 (m)	d4 (m)	X (m)	Y (m)	MSE (m)
					68,16	-54,93	
1	153,6	101,9	27,38	43,1	73,21	-99,31	44,665
2	104,4	43,53	59,17	27,9	69,84	-36,90	18,105
3	120,2	66,24	41,97	10,2	63,95	-64,79	10,722
4	116,6	56,71	45,89	23,9	75,73	-48,83	9,7231
5	123,7	66,85	37,15	17,7	72,36	-62,24	8,4404
6	152,3	101,3	29,76	42,2	70,68	-99,41	44,556
7	127,0	70,25	33,87	19,9	74,05	-65,21	11,853
8	118,5	63,34	42,82	10,9	65,63	-61,18	6,7466
9	176,0	129,0	50,50	69,2	67,32	-128,4	73,546
10	114,8	55,71	46,89	20,6	72,36	-49,73	6,6860
Rata-Rata MSE							23,504

TABEL V
ESTIMASI POSISI UNKNOWN NODE 2

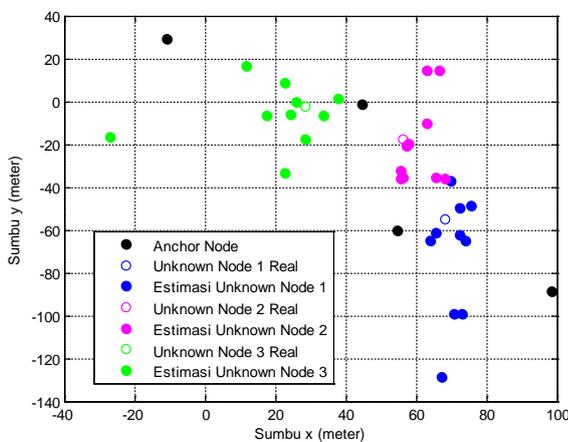
No	d1 (m)	d2 (m)	d3 (m)	d4 (m)	X (m)	Y (m)	MSE (m)
					68,16	-54,93	
1	75,50	24,4	109,	75,3	63,113	14,528	33,088
2	84,00	20,5	85,9	50,6	63,113	-10,39	10,060
3	78,82	27,0	108	75,7	66,479	14,47	33,883
4	93,47	36,1	67,7	24,8	56,381	-35,57	17,709
5	102,4	41,65	60,97	27,9	68,162	-35,78	21,446
6	84,53	23,05	79,50	39,68	57,222	-20,73	2,9842
7	90,53	32,6	70,96	28,16	55,539	-32,18	14,340
8	90,53	32,6	70,96	28,16	58,064	-19,51	2,3524
9	93,01	36,0	68,13	24,5	55,539	-35,78	17,941
10	100,2	40,0	62,53	27,1	65,6378	-35,47	19,888
Rata-Rata MSE							17,369

Gbr. 11 menunjukkan konfigurasi *anchor node* pada pengujian *tracking* tiga *unknown node*. Hasil estimasi posisi *unknown node 1* hingga 3 ditunjukkan pada Tabel IV sampai Tabel VI. Pada pengujian *tracking* tiga *unknown node* secara bersama, nilai estimasi *error* hampir sama dengan setiap *unknown node* yang lain. Dalam sepuluh kali pengujian, rata-rata MSE untuk *unknown node 1* sebesar 23,504 meter, *unknown node 2* sebesar 17,369 meter, dan *unknown node 3* sebesar 17,95 meter. Hasil tersebut menunjukkan bahwa

empat *anchor node* dapat meliputi posisi tiga *unknown node* secara bersama-sama. Pada sistem lokalisasi, secara umum dikatakan bahwa estimasi posisi sebuah *node* dikatakan akurat jika nilai kesalahan estimasinya kurang dari 10% dari luas total area observasi. Dari luas area yang diobservasi pada penelitian ini, yaitu 120x42 m², nilai rata-rata MSE berada di antara 17,369 meter hingga 23,504 meter. Nilai tersebut masih berada di bawah 10% dari luas total area observasi tersebut, sehingga dapat dikatakan bahwa sistem lokalisasi terdistribusi yang dihasilkan masih dapat dianggap akurat dalam menentukan estimasi posisi *node*.

TABEL VI
ESTIMASI POSISI UNKNOWN NODE 3

No	d1 (m)	d2 (m)	d3 (m)	d4 (m)	X (m)		Y (m)	MSE (m)
					68,16	-54,93		
1	61,41	22,81	99,59	49,97	28,61	-17,70	15,27	
2	45,90	27,42	115,1	65,23	17,67	-6,62	11,71	
3	25,91	37,54	136,5	88,28	11,78	16,80	25,56	
4	48,67	73,14	144,58	92,55	-26,9	-16,7	57,34	
5	71,18	38,78	93,74	41,77	22,72	-33,4	31,57	
6	57,25	12,11	104,5	57,68	33,66	-6,62	6,560	
7	56,2	7,236	108,4	63,81	37,86	1,219	9,953	
8	50,03	20,74	110,9	62,08	24,40	-6,15	5,610	
9	39,45	24,11	123,3	76,08	22,72	8,69	12,59	
10	47,36	18,55	114,2	66,53	26,08	-0,26	3,331	
Rata-Rata MSE								17,95



Gbr. 12 Hasil plotting estimasi *unknown node*

Gbr. 12 menunjukkan penampil pada sisi monitor untuk estimasi posisi *unknown node* 1, *unknown node* 2, dan *unknown node* 3. Dari Gbr. 12 tersebut terlihat bahwa perbedaan mendasar antara *tracking* satu *node* dengan *tracking* tiga *node* adalah *scheduling request* ke *anchor node*.

Jika terdapat peristiwa antrian data, maka estimasi posisi *node* akan membutuhkan waktu yang cukup lama.

V. KESIMPULAN

Pada makalah ini diusulkan mekanisme lokalisasi posisi secara terdistribusi pada jaringan nirkabel berdasarkan kuat sinyal yang diterima dari *node* lain serta dapat mengestimasi posisi sendiri dan melakukan komunikasi secara kooperatif dengan *server* dan *node* lain. Hasil pengujian estimasi posisi menunjukkan bahwa *tracking* tiga *unknown node* secara bersama menghasilkan nilai estimasi *error* yang hampir sama untuk setiap *unknown node*, dengan rata-rata MSE untuk *unknown node* 1 sebesar 23,504 meter, *unknown node* 2 sebesar 17,369 meter, dan *unknown node* 3 sebesar 17,95 meter. Hasil tersebut menunjukkan bahwa empat *anchor node* dapat meliputi posisi tiga *unknown node* secara bersama-sama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi Tahun 2017.

REFERENSI

- [1] Zawiyah S., Widyawan, dan Sujoko S., "Simulasi Deployment Jaringan Sensor Nirkabel Berdasarkan Algoritma Particle Swarm Optimization", *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, Vol. 1, No. 3, November 2012.
- [2] Jeril Kuriakose, Sandeep Joshi and V.I. George, "Localization in Wireless Sensor Networks: A Survey", *CSIR Sponsored X Control Instrumentation System Conference – CISCON*, pp. 73-75, 2013.
- [3] Kaushik Suman and Anil Dudy, "Evaluation of Three Indoor Mobile Model in Term of Energy Loss and BER Using Different Constraints", *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, Vol. 5, No. 5, Mei 2015.
- [4] Prima K, Wirawan, and Gamantyo Hendratoro, "DOLLY: An Experimental Evaluation of Distributed Node Positioning Framework in Wireless Sensor Networks", *IEEE Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP'14)*, Singapura, 2014.
- [5] S. Singh, Ravi Shakya, Yaduvir Singh, "Localization Techniques in Wireless Sensor Networks", *International Journal of Computer Science and Information Technologies (IJSIT)*, Vol. 6 (1), 2015, 844-850.
- [6] Nabil Ali Alrajeh, Maryam Bashir, and Bilal Shams, "Localization Techniques in Wireless Sensor Networks", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Volume 2013 (2013).
- [7] Okumbor N. Anthony and Raphael, "Characterization of Signal Attenuation using Pathloss Exponent in South-South Nigeria", *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS)*, Volume 3, Issue 3, May – June 2014
- [8] Nebe S.U., "Pathloss Prediction Model of a Wireless Sensor Network in an Indoor Environment", *IJAREEIE*, September 2014.
- [9] Adam S.P, Prima K., Amang S., "Aplikasi Indoor Secured-Localization System Menggunakan Jaringan Sensor Nirkabel untuk Koordinasi Pasukan PMK pada Kondisi Darurat Kebakaran di dalam Gedung", *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI)*, Yogyakarta, 2016, pp.C-22 – C-30
- [10] Prima K, Amang S, M. Syafrudin, Bimantara K.S, "SCLoc: Secure Localization Platform for Indoor Wireless Sensor Network", *IEEE Industrial Electronic Symposium (IES)*, Bali, 2016, pp. 424-429