



**SIDANG TERBUKA PROMOSI DOKTOR**

**SKEMA LOKALISASI HYBRID DENGAN PLATFORM DOLLY  
UNTUK ESTIMASI POSISI NODE DI JARINGAN SENSOR  
NIRKABEL TERDISTRIBUSI**

Diangkat dari Disertasi berjudul:

Pengembangan Algoritma-Algoritma Optimisasi Untuk  
Peningkatan Akurasi Penentuan Posisi Node Sensor Pada  
Jaringan Sensor Nirkabel Terdistribusi

**PRIMA KRISTALINA**  
NRP. 2209 301 009

**DOSEN PEMBIMBING**  
Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., PhD.  
Dr. Ir. Wirawan, DEA

**PROGRAM DOKTOR**  
**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**2014**

## ABSTRAK

Perkembangan teknologi perangkat elektronik berskala kecil, komunikasi nirkabel dan sensor berbiaya rendah menjadikan jaringan sensor nirkabel (JSN) sebagai paradigma baru dalam aplikasi jaringan berbasis komputing. Node-node di jaringan sensor nirkabel terdistribusi secara spasial untuk melakukan penginderaan dan pengawasan terhadap kondisi dan fenomena fisik. Posisi node sensor erat kaitannya dengan fenomena yang sedang diindera dimana data-data yang dihasilkan dari proses penginderaan sensor menjadi tidak bermakna apabila lokasi dari fenomena yang sedang diamati tidak diketahui. Akurasi menjadi bagian penting dalam proses estimasi posisi sebuah node di JSN.

Tujuan dari rangkuman disertasi ini adalah untuk memperkenalkan algoritma *Hybrid Localization* (H-Loc) dan implementasinya pada platform DOLLY. Algoritma ini mengaplikasikan model seleksi penentuan jarak secara *hybrid*, yaitu skema penentuan jarak dengan RSS dan DV Hop untuk mendapatkan estimasi posisi node-node sensor yang memiliki akurasi tinggi dan *robust* pada sembarang topologi sebaran. Platform DOLLY merupakan prototype node sensor yang dibuat dengan komponen lokal Indonesia. Dengan platform tersebut, node-node sensor saling berkomunikasi secara nirkabel menggunakan modul zigbee.

Dari hasil simulasi dapat ditunjukkan bahwa algoritma H-Loc mampu memperbaiki kinerja penentuan jarak menggunakan RSS sebesar 13,67% dan menggunakan DV-Hop sebesar 71,84%. Sedangkan estimasi posisi dengan penentuan jarak menggunakan skema H-Loc mampu menurunkan rata-rata kesalahan posisi hingga 66% dibandingkan dengan skema RSS dan 88% dibandingkan skema DV-Hop. Platform DOLLY memiliki reliabilitas dalam pengukuran jarak yang mendekati kinerja dari Imote2 dalam bidang observasi outdoor dan indoor LOS, dengan durasi eksekusi sebuah paket informasi sekitar 25 detik. Skema yang diusulkan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan mengenai optimasi penentuan posisi dari obyek stasioner maupun bergerak secara nirkabel.

## KATA PENGANTAR

Bismilahirrahmanirrahiim,

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah swt yang telah memberikan nikmat dan karuniaNya bagi kita semua. Atas perkenanNya pula, telah terselesaikan penulisan disertasi ini. Disertasi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat akademik Program Doktor di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember ITS, Surabaya.

Pada kesempatan ini kami menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah memberikan bantuan kepada penulis selama menempuh pendidikan, di antaranya:

1. Pemerintah Republik Indonesia melalui Kemendikbud yang telah memberikan dana beasiswa BPPS selama masa studi.
2. Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng, PhD selaku Promotor dan Dr. Ir. Wirawan, DEA selaku co-Promotor atas bimbingan yang tidak kenal lelah dalam mengenal dan memperdalam topik penelitian serta masukan, koreksi, dan motivasi selama masa studi.
3. Para penguji: Bapak Dr. Ir. Muhammad Taufik, Bapak Widyawan, ST, MEng, PhD dan Bapak Dr. Ir. Djoko Purwanto, MEng, atas saran dan koreksi yang bermanfaat untuk perbaikan penelitian disertasi ini dari saat ujian proposal kandidasi hingga sidang doktor.
4. Segenap pengelola Program Pascasarjana (PPs) ITS, dosen dan karyawan PPs Jurusan Teknik Elektro ITS yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama penulis menempuh pendidikan ini.
5. Rekan-rekan mahasiswa S3 Jurusan Elektro ITS, yang sedang berjuang maupun yang telah lulus: bu Endang, pak Amin, bu Eni, pak Tribudi, pak Tanwir, bu Aini, bu Endah, pak Wie, pak Momon, bu Atik, bu Irrene, bu Aryani, rekan-rekan mahasiswa S2 dan S1 di Lab. Telekomunikasi Multimedia, Dr. Oka, Dr. Kalvein, Dr. Puji, Dr. Titik, Dr. Mardlijah, Dr. Suwadi, Dr. Endroyono, Dr. Maulud, dan bu Vita di UNSW Sydney. Terima kasih atas dukungan, motivasi dan sharing asa di hari-hari indah yang telah kita lalui bersama.
6. Direktur PENS yang telah memberikan ijin menempuh pendidikan doktor, dan seluruh rekan-rekan dosen dan karyawan di PENS atas bantuan dan dukungannya selama penulis menempuh pendidikan dan menjalankan kewajiban mengajar di PENS.

7. Rekan-rekan dosen pembimbing dan Mahasiswa PENS angkatan 2008 sampai 2012 yang tergabung dalam tim DOLLY, atas jerih payahnya dalam membantu merealisasikan proyek DOLLY dan lokalisasi.
8. Kerabat dan handai taulan: Keluarga bu Sri, Mas Bambang, Mas Wik, Dedi, Argo, bu Jum dan Pak Jimi, Tita, Liehoen, Apoet atas bantuan dan motivasi untuk segera menyelesaikan pendidikan ini.
9. Bapak dan Ibuku tercinta Boedio Paromo dan Setyaningsih, atas doa tulus yang tiada putusnya untuk penulis selama menempuh pendidikan dari masa kanak-kanak hingga usia senja.
10. Keluarga tercinta: suamiku Karno dan anak-anakku Karin dan Adit, atas pengertian, doa, bantuan dan dukungannya selama penulis menyelesaikan pendidikan ini.
11. Seluruh rekan dan handai taulan yang belum disebutkan namanya.

Semoga Allah swt membalas amal kebaikan Bapak, Ibu dan rekan semuanya dan senantiasa melimpahkan rahmat dan karuniaNya kepada kita semua.

Kami menyadari bahwa penulisan disertasi ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan demi perbaikan dan penyempurnaan buku disertasi ini.

Akhirnya, semoga buku disertasi ini bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan, utamanya kepada pemerhati masalah penentuan posisi obyek dengan media nirkabel.

Surabaya, Juli 2014

Prima Kristalina

# DAFTAR ISI

Judul	
Abstrak.....	ii
Kata Pengantar.....	iii
Daftar Isi.....	v
Daftar Gambar.....	vii
Daftar Tabel.....	ix
Bab 1. Pendahuluan.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
1.3. Kontribusi dan Originalitas.....	3
Bab 2. Skema Lokalisasi di Jaringan Sensor Nirkabel.....	7
2.1. Pengantar Skema Lokalisasi Pada Jaringan Sensor Nirkabel.....	7
2.1.1. Klasifikasi Skema Lokalisasi di JSN Secara Umum....	10
2.1.2. Skema Lokalisasi Terdistribusi.....	11
2.2. Fakta Empirik Mengenai Akurasi Posisi di Jaringan Sensor...	12
2.3. Tahap Penyelesaian Skema Lokalisasi di JSN.....	12
2.3.1. Tahap Penentuan Jarak.....	13
2.3.2. Tahap Estimasi Posisi.....	14
2.3.3. Tahap Peningkatan Akurasi ( <i>Refinement</i> ).....	15
2.4. Arsitektur Node di JSN.....	16
Bab 3. Skema Lokalisasi Hybrid dan Platform DOLLY.....	17
3.1. Pendahuluan.....	17
3.2. Skema Lokalisasi Hybrid yang diusulkan.....	17

3.2.1. Formulasi Permasalahan .....	19
3.2.2. Metode Penentuan Jarak RSS dan DV-Hop.....	19
3.2.3. Algoritma H-Loc.....	24
3.3. Platform DOLLY .....	25
3.3.1. Blok Diagram Patform .....	26
3.3.2. Implementasi Platform.....	27
Bab 4. Evaluasi Kinerja Skema dan Platform yang Diusulkan.....	31
4.1. Pendahuluan .....	31
4.2. Skenario Simulasi.....	31
4.3. Evaluasi Metode Penentuan Jarak .....	33
4.3.1. Evaluasi Penentuan Jarak Berbasis RSS.....	33
4.3.2. Evaluasi Penentuan Jarak Berbasis DV-Hop .....	33
4.3.3. Evaluasi Penentuan Jarak dengan H-Loc .....	33
4.3.4. Evaluasi Estimasi Posisi dengan Persamaan Hiperbolik .....	34
4.3.5. Pengukuran Kuat Sinyal dengan Platform DOLLY .....	37
Bab 5. Penutup.....	43
5.1. Kesimpulan .....	43
5.2. Rekomendasi .....	44
Daftar Pustaka.....	45
Biodata Penulis .....	51

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ilustrasi Jaringan Sensor Nirkabel .....	2
Gambar 1.2 Posisi Skema Lokalisasi yang dibahas dan usulan lainnya .....	4
Gambar 2.1 Ilustrasi Estimasi Posisi Sebuah Obyek Terhadap Obyek-obyek di sekitarnya .....	8
Gambar 2.2 Klasifikasi Algoritma Lokalisasi di JSN Ditinjau dari berbagai Sudut Pandang.....	10
Gambar 2.3 Perpotongan Tiga Lingkaran di Satu Titik.....	15
Gambar 2.4 Arsitektur dasar sebuah node pada Jaringan Sensor Nirkabel....	16
Gambar 3.1 Mekanisme Seleksi Penentuan Jarak berbasis Lokalisasi Hybrid .....	18
Gambar 3.2 Diagram Alir Seleksi Penentuan Jarak dengan Skema Hybrid ..	20
Gambar 3.3 Jarak antara node pemancar dan penerima.....	21
Gambar 3.4 Blok Diagram Platform lokalisasi terdistribusi yang diusulkan.	27
Gambar 3.5 Bentuk fisik sebuah node sensor DOLLY.....	28
Gambar 3.6 Topologi JSN dengan platform DOLLY.....	28
Gambar 4.1 Hubungan antara pekerjaan simulasi dan eksperimen .....	32
Gambar 4.2 Perbandingan 3 jenis metode estimasi jarak terhadap jarak actual .....	34
Gambar 4.3 Sebaran Node pada bidang observasi dan hasil estimasi posisi .	35
Gambar 4.4 Grafik MSE posisi berdasarkan kenaikan rasio node referensi dan rasio jangkauan komunikasi node referensi.....	36
Gambar 4.5 Grafik MSE posisi berdasarkan perubahan luas area observasi	

algoritma H-Loc yang diusulkan.....	37
Gambar 4.6 Lokasi Pengukuran.....	38
Gambar 4.7 Skema Pengujian karakteristik lingkungan .....	39
Gambar 4.8 Karakteristik Outdoor LOS berdasarkan pengukuran dgn Dolly40	
Gambar 4.9 Karakteristik Indoor LOS berdasarkan pengukuran dengan Dolly dan Imote2.....	41
Gambar 4.10 Total waktu yang diperlukan node sensor untuk menyelesaikan proses terdistribusi.....	42

PRIMA KRISTALINA



## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kontribusi dan Originalitas dari Skema yang Diusulkan.....	5
Tabel 3.1 Spesifikasi Platform DOLLY .....	29
Tabel 4.1 Parameter Simulasi .....	32
Tabel 4.2 Parameter Pengujian .....	39
Tabel 4.3 Rangkuman Hasil Estimasi Posisi Node Sensor .....	42

PRIMA KRISTALINA

## BAB 1. PENDAHULUAN

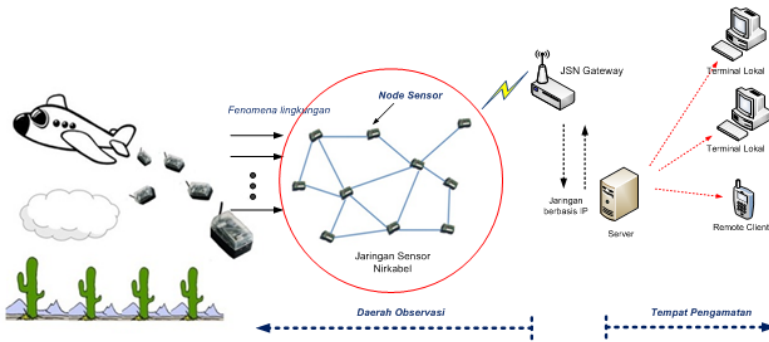
### 1.1. LATAR BELAKANG

Jaringan sensor nirkabel (JSN) adalah kumpulan dari node-node sensor yang disebar di suatu daerah observasi, membentuk jaringan kooperatif dan mengakomodasi beberapa jenis sensor dan *actuator*. Jaringan ini berfungsi memonitor dari jarak jauh sebuah fenomena yang terjadi di sebuah daerah observasi melalui kemampuan penginderaan dari sensor-sensor yang disebar di sekitarnya (Dargie et al., 2010; Stankovic, 2008; Zhong, 2010). Beberapa fenomena yang memerlukan proses penginderaan dengan JSN di antaranya adalah proses kebakaran hutan, proses luapan lumpur, kegiatan vulkanik, kinerja jembatan, kesehatan binatang liar di hutan dan sebagainya.

Perkembangan teknologi perangkat elektronik berskala kecil, komunikasi nirkabel dan sensor berbiaya rendah menjadikan jaringan sensor nirkabel (JSN) sebagai paradigma baru dalam aplikasi jaringan berbasis komputing. Sebuah jaringan sensor nirkabel tersusun dari node-node berbiaya rendah, yang memiliki kapabilitas melakukan penginderaan, pemrosesan data, berkomunikasi secara nirkabel dalam jarak pendek bahkan melakukan pengontrolan dalam sebuah sistem dengan kebutuhan daya yang rendah (Akyildiz et al., 2002; Culler et al., 2004).

Node-node di jaringan sensor nirkabel terdistribusi secara spasial untuk melakukan penginderaan dan pengawasan terhadap kondisi dan fenomena fisik. Node-node tersebut berkorelasi satu dengan yang lain, melakukan pertukaran informasi secara kooperatif untuk mendapatkan data dari fenomena fisik dan kondisi lingkungan yang diindera (Zhong, 2010). Ilustrasi sebuah JSN ditunjukkan pada gambar 1.1. Ditinjau dari mobilitas aplikasinya, node sensor bisa berada pada keadaan stasioner seperti pada aplikasi penginderaan sumber kebakaran, penentu kekuatan struktur jembatan atau penginderaan polutan udara. Node sensor bisa pula dipasangkan pada obyek bergerak, seperti pada aplikasi penginderaan pasien di rumah sakit atau perilaku binatang tertentu di sebuah hutan.

Sebuah kegiatan yang melibatkan aplikasi penginderaan memerlukan teknik penentuan posisi node, dimana kegiatan tersebut juga merupakan kegiatan untuk menentukan posisi dari fenomena yang diamati. Skema penentuan posisi sebuah node dikenal sebagai skema lokalisasi. Pada skema ini node sensor mengestimasi posisinya terhadap node-node lain yang telah diketahui posisinya, selanjutnya dinamakan node referensi. Node sensor memerlukan informasi koordinat dan jarak dari node referensi.



Gambar 1.1 Ilustrasi Jaringan Sensor Nirkabel

Salah satu metode penentuan jarak yang umum digunakan untuk mendukung skema lokalisasi ini adalah penentuan jarak berbasis kuat sinyal terima (*Received Signal Strength/RSS*) (Boukerche, 2008; Mao et al., 2007a; Xu, 2010; Zanca et al., 2008), yaitu kuat sinyal yang dikirim oleh node referensi kepada node sensor sebelum pengiriman paket informasi. Besaran kuat sinyal terima mengindikasikan jarak antar kedua node tersebut, semakin besar kuat sinyal terima maka semakin dekat jarak antar keduanya. Namun besaran ini sangat rentan terhadap kondisi lingkungan sekitarnya. Pantulan, *multipath*, *shadowing* merupakan beberapa kejadian yang akan dialami sinyal saat ditransmisikan (Mao et al., 2007a; Wang et al., 2014).

Keakuratan posisi node merupakan isu utama dalam skema lokalisasi. Semakin akurat posisi dari node yang terestimasi, semakin akurat pula posisi dari fenomena yang diamati sehingga semakin mudah pula penanganan dini terhadap fenomena tersebut. Akurasi posisi bisa dicapai dengan mempertimbangkan algoritma penentuan posisi atau metode penentuan jarak yang sesuai. Beberapa tantangan untuk mencapai akurasi optimal dari skema lokalisasi di antaranya adalah sifat lingkungan yang berbeda (misal daerah pengamatan di hutan, tanah lapang atau di dalam gedung), topologi sebaran node yang berbeda yang disebabkan kontur bidang pengamatan berbeda (daerah datar, lembah atau bukit) ataupun perbedaan posisi peletakan node referensi (De Cauwer et al., 2010). Dengan berbagai pertimbangan di atas, kami mencoba mengusulkan skema lokalisasi yang *robust* terhadap berbagai kondisi lingkungan, ringan dalam pengaksesan dan berbiaya rendah.

## 1.2. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan algoritma penentuan posisi node sensor yang memiliki akurasi posisi tinggi dengan mengoptimalkan nilai estimasi jaraknya. Algoritma ini juga bisa diimplementasikan secara terdistribusi di masing-masing node itu sendiri sehingga bisa mengurangi efek *bottle neck* pada sistem komunikasi antara node sensor dengan server.

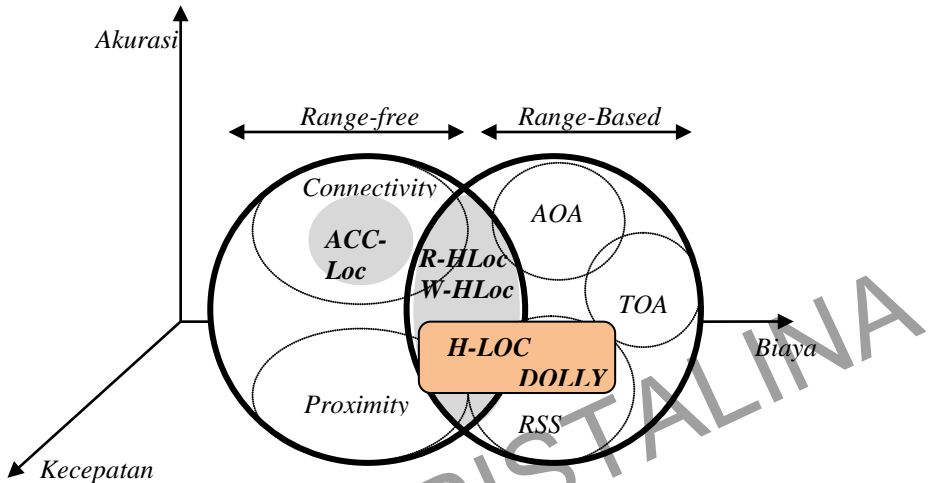
Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi posisi dari fenomena yang sedang dimonitor secara langsung, berdasarkan kapabilitas node di JSN dalam mengestimasi posisinya sendiri. Dengan demikian mengurangi beban server untuk mengestimasi posisi node-node sensor yang sedang diobservasi. Ke depan, skema lokalisasi terdistribusi ini diharapkan bisa digunakan untuk memonitor dan mengawasi obyek di dalam kerumunan atau memprediksi arah dari sekumpulan obyek bergerak hanya berdasarkan informasi tekstual yang dikirimkan secara periodik dan *real time* oleh node yang dipasangkan kepadanya.

## 1.3. KONTRIBUSI DAN ORIGINALITAS

Kontribusi penelitian pada skema lokalisasi di JSN berdasarkan akurasi, biaya dan kecepatan proses kalkulasi ditunjukkan pada gambar 1.2. Dari gambar tersebut berdasarkan model penentuan jarak, skema lokalisasi dibedakan menjadi dua bagian besar, yaitu berbasis *ranging* (*range-based*) terdiri dari TOA (*Time of Arrival*), AOA (*Angle of Arrival*) dan RSS dan tidak berbasis *ranging* (*range-free*), dengan metode *proximity* dan *connectivity*.

Pada penelitian yang kami susun dalam laporan disertasi, ada tiga usulan skema lokalisasi yang kami buat: skema *Hybrid Localization* (H-Loc) yang dioptimasi dengan skema least square dalam teknik penentuan posisi sehingga menghasilkan skema W-HLoc dan R-HLoc, skema *Adaptive Connectivity-based Centroid* (ACC) untuk optimisasi skema penentuan jarak *range-free* dan platform DOLLY sebagai bentuk protortype implementasi skema H-Loc. Dalam buku rangkuman disertasi ini kami hanya membatasi pembahasan pada skema H-Loc dan platform DOLLY.

Dalam skema H-Loc, kami melakukan kombinasi dari dua skema *ranging* dalam seleksi penentuan jarak. Skema ini mengkombinasikan metode RSS dan DV-Hop (*Distance Vector Hop*) untuk model penentuan jarak .



Gambar 1.2 Posisi Skema Lokalisasi yang dibahas dan usulan lainnya

Skema usulan pertama ini dapat dijalankan oleh masing-masing node dan dilakukan proses estimasi posisi secara terdistribusi. Proses refinement kami tambahkan di sisi server menggunakan metode *Weighted Least Square* (W-HLoc) dan *Robust Least Square* (R-HLoc) untuk mendapatkan nilai estimasi posisi yang lebih akurat.

Skema usulan H-Loc diimplementasikan dalam bentuk platform JSN terdistribusi yang dinamakan DOLLY (*Distributed Node Localization System*). Platform ini merupakan skema usulan ketiga pada disertasi ini. Platform tersebut mempunyai kapabilitas dalam pemrosesan secara terdistribusi di masing-masing node, yaitu proses pengestimasi jarak dan posisi yang dilakukan oleh node sensor sendiri, serta proses pemaketan informasi untuk dikirim ke server. Ringkasan kontribusi dan originalitas dari masing-masing skema yang diusulkan diberikan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Kontribusi dan Originalitas dari Skema yang Diusulkan

Skema Usulan	Kontribusi	Originalitas
H-Loc	Meningkatkan akurasi posisi dengan pencegahan kegagalan pembacaan kuat sinyal akibat kontur bidang observasi	Penyelesaian estimasi jarak dengan mekanisme seleksi metode penentuan jarak RSS atau DV-Hop
Platform DOLLY	Mengurangi efek <i>bottleneck</i> pada kanal komunikasi server karena menerima informasi sensing dan kuat sinyal secara bersamaan.	Skema Pemosisian secara terdistribusi dengan proses kalkulasi posisi dan pemaketan informasi di masing-masing node

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

PRIMA KRISTALINA

## BAB 2. SKEMA LOKALISASI DI JARINGAN SENSOR NIRKABEL

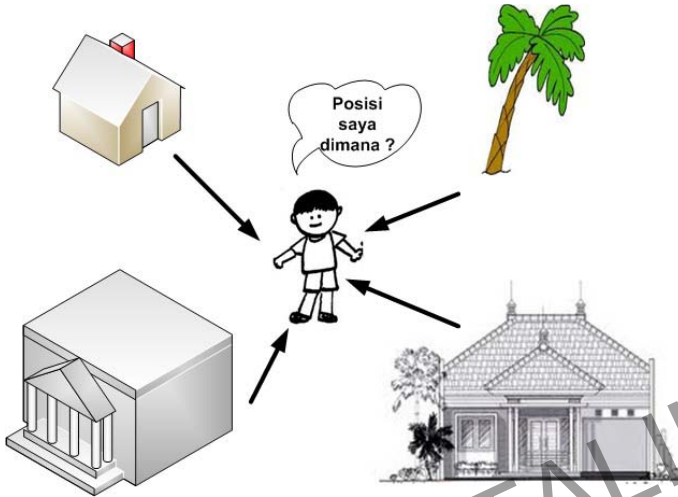
### 2.1. PENGANTAR SKEMA LOKALISASI DI JARINGAN SENSOR NIRKABEL

Teknik *location-aware* pada JSN mempunyai peran penting dalam melakukan identifikasi dan korelasi dari data-data yang dikumpulkan, memberikan alamat node, manajemen dari ruting antar node, *tracking* obyek serta mengevaluasi *coverage* dan densitas node yang disebar (Boukerche et al., 2007). Dengan keterbatasan akses yang dimilikinya (Culler et al., 2004), node-node sensor harus mampu mengirim informasi tentang fenomena yang sedang diobservasi ke node pusat secara langsung atau melalui beberapa node tetangga. Besarnya nilai fenomena yang diamati oleh sebuah node sensor menunjukkan kedekatan sumber fenomena terhadap node tersebut. Jika posisi node sensor diketahui, maka posisi dari sumber fenomena itu sendiri juga akan segera diketahui (Liu and Yang, 2010).

Ada beberapa sebutan mengenai skema penentuan posisi sebuah obyek di dalam bidang pengamatan, di antaranya adalah navigasi, *tracking* dan lokalisasi. Navigasi adalah proses untuk memonitor dan mengontrol pergerakan kendaraan atau obyek dari satu tempat ke tempat lain. Navigasi melibatkan penentuan posisi dan arah yang akan ditempuh obyek hingga sampai tujuan akhir. Sistem ini biasanya digunakan untuk merencanakan sebuah perjalanan ke tujuan tertentu. *Tracking* adalah proses yang digunakan untuk pencarian / identifikasi posisi eksak dari obyek dan jalur yang akan dilaluinya dari waktu ke waktu. GPS dengan fungsi *tracking* digunakan untuk mencari posisi dari benda yang terpasang receiver GPS tersebut. Lokalisasi adalah proses untuk menentukan posisi sebuah obyek di sebuah bidang pengamatan. Istilah ini lebih banyak digunakan dalam penentuan posisi node di sebuah jaringan nirkabel, baik stasioner maupun bergerak. Perbedaan penentuan posisi antara lokalisasi dan *tracking* adalah, bila posisi obyek ditentukan secara *tracking*, berarti sisi pemonitor-nyalah yang akan mencari posisi dari obyek yang dimonitor, sedangkan bila ditentukan secara lokalisasi, node yang bersangkutan sendiri yang melaporkan tentang posisinya kepada sisi pemonitor (Chang et al., 2010; Manley et al., 2006; Pereira, 2012).

Skema lokalisasi sebuah obyek diilustrasikan seperti pada gambar 2.1. Obyek berupa anak kecil akan mengestimasi posisi keberadaannya dengan menyatakan jaraknya dari gedung A, gedung B, gedung C dan pohon D. Obyek-obyek A, B, C dan D masing-masing telah diketahui koordinatnya,





Gambar 2.1 Ilustrasi Estimasi Posisi Sebuah Obyek Terhadap Obyek-obyek di sekitarnya

baik dalam sistim dua dimensi maupun koordinat posisi latitude dan longitude.

Konsep pemodelan sebuah jaringan sensor nirkabel dapat dijelaskan sebagai berikut. Sebuah jaringan sensor nirkabel terdiri dari  $m+n$  node pada bidang dua dimensi, dengan  $a_k \in \mathbb{R}^2, k=1, \dots, M$  adalah himpunan semua node yang diketahui posisinya, selanjutnya dinamakan node referensi, dan  $u_j \in \mathbb{R}^2, j=1, \dots, N$  adalah himpunan semua node yang dicari posisinya, selanjutnya dinamakan node sensor. Himpunan semua tetangga node yang diketahui posisinya adalah  $n_k = \{(k, j) : d_{kj} \leq r_{kj}\}, n_i = \{(i, j) : d_{ij} \leq r_{ij}\} \quad j=1, \dots, N$  dimana  $d_{kj} = \|a_k - u_j\|$  dan  $d_{ij} = \|u_i - u_j\|$ . Selanjutnya,  $r_{kj}$  dan  $d_{kj}$  berturut-turut adalah jangkauan komunikasi dan jarak dari node referensi ke node sensor,  $r_{ij}$  dan  $d_{ij}$  adalah jangkauan komunikasi dari masing-masing dan jarak antar node-node sensor. Estimasi jarak antara node sensor dan node referensi adalah:  $\hat{d}_{kj} = d_{kj} + \varepsilon_{kj}$  sedangkan estimasi jarak antar node sensor adalah  $\hat{d}_{ij} = d_{ij} + \varepsilon_{ij}$  dengan  $\varepsilon_{kj}, \varepsilon_{ij}$  adalah kesalahan pengukuran jarak.

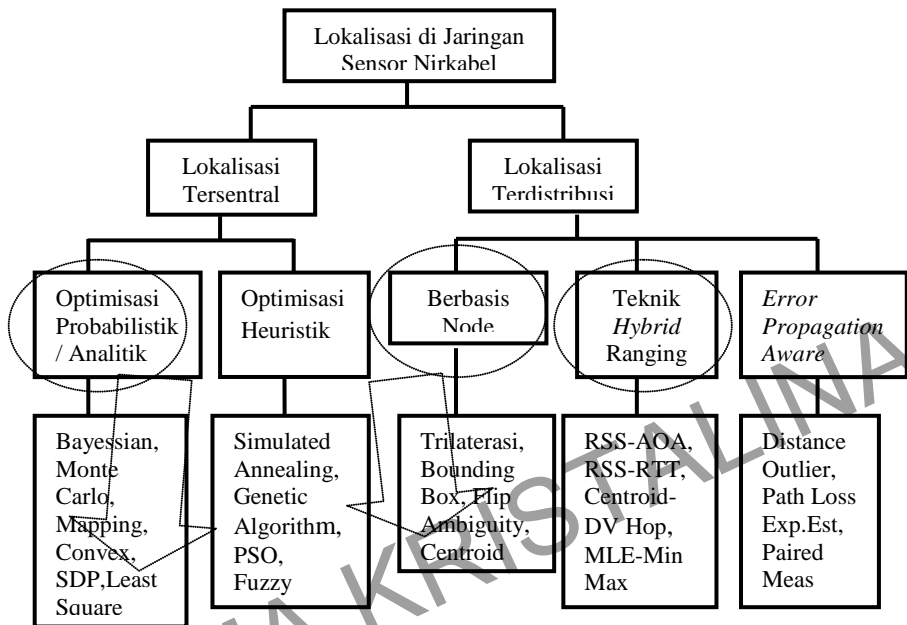
Sebuah jaringan dapat direpresentasikan sebagai graph Eucluedian (Boukerche et al., 2007), dengan sifat-sifat sebagai berikut:

1.  $Z = \{a_1, a_2, \dots, a_m, u_1, \dots, u_n\}$  adalah himpunan semua node di dalam bidang observasi, dan  $\mathbf{z}_i = [x_i, y_i]$  merepresentasikan koordinat dua dimensi dari node-node tersebut.
2. Edge  $e \langle i, j \rangle \in E$  dimana  $E$  adalah himpunan semua edge pada jaringan, jika dan hanya jika jangkauan komunikasi  $r_i$  dari node  $z_i$  mencapai node  $z_j$  dan jarak antara  $z_i$  dan  $z_j$ ,  $d_{ij}$  kurang dari  $r_i$ .
3.  $\hat{Z} = \{\hat{z}_1, \hat{z}_2, \dots, \hat{z}_n\}$  adalah himpunan hasil estimasi semua node-node sensor yang dicari posisinya dimana  $\hat{\mathbf{z}}_i = [\hat{x}_i, \hat{y}_i]$ .
4.  $\Delta z_i$  adalah kesalahan hasil estimasi posisi, merupakan *mean square error* (MSE) dari  $z_i$  dan  $\hat{z}_i$ .

Beberapa terminologi yang digunakan dalam disertasi ini diantaranya adalah: node sensor ( $u_i$ ), node referensi ( $a_i$ ), jangkauan komunikasi node ( $r_i$ ) dan hop ( $h_i$ ). Node sensor adalah node di jaringan yang tidak diketahui posisinya. Node-node ini dikenal sebagai node bebas atau dumb node. Sistem lokalisasi bertujuan untuk mengestimasi posisi dari node-node ini. Node referensi adalah node yang sudah diketahui koordinat posisinya. Posisi node-node tersebut diketahui berdasarkan proses peletakan secara manual atau menggunakan peralatan tertentu (misalkan dengan GPS). Node ini merupakan referensi bagi node sensor untuk mengestimasi posisinya. Jangkauan komunikasi node adalah kekuatan pancar dari sebuah node agar node lain bisa mendengar atau berkomunikasi dengannya. Jangkauan komunikasi dari sebuah node tergantung dari kekuatan daya pancarnya dan energi dari supply-nya. Hop adalah jumlah lompatan dari satu node ke node yang lain yang diperlukan oleh sebuah paket data dari sebuah node pengirim kepada node tujuan.

### 2.1.1. Klasifikasi Skema Lokalisasi di JSN Secara Umum

Klasifikasi skema lokalisasi, seperti ditunjukkan pada gambar 2.2, berdasarkan tempat kalkulasi posisinya dibedakan menjadi dua bagian besar, yaitu secara tersentral dimana proses kalkulasi dilaksanakan di server pusat



Gambar 2.2 Klasifikasi Algoritma Lokalisasi di JSN Ditinjau dari berbagai Sudut Pandang

dan terdistribusi, dimana proses kalkulasi dilakukan di masing-masing node sensor. Proses kalkulasi posisi di server dapat dioptimasi menggunakan model probabilistik dan heuristik terhadap data-data jarak yang didapatkan dari masing-masing node yang diobservasi. Sementara pada skema terdistribusi, model penentuan jarak dilakukan berbasis node referensi, hybrid, maupun pertimbangan kondisi lingkungan (Pal, 2010).

Berbagai penelitian yang berfokus pada skema lokalisasi terbagi atas dua skema besar di atas. Pada penyelesaian probabilistik di skema lokalisasi tersentral digunakan *Bayesian Inference*, teknik Mapping dengan *finger print* dan *monte carlo* sekuensial (Baggio and Langendoen, 2008; Gogolak and Pletl, 2011; Madigan et al., 2006). Selain itu model diusulkan pendekatan analitik untuk menyelesaikan persamaan non linier dari proses kalkulasi

posisi maupun estimasi jarak yang didapatkan dari node-node kirim, di antaranya adalah *semi definite programming*, *convex optimization* maupun *least square* (Biswas et al., 2006; Gholami et al., 2011; Tarrío et al., 2011; Xiang et al., 2011) . Dengan skema heuristik, di antaranya dengan *Simulated Annealing*, *Genetic Algorithm*, *Particle Swarm Optimization* (PSO) maupun berbasis fuzzy rule-based (Chuang and Wu, 2008; Kannan et al., 2006; Yang et al., 2010; Yun et al., 2005).

Pada lokalisasi terdistribusi, model trilaterasi, bounding box, centroid maupun *flip ambiguity* merupakan model estimasi dengan merujuk kepada keberadaan node referensi. Model-model ini diselesaikan secara geometris berdasarkan persamaan jarak dua titik. Untuk pemrosesan terdistribusi, node sensor mengandalkan konektifitas dirinya terhadap node referensinya menggunakan beberapa teknik *ranging*, seperti RSS, TOA, AOA maupun hop antar node (Cequn et al., 2011; Kim et al., 2012; Langendoen and Reijers, 2003). Teknik *Hybrid Ranging* sebenarnya masih berhubungan dengan keberadaan node referensi, dimana model lokalisasi menggunakan teknik ini lebih berkonsentrasi kepada cara menentukan estimasi jarak terbaik antar node. Metode yang dilakukan adalah dengan mengkombinasikan beberapa teknik *ranging*, seperti RSS dengan RTT, RSS dengan AOA, RSS dengan Hop atau kombinasi algoritma optimisasinya, misal MLE dengan Min-max. Skema *Error Propagation Aware* merujuk kepada cara-cara meminimalisasi noise yang menyertai pengukuran jarak. Biasanya skema ini hanya berkonsentrasi kepada teknik pengukuran berbasis RSS (Chen and Juang, 2012; Mao et al., 2007; Xu, 2010).

### 2.1.2. Skema Lokalisasi Terdistribusi

Skema lokalisasi terdistribusi merujuk kepada tempat pemrosesan kalkulasi posisi di masing-masing node, artinya pada jaringan sensor nirkabel yang mengaplikasikan skema terdistribusi ini, setiap node sensor memiliki kapabilitas untuk menghitung estimasi posisinya sendiri. Algoritma estimasi posisi diletakkan di setiap node sensor untuk menjalankan proses estimasi posisi, ini berbeda dengan skema lokalisasi tersentral dimana algoritma estimasi posisi diletakkan di sisi server. Ciri-ciri sebuah jaringan sensor nirkabel yang mengaplikasikan skema lokalisasi terdistribusi adalah bahwa semua node sensor memiliki kemampuan saling berkomunikasi satu dengan lain secara mesh atau star. Sebaliknya, pada JSN yang mengaplikasikan skema tersentral, masing-masing node sensor tidak saling terhubung. Node-node hanya terhubung kepada server dalam topologi star dengan komunikasi

unicast.

Sebuah node sensor memiliki keterbatasan dalam melakukan pemrosesan disebabkan karena keterbatasan infrastruktur yang diimplementasikan kepadanya. Untuk bisa dijalankan dengan kondisi-kondisi terbatas tersebut, algoritma lokalisasi terdistribusi harus memiliki karakteristik (Langendoen and Reijers, 2003): *Self-organizing*, *robust* dan efisien terhadap energy.

## 2.2. FAKTA EMPIRIK MENGENAI AKURASI POSISI DI JARINGAN SENSOR

Berbagai penelitian tentang skema lokalisasi di JSN memiliki tujuan untuk mendapatkan akurasi posisi node sensor yang paling optimal. Reliabilitas dari sebuah usulan algoritma baru umumnya diujikan terhadap pengaruh perubahan densitas node di bidang observasi, perubahan luas bidang observasi dan pengaruh jangkauan komunikasi masing-masing node. Sebuah algoritma yang *robust* harus bisa diaplikasikan pada berbagai topologi sebaran node, artinya dengan berbagai pengaruh di atas, akurasi estimasi posisi node diharapkan tetap optimal.

Fakta-fakta empirik yang berkaitan dengan akurasi posisi node di jaringan sensor nirkabel telah dirangkum oleh (Shi et al., 2010) dengan penjelasan sebagai berikut: kenaikan jumlah node referensi dan perpanjangan jangkauan komunikasi menyebabkan akurasi posisi cenderung meningkat, sedangkan kenaikan jumlah node sensor dan perluasan bidang observasi mengakibatkan akurasi menurun.

Algoritma yang kami usulkan akan diuji berdasarkan pertimbangan keempat fakta empirik di atas sebagai parameter pengujian. Diharapkan nilai akurasi yang dihasilkan algoritma tersebut dapat mengalami peningkatan di semua parameter atau kesalahan estimasi rata-ratanya bisa ditekan sekecil mungkin.

## 2.3. TAHAP PENYELESAIAN SKEMA LOKALISASI DI JSN

Teknik lokalisasi untuk mengestimasi posisi node sensor secara umum dapat diselesaikan dalam tiga tahap, seperti dijelaskan oleh (Boukerche et al., 2007; Langendoen and Reijers, 2003; Shi et al., 2010) meliputi: penentuan jarak, kalkulasi posisi dan peningkatan akurasi (*refinement*). Masing-masing tahap tersebut saling berkaitan satu dengan yang lain dan ketiganya

mempunyai pengaruh dalam mencapai hasil akhir yaitu posisi node terestimasi yang akurat.

### 2.3.1. Tahap Penentuan Jarak

Salah satu komponen utama bagi sebuah obyek untuk mengestimasi posisinya terhadap obyek-obyek lain di sekitarnya adalah jarak obyek tersebut terhadap obyek-obyek lainnya. Node sensor berperan sebagai sebagai obyek yang akan mengestimasi posisinya terhadap node-node lain, sedangkan node-node lain adalah referensi bagi node sensor ini. Informasi jarak didapatkan dengan berbagai cara, baik melalui pengukuran maupun kedekatan. Teknik-teknik lokalisasi berbasis *ranging* dikategorikan sebagai *range-based localization* sedangkan yang berbasis konektifitas dikategorikan sebagai *range-free localization*.

Pada skema *range-based*, node sensor mengestimasi jaraknya terhadap node-node referensi berdasarkan parameter yang dikirim oleh node referensi kepada node sensor tersebut. Beberapa teknik lokalisasi yang penentuan jaraknya menggunakan skema *range-based* diantaranya adalah: RSS, AOA (*Angle of Arrival*), TOA (*Time of Arrival*), dan TDOA (*Time Difference of Arrival*) (Bachrach and Taylor, 2005; Mao et al., 2007b). Teknik RSS menggunakan model penentuan jarak dengan mengukur kuat sinyal yang diterima oleh node penerima (dalam hal ini adalah node yang mengestimasi posisinya / node sensor) dari node pengirim (node referensi). Kuat sinyal, dalam satuan dBm, merupakan perambatan sinyal dari satu lokasi ke lokasi yang lain. Untuk itu digunakan pemodelan propagasi untuk melakukan konversi ke dalam satuan jarak antar node. Teknik TOA menggunakan perbedaan waktu kedatangan sinyal di sisi penerima. Teknik AOA menggunakan pengukuran sudut kedatangan sinyal yang diterima di sisi penerima.

Metode lokalisasi *range-free* tidak memerlukan kegiatan pengukuran parameter yang diterima oleh node sensor untuk mendapatkan jarak terhadap referensinya. Teknik-teknik lokalisasi yang menggunakan skema *range-free* dalam penentuan jaraknya adalah: *Hop-based / Connectivity Based*. Yang termasuk dalam teknik penentuan jarak berbasis hop adalah skema DV-Hop. Dalam skema ini ada dua terminologi hop yang akan digunakan dalam pembahasan: *hop size*, yaitu rata-rata ukuran hop yang dimiliki sebuah node, dan *hop count*, yaitu jumlah lompatan / hop dari satu node ke node yang lain.

### 2.3.2. Tahap Estimasi Posisi

Pada tahap ini dilakukan proses kalkulasi posisi node-node sensor berdasarkan informasi jarak dan koordinat posisi yang didapat dari node-node referensi. Informasi penentuan jarak telah dilakukan pada tahap sebelumnya dengan menggunakan teknik *ranging*.

Penentuan posisi sebuah titik bisa didekati dengan tiga buah titik atau lebih, dimana ketiga titik ini diasumsikan sebagai tiga buah lingkaran dengan koordinat titik pusat masing-masing yaitu  $\{(x_{A1}, y_{A1}), (x_{A2}, y_{A2}), (x_{A3}, y_{A3})\}$  yang mempunyai jari-jari  $\{d_{A1}, d_{A2}, d_{A3}\}$  dan ketiga lingkaran tersebut saling bersinggungan terhadap sebuah titik  $B_1 (x_{B1}, y_{B1})$ , seperti pada gambar 2.3. Jika diasumsikan setiap titik pusat lingkaran adalah node referensi  $j$  dan titik yang disinggung oleh tiga lingkaran tadi adalah node sensor  $i$ , maka merujuk kepada persamaan jarak antara dua titik  $i$  dan  $j$  secara umum dapat dituliskan sebagai:

$$\hat{d}_{ij}^2 = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \quad (2.1)$$

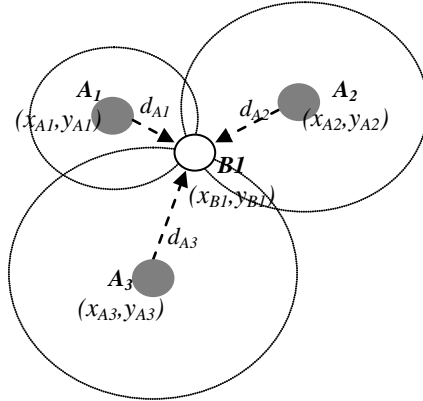
Akan digunakan algoritma lokasi hiperbolik dua dimensi untuk mendapatkan koordinat estimasi posisi node sensor  $i$  (Chen and Zhang, 2012; Tarrío et al., 2011). Algoritma ini dapat mengkonversikan persamaan non linier (2.1) menjadi bentuk persamaan linier agar dapat dengan mudah dicari solusinya.

Jika  $A_j = x_j^2 + y_j^2$  adalah komponen node referensi  $j$  dan  $B_i = x_i^2 + y_i^2$  adalah komponen node sensor  $i$ , maka persamaan (2.1) dapat dituliskan dalam bentuk linier sebagai:

$$\hat{d}_{ij}^2 - A_j = -2x_i x_j - 2y_i y_j + B_i \quad (2.2)$$

Selanjutnya, dengan  $j=1,2,\dots,M$  node referensi, maka persamaan (2.2) dapat dikembangkan menjadi:

$$\begin{aligned} \hat{d}_{i1}^2 - A_1 &= -2x_i x_1 - 2y_i y_1 + B_i \\ \hat{d}_{i2}^2 - A_2 &= -2x_i x_2 - 2y_i y_2 + B_i \\ &\vdots \\ \hat{d}_{iM}^2 - A_M &= -2x_i x_M - 2y_i y_M + B_i \end{aligned} \quad (2.3)$$



Gambar 2.3 Perpotongan Tiga Lingkaran di Satu Titik

Atau dituliskan dalam matriks sebagai  $\mathbf{b} = \mathbf{GZ}$  dengan

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} \hat{d}_{i1}^2 - A_1 \\ \hat{d}_{i2}^2 - A_2 \\ \vdots \\ \hat{d}_{iM}^2 - A_M \end{bmatrix}, \quad \mathbf{G} = \begin{bmatrix} -2x_i & -2y_i & 1 \\ -2x_2 & -2y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -2x_M & -2y_M & 1 \end{bmatrix} \quad \text{dan } \mathbf{Z} = [x_i, y_i, B_i]^T \quad (2.4)$$

Dimana estimasi posisi node terestimasi dapat dicari dengan solusi least square dari bentuk matriksnya, yaitu:  $\mathbf{Z} = (\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T \mathbf{b}$ . Dengan koordinat posisi dari node sensor  $i$  adalah  $(x_i, y_i) = [Z(1), Z(2)]$ .

### 2.3.3. Tahap Peningkatan Akurasi (Refinement)

Untuk menuju tahap perbaikan akurasi ini, perlu diperhatikan terlebih dahulu seberapa besar akurasi yang didapatkan dari hasil estimasi sebelumnya, dibandingkan dengan nilai sesungguhnya. Perbandingan ini diukur berdasarkan kuadrat rata-rata kesalahan (*mean square error*) dari hasil estimasi terhadap nilai sesungguhnya, yang dituliskan sebagai persamaan:



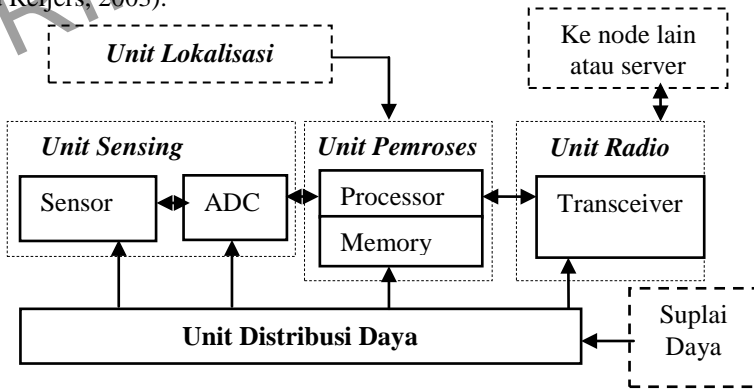
$$MS = E\sqrt{(Z_i - \hat{Z}_i)^2} = \|Z_i - \hat{Z}_i\|_2 \quad (2.6)$$

dengan  $Z_i$  adalah nilai sesungguhnya dari jarak node  $i$ ,  $d_i$  atau posisi node  $i$ ,  $[x_i, y_i]$  sedangkan  $\hat{Z}_i$  adalah hasil estimasi dari jarak node  $i$ ,  $\hat{d}_i$  atau posisi terestimasi, node  $i$ ,  $[\hat{x}_i, \hat{y}_i]$ . Nilai MSE dinyatakan dalam meter. MSE posisi terestimasi yang dihasilkan dengan teknik lokalisasi di jaringan sensor nirkabel yang memiliki  $N$  node sensor diberikan sebagai:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_i - \hat{Z}_i)^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2)^{1/2} \quad (2.7)$$

#### 2.4. ARSITEKTUR NODE SENSOR DI JSN

Sebuah node pada sistim jaringan sensor nirkabel berfungsi sebagai terminal yang mengumpulkan data-data fenomena yang diambil oleh sensor-sensor yang dilekatkan kepadanya. Untuk menjalankan tugasnya tersebut, node sensor dilengkapi dengan unit-unit tertentu yang bersesuaian dengan tugas node tersebut. Arsitektur sebuah node sensor pertama kali dikenalkan oleh (Akyildiz et al., 2002) secara umum terdiri dari empat unit, yaitu: unit pemroses, unit radio, unit sensing dan unit distribusi daya, seperti ditunjukkan pada gambar 2.4. Unit lokalisasi ditambahkan apabila node sensor digunakan untuk mengestimasi posisi secara terdistribusi (Langendoen and Reijers, 2003).



Gambar 2.4 Arsitektur dasar sebuah node pada Jaringan Sensor Nirkabel

## BAB 3. SKEMA LOKALISASI HYBRID DAN PLATFORM DOLLY

### 3.1. PENDAHULUAN

Mekanisme RSS memiliki kelemahan jika digunakan tidak dalam bidang *Line of Sight* (LOS) (De Cauwer et al., 2010). Kondisi ini berakibat adanya daya sinyal hilang yang cukup besar sehingga mengurangi akurasi jarak terukur. Selain itu, pada beberapa kasus, seperti pemakaian JSN di bidang indoor, keberadaan kuat sinyal dari perangkat pembangkit sinyal lain, seperti WiFi, selular, RFiD, terutama yang memiliki alokasi pita frekuensi yang sama sedikit banyak akan mempengaruhi akurasi jarak yang diukur. Propagasi sinyal di dalam sebuah lingkungan tidak bisa dirubah karena keberadaan sistim JSN yang dipasang, namun sistim JSN harus memiliki metode untuk meningkatkan akurasinya sendiri.

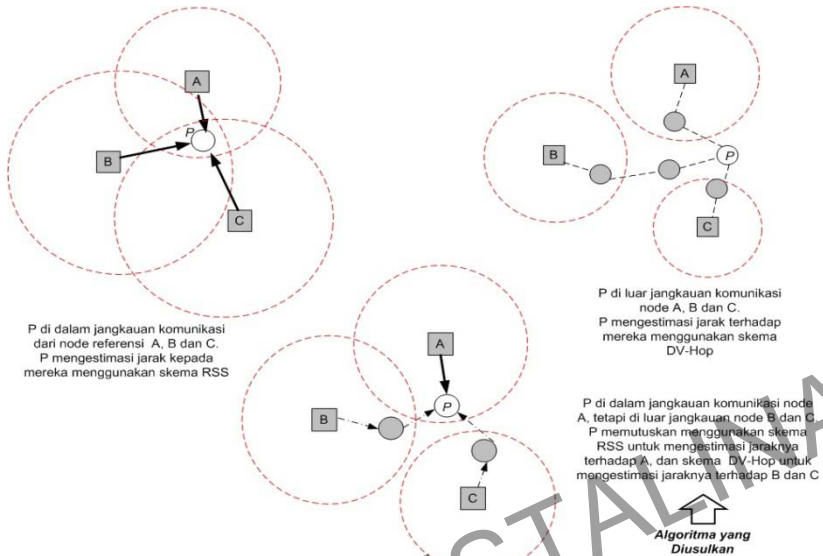
Pada beberapa aplikasi JSN skala besar, model sistim komunikasi antar node dilakukan secara multihop dan skema ini mengestimasi jarak dari node kirim hingga menuju node terima. Dengan model hop count, node sensor tidak direpotkan dengan tidak didapatkannya data kuat sinyal akibat terhalang benda atau kontur antara node kirim dan terima. Selama node tersebut masih dapat informasi hop count dari node kirimnya, maka node akan bisa mengestimasi jaraknya terhadap node kirim tersebut.

Dengan alasan di atas, kami mengusulkan pengkombinasian dua skema penentuan jarak, yaitu mekanisme RSS dan mekanisme DV-Hop untuk mengatasi masalah kegagalan proses penerimaan kuat sinyal oleh node sensor akibat kendala lingkungan sekitar yang mengakibatkan penurunan akurasi posisi. Skema yang kami usulkan dinamakan *Hybrid Localization* (H-Loc). Mekanisme seleksi skema penentuan jarak diaplikasikan pada masing-masing node sensor untuk memilih salah satu dari dua skema yang dilibatkan bergantung kepada kedekatan dari informasi jarak terhadap data jarak yang tersimpan di dalam basis data node sensor sendiri.

### 3.2. SKEMA LOKALISASI HYBRID YANG DIUSULKAN

Konsep mekanisme seleksi penentuan jarak secara hybrid ditunjukkan pada gambar 3.1.

Pada gambar tersebut, node  $P$  adalah node sensor yang akan mengestimasi posisinya, sedangkan node  $A$ , node  $B$  dan node  $C$  yang memiliki koordinat  $\{(x_A, y_A), (x_B, y_B), (x_C, y_C)\}$  adalah node-node referensi yang berada di sekitar node  $P$ . Node  $P$  mempunyai beberapa kemungkinan



Gambar 3.1 Mekanisme Seleksi Penentuan Jarak berbasis Lokalisasi Hybrid

untuk dapat menentukan jaraknya terhadap ketiga node referensi tersebut. Pertama, mengambil informasi RSS dari ke node-node referensi apabila range komunikasinya dapat dijangkau secara single hop oleh node  $P$ , atau masih di dalam jangkauan komunikasi dari node  $P$  (seperti gambar 3.1 kiri). Kedua, dengan memakai informasi hop dari node-node sensor di sekitarnya apabila range komunikasi dari node-node referensi tersebut tidak terjangkau oleh  $P$  (seperti gambar 3.1 kanan). Apabila node  $P$  menerima nilai RSS yang dikirimkan oleh tidak lebih dari dua node referensi, maka  $P$  bisa menggunakan kombinasi kedua skema di atas, yaitu tetap menggunakan RSS dan memakai informasi hop dari node referensi yang lain yang tidak terjangkau dalam single hop (seperti pada gambar 3.1 bawah). Pada skema ketiga ini, node sensor  $P$  melakukan pemilihan data yang telah disimpan pada database-nya. Keberadaan data kuat sinyal terima diambil sebagai prioritas dalam penentuan jarak, yang apabila tidak ditemukan maka node sensor dapat memilih himpunan data hop dari database lainnya. Algoritma H-Loc diaplikasikan di masing-masing node sensor yang mengestimasi posisinya, dalam hal ini adalah node  $P$ .

Skema yang diusulkan ini merupakan model lokalisasi terdistribusi, karena seluruh proses kalkulasi dikerjakan di masing-masing node sensor. Node-node sensor dilengkapi dengan zigbee sebagai modul pemancar dan penerima, yang dapat pula mengirim dan menerima data RSS dalam bentuk heksa decimal ke dan dari masing-masing node. Paket informasi yang dikirim dari masing-masing node dapat diberi tambahan informasi hop setiap kali paket tersebut melewati sebuah node untuk sampai ke node penerima.

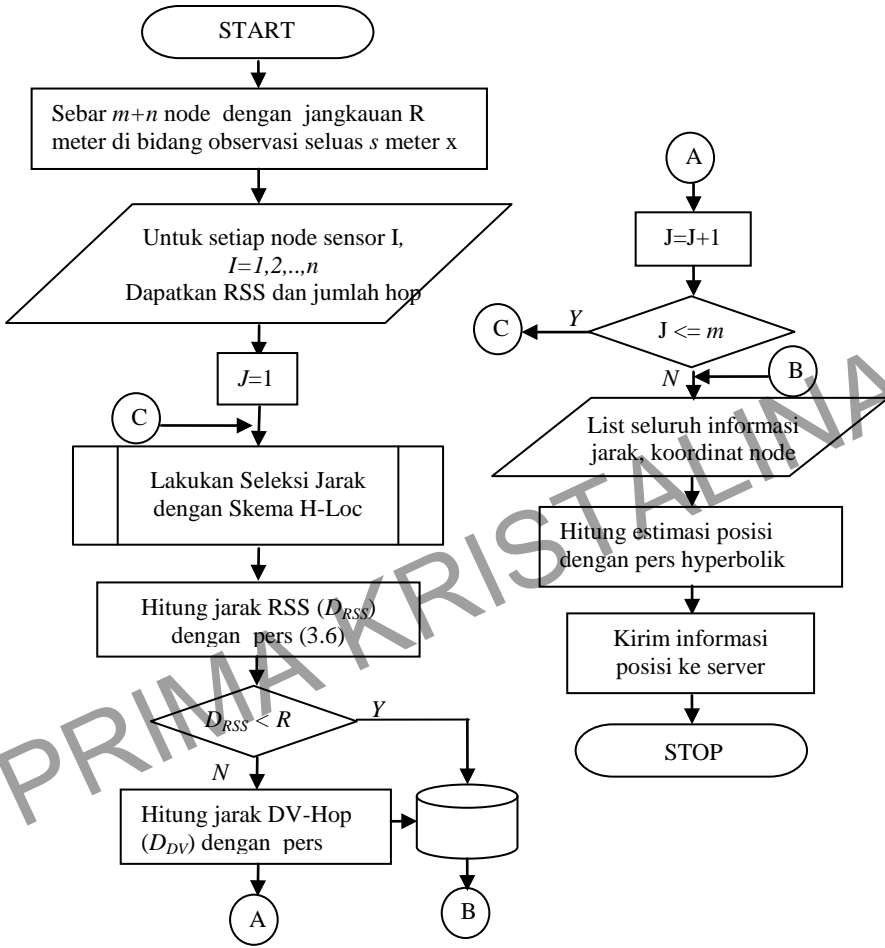
### 3.2.1. *Formulasi Permasalahan*

Diasumsikan apabila pada bidang observasi terdapat  $m$  node referensi dan  $n$  node sensor. Setiap node sensor  $i$  dimana  $i=1,2,\dots,N$  akan mencari minimal tiga node referensi pasangannya, yaitu  $\{(x^i_A, y^i_A), (x^i_B, y^i_B), (x^i_C, y^i_C)\}$  berdasarkan tiga jarak terdekat terhadap node sensor tersebut, yaitu  $\{\hat{d}^i_A, \hat{d}^i_B, \hat{d}^i_C\}$ . Ketiga jarak tersebut ditentukan untuk setiap informasi RSS maupun hop yang dikirim oleh masing-masing node referensi  $j$  dimana  $j=1,2,\dots,M$ . Skema H-Loc menyatakan, apabila jarak hasil estimasi dengan RSS lebih kecil dari jangkauan node,  $r$  atau dikatakan bahwa node sensor mampu menerima RSS dari node referensi  $j$ , maka informasi jarak tersebut dimasukkan ke dalam database, namun apabila sebaliknya maka digunakan metode penentuan jarak menggunakan hop. Semua hasil penentuan jarak dikirim ke dalam database. Apabila seluruh proses penentuan jarak telah dilaksanakan untuk semua node referensi, akan dilanjutkan dengan pengestimasi posisi. Pada tahap ini seluruh data informasi jarak dan koordinat posisi node-node referensi yang telah tersimpan di database akan diambil dan diproses menggunakan persamaan hiperbolik. Langkah-langkah yang ditempuh dalam skema H-Loc diberikan pada diagram alir gambar 3.2..

### 3.2.2. *Metode Penentuan Jarak RSS dan DV-Hop*

#### **A. Metode Penentuan Jarak RSS**

Di dalam teknik telekomunikasi, apabila ada dua perangkat, yaitu pemancar dan penerima berada pada ruang bebas (*free space*), berjarak  $d$  saling berkomunikasi melalui sepasang antena dengan radiasi isotropic, dimana masing-masing antena memiliki gain  $G_T$  dan  $G_R$ , maka diterapkan persamaan daya yang diterima di sisi terima dapat dimodelkan dalam



Gambar 3.2 Diagram Alir Seleksi Penentuan Jarak dengan Skema Hybrid

formulasi free space Friis sebagai berikut (Rappaport, 1996):

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4\pi d)^2} \tag{3.1}$$

dimana  $P_T$  adalah daya sinyal yang terkirim,  $P_R$  adalah daya sinyal yang diterima, keduanya dalam satuan watt dan  $\lambda$  merepresentasikan panjang gelombang kirim. Komunikasi di jaringan sensor nirkabel biasanya dilakukan pada jarak yang tidak terlalu jauh, sehingga tidak memerlukan penguatan antenna pada node. Oleh karena itu, diasumsikan  $G_T=G_R=1$ . Untuk memvalidasi ketepatan penentuan jarak, perlu dilakukan pula pengukuran kuat sinyal yang diterima pada jarak referensi,  $d_0$ . Daya sinyal diterima pada titik referensi tersebut dinyatakan sebagai:

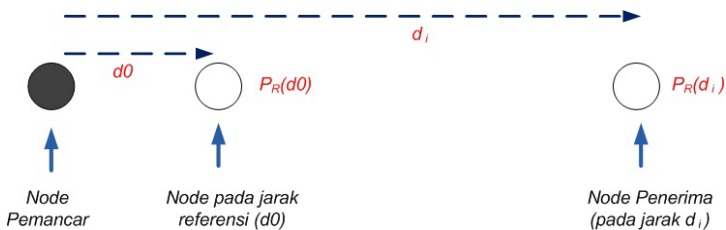
$$P_{R0} = \frac{P_T \lambda^2}{(4\pi d_0)^2} \quad (3.2)$$

Dari persamaan (3.1) dan (3.2) maka proporsi rata-rata daya terima sinyal pada jarak  $d$  dari pemancar,  $P_R$  pada lingkungan outdoor terhadap daya terima di sisi referensi,  $P_{R0}$  dapat dinyatakan sebagai:

$$P_R = P_{R0} \left( \frac{d}{d_0} \right)^{-2} \quad \text{atau} \quad P_R \text{ (dBm)} = P_{R0} \text{ (dBm)} - 20 \log \frac{d}{d_0} \quad (3.3)$$

Posisi dari perangkat transmitter (T) maupun receiver (R) yang terpisah sejauh  $d$ , dan receiver pada jarak referensi  $d_0$  ditunjukkan pada gambar 3.3. Persamaan (3.3) secara riil diaplikasikan pada model propagasi 1-2 GHz dengan gain antenna rendah, dimana jarak referensi  $d_0$  untuk lingkungan indoor diberikan sebesar 1 meter sedangkan untuk lingkungan outdoor bisa sampai 100 meter. Dengan aturan ini, maka nilai logaritmik dari proporsi jarak sesungguhnya dengan jarak referensi bisa dikalikan 10.

Model propagasi berdasarkan teori maupun pengukuran mengindikasikan bahwa daya sinyal terima rata-rata akan menurun secara logaritmik terhadap jarak, baik dalam kanal radio indoor maupun outdoor. Pada skala besar dimana pengukuran kuat sinyal terima dilakukan secara



Gambar 3.3 Jarak antara node pemancar dan penerima

berulang-ulang, akan didapatkan kondisi *path loss*, yaitu sebuah keadaan yang merepresentasikan peredaman sinyal, dimana kondisi ini merupakan nilai kuantitatif positif yang dinyatakan dalam decibel (dB). *Path loss* menyatakan perbedaan antara daya efektif yang dikirim terhadap daya yang diterima. *Path loss* sebuah sistim pada *free space* dengan gain antenna sama dengan satu, dinyatakan sebagai (Xu, 2010):

$$P_L (dB) = 10 \log \frac{P_T}{P_R} = -10 \log \left[ \frac{\lambda}{(4\pi d)} \right]^2 \quad (3.4)$$

Rata-rata *path loss* pada skala besar di sembarang T-R yang terpisah dengan jarak tertentu dinyatakan sebagai fungsi jarak yang menggunakan eksponen *path loss*  $n_p$ , dimana:

$$\bar{P}_L (d) \propto \left( \frac{d}{d_0} \right)^{-n_p} \quad \text{atau} \quad \bar{P}_L (dB) = \bar{P}_{L_0} (dB) - 10n_p \log \frac{d}{d_0} \quad (3.5)$$

dimana  $n_p$  adalah eksponen *path loss* dengan range mulai satu hingga enam, tergantung dari lingkungan urban. Nilai tersebut seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Persamaan (3.5) dapat diaplikasikan untuk mencari estimasi jarak antar dua node pada sistim jaringan sensor nirkabel, yaitu node referensi dan node sensor. Jika node referensi mengirimkan kuat sinyal yang memiliki daya pancar  $P_T$  secara isotropik, dan diterima oleh node sensor dengan daya terima  $P_R$  untuk beberapa kali pengiriman, maka akan didapatkan rata-rata *path loss*  $P_L$ . Jika diasumsikan pada bidang observasi dalam ruang dua dimensi, berbentuk empat persegi dengan sisi  $s$  satuan, disebar  $M$  node referensi berlabel  $A_j$  dimana  $j=1,2,\dots,M$  dan  $N$  node sensor berlabel  $U_i$

Tabel 3.1. Nilai eksponen *path loss* dari beberapa macam lingkungan (Rappaport, 1996)

Lingkungan	Eksponen <i>Path loss</i> , $n_p$
Free Space	2
Urban Area Cellular Radio	2.7 - 3.5
Shadowed Urban Cellular Radio	3 - 5
Dalam gedung dengan LOS	1.6 - 1.8
Dalam gedung berpenghalang	4 - 6
Dalam pabrik berpenghalang	2 - 3

dimana  $i=1,2,\dots,N$ , maka turunan dari persamaan (3.5) untuk mendapatkan estimasi jarak antara node  $i$  dan node  $j$  diberikan sebagai (Zanca et al., 2008)

$$\hat{d}_{ij} = d_{0i} 10^{\left[\frac{(P_i - P_{i0})}{10n_p}\right]} \quad (3.6)$$

## B. Metode Penentuan Jarak DV-Hop

Sebuah metode pengestimasi jarak antar node dikembangkan pada kondisi dengan penyebaran node berskala besar di sebuah area observasi. Metode ini dinamakan DV-Hop atau DV-Distance, diusulkan pertama kali oleh (Niculescu and Nath, 2003). Pada metode ini node referensi hanya dapat mengirim informasi tentang posisinya, *hop size* dan ID-nya, dan merupakan tempat dimulainya *hop count*. Node sensor memiliki kemampuan untuk mengirimkan dan menerima informasi kepada dan dari node di sekitarnya, sehingga bisa mentransfer informasi dari satu node ke node yang lain.

Diasumsikan pada bidang observasi dengan luasan  $s$  satuan  $x$   $s$  satuan terdapat  $m$  buah node referensi dan  $n$  buah node sensor. Masing-masing node referensi diberi label  $A_j$  dimana  $j=1,2,\dots,M$  dan node sensor dengan label  $U_i$  dimana  $i=1,2,\dots,N$ . Dalam menentukan *hop size*, masing-masing node referensi menghitung jarak *euclidian* antar mereka berdasarkan koordinat posisinya. *Hop size* dari node referensi  $A_j$  terhadap node referensi di sekitarnya,  $A_k$  dinyatakan sebagai perbandingan jumlah jarak *euclidian* antara node  $A_j$  dengan masing-masing node referensi, terhadap jumlah total hop yang dihitung dari node  $A_j$  terhadap node-node referensi lainnya, seperti dinyatakan sebagai persamaan (3.7) berikut ini:

$$H_j = \sum_{k \neq j}^M \sqrt{(x_j - x_k)^2 + (y_j - y_k)^2} \bigg/ \sum_{k \neq j}^M h_{jk} \quad (3.7)$$

Dengan  $k$  adalah semua node referensi lain selain node  $A_j$ ,  $M$  adalah jumlah semua node referensi di dalam daerah observasi selain dari node  $A_j$  dan  $h_{jk}$  adalah *hop count* atau jumlah hop dari node referensi  $j$  ke referensi  $k$ . Dengan informasi *hop size* dan *hop count* maka jarak antara node referensi  $j$  ke node sensor  $i$  bisa diestimasi sebagai:

$$\hat{d}_{ij} = h_{ij} H_j \quad (3.8)$$

### 3.2.3. Algoritma H-Loc

Langkah-langkah untuk memproses skema H-Loc, yang telah diberikan pada diagram alir gambar 3.2 dituliskan sebagai algoritma seperti pada algoritma



3.1. Pada algoritma tersebut ditunjukkan bahwa node referensi mem-broadcast dua jenis informasi, yaitu kuat sinyal yang dipancarkan melalui modul zigbee sebagai modul komunikasi, dan paket informasi yang berisi data ID, koordinat node tersebut, hop size (yang telah dihitung sebelumnya dengan metode DV-Hop dan initial hop count yang akan dihitung naik setiap paket melalui sebuah node. Apabila node sensor tidak berada di dalam jangkauan satu hop dari node referensi, maka node tersebut menerima informasi hop count, hop size, ID dan koordinat dari node referensi tersebut untuk dihitung sebagai estimasi jaraknya.

- 1: Sebar  $m$  node referensi dan  $n$  node sensor pada luasan  $s \times s$  meter persegi
- 2: **FOR** setiap node referensi,  $A_j, j \in \{1, 2, \dots, m\}$
- 3: Broadcasts informasi RSS ke masing-masing node tetangga satu hop.
- 4: Broadcasts paket informasi berisi ID, posisi  $(x_{ai}, y_{ai})$ , hop size, hop count ke seluruh node tetangga.
- 5: **END**
- 6: **FOR** setiap node sensor,  $U_i, i \in \{1, 2, \dots, n\}$
- 7: Receive RSS dari  $A_j$
- 8: Receive paket  $A_j$  dari node tetangga, naikkan hop count.
- 9: Kumpulkan paket dari seluruh node referensi  $A_j$
- 10: Pilih paket dengan minimum hop count dari masing-masing node referensi  $A_j$
- 11: **DO** Algoritma H-Loc
- 12: **IF**  $D_{RSS}(i) < r$ ; jarak dari node referensi tidak terjangkau  
Jalankan DV-Hop Algorithm, dapatkan jarak terestimasi dengan persamaan (3.8)
- 13: **ELSE**  
Jalankan metode RSS, dapatkan jarak terestimasi dengan persamaan (3.6)
- 14: **END** dari **DO**
- 15: Hitung dengan persamaan hiperbolik, dapatkan estimasi posisi node sensor,  $\hat{U}_i = (\hat{x}_{ui}, \hat{y}_{ui})$  seperti pada pers (2.4).
- 16: Kirim paket informasi berisi ID, posisi terestimasi dan nilai sensing ke server.

Algoritma 3.1 Proses Lokalisasi dengan Skema Hybrid

### 3.3. PLATFORM DOLLY

Mekanisme penentuan jarak menggunakan skema RSS telah banyak diteliti dan diukur oleh peneliti sebelumnya (Boulis et al., 2011; Chan et al., 2009; Pavkovic et al., 2010; Saxena et al., 2008). Sejauh ini pengukuran selalu dilakukan menggunakan node sensor buatan pabrik yang terdiri dari device-device penyusun dengan spesifikasi yang sangat sempurna, sehingga harga yang ditawarkanpun menjadi sangat mahal. Node-node tersebut terdiri dari berbagai jenis sensor dengan processor yang memiliki kecepatan cukup besar dan memory dengan kapasitas besar pula. Unit supply daya node tersebut biasanya berupa baterai AA dengan tegangan output sekitar 5V untuk men-supply kebutuhan daya bagi unit-unit pemroses, sensor dan modul komunikasi.

Node-node sensor yang dijual di pasaran dengan harga mahal tersebut kebanyakan tidak men-support skema lokalisasi. Node-node tersebut umumnya hanya digunakan untuk mengambil data-data hasil penginderaan sensor, dan hasilnya dikirim ke server untuk ditampilkan dengan tujuan memonitor wilayah yang diobservasi. Adanya ke-kurang efisien an dalam pemakaian modul komunikasi memotivasi kami untuk membuat sebuah platform yang memanfaatkan kuat sinyal terima yang dihasilkan saat modul nirkabel mengirim informasi data sensor, untuk menentukan jarak dari node kirim kepada node lain yang akan diestimasi posisinya. Platform yang kami buat mengikuti aturan arsitektur dasar sebuah node sensor (Akyildiz et al., 2002) yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Di sini kami menambahkan unit lokalisasi yang ditanamkan pada sisi pemroses untuk menerima kuat sinyal dari node-node kirim, mengkonversi kuat sinyal menjadi jarak, melakukan kalkulasi estimasi posisi node dan melakukan pemaketan data informasi berisi data-data hasil penginderaan oleh sensor dan data informasi dari posisi terestimasi node tersebut. Pekerjaan ini merupakan kontribusi dari penelitian yang kami usulkan. Dengan berbagai fungsi yang dimilikinya tersebut, platform node yang kami buat dapat bekerja secara optimal sebagai node sensor dengan proses lokalisasi terdistribusi.

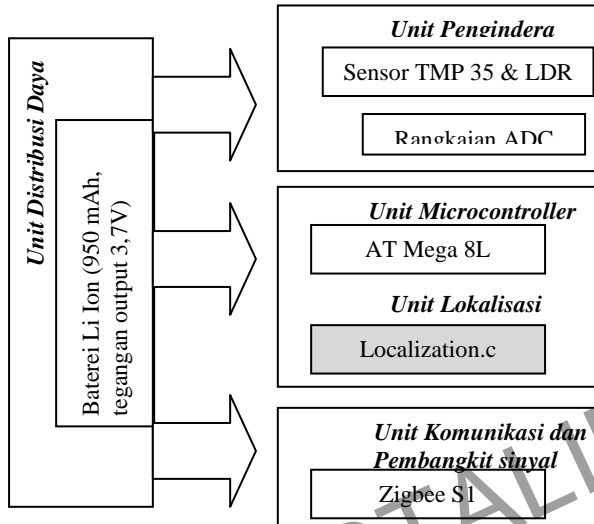
Platform lokalisasi yang kami disain berbentuk prototype node JSN yang diberi nama DOLLY, merupakan kependekan dari *Distributed Node Localization System*. Sebanyak lima buah node sensor berbasis ATMega8L dibuat untuk mengimplementasikan algoritma lokalisasi secara terdistribusi. Komunikasi antar node dilakukan secara nirkabel menggunakan modul Zigbee versi S1.

Dibandingkan dengan Imote2 yang dibuat oleh Crossbow, platform yang kami disain ini masih sangat sederhana, dimana sensor-sensor maupun prosesor yang digunakan masih sangat terbatas kapasitas dan kemampuannya, namun platform ini memiliki keunggulan karena node memiliki unit lokalisasi sendiri. Selain itu, biaya pembuatan platform yang kami buat menjadi hanya seper-enam kali lebih murah dibandingkan dengan biaya pembelian Imote2. Hal ini disebabkan karena seluruh komponen bisa didapatkan di pasaran lokal Indonesia. Dengan demikian platform yang kami usulkan ini dapat dibuat dan dikembangkan sendiri di Indonesia, sebagai platform lokalisasi node di JSN. Prototype node dengan platform yang diusulkan dan akan dijelaskan pada bab ini merupakan versi Dolly-1, dimana seluruh node masih bersifat stasioner.

### 3.3.1. Blok Diagram Platform DOLLY

Node sensor yang diusulkan diberikan dalam blok diagram pada gambar 3.4. Dalam sebuah node terdiri dari 4 unit dalam bentuk perangkat keras dan 1 unit dalam bentuk perangkat lunak. Ke empat unit perangkat keras meliputi: Unit Distribusi daya, unit pengindera, unit microcontroller dan unit komunikasi dan pembangkit kuat sinyal.

Unit perangkat lunak meliputi unit lokalisasi. Unit pengindera terdiri dari dua jenis sensor, yaitu sensor suhu TMP 35 dan sensor cahaya LDR. Sensor-sensor ini berfungsi melakukan penginderaan fenomena di mana node ditempatkan. Unit microcontroller berisi AT Mega8L yang memiliki internal memory sendiri dengan panjang 8 bit data. Unit Komunikasi dan pembangkit sinyal adalah modul zigbee S1 yang masih menggunakan sistim peer-to-peer dalam melakukan komunikasi antar node. Pada node kirim, yang berlaku sebagai node referensi, node mengirimkan data informasi hasil penginderaan sensor-sensornya melalui modul zigbee ini, sekaligus mengirim daya pancar yang akan diterima oleh node terima yang bertindak sebagai node sensor menggunakan modul zigbee. Unit lokalisasi merupakan perangkat lunak yang dibuat dalam program C. Agar node dapat bekerja secara *stand alone*, program yang telah di-*compile* dengan Code Vision AVR, di download kan ke setiap microcontroller di node. Bentuk fisik dari sebuah node sensor DOLLY ditunjukkan pada gambar 3.5, dengan dan tanpa modul komunikasi zigbee. Ringkasan spesifikasi dari platform yang dibuat,



Gambar 3.4 Blok Diagram Platform lokalisasi terdistribusi yang diusulkan

ditunjukkan pada Tabel 3.1. Topologi JSN yang digunakan dalam pengujian platform ditunjukkan pada gambar 3.6, dimana tiga buah node bertindak sebagai referensi dengan model komunikasi broadcast, dua node sebagai node sensor yang mengkalkulasi posisi dan mengirimkan kepada server.

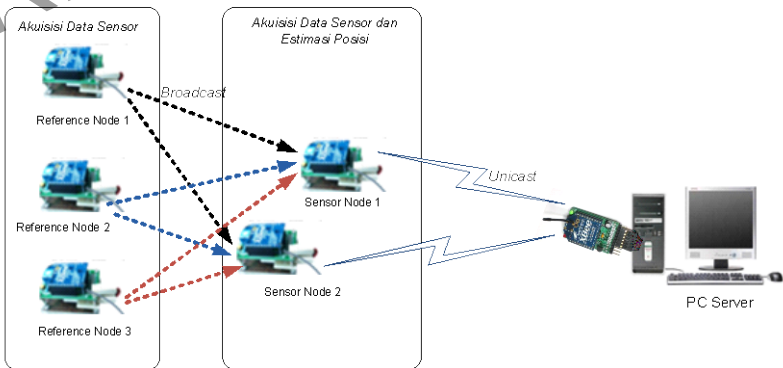
### 3.3.2. Implementasi Platform DOLLY

Bentuk fisik masing-masing node pada platform DOLLY pada dasarnya sama. Perbedaan fungsi sebagai node referensi dan node sensor hanya diimplementasikan pada program yang di-download ke masing-masing node. Node referensi memiliki kemampuan mengirim informasi hasil sensing masing-masing perangkat sensornya secara broadcast ke masing-masing node sensor, sedangkan node sensor menerima informasi dari masing-masing node referensi secara bergantian, mengkalkulasi posisi secara mandiri dan mengirimkan hasil kalkulasi posisi dan seluruh informasi node-node referensi ke server secara unicast. Ada tiga bagian yang akan dijelaskan pada implementasi platform ini: Sistem komunikasi antar node, pemrograman lokalisasi terdistribusi dan pemaketan informasi.

Dalam berkomunikasi, node-node referensi melakukan *broadcast* paket kepada node-node sensor di wilayah kedua, yang berisi informasi hasil penginderaan sensor-sensornya dan koordinat posisinya. Masing-masing node memiliki mode pengalamatan (*addressing mode*) sendiri. Modul zigbee yang dipergunakan untuk komunikasi antar node bertipe S1 Pro memiliki keterbatasan hanya bisa melakukan komunikasi *peer-to-peer*. Untuk *broadcast* dari sebuah node referensi ke node-node sensor, setiap proses komunikasi antar sepasang node referensi dan node sensor harus menggunakan sebuah PAN ID tertentu. Untuk itu diperlukan 3 jenis PAN ID untuk 3 buah node referensi berbeda menuju masing-masing node sensor. Broadcast tidak dilakukan dalam waktu bersamaan, namun masing-masing node sensor mengatur delay untuk melakukan *scheduling* kepada masing-masing referensinya secara bergantian.



Gambar 3.5 Bentuk fisik sebuah node sensor DOLLY



Gambar 3.6 Topologi JSN dengan platform DOLLY

Tabel 3.1 Spesifikasi Platform DOLLY

<b>Spesifikasi Umum</b>	
<b>Nama</b>	<b>Keterangan</b>
Processor	ATMega8L
Modul Komunikasi Nirkabel	Zigbee S1 Pro
Baterai	Nokia Li-ion 3,7 V
Dimensi Node	3 cm x 6cm x 5cm
Karakteristik Bidang Observasi	Outdoor LOS, Indoor LOS dan NLOS
Temperatur Ruang	27° – 41° C
<b>Spesifikasi Teknis</b>	
<b>Parameter</b>	<b>Nilai Operasi</b>
<b>Processor ATMega8L</b>	
Tegangan Operasi	2,7 – 5,5 V
Kecepatan Clock	0 – 8 MHz
Konsumsi arus	1 – 3,6 mA
Temperatur kerja	-55° - +125° C
<b>Zigbee Pro S1</b>	
Power transmit	63 mW (18 dBm)
Jangkauan Outdoor LOS	~ 1600 m
Jangkauan Indoor/Urban	~ 90 m
Sensitivitas Penerima	-100 dBm
Kecepatan data RF	250 Kbps
Tegangan catu	2,8 – 3,4 V
Arus transmit	45 mA (pada 3,3 V)
Frekuensi Operasi	ISM 2,4 GHz
Temperatur Kerja	-40° – 85° C
<b>Baterai</b>	
Tegangan Output	3,7 V
Konsumsi Arus	950 mA
Waktu standby	31 hari

Setelah menerima 3 paket informasi dan nilai RSS menggunakan model PAN ID masing-masing, node sensor melanjutkan pekerjaan untuk melakukan kalkulasi posisi. Pada proses ini, seluruh PAN ID dimatikan agar tidak ada proses kirim terima yang menguras tenaga baterai. Jika data estimasi sudah didapat, node sensor membuat paket berisi informasi posisi dirinya dan posisi node-node referensi yang diterimanya bersama data hasil pengindraannya. Paket dikirimkan kepada server secara *unicast*.

Implementasi algoritma lokalisasi dibagi dalam beberapa bagian meliputi: sistim komunikasi dengan zigbee, sistim pengambilan data RSSI dari zigbee, sistim estimasi jarak, dan sistim parsing data node referensi. Seluruh sistim tersebut dijalankan masing-masing node secara berurutan sesuai dengan algoritma lokalisasi terdistribusi yang diberikan pada algoritma 3.2. Secara umum, sebuah paket frame informasi berisi Header, ID node, Data dan terminator. Header atau delimiter digunakan sebagai awal dari paket maupun pemisah data. Data posisi node berisi informasi koordinat 2 dimensi dari node, memiliki ukuran 16 bit. Sedangkan data sensor terdiri dari data sensor temperatur dan data sensor cahaya. Masing-masing memiliki ukuran 8 bit. Terminator atau tail adalah akhir dari paket frame, dimana komponen ini memiliki ukuran 8 bit. Ukuran paket informasi untuk masing-masing node referensi adalah 56 bit dan ukuran paket untuk node sensor lebih panjang dari node referensi, yaitu 200 bit.

```

1: p=MeasureRSSI()
2: z=ReadReferenceRSSI()
3: epz=EvaluateError(p,z)
4: while inBoundary do
5:   SelectDistanceMeasurement()
6:   if numberOfReference >=3, then
7:     CalculatePosition()
8:   end if
9:   AddPacketInfo()
10: SendUnicast()

```

Algoritma 3.2 Algoritma Lokalisasi Terdistribusi untuk setiap node sensor

## **BAB 4. EVALUASI KINERJA SKEMA DAN PLATFORM YANG DIUSULKAN**

### **4.1. PENDAHULUAN**

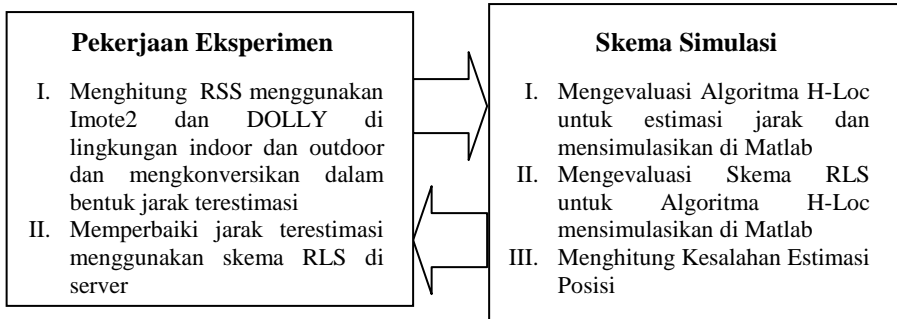
Pada bagian ini akan dijelaskan evaluasi kinerja skema yang diusulkan. Ada dua pekerjaan dalam pengujian kinerja tersebut, pertama dengan pengujian secara simulasi dan kedua pengujian secara eksperimen. Pada skema simulasi, kami menguji kinerja algoritma yang diusulkan menggunakan Matlab sedangkan pada eksperimen kami mengukur karakteristik lingkungan untuk mendapatkan pemodelan kuat sinyal yang diterima node menggunakan DOLLY dan Imote2. Hubungan antara skema simulasi dan pekerjaan eksperimen ditunjukkan pada gambar 4.1.

Kedua pengujian memiliki hubungan timbal balik yang saling menunjang. Pekerjaan eksperimen menyediakan data-data pengukuran kepada pekerjaan simulasi, serta melakukan evaluasi metode pada kondisi riil. Pekerjaan simulasi melakukan pengujian akurasi algoritma kepada data-data pengukuran yang dihasilkan dari eksperimen, mengevaluasi kompleksitas algoritma sehingga bisa didapatkan model algoritma yang ringan untuk ditanamkan kepada node sensor secara eksperimen. Pada pekerjaan simulasi, optimasi dari jarak terestimasi dapat dilakukan secara terdistribusi di masing-masing node sensor, demikian pula dengan proses estimasi posisi. Sedangkan pekerjaan eksperimen secara tes bed sejauh ini hanya mampu menghitung jarak terestimasi dan melakukan pemilihan menggunakan H-Loc. Setelah itu dilakukan proses estimasi jarak menggunakan metode trilaterasi, yang merupakan turunan dari persamaan hiperbolik untuk tiga titik referensi.

### **4.2. SKENARIO SIMULASI**

Parameter simulasi secara garis besar ditunjukkan pada Tabel 4.1, terdiri dari jumlah node maksimal, bidang observasi, jangkauan komunikasi, koefisien path loss dari beberapa jenis bidang observasi serta daya terima node sensor,  $P_{R0}$  pada jarak referensi,  $d_0$ . Node-node diklasifikasikan menjadi node sensor dan node referensi, dimana masing-masing node mempunyai jangkauan komunikasi yang sama. Maksimum range komunikasi diatur sesuai dengan range komunikasi terjauh yang bisa dijangkau menggunakan zigbee S1, yaitu sekitar 100 meter. Diasumsikan range komunikasi dari masing-masing node adalah sama.





Gambar 4.1 Hubungan antara pekerjaan simulasi dan eksperimen

Bidang observasi ini disimulasikan sebagai bidang segiempat dengan panjang sisi-sisinya sama. Metode RSS diaplikasikan berdasarkan hasil pengukuran di lingkungan indoor dan outdoor dengan koefisien path loss yang dicari dari pemodelannya. Mekanisme komunikasi antar node adalah *Line of Sight (LOS)*.

Simulasi digunakan untuk mendapatkan estimasi jarak, baik dengan skema RSS, DV-Hop dan H-Loc untuk topologi sebaran node yang telah ditentukan pada tiga lingkungan observasi. Dari hasil pemilihan jarak terbaik, dilakukan estimasi posisi dari node sensor menggunakan persamaan hiperbolik. Evaluasi dilakukan terhadap kenaikan jumlah node sensor, variansi error yang menyertai pengukuran, kenaikan jangkauan komunikasi dari node referensi, dan luas bidang observasi.

Tabel 4.1 Parameter Simulasi

Parameter	Ukuran
Jumlah node sensor	100 pcs
Luasan observasi	100mx100 m
Lingkungan Observasi	Outdoor LOS, Indoor LOS, Indoor NLOS
Jangkauan komunikasi	40 – 100 m
Koefisien Path Loss	2-5
Daya terima referensi	102 dB
Jarak referensi (d0)	1 m

### 4.3. EVALUASI METODE PENENTUAN JARAK

Pada tahap penentuan jarak, ada tiga jenis evaluasi yang bisa dianalisa, yaitu: evaluasi penentuan jarak berbasis RSS, evaluasi penentuan jarak berbasis DV-Hop dan evaluasi penentuan jarak menggunakan H-Loc.

#### 4.3.1. Evaluasi Penentuan Jarak Berbasis RSS

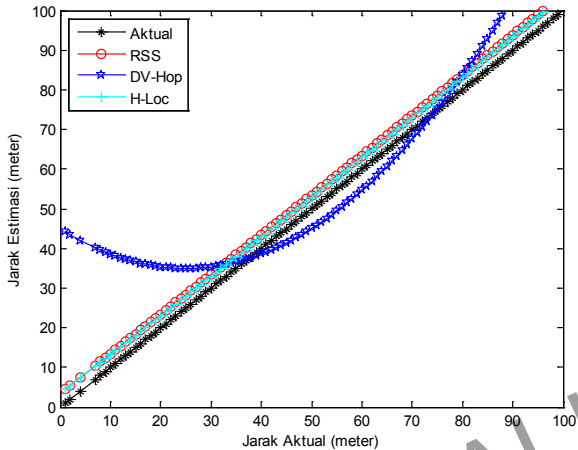
Informasi data jarak diambil dari hasil pengukuran kuat sinyal terima antara dua buah node sensor terbuat dari ATmega8 dengan modul komunikasi Zigbee S1. Masing-masing node bertindak sebagai node referensi, yaitu node yang mengirim data kuat sinyal dan node sensor, yaitu node yang menerima data kuat sinyal. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mendapatkan model propagasi dari daya *losses* di sebuah bidang observasi, sehingga bisa didapatkan model jaraknya. Dengan menggunakan persamaan (3.4) untuk pemodelan LOS, didapatkan data pemodelan atau data ekspektasi dari jarak antar node. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kesalahan estimasi rata-rata jarak yang ditentukan dengan metode RSS pada bidang observasi di lingkungan outdoor LOS adalah 3,4942 meter dan untuk lingkungan indoor LOS adalah 7,425 meter.

#### 4.3.2. Evaluasi Penentuan Jarak Berbasis DV-Hop

Metode penentuan jarak yang lain adalah dengan DV-Hop. Simulasi dilakukan dengan menyebar  $m+n$  node di dalam bidang observasi. Jarak terestimasi dengan DV-Hop antara sebuah node sensor dengan node-node referensinya didapatkan dari persamaan (3.8). Hasil simulasi menunjukkan bahwa kesalahan estimasi rata-rata jarak yang ditentukan dengan metode DV-Hop mencapai 10,469 meter.

#### 4.3.3. Evaluasi Penentuan Jarak dengan H-Loc

Algoritma H-Loc yang mengkombinasikan RSS dan DV-Hop digunakan untuk seleksi penentuan jarak pada bidang observasi outdoor LOS. Pada kondisi ini, jangkauan komunikasi masing-masing node dibuat 80 meter untuk luas observasi  $100 \times 100 \text{ m}^2$ . Dari hasil simulasi pada gambar 4.2 didapatkan bahwa kesalahan estimasi rata-rata jarak yang ditentukan dengan metode H-Loc adalah 3,0142 meter. Dengan demikian metode H-Loc mampu memperbaiki model estimasi jarak metode RSS sebesar 13,67% sedangkan skema H-Loc ini memperbaiki metode DV-Hop hingga 71,84%.



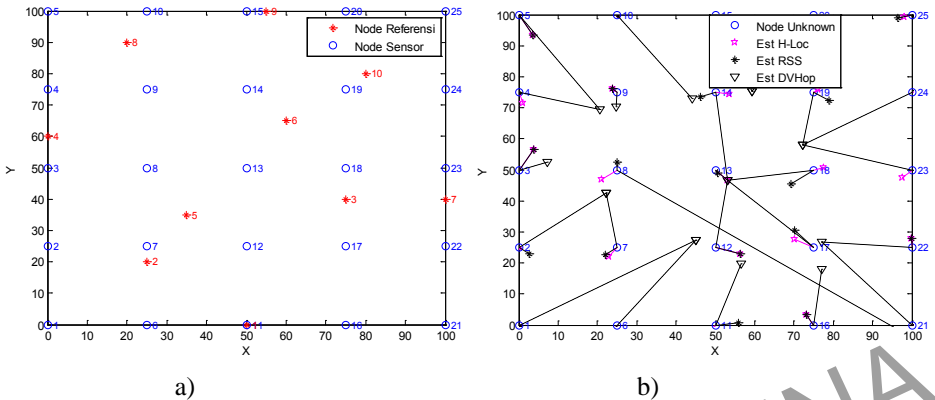
Gambar 4.2 Perbandingan 3 jenis metode estimasi jarak terhadap jarak actual

#### 4.3.4. Evaluasi Estimasi Posisi dengan Persamaan Hiperbolik

Dari estimasi data jarak yang dihasilkan, baik menggunakan skema H-Loc maupun tanpa H-Loc, yaitu dengan RSS dan DV-Hop, dilanjutkan dengan tahap estimasi posisi node sensor. Tahap ini juga dikerjakan secara terdistribusi di masing-masing node sensor. Persamaan hiperbolik (2.4) pada bab 2, digunakan untuk menjalankan proses estimasi posisi node. Data-data yang diperlukan untuk menyelesaikan proses estimasi posisi tersebut adalah data estimasi jarak antara node sensor yang akan mengestimasi posisinya dengan node-node referensi yang terlibat, dan data koordinat node-node referensi tersebut.

Pada sub bab ini akan dievaluasi hasil estimasi posisi yang data jaraknya didapatkan dengan skema H-Loc dan tanpa skema H-Loc. Nilai kesalahan estimasi posisi didapatkan dari absolut selisih kuadrat hasil estimasi posisi dan posisi node sesungguhnya, yang dinyatakan pada persamaan (2.6).

Evaluasi dijalankan pada model sebaran node sensor dan referensi seperti ditunjukkan pada gambar 4.3 a). Ketiga skema dijalankan untuk mendapatkan estimasi posisi dari node-node sensor. Tampilan hasil estimasi posisi ditunjukkan pada gambar 4.3 b).



Gambar 4.3 Sebaran Node pada bidang observasi dan hasil estimasi posisi

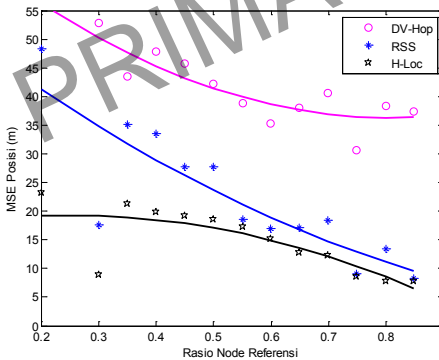
Dari gambar 4.3 b) dapat ditunjukkan bahwa estimasi posisi dengan skema penentuan jarak H-Loc - ditunjukkan dengan marker magenta bintang, menghasilkan estimasi posisi yang paling akurat dibandingkan dengan skema RSS dan DV-Hop. Kondisi ini dapat dilihat dari kedekatan masing-masing marker terhadap node sensor sesungguhnya – dengan marker biru.

Evaluasi kinerja dari ketiga skema ini diuji dengan mengubah-ubah nilai parameter empirik, seperti dijelaskan pada bab 2 sebelumnya, yaitu parameter densitas node, baik node sensor maupun node referensi, jangkauan node dan luas bidang observasi.

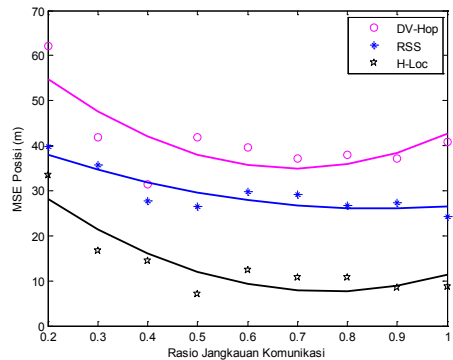
Grafik rata-rata kesalahan (MSE) estimasi posisi ditinjau dari penambahan node referensi akan menyebabkan penurunan nilai MSE estimasi posisi itu sendiri. Ini disebabkan karena semakin banyak node referensi, semakin mudah kemungkinan node sensor mendapatkan referensi terdekat. Gambar 4.4 a) menunjukkan kecenderungan tersebut pada 3 skema yang disimulasikan. Pada grafik tersebut, algoritma DV-Hop standard memiliki kecenderungan memiliki nilai MSE terbesar diikuti oleh algoritma RSS. Algoritma H-Loc yang ditawarkan mampu menurunkan rata-rata kesalahan hingga 88 % lebih baik dibandingkan dengan algoritma DV-Hop pada skema range-free. Algoritma ini juga menurunkan rata-rata kesalahan hingga 66% lebih baik dibandingkan metode RSS pada skema range-based.

Secara umum, penambahan jangkauan komunikasi dari sebuah node akan menyebabkan konektifitas node menjadi semakin besar. Dengan semakin besarnya konektifitas sebuah node, semakin meningkatkan akurasi estimasi posisi atau menurunkan rata-rata kesalahan estimasi posisi node. Hasil simulasi yang menunjukkan kenaikan jangkauan komunikasi node ditunjukkan pada gambar 4.4 b). Pada gambar tersebut ditunjukkan semakin besar rasio jangkauan komunikasi (terhadap panjang sisi daerah observasi) semakin menurun MSE posisi dari seluruh node sensor. Skema H-Loc mampu menurunkan MSE posisi hingga 30% dibandingkan skema RSS, dan 50 % dibanding DV-Hop. Namun ada kondisi kecenderungan naik bila jangkauan komunikasi dinaikkan hingga lebih dari 80%. Ini disebabkan karena masih ada sifat DV-Hop pada skema H-Loc yang ditunjukkan, yang lebih efisien digunakan pada jangkauan komunikasi pendek.

Performansi algoritma H-Loc diuji berdasarkan kenaikan luasan daerah observasi, ditunjukkan pada gambar 4.5. Tujuan evaluasi ini ingin menunjukkan apakah skema yang diusulkan masih memiliki konsistensi MSE posisi jika ditempatkan pada bidang observasi dengan luasan yang berbeda-beda. Dari hasil simulasi ditunjukkan bahwa algoritma H-Loc dan RSS memiliki kecenderungan semakin panjang sisi luasan, atau semakin besar luasan area observasi semakin tinggi MSE posisi yang dihasilkan.

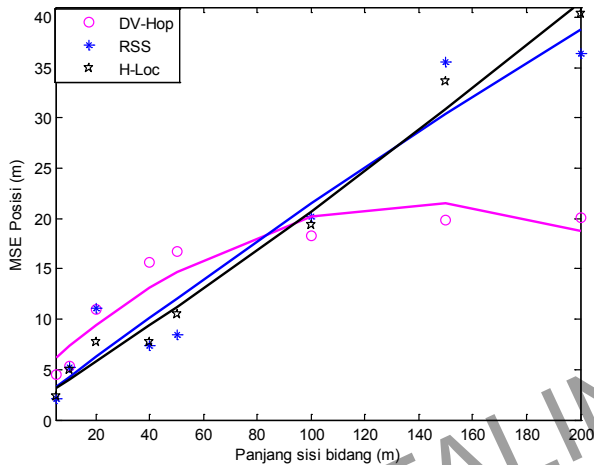


a)



b)

Gambar 4.4 Grafik MSE posisi berdasarkan kenaikan rasio node referensi dan rasio jangkauan komunikasi node referensi



Gambar 4.5 Grafik MSE posisi berdasarkan perubahan luas area observasi pada algoritma H-Loc yang diusulkan

Tidak demikian halnya dengan DV-Hop dimana kenaikan luas observasi hampir tidak mempengaruhi kenaikan MSE. Sehingga bisa disimpulkan, skema DV-Hop cocok digunakan pada berbagai area observasi, baik dengan luas kecil sampai besar, asal pada daerah tersebut densitas node yang disebar cukup banyak agar dihasilkan MSE posisi yang konstan.

#### 4.3.5. Pengukuran Kuat Sinyal dengan Platform DOLLY

Pengukuran dilakukan di area indoor LOS dan NLOS serta outdoor LOS. Ada tiga tempat yang merepresentasikan bidang dengan lingkungan tersebut, yaitu Hall D4 PENS untuk merepresentasikan lingkungan indoor LOS, Lab, Komunikasi Digital PENS untuk lingkungan indoor NLOS dan lapangan sepakbola ITS untuk bidang outdoor LOS. Masing-masing lokasi ditunjukkan pada gambar 4.6.

##### 4.3.5.1. Skenario Pengukuran

Ada dua skema pengukuran yang dilakukan. Pertama, mengukur kuat sinyal untuk mendapatkan pemodelan karakteristik lingkungan bidang

observasi, dan kedua, mendapatkan estimasi posisi masing-masing node tak dikenal dengan mengimplementasikan framework sistim lokalisasi terdistribusi. Pada eksperimen pertama, kami meletakkan sepasang node, yaitu sebuah node referensi dan sebuah node tak dikenal pada bidang observasi, dengan lay out seperti ditunjukkan pada gambar 4.7. Node tak dikenal mengirimkan sebuah karakter ASCII kepada node referensi, selanjutnya node referensi membalas dengan mengirimkan kuat sinyal bernilai dua digit hexadesimal. Jarak antara node kirim dan terima dibuat berjauhan secara logaritmik setahap demi setahap dan eksperimen diulang 11 kali



a)



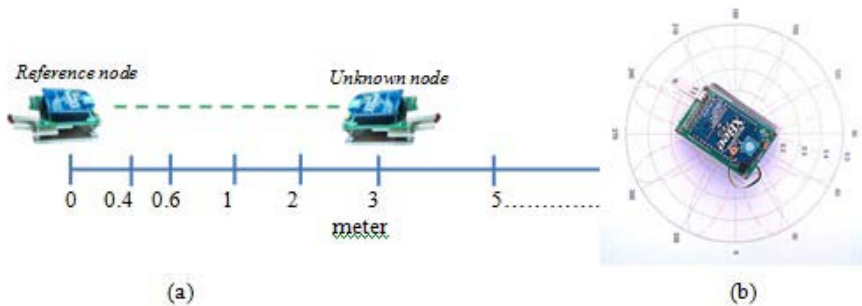
b)



c)

Gambar 4.6 Lokasi Pengukuran

- a) Hall D4 PENS    b) Lap Sepak Bola ITS    c) Lab. Komunikasi Digital PENS



Gambar 4.7 Skema Pengujian karakteristik lingkungan

- (a) Jarak antar node sebagai fungsi logaritmik      (b) Perubahan sudut kedatangan sinyal  $30^\circ$

pada jarak yang sama dengan sudut kedatangan berbeda  $30^\circ$  derajat, seperti ditunjukkan pada gambar 4.8(a) dan (b).

Pemodelan kuat sinyal terima terhadap jarak ukur dari lingkungan outdoor LOS dan histogram sebaran kesalahan estimasi jarak ditunjukkan pada gambar 4.9 a) dan b). Pengukuran tersebut menghasilkan pemodelan kuat sinyal dengan

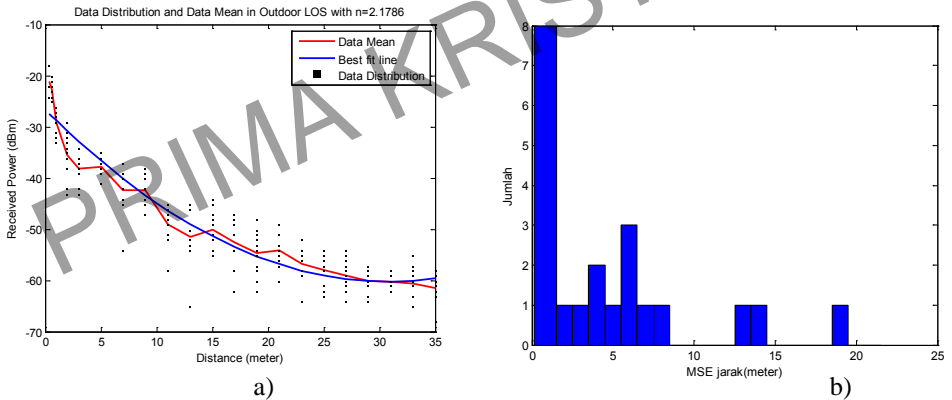
Tabel 4.2 Parameter Pengujian

Parameter	DOLLY	Imote2
Processor	ATMega 8	PXA271 XScale
Radio	Xbee Pro S1	CC2420 (compliant with IEEE 802.15.4)
Frequency Band	2.4 GHz	2.4 GHz
Data rate	250 kbps	250 kbps
Power Transmit	18 dBm	-24 – 0 dBm
Receiver Sensitivity	-100 dBm	-94 dBm
Distance from land surface	0.45 meter	0.45 meter
Measurement Angle	0 – $30^\circ$	0 – $30^\circ$
Node amount	5	5



koefisien path loss  $n=2,1786$  dan persamaan fitting  $y(i)=0,04x^2-2,1x-43,38$ . Rata-rata kesalahan antara jarak terestimasi dan jarak sesungguhnya adalah  $\mu_{ed}=3,84$  dan variance kesalahannya adalah  $\sigma_{ed}^2=3,75$ . Grafik histogram menunjukkan bahwa dari 21 ukuran jarak yang diestimasi, 38 % nya (atau 8 ukuran) memiliki kesalahan estimasi kurang dari 1 meter, sedangkan 85,7% nya (atau 18 ukuran) memiliki kesalahan estimasi di bawah 10 meter. Hanya 1 ukuran (4,7%) yang memiliki kesalahan hampir 20 meter.

Pengukuran di bidang indoor LOS, seperti pada gambar 4.10, dengan DOLLY menghasilkan pemodelan kuat sinyal dengan koefisien path loss  $n=2,6054$  dan persamaan fitting  $y(i)=0,0398x^2-1,98x-34,43$ . Rata-rata kesalahan antara jarak terestimasi dan jarak sesungguhnya  $\mu_{ed}=6,789$  dan variance kesalahannya  $\sigma_{ed}^2=53,25$ . Sedangkan pemodelan pada bidang yang sama dengan menggunakan Imote2 menghasilkan koefisien path loss  $n=2,04$ , persamaan fitting  $y(i)=0,0548x^2-2,48x-55,06$ . Rata-rata kesalahan antara jarak terestimasi dan jarak sesungguhnya  $\mu_{ed}=3,824$  dan variance kesalahannya  $\sigma_{ed}^2=29,69$ .



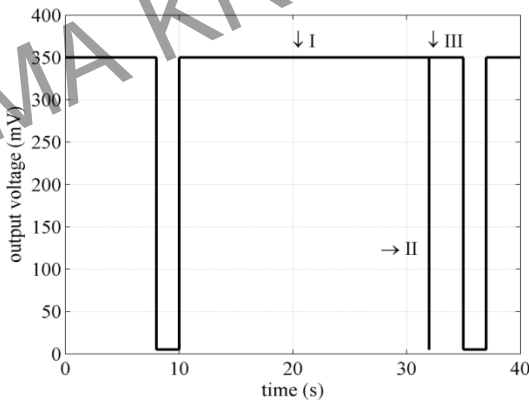
Gambar 4.8 Karakteristik Outdoor LOS berdasarkan pengukuran dgn Dolly  
a) Model fitting dan data terukur b) Histogram Kesalahan Jarak



waktu eksekusi dari node saat seluruh proses dikerjakan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa rata-rata waktu eksekusi untuk bagian I adalah sekitar 22 detik, bagian II memerlukan waktu hanya 5ms sedangkan bagian III perlu waktu 3 detik untuk menyelesaikan pekerjaannya. Durasi dari proses komunikasi untuk mengirim dan menerima data dari seluruh node referensi yang diperlukan oleh node sensor adalah 4400 kali lebih lama daripada waktu komputasi di dalam node. Sedangkan waktu pengiriman ke sisi server lebih lama 600 kali dibandingkan waktu komputasi di dalam node. Secara keseluruhan, durasi untuk komputasi posisi hanya memerlukan waktu 0,02% dari total waktu eksekusi.

Tabel 4.3 Rangkuman Hasil Estimasi Posisi Node Sensor

Koordinat	$X_1$	$Y_1$	$X_2$	$Y_2$	$X_3$	$Y_3$
Sesungguhnya	0	4	3	3	6	6
Estimasi Rata-rata	0.111	4	2.33	3	5.33	6.22
Kesalahan Posisi (meter)	0.111		0.66		0.7	



Gambar 4.10 Total waktu yang diperlukan node sensor untuk menyelesaikan proses terdistribusi

## BAB 5. PENUTUP

Bagian penutup dari disertasi ini berisi kesimpulan dari seluruh pekerjaan yang telah dilakukan dan rekomendasi untuk perbaikan dalam pekerjaan berikutnya.

### 5.1. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan eksperimen berbasis test bed pada bidang observasi outdoor dan indoor *Line of Sight* (LOS) dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Pengkombinasian skema penentuan jarak berbasis RSS dan skema range-free DV-Hop menjadi skema H-Loc mampu memperbaiki akurasi estimasi jarak hingga 13,6% terhadap skema RSS dan 71,84% terhadap skema DV-Hop. Skema H-Loc mampu menaikkan akurasi estimasi posisi node hingga 66% dibandingkan RSS dan 88% dibandingkan DV-Hop.

Proses kalkulasi posisi telah dijalankan di masing-masing node, bukan di server dengan perbandingan 4400:1:600 untuk rasio waktu komunikasi antara semua node referensi dengan node sensor, waktu komputasi di dalam node sensor dan waktu kirim secara *unicast* ke server. Proses kalkulasi hanya memerlukan 0,02% saja dari total waktu eksekusi sebuah proses lokalisasi oleh sebuah node. Dibandingkan dengan Imote2 yang menjalankan seluruh proses lokalisasi secara tersentral di server, DOLLY cukup reliable dalam pengestimasi jarak antar node, asalkan pemodelan *path loss* di dalam bidang observasi cukup akurat.

### 5.2. REKOMENDASI

Berdasarkan kesimpulan yang didapatkan dari hasil evaluasi skema-skema lokalisasi yang diusulkan, didapatkan beberapa kekurangan yang perlu diperbaiki untuk pekerjaan berikutnya. Beberapa hal yang direkomendasikan untuk perbaikan tersebut meliputi:

1. Perlu dilakukan pengukuran kuat sinyal menggunakan sumber sinyal baseband 2,4 GHz di bidang observasi sebelum mengambil data menggunakan modul zigbee yang telah bercampur dengan informasi untuk mendapatkan sebaran noise yang menyertai sinyal informasi.
2. Perlu perbaikan model pembobotan DV-Hop, dengan mempertimbangkan konektifitas antar node berdasarkan besarnya kuat

sinyal yang diterima sebagai derajat kepercayaan (*degree of believe*) dari jalur yang dilalui.

3. Perlu penggantian modul komunikasi yang berfungsi *peer to multi peer* atau yang memiliki topologi star, dimana modul yang terpasang di node sensor sebagai server dan modul-modul di node referensi berlaku sebagai client. Dengan demikian proses pengambilan data dari node-node referensi bisa dilaksanakan secara simultan.

PRIMA KRISTALINA

## DAFTAR PUSTAKA

- Akyildiz, I.F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., Cayirci, E., 2002, "Wireless Sensor Networks: A Survey", *Elsevier J. Comput. Netw.* Vol.38, No.4, pp.393–422.
- Bachrach, J., Taylor, C., 2005. "Localization in Sensor Networks", in: *Stojmenović, I. (Ed.), Handbook of Sensor Networks. John Wiley & Sons, Inc.*, pp. 277–310.
- Baggio, A., Langendoen, K., 2008. "Monte Carlo Localization For Mobile Wireless Sensor Networks". *J. Ad Hoc Networks* Vol.6, No.5, pp. 718–733.
- Biswas, P., Lian, T.-C., Wang, T.-C., Ye, Y., 2006. "Semidefinite Programming Based Algorithms for Sensor Network Localization". *ACM Trans Sen Netw (TOSN)* Vol.2, No.2, pp. 188–220.
- Blumenthal, J., Grossmann, R., Gólatowski, F., Timmermann, D., 2007. Weighted Centroid Localization in Zigbee-based Sensor Networks, in: *IEEE Int'l Symp. on Intelligent Signal Processing, 2007(WISP 2007)*, Alcalá de Henares. pp. 1–6.
- Boukerche, A., 2008. "Algorithms and Protocols for Wireless Sensor Networks", 1<sup>st</sup> Ed. Wiley-IEEE Press, Hoboken, N.J
- Boukerche, A., Oliveira, H.A.B.F. de, Nakamura, E.F., Loureiro, A.A.F., 2007. "Localization Systems For Wireless Sensor Networks". *IEEE Wirel. Commun. Mag.* Vol. 14, No.2, pp. 6–12.
- Cequn, F., Shulei, W., Sheng, Z., 2011. "Algorithm of Distribution Estimation for Node Localization in Wireless Sensor Network", in: *2011 Seventh Int'l Conf. on Computational Intelligence and Security (CIS)*, Hainan, pp. 219–221.
- Chan, F.K.W., 2008. "Development of Node Positioning Algorithms for Wireless Sensor Networks", (Dissertation), City University of Hongkong, Hongkong.
- Chang, C.-K., Siagian, C., Itti, L., 2010. "Mobile robot vision navigation amp; localization using Gist and Saliency", in: *2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 4147–4154.

- Chuang, P.-J., Wu, C.-P., 2008. "An Effective PSO-Based Node Localization Scheme for Wireless Sensor Networks", in: *Ninth Int'l Conf. on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies*, 2008 (PDCAT 2008), pp. 187–194.
- Culler, D., Estrin, D., Srivastava, M., 2004. "Guest Editors' Introduction: Overview of Sensor Networks", *Computer* Vol.37, No.8, 41–49.
- Dai, F., Liu, Y., Chen, L., 2012. "A Hybrid Localization Algorithm for Improving Accuracy Based on RSSI/AOA in Wireless Network", in: *2012 Int'l Conf. on Computer Science Service System (CSSS)*, pp. 631–634.
- Dargie, W., Poellabauer, C., Wiley InterScience (Online service), 2010. "Fundamentals of Wireless Sensor Networks Theory and Practice", Wiley, Chichester, West Sussex, U.K.; Hoboken, NJ.
- De Cauwer, P., Van Overtweldt, T., Doggen, J., Van der Schueren, F., Weyn, M., 2010. "Study of RSS-based Localisation Methods in Wireless Sensor Networks", in: *ECUMIT 2008*, Ghent.
- Ding, Y., Tian, H., Han, G., 2012. "A Distributed Node Localization Algorithm for Wireless Sensor Network Based on MDS and SDP", in: *2012 Int'l Conf. on Computer Science and Electronics Engineering (ICCSEE)*, Hangzhou, pp. 624–628.
- Farahani, S., 2008. "ZigBee wireless networks and transceivers", *Newnes/Elsevier*, Amsterdam; Boston
- Gholami, M.R., Wymeersch, H., Ström, E.G., Rydström, M., 2011. "Wireless Network Positioning as a Convex Feasibility Problem". *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.* Vol.2011, No.161, pp.1-15.
- Ghosh, A., Das, S.K., 2008. "Coverage and connectivity issues in wireless sensor networks: A survey", *Elsevier Pervasive Mob. Comput.* Vol.4, No.3, pp.303–334.
- Gogolak, L., Pletl, S., 2011. "Indoor Fingerprint Localization in WSN Environment Based on Neural Network", in: *9<sup>th</sup> Int'l Symp. On Intelligent Syst. And Informatics (SISY 2011)*, Subotica, pp. 293–296.
- He, J., Geng, Y., Wan, Y., Li, S., Pahlavan, K., 2013. "A Cyber Physical Test-Bed for Virtualization of RF Access Environment for Body Sensor Network". *IEEE Sensors Journal* Vol.13, No.10, pp.3826–3836.

- Kannan, A.A., Mao, G., Vucetic, B., 2006. "Simulated Annealing based Wireless Sensor Network Localization with Flip Ambiguity Mitigation", in: *IEEE Vehicular Technology Conf.( VTC 2006)*, pp. 1022–1026.
- Karl, H., Willig, A., 2005. "Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks", *Wiley, Hoboken, NJ*.
- Kianoush, S., Goldoni, E., Savioli, A., Gamba, P., 2012. "Low-Complexity Localization and Tracking in Hybrid Wireless Sensor Networks". *ISRN Sensor Networks* Vol. 2012.
- Kim, T., Shon, M., Kim, M., Kim, D.S., Choo, H., 2012. "Anchor-Node-Based Distributed Localization with Error Correction in Wireless Sensor Networks". *Int. J. Distrib. Sens. Netw.* Vol.2012,
- Kristalina, P., 2013. "Weighted Hybrid Localization Scheme for Improved Node Positioning in Wireless Sensor Networks", *Int'l J. on Smart Sensing and Intelligent Systems* Vol.6, No.5, pp.1986 – 2010.
- Kristalina, P., Wirawan, Hendrantoro, G., 2014. 'DOLLY: An Experimental Evaluation of Distributed Node Positioning Framework in Wireless Sensor Networks', in: *IEEE 9th Int'l Conf. on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP 2014) Symp. on Sensor Networks*, Singapore, pp. 1–6.
- Kristalina, P., Wirawan, W., Hendrantoro, G., 2011. "Improve the Robustness of Range-Free Localization Methods on Wireless Sensor Networks using Recursive Position Estimation Algorithm", *ITB J. Inf. Commun. Technol.* Vol.5, No.3, pp.203–222.
- Kristalina, P., Wirawan, W., Hendrantoro, G., 2011. "Improved range-free localization methods for wireless sensor networks", in: *2011 Int'l Conf. on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI 2011)*, Bandung, pp. 1–6.
- Kristalina, P., Wirawan, W., Hendrantoro, G., 2012. "The Enhancement of Node Positioning Accuracy Using Hybrid Localization Method for Wireless Sensor Networks", in: *2012 Int'l Conf. on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACISIS)*, Depok, pp. 65–69.
- Kunz, T., Tatham, B., 2012. "Localization in Wireless Sensor Networks and Anchor Placement". *J. of Sensor and Actuator Networks* Vol.1, pp. 36–58.



- Langendoen, K., Reijers, N., 2003. "Distributed Localization in Wireless Sensor Networks: A Quantitative Comparison". *Elsevier Comput. Netw.* Vol.43, pp. 499–518.
- Li, J., Zhang, J., Xiande, L., 2009. "A Weighted DV-Hop Localization Scheme for Wireless Sensor Networks", in: *Scalable Computing and Communications; Int'l Conf. on Embedded Computing, Int'l Conf. on IEEE Computer Society*, Los Alamitos, CA, USA, pp. 269–272.
- Liu, Y., Yang, Z., 2010. "Location, Localization, and Localizability: Location-awareness Technology for Wireless Networks", *Springer*, NY, USA
- Madigan, D., Ju, W.-H., Krishnan, P., Krishnakumar, A., Zorych, I., 2006. "Location Estimation in Wireless Networks: a Bayesian Approach". *Statistica Sinica*, Vol. 16, No.2, pp. 495–522.
- Manley, E.D., Nahas, H.A., Deogun, J.S., 2006. "Localization and Tracking in Sensor Systems", in: *IEEE Int'l Conf. on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing*, 2006, pp. 237–242.
- Mao, G., Anderson, B.D.O., Fidan, B., 2007. "Path Loss Exponent Estimation for Wireless Sensor Network Localization", *Elsevier Comput Netw* Vol.51, No.10, pp. 2467–2483.
- Mao, G., Fidan, B. (Eds.), 2009. "Localization Algorithms and Strategies for Wireless Sensor Networks: Monitoring and Surveillance Techniques for Target Tracking". *IGI Global*, Hersey, NY, USA.
- Mao, G., Fidan, B., Anderson, B.D.O., 2007. "Wireless Sensor Network Localization Techniques". *Elsevier Comput. Netw.* 51, No.10, pp. 2529–2553.
- Moore, D., Leonard, J., Rus, D., Teller, S., 2004. "Robust Distributed Network Localization with Noisy Range Measurements", in *Proc. of the 2<sup>nd</sup> Int'l Conf. on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '04)*, pp. 50-6
- Niculescu, D., Nath, B., 2003. "DV Based Positioning in Ad Hoc Networks". *Kluwer J.Telecommunication Systems* Vol.22, No. 1-4, pp. 267–280.
- Pal, A., 2010. "Localization Algorithms in Wireless Sensor Networks: Current Approaches and Future Challenges". *Macrothink Inst. Network Protocols and Algorithms* Vol.2, No.1, pp. 45–73.

- Pavkovic, B., Theoleyre, F., Barthel, D., Duda, A., 2010. "Experimental Analysis and Characterization of a Wireless Sensor Network Environment", in: *Proc. of the 7th ACM Workshop on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks, PE-WASUN '10*. ACM, New York, NY, USA, pp. 25–32.
- Pereira, A.B., 2012. "A Pragmatic Approach of Localization and Tracking Algorithms in Wireless Sensor Networks". Dissertation, *Universitat Autònoma de Barcelona*.
- Rappaport, T.S., 1996. "Wireless Communications: Principles and Practice", 1st ed. *IEEE Press*, Piscataway, NJ, USA.
- Saxena, M., Gupta, P., Jain, B.N., 2008. "Experimental Analysis Of RSSI-Based Location Estimation In Wireless Sensor Networks", in: *3rd Int'l Conf. on Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE 2008)*, pp. 503–510.
- Sheu, J.-P., Chen, P.-C., Hsu, C.-S., 2008. "A Distributed Localization Scheme for Wireless Sensor Networks with Improved Grid-Scan and Vector-Based Refinement", *IEEE Trans. Mob. Comput.* Vol.7, No.9, pp. 1110–1123.
- Shi, Q., Huo, H., Fang, T., Li, D., 2010. "A Distributed Node Localization Scheme for Wireless Sensor Networks", *Springer Wirel. Pers. Commun.* Vol.53, No. 1, 15–33.
- Stankovic, J.A., 2008. "Wireless Sensor Networks", *IEEE Comput.* Vol. 41, No.10, pp.92 – 95
- Sugano, M., 2006. "Indoor localization system using rssi measurement of wireless sensor network based on zigbee standard", in: *Wireless and Optical Communications. IASTED/ACTA Press*, pp. 1–6.
- Tarrío, P., Bernardos, A.M., Casar, J.R., 2011. "Weighted Least Squares Techniques for Improved Received Signal Strength Based Localization", *MDPI Sensors* Vol.2011, No.11, pp. 8569–8592.
- Wan, J., Yu, N., Feng, R., Wu, Y., Su, C., 2009. "Localization refinement for wireless sensor networks", *Elsevier Comput. Commun.* Vol.32, No. 13-14, pp. 1515–1524.
- Wang, L., Xu, Q., 2010. "GPS-Free Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks", *MDPI Sensors* Vol.2010, No.10, pp. 5899–5926.
- Xiang, M., Hu, Y., Li, L., 2011. "A Connectivity Based Localization Algorithm for Sensor Network", in: *2011 Int'l Conf. on Network Computing and Information Security (NCIS)*, pp. 273–277

- Xiao, F., Wu, M., Huang, H., Wang, R., Wang, S., 2012. "Novel Node Localization Algorithm Based on Nonlinear Weighting Least Square for Wireless Sensor Networks", *Int. J. Distrib. Sens. Netw.* Vol. 2012
- Xu, J., 2010. Distance Measurement Model Based on RSSI in WSN. *Wireless Sensor Network 02*, pp. 606–611.
- Yang, G., Yi, Z., Tianquan, N., Keke, Y., Tongtong, X., 2010. "An Improved Genetic Algorithm for Wireless Sensor Networks Localization", in: *2010 IEEE 5<sup>th</sup> Int'l Conf. on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA)*, pp. 439–443.
- Yun, S., Lee, J., Chung, W., Kim, E., 2005. "Centroid Localization Method in Wireless Sensor Networks using TSK Fuzzy Modelling", In: *Int'l Symp. on Advanced Intelligent Systems*, Sokcho, Korea, pp. 971–974.
- Zanca, G., Zorzi, F., Zanella, A., Zorzi, M., 2008. "Experimental Comparison of RSSI-based Localization Algorithms for Indoor Wireless Sensor Networks", in: *Proc. of the Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks, (REALWSN '08)*. ACM, New York, NY, USA, pp. 1–5.
- Zhong, Z., 2010. "Range-free Localization and Tracking in Wireless Sensor Networks", *Dissertation, University of Minnesota, USA*.
- Zhu, C., Zheng, C., Shu, L., Han, G., 2011. "A Survey on Coverage and Connectivity Issues in Wireless Sensor Networks", *J. of Networks and Computer Applications* Vol.35, No.2, pp.619–632.

## BIODATA



Nama : Prima Kristalina  
 Tempat / Tanggal Lahir : Surakarta / 25 Mei 1965  
 Agama : Islam  
 Pekerjaan : Staf pengajar di Prodi Telekomunikasi –  
 PENS  
 Politeknik Elektronika Negeri Surabaya  
 Alamat Kantor : (PENS),  
 Jl. Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
 Nomor Telepon Kantor : 031-5947280  
 Alamat Rumah : Jl. Wiguna Timur XI/36, Surabaya 60294  
 Nomor telepon / HP : 031-8712086 / 081914602500  
 E-mail : prima@pens.ac.id  
 URL : lecturer.eepis-its.edu/~prima  
 Nama Suami : Karno Prihatin  
 Nama Anak : Karina Setya Kartika  
 Aditya Parama Hadi

### Riwayat Pendidikan

SDK Mater Dei II Probolinggo, Lulus tahun 1977  
 SMPK Mater Dei Probolinggo, Lulus tahun 1981  
 SMAN 16 (a.k.a SMPPN) Surabaya, Lulus tahun 1984  
 S1 Jurusan T. Elektro ITS, Lulus tahun 1989  
 S2 Jurusan T. Informatika ITS, Lulus tahun 2000  
 S3 Jurusan T. Elektro, ITS, masuk TA 2009/2010

## Riwayat Pekerjaan

Staf Pengajar Prodi Telekomunikasi Departemen T. Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, tahun 1989 sampai sekarang.

## Daftar Publikasi

### A. JURNAL INTERNASIONAL

Kristalina, P, Wirawan, Hendratoro, G, 2013, “Weighted Hybrid Localization Scheme For Improved Node Positioning In Wireless Sensor Networks”, *Int’l Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, Vol. 6, No.5, Dec. 2013, pp. 1986 – 2010, [www.s2is.org](http://www.s2is.org) (terindeks scopus)

### B. JURNAL NASIONAL TERAKREDITASI

Kristalina, P, Wirawan, Hendratoro, G, 2011, “Improve the Robustness of Range-Free Localization Methods on Wireless Sensor Networks using Recursive Position Estimation Algorithm”, *ITB Journal of Information and Communication*, Vol. 5, No. 3, 2011, pp. 207 – 226, [journal.itb.ac.id](http://journal.itb.ac.id) (akreditasi A)

### C. SEMINAR INTERNASIONAL

Kristalina, P., Wirawan, Hendratoro, G., 2014. “DOLLY: An Experimental Evaluation of Distributed Node Positioning Framework in Wireless Sensor Networks”, in: *IEEE 9th Int’l Conf. on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP 2014) Symp. on Sensor Networks*, Singapore, pp. 1–6

Kristalina, P., Wirawan, W., Hendratoro, G., 2012. “The Enhancement of Node Positioning Accuracy Using Hybrid Localization Method for Wireless Sensor Networks”, in: *2012 Int’l Conf. on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS)*, Depok, pp. 65–69.

Kristalina, P, Wirawan, Hendratoro, G, 2011, “Node Localization Methods with Improved Accuracy for Wireless Sensor Networks”, *Proc.on IEEE Region 10 Conference*, Bali, 22-24 November 2011, pp.925-929.

Kristalina, P., Wirawan, W., Hendratoro, G., 2011. “Improved Range-Free Localization Methods for Wireless Sensor Networks”, in: *2011 Int’l Conf. on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI 2011)*, Bandung, pp.1–6.

### **Daftar Penelitian**

1. Hibah Desentralisasi DIKTI Skema Disertasi Doktor, 2013, “Skema Lokalisasi Range-Free Dengan Metode Weighted Least Square Untuk Perbaikan Estimasi Posisi Node Statis Pada Jaringan Sensor Nirkabel”, SK.No. 062.12/PL14/PG.1/2013.
2. Hibah Desentralisasi DIKTI Skema Penelitian Fundamental, 2014, “Skema Lokalisasi Hybrid Berdasarkan Kuat Sinyal Terima Untuk Mengestimasi Posisi Perangkat Stasioner Pada Jaringan Nirkabel” , SK. No. 0190/PL14/PG/2014

### **Penghargaan**

1. Penerima “Satya Lancana Karya Satya”, Masa bakti PNS 20 tahun, April 2013, Keppres No. 17/TK/TAHUN 2013
2. Best Session Presenter pada ICACIS 2012 di UI Depok , untuk paper dengan judul “The Enhancement of Node Positioning Accuracy Using Hybrid Localization Method for Wireless Sensor Networks”.