

**PENGARUH MOBILITAS *SINK NODE* PADA *WIRELESS SENSOR NETWORK* (WSN) UNTUK PEMANTAUAN AKTIFITAS PERGERAKAN
GAJAH DALAM AREA PENANGKARAN**

(Skripsi)

**Oleh
YONA ANNISA**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2017

ABSTRAK

PENGARUH MOBILITAS *SINK NODE* PADA *WIRELESS SENSOR NETWORK* (WSN) UNTUK PEMANTAUAN AKTIFITAS PERGERAKAN GAJAH DALAM AREA PENANGKARAN

Oleh

YONA ANNISA

Indonesia memiliki aneka ragam tumbuhan dan hewan yang dilindungi keberadaannya agar tidak punah. Salah satunya adalah gajah. Salah satu cara untuk melindungi gajah adalah dengan menempatkannya pada area penangkaran. Walaupun demikian, hal ini tidak menutup kemungkinan bahwa gajah dapat keluar dari area penangkarannya. *Wireless Sensor Network* (WSN) adalah sebuah teknologi yang dapat digunakan untuk memantau pergerakan gajah di area penangkaran. WSN adalah teknologi komunikasi tanpa kabel antara perangkat sensor (*sensor node*) yang menggunakan daya pancar rendah. Terdapat perangkat pengumpul (*sink node*) yang berfungsi mengumpulkan informasi yang diperoleh dari *sensor node*. Awalnya *sink node* bersifat diam (*static*) sehingga pada kasus transmisi *multi hop sensor node* yang jaraknya paling dekat dengan *sink node* akan melakukan lebih banyak aktifitas (komunikasi), sehingga akan lebih banyak kehabisan energi. Hal ini dapat mempersingkat umur (*lifetime*) jaringan. Oleh karena itu, digunakan *sink node* yang bergerak (*mobile*) agar konsumsi energi menjadi lebih merata dan *lifetime* jaringan menjadi lebih panjang. Metode penelitian yang digunakan adalah pemodelan dan simulasi. Pemodelan dibedakan berdasarkan jumlah *sink node* yang digunakan yaitu tunggal (*single*) dan jamak (*multiple*). Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan menggunakan *sink node* yang bergerak maka konsumsi energi lebih merata dan *lifetime* jaringan yang diperoleh lebih panjang dibandingkan dengan hanya menggunakan *sink node* yang diam.

Kata kunci: *Wireless Sensor Network* (WSN), *sensor node*, *sink node*, *static sink node*, *lifetime*, energi, dan *mobile sink node*.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF MOBILITY SINK NODE IN WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN) FOR MONITORING THE ACTIVITIES OF THE MOVEMENT OF ELEPHANTS IN CONSERVATION AREA

By

YONA ANNISA

Indonesia has varieties of plants and animals in which their existence are protected due to the extinction. One of the protected animals is elephant. Protecting the elephants can be conducted by locating them in a conservation area. However, there is still a possibility for them to moving out of the conservation area. Wireless Sensor Networks (WSN) is a technology that can be used to monitor the movement of the elephants in the conservation area. WSN is a wireless communication technology between sensing device (sensor nodes) which uses a low transmit power. Furthermore, there is a collecting device (sink node) which collects the information obtained from the sensor node. At the beginning of WSN, sink node is static so that the sensor node which are closest to the sink node will do more activities (communications) in case of multi hop transmission. Therefore, it will be more depleted of energy by which is shortening the network lifetime. Accordingly, the use of the moving (mobile) sink node for saving the energy consumption becomes more prevalent as well as the network lifetime. The research method used in this undergraduate project is the modeling and simulation. Modeling is differentiated based on the amount of sink nodes used i.e. single and multiple sink nodes. The simulation results showed that mobile sink node provided more efficient energy consumption and longer network lifetime compared to static sink node only.

Keywords: *Wireless Sensor Network (WSN), sensor node, sink node, static sink node, lifetime, energy, and mobile sink node.*

**PENGARUH MOBILITAS *SINK NODE* PADA *WIRELESS SENSOR NETWORK* (WSN) UNTUK PEMANTAUAN AKTIFITAS PERGERAKAN
GAJAH DALAM AREA PENANGKARAN**

Oleh

Yona Annisa

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

**Judul Skripsi : PENGARUH MOBILITAS *SINK* NODE PADA
WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN)
UNTUK PEMANTAUAN AKTIFITAS
PERGERAKAN GAJAH DALAM AREA
PENANGKARAN**

Nama Mahasiswa : Yona Annisa

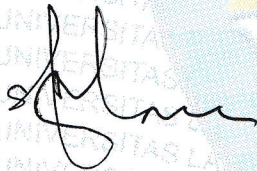
Nomor Pokok Mahasiswa : 1315031099

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Syaiful Alam, S.T., M.T.
NIP 19690416 199803 1 004



Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19710525 199903 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

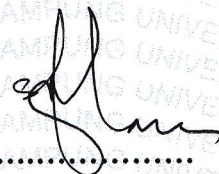
Ketua

: Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D.



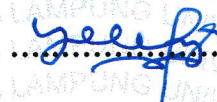
Sekretaris

: Syaiful Alam, S.T., M.T.

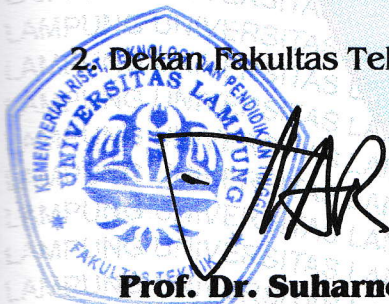


Penguji

Bukan Pembimbing : Yetti Yuniati, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002

4

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 12 Juni 2017

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Yona Annisa
NPM : 1315031099
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Judul : Pengaruh Mobilitas *Sink Node* pada *Wireless Sensor Network* (WSN) untuk Pemantauan Aktivitas Pergerakan Gajah dalam Area Penangkaran

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak ada terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau yang diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.



Bandar Lampung, 12 Juni 2017

Yona Annisa

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 23 Maret 1995 sebagai anak kedua dari Bapak Azhari Amran dan Ibu Dewi Sri Hartati (Almh). Pendidikan yang penulis tempuh berawal dari Taman Kanak-kanak di TK Tut Wuri Handayani pada tahun 2000. Setahun kemudian, penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 2 Gunung Terang dan selesai pada tahun 2007. Penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 22 Bandar Lampung dan selesai pada tahun 2010. Kemudian mengambil jurusan Teknik Komputer dan Jaringan (TKJ) di SMKN 2 Bandar Lampung dan selesai tiga tahun setelahnya. Penulis diterima sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) di tahun 2013. Penulis menjabat sebagai asisten di Laboratorium Teknik Pengukuran Besaran Elektrik Universitas Lampung sejak tahun 2014 dan asisten mata kuliah Kalkulus I di tahun yang sama. Selain itu, penulis pernah menjabat sebagai anggota divisi bidang pendidikan Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) pada periode 2014/2015 dan periode 2015/2016. Ketika menjadi mahasiswa penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. Divisi Infratel Arnet Lampung dan melaksanakan program Kuliah Kerja Nyata (KKN) program pengabdian mahasiswa di desa Cimarias, Kecamatan Bangun Rejo, Lampung Tengah dengan program kerja khusus dari Kementerian Perumahan Umum dan Permukiman Rakyat pada tahun 2016.



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Skripsi ini kupersembahkan untuk

Ibu dan Bapak Tercinta

Dewi Sri Hartati (Almh)

dan

Azhari Amran

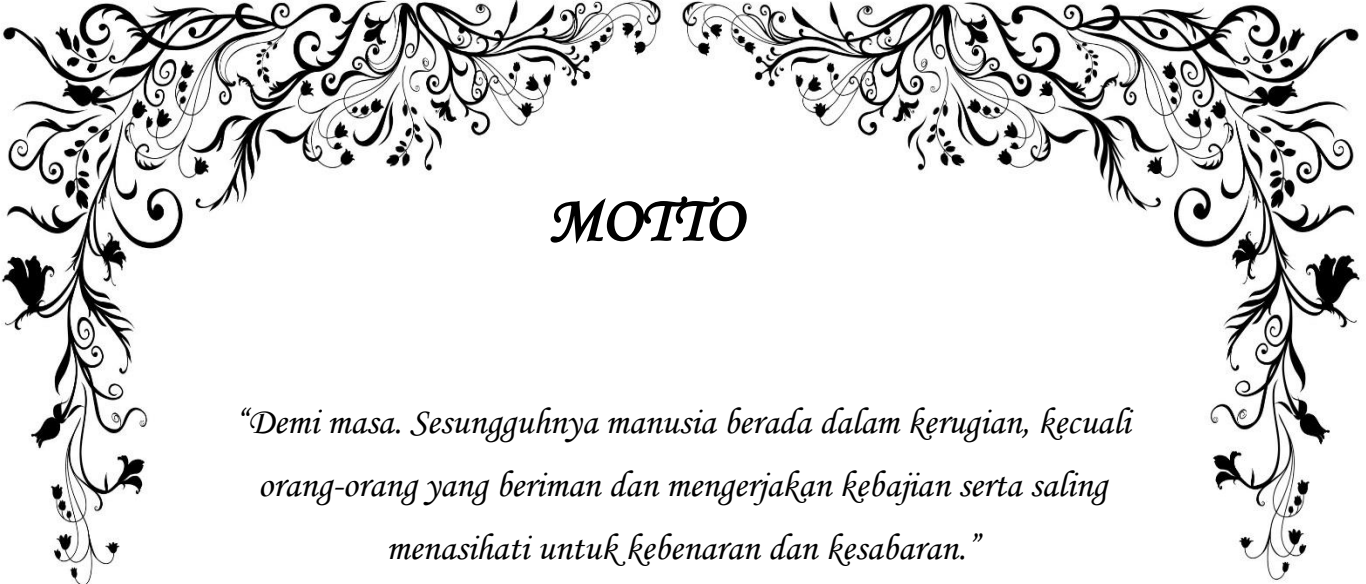
Kakak dan Adikku Tersayang

Dea Perdana

dan

Ria Mairosa

Keluarga Besar, Dosen, Teman, dan Almamater



MOTTO

“Demi masa. Sesungguhnya manusia berada dalam kerugian, kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan kebajikan serta saling menasihati untuk kebenaran dan kesabaran.”

(Al-Qur'an, Surah Al-Asr [103]: 1-3)

“Karena sesungguhnya setelah kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya setelah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai, tetaplah bekerja keras, dan kepada Tuhanmulah kamu berharap.”

(Al-Qur'an, Surah Al – Insyirah [94]: 5 – 8)

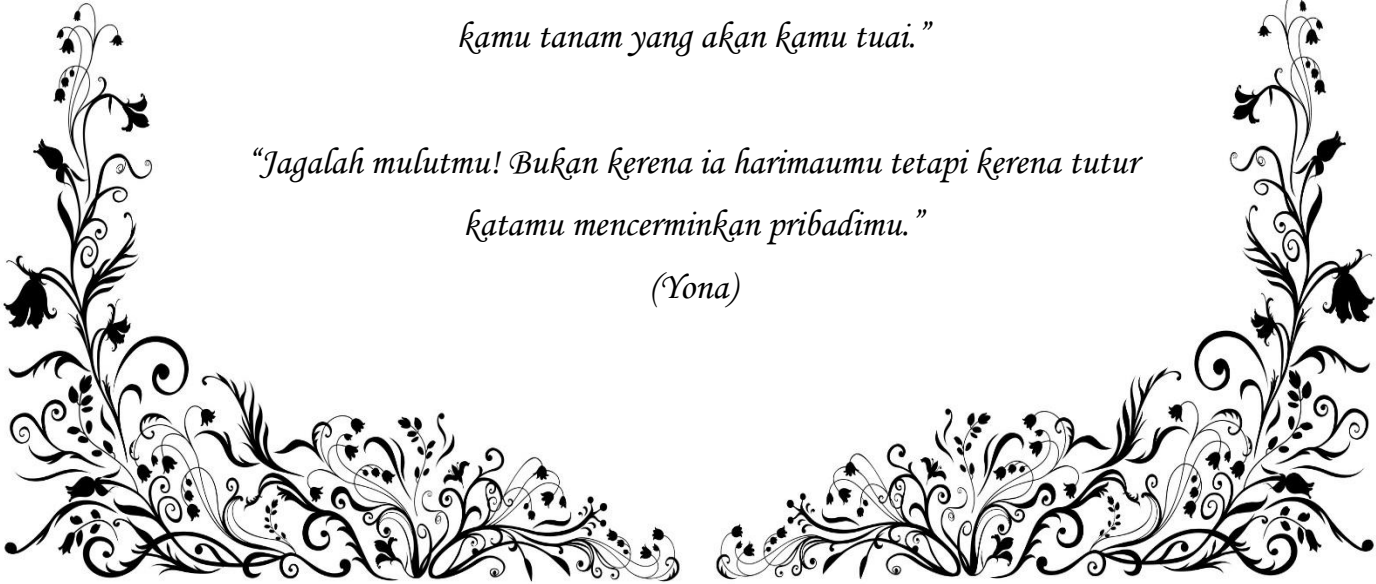
“Berhentilah sesukamu, berdiamlah sesukamu, dan bersantailah sesukamu tetapi ingat, waktu akan terus berlalu tanpa pernah menunggumu.”

“Tersenyumlah saat kamu bahagia, menangislah saat kamu bersedih. Jangan berbohong pada diri sendiri, karena berbohong adalah pilihan yang tidak pantas kamu pilih.”

“Perlakukan orang lain seperti kamu ingin diperlakukan karena yang kamu tanam yang akan kamu tuai.”

“Jagalah mulutmu! Bukan kerana ia harimaumu tetapi kerana tutur katamu mencerminkan pribadimu.”

(Yona)



SANWACANA

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas segala limpahan berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan dan menyusun laporan Skripsi dengan judul “Pengaruh Mobilitas *Sink Node* Pada *Wireless Sensor Network* (WSN) Untuk Pemantauan Aktivitas Pergerakan Gajah dalam Area Penangkaran”. Laporan ini disusun sebagai syarat menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis mendapat banyak bantuan, baik ilmu, materi, bimbingan, dan saran dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Azhari Amran, Ibu Dewi Sri Hartati (Almh), kakakku Dea dan adikku Oca atas segala kasih sayang, doa, dan dukungan yang selalu diberikan tiada henti.
2. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Herman Halomoan S, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung serta selaku dosen Pembimbing Akademik.
5. Bapak Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku pembimbing yang telah memberikan banyak ilmu, bimbingan, arahan, saran, motivasi dan nasihat selama penyelesaian Skripsi ini.

6. Bapak Syaiful Alam, S.T., M.T. selaku pembimbing pendamping yang telah memberikan banyak ilmu, bimbingan, saran, dan nasihat selama penyelesaian Skripsi ini.
7. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T. selaku penguji Skripsi atas saran, masukan dan nasihatnya.
8. Ibu Dr. Eng. Dikpride Despa, S.T., M.T. selaku kepala Laboratorium Pengukuran Besaran Elektrik atas masukan dan nasihatnya.
9. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen atas segala ilmu, bimbingan, dan nasihatnya selama penulis melaksanakan kuliah di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
10. Teman, sahabat serta saudaraku tersayang Niken Dyah Prabandari untuk semua waktu, pengertian, dan dukungannya.
11. Teman-teman asisten Laboratorium Pengukuran Besaran Elektrik, Agus, Ikrom, Rasyid, Rahma, Manda, Ega, Ruri, Erik dll.
12. Srikandi 13 tersayang: Citra, Ubai, Shanny, Pitia, Nabila, Nurul, Annisa, Sitro, Gita, Dyah, Dian atas pengertian, kebersamaan dan dukungannya selama ini.
13. Semua perempuan tangguh Teknik Elektro, Srikandi Junior tersayang (Septi dkk) atas kebersamaannya selama ini.
14. Teman-teman Teknik Elektro Universitas Lampung angkatan 2013 (Uwak 13) atas pengertian, kebersamaan dan dukungannya.
15. Teman-teman KKN Cimarias dan Purwodadi tersayang: Vyna, Dorie, Faldhi, Indra, Dedi, Eric, Melia, Disty, Siska, Dwi dan Gagah atas kebersamaan dan kekeluargaannya.

16. Keluarga besar Teknik Elektro Universitas Lampung khususnya angkatan 2010-2015) atas kekeluargaan dan kebersamaannya.
17. Mbak Ning dan staf Teknik Elektro Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penulisan Laporan Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu, penulis terbuka atas segala kritik dan saran yang bersifat membangun agar dapat didiskusikan dan dipelajari demi kemajuan wawasan ilmu pengetahuan dan teknologi bersama. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi kita semua.

Bandar Lampung, 31 Juli 2017

Yona Annisa

DAFTAR ISI

ABSTRAK

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PERSETUJUAN

LEMBAR PENGESAHAN

SURAT PERNYATAAN

RIWAYAT HIDUP

MOTTO

PERSEMBAHAN

SANWACANA

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

Halaman

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Perumusan Masalah.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	6

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka dari Penelitian yang Berkaitan	7
2.2 Pengenalan <i>Wireless Sensor Network</i> (WSN).....	9
2.3 Aplikasi <i>Wireless Sensor Network</i> (WSN).....	12
2.4 Arsitektur <i>Wireless Sensor Network</i> (WSN)	13

2.5 Metode <i>Routing</i> pada <i>Wireless Sensor Network</i> (WSN).....	17
2.6 Model Energi	20
2.7 Model Mobilitas	21
2.8 <i>Cumulative Distribution Function</i> (CDF)	24
2.9 <i>Probability Density Function</i> (PDF)	25

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat	26
3.2 Alat dan Bahan	26
3.3 Metode Penelitian	
3.3.1 Studi Literatur.....	26
3.3.2 Pemodelan Sistem dan Simulasi.....	27
3.3.3 Simulasi Menggunakan MATLAB	28
3.4 Tabel Capaian Penelitian	56
3.5 Diagram Alir Penelitian	
3.3.1 Diagram Alir Proses Penelitian	60
3.3.2 Diagram Alir Program Simulasi.....	61

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Hasil Simulasi untuk Disipasi Energi	62
4.2 Distribusi Energi	
4.2.1 <i>Single Sink Node</i>	79
4.2.2 <i>Multiple Sink Node</i>	80
4.3 <i>Lifetime</i> Jaringan	82

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan.....	84
5.2. Saran	85

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter Simulasi	40
Tabel 3.2 Identitas <i>node</i> dalam area simulasi	42
Tabel 3.3 Pemilihan Lintasan (<i>Hop</i>)	44
Tabel 3.4 Capaian Penelitian	56
Tabel 4.1 Penyebaran disipasi energi pada <i>sensor node</i>	63
Tabel 4.2 Penyebaran disipasi energi pada <i>sensor node</i> secara kumulatif	79
Tabel 4.3 <i>Lifetime</i> Jaringan	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambaran umum <i>Wireless Sensor Network</i> (WSN)	11
Gambar 2.2 <i>Wireless Sensor Network</i>	14
Gambar 2.3 Metode <i>Routing</i> dengan <i>Single Hop</i>	17
Gambar 2.4 Metode <i>Routing</i> dengan <i>Multi Hop</i>	18
Gambar 2.5 Metode <i>Routing</i> secara <i>Clustering</i>	19
Gambar 2.6 Klasifikasi Model Mobilitas.....	21
Gambar 3.1 Ilustrasi skenario 1 (<i>Baseline</i>).....	29
Gambar 3.2 Ilustrasi skenario 2	29
Gambar 3.3 Ilustrasi skenario 3	30
Gambar 3.4 Ilustrasi skenario 4	31
Gambar 3.5 Ilustrasi skenario 5	32
Gambar 3.6 Ilustrasi skenario 6	33
Gambar 3.7 Ilustrasi skenario 7	34
Gambar 3.8 Ilustrasi Model Mobilitas <i>Sink Node</i>	36
Gambar 3.9 Identitas <i>node</i> dalam area simulasi.....	42
Gambar 3.10 Pemilihan Lintasan (<i>Hop</i>)	43
Gambar 3.11 Simulasi skenario 1	45
Gambar 3.12 Ilustrasi pemilihan lintasan (<i>hop</i>) skenario 1	46

Gambar 3.13 Simulasi skenario 3	47
Gambar 3.14 Ilustrasi pemilihan lintasan (<i>hop</i>) skenario 1	48
Gambar 3.15 Simulasi skenario 3	59
Gambar 3.17 Ilustrasi pemilihan lintasan (<i>hop</i>) skenario 1	50
Gambar 3.17 Simulasi skenario 4	51
Gambar 3.18 Simulasi skenario 5	52
Gambar 3.19 Simulasi skenario 6	53
Gambar 3.20 Simulasi skenario 7	54
Gambar 3.21 Diagram Alir Penelitian	60
Gambar 3.22 Diagram Alir Program Simulasi.....	61
Gambar 4.1 PDF simulasi skenario 1.....	64
Gambar 4.2 Distribusi energi pada skenario 1	65
Gambar 4.3 PDF simulasi skenario 2.....	66
Gambar 4.4 Distribusi energi pada skenario 2	67
Gambar 4.5 PDF simulasi skenario 3.....	68
Gambar 4.6 Distribusi energi pada skenario 3	69
Gambar 4.7 PDF simulasi skenario 4.....	70
Gambar 4.8 Distribusi energi pada skenario 4	71
Gambar 4.9 PDF simulasi skenario 5.....	72
Gambar 4.10 Distribusi energi pada skenario 5	73
Gambar 4.11 PDF simulasi skenario 6.....	74
Gambar 4.12 Distribusi energi pada skenario 6	75
Gambar 4.13 PDF simulasi skenario 7.....	76
Gambar 4.14 Distribusi energi pada skenario 7	77

Gambar 4.15 Skenario <i>Single Sink node</i> (CDF).....	79
Gambar 4.16 Skenario <i>Multiple Sink node</i> (CDF)	81
Gambar 4.17 <i>Lifetime Jaringan</i>	83

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia berada di garis khatulistiwa. Oleh karena itu, Indonesia memiliki keanekaragaman tumbuhan dan hewan. Sebagian di antaranya merupakan tumbuhan dan hewan yang dilindungi keberadaannya agar tidak punah. Salah satu hewan yang dilindungi tersebut adalah gajah. Beberapa tahun terakhir terdapat isu yang meresahkan masyarakat yang bermukim di sekitar kawasan Taman Nasional Way Kambas, yaitu keluarnya gajah dari kawasan taman nasional dan merusak permukiman masyarakat. Hal ini dapat diketahui dari berita pada media lokal. Kerusakan yang disebabkan oleh hewan tersebut menyebabkan kerugian dan kekhawatiran di masyarakat. Tak jarang masyarakat yang merasa terganggu akan bertindak dengan mengusir, menangkap, menyakiti hingga membunuh gajah tersebut. Untuk mengurangi hal-hal seperti ini maka diperlukan pemantauan aktifitas pergerakan gajah pada daerah penangkarnya. Hal ini dapat dilakukan dengan bantuan teknologi. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah *Wireless Sensor Network* (WSN).

WSN adalah suatu teknologi komunikasi tanpa kabel antara perangkat sensor yang menggunakan daya pancar rendah [1]. WSN terdiri dari ratusan atau ribuan *sensor*

node yang saling bekerjasama untuk memantau kondisi lingkungan yang dicakup oleh *sensor node*. WSN banyak digunakan untuk berbagai kebutuhan di antaranya kebutuhan militer seperti untuk memantau pergerakan musuh saat terjadi peperangan, pemantauan fenomena alam seperti gunung api, rumah tangga seperti *smart city* dan kesehatan seperti pemantauan detak jantung [1].

WSN terbentuk dari komponen jaringan yang memiliki fungsi tersendiri yaitu *sensor node* untuk mengamati daerah yang dipantau, *sink node* untuk mengumpulkan semua informasi yang diperoleh, *gateway* sebagai penghubung ke jaringan yang lain, seperti internet sehingga dapat diakses dari tempat yang lebih jauh. Kebanyakan *node* pada WSN bersifat *static* (diam), yaitu semua *node* yang digunakan akan bersifat tetap pada posisinya. Metode pengiriman data pada WSN, dikenal juga sebagai *routing protocol* awalnya secara *single hop* [2], yaitu setiap *sensor node* akan mengirimkan data secara langsung ke *sink node*. Hal tersebut dapat menyebabkan *sensor node* yang letaknya paling jauh dengan *sink node* akan lebih cepat kehabisan energi karena ketika mengirimkan data dibutuhkan energi yang lebih besar dibandingkan dengan *sensor node* yang letaknya lebih dekat dengan *sink node*. Untuk mengatasi kelemahan tersebut hadir metode transmisi secara *multi hop* [2], yaitu setiap *sensor node* akan mengirimkan data ke *sensor node* yang ada di dekatnya secara bertahap sehingga data tersebut dapat sampai di *sink node*. Hal tersebut dapat menyebabkan *sensor node* yang letaknya paling dekat dengan *sink node* akan lebih cepat kehabisan energi karena akan melakukan aktifitas yang lebih banyak dibandingkan dengan *sensor node* yang jauh dari *sink node*. Metode transmisi yang terakhir adalah *clustering* [2], yaitu gabungan dari metode *single hop* dan *multi hop*. Pada metode ini, setiap kawasan yang akan

diamati akan dibagi menjadi beberapa *cluster* (kelompok), di mana pada tiap *cluster* akan terdapat satu buah *cluster head node*. Setiap *sensor node* dalam kelompok tertentu akan mengirimkan data ke *cluster head node* secara *single hop* dan setiap *cluster head node* akan mengirimkan data ke *sink node* secara *multi hop*. Walaupun merupakan gabungan dari kedua metode sebelumnya, hal tersebut menyebabkan *cluster head node* yang letaknya paling dekat dengan *sink node* akan lebih cepat kehabisan energi karena cenderung akan melakukan aktifitas yang lebih banyak dibandingkan dengan *cluster head node* dan *sensor node* yang letaknya lebih jauh [2]. Umur dari jaringan atau yang biasa disebut dengan *lifetime* [3] akan berakhir ketika *sensor node* pertama mengalami kehabisan energi. Untuk mengatasi ketidakmerataan konsumsi energi, muncullah WSN yang menggunakan *node* dinamis (bergerak) dan biasanya dikenal dengan istilah *mobile node*. *Node* yang bergerak ini dapat berupa *sensor node*, *cluster head node* maupun *sink node*. Skripsi ini akan berfokus pada *sink node* yang bergerak. Diharapkan dengan bergeraknya *sink node*, konsumsi energi akan merata dan *lifetime* dari WSN dapat lebih panjang. Sehingga dapat efisien ketika digunakan untuk pemantauan aktifitas gajah pada daerah penangkarnya.

1.2 Tujuan Skripsi

Adapun tujuan dari skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh model jaringan dengan menggunakan *single sink node* terhadap *lifetime* dari WSN,

2. Menganalisa pengaruh model jaringan dengan menggunakan *multiple sink node* terhadap *lifetime* dari WSN,
3. Membandingkan penyebaran disipasi energi yang dihasilkan oleh model jaringan dengan menggunakan *single sink node*,
4. Membandingkan penyebaran disipasi energi yang dihasilkan oleh model jaringan dengan menggunakan *multiple sink node*,
5. Mengetahui pengaruh posisi lintasan *mobile sink node* pada model jaringan dengan menggunakan *single sink node* dan *multiple sink node* terhadap *lifetime* dari WSN.

1.3 Manfaat Skripsi

Adapun manfaat yang diharapkan dari skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan model sistem *monitoring* aktifitas pergerakan gajah dengan menggunakan WSN,
2. Mengetahui bagaimana *mobile sink node* dapat memperpanjang *lifetime* dari WSN,
3. Menjadi landasan untuk penelitian selanjutnya.

1.4 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara membuat skenario untuk mengatur letak *sensor node* dan *sink node* agar sesuai dengan pemodelan yang diharapkan,

2. Bagaimana cara menentukan parameter simulasi pada WSN,
3. Bagaimana cara menyimulasikan agar mendapatkan data yang diharapkan dari skenario yang telah dibuat dengan menggunakan *software* MATLAB,
4. Bagaimana cara menentukan acuan yang akan digunakan untuk menganalisis hasil dari simulasi.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. *Mobile node* yang akan dibahas adalah *mobile sink node*,
2. *Lifetime* jaringan akan berakhir ketika terdapat *sensor node* pertama dalam WSN yang mengalami kehabisan energi,
3. Metode pengiriman data pada *sensor node* adalah secara *multi hop*,
4. Model mobilitas yang digunakan adalah *homogeneous controlled model* yang berarti model mobilitas yang digunakan bersifat sama untuk setiap *mobile sink node*-nya dan memiliki pergerakan secara terkontrol,
5. Diasumsikan setiap *sink node* memiliki energi yang tak terbatas,
6. Diasumsikan setiap keberadaan *static sink node* pada model akan berfungsi juga sebagai *gateway*,
7. Diasumsikan setiap keberadaan *mobile sink node* pada model tidak berfungsi sebagai *gateway*,
8. Diasumsikan *mobile sink node* memiliki pergerakan searah putaran jarum jam dalam lintasan berbentuk bujur sangkar,
9. Simulasi yang akan dilakukan akan menggunakan *software* MATLAB.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini memuat tentang latar belakang, tujuan penulisan, manfaat penulisan, rumusan masalah, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat tinjauan berupa literatur dari beberapa hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik dari skripsi ini, *Wireless Sensor Network* (WSN), arsitektur WSN, aplikasi WSN, metode *routing* pada WSN, model energi, dan model mobilitas yang ada pada WSN.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memuat tentang langkah-langkah penelitian yang dilakukan, seperti pemodelan sistem dan simulasi.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat tentang hasil dari simulasi yang dilakukan dan pembahasan hasil dari simulasi yang telah dilakukan.

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat simpulan tentang keseluruhan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan berisi saran untuk perbaikan di waktu yang akan datang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka dari Penelitian yang Berkaitan

Penelitian dari skripsi ini mengacu pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, yaitu literatur yang membahas mengenai *mobile sink node* pada *Wireless Sensor Network* (WSN). Perbedaannya terletak pada metode dan masalah yang dibahas di dalamnya.

Penulis pada [3] melakukan sebuah penelitian dengan judul “ESWC: *Efficient Scheduling for the Mobile Sink in Wireless Sensor Networks with Delay Constraint*”. Penelitian tersebut berfokus tentang mobilitas *sink node* untuk memperpanjang umur jaringan dalam WSN, di mana masalah yang harus diselesaikan adalah pembatasan *delay* informasi yang disebabkan oleh pergerakan *sink node*. Dalam penelitian tersebut, dibangun sebuah *framework* untuk menganalisa mobilitas *sink node*, *routing*, dan *delay*. Selanjutnya, penulis pada [3] mengusulkan sebuah algoritma waktu polinomial optimal sebagai solusi untuk masalah yang harus diselesaikan. Dalam simulasi tersebut, umur jaringan dapat diperpanjang dengan adanya mobilitas *sink node* dan parameter jaringan yang digunakan (seperti jumlah *sensor node* dan pembatasan *delay*). Selain itu, pada penelitian tersebut dipelajari juga dampak dari perbedaan lintasan *sink node* dan

memberikan pandangan yang penting untuk mendesain skema mobilitas *mobile* WSN dalam aplikasi nyata.

Penulis pada [4] melakukan sebuah penelitian dengan judul “*Sink Mobility Model for Wireless Sensor Networks*”. Penelitian tersebut menggunakan *mobile sink node* untuk mengumpulkan data dalam WSN dan menyelidiki dampak dari model mobilitas terhadap kinerja jaringan. Dalam penelitian tersebut, diadopsi topologi jaringan berdasarkan diagram De Bruijn, yaitu diagram yang terbentuk dari cincin-cincin yang terhubung secara sekuensial. Kemudian penulis pada [4] mengusulkan sebuah model mobilitas *sink node* baru yang dapat dihitung berdasarkan diagram De Bruijn. Selain itu, algoritma perutean dari diagram De Bruijn juga dimodifikasi untuk memperoleh letak dari *mobile sink node* yang akan dijadikan pertimbangan. Penelitian tersebut menghasilkan model dan kombinasi algoritma perutean dengan menggunakan komunikasi *single hop* dan *multi hop* untuk mengumpulkan data dari *sensor node* yang statik.

Penulis pada [5] melakukan sebuah penelitian dengan judul “*Dual-Sink: Using Mobile and Static Sinks for Lifetime Improvement in Wireless Sensor Networks*”. Penelitian tersebut membahas tentang penggunaan *mobile sink node* untuk memperpanjang umur dari WSN. Penelitian lain yang menggunakan *mobile sink node* mengasumsikan bahwa informasi akan dikirimkan secara berulang hingga diterima oleh *mobile sink node*. Hal tersebut menyebabkan energi pada *sensor node* akan cepat habis, sehingga tidak begitu memperpanjang umur jaringan walaupun telah menggunakan *mobile sink node*. Untuk mengatasi masalah tersebut, penulis

pada [5] mengusulkan penggunaan *dual sink* agar penggunaan energi lebih efisien ketika mengumpulkan data pada WSN. Sebuah *mobile sink node* dan sebuah *static sink node* digunakan pada skema *dual-sink*. *Mobile sink node* hanya perlu menginformasikan lokasinya ke sebagian area jaringan setiap kali berhenti. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pertambahan umur jaringan cukup terlihat ketika menggunakan *dual-sink*.

Kajian pustaka yang telah dipaparkan di atas masing-masing membahas mengenai mobilitas *sink node* pada WSN. Oleh sebab itu, pada penelitian skripsi ini akan dilakukan pemodelan dan simulasi terhadap WSN dengan menggunakan *mobile sink node* maupun *static sink node*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh mobilitas *mobile sink* dalam WSN untuk memperpanjang umur jaringan yang digunakan untuk pemantauan aktifitas pergerakan gajah pada area penangkaran. Metode *routing* yang akan digunakan dan diadopsi dari penelitian [3] yang berupa *linier trajectory*, komunikasi yang dilakukan diadopsi dari penelitian [4] yaitu secara *multi hop* dan penggunaan lebih dari satu buah *sink node* diadopsi dari penelitian [5] baik secara *mobile* maupun *static*.

2.2 Pengenalan *Wireless Sensor Network* (WSN)

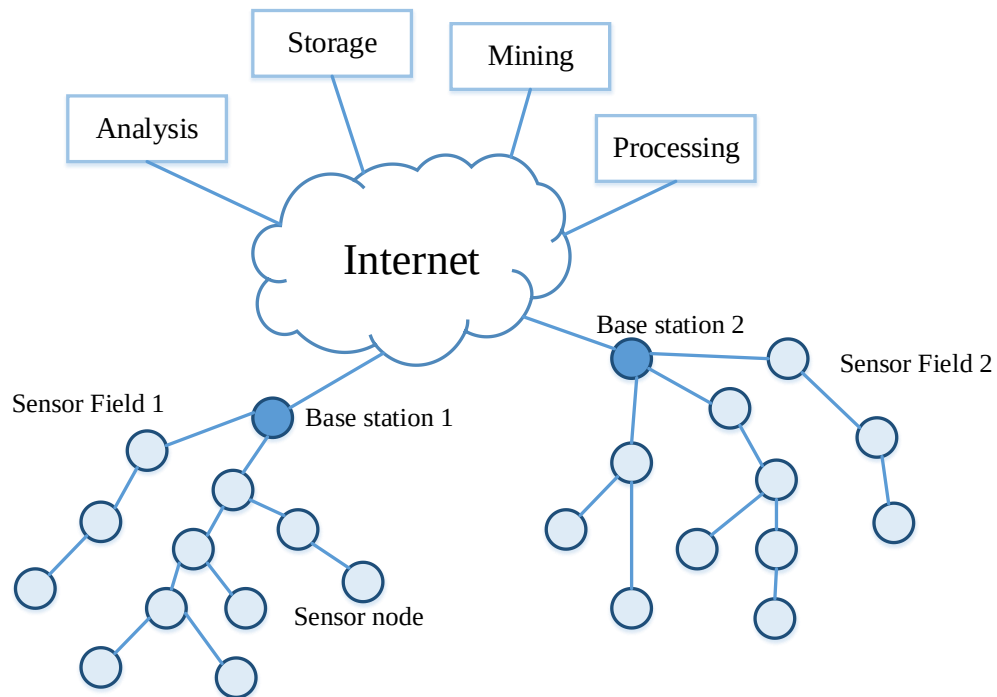
Jaringan sensor dengan kabel telah ada sejak beberapa dekade yang lalu. Jaringan sensor dengan kabel tersebut dilengkapi dengan alat pengukur suhu, tingkat cairan, kelembaban, dan perlengkapan lainnya. Saat ini kemajuan teknologi dan algoritma perutean yang praktis menyebabkan penggunaan kabel menjadi kurang diminati, terlebih karena biaya yang dibutuhkan untuk membangun jaringan tersebut cukup

tinggi. Oleh karena itu, muncullah *Wireless Sensor Network* (WSN) [1]. WSN dapat menangkap dan mengubah fenomena menjadi suatu bentuk nyata yang dapat diproses dan disimpan. *Sensor node* dapat memberikan manfaat yang besar karena dapat terintegrasi ke perangkat maupun langsung ke lingkungan. Manfaat yang diberikan antara lain adalah dapat membantu menghindari kegagalan infrastruktur, melestarikan sumber daya alam, meningkatkan produktivitas, meningkatkan keamanan dan penunjang teknologi baru seperti teknologi *smart city* [6].

Wireless Sensor Network (WSN) tidak dapat terlepas dari kemampuan *sensing* (penginderaan). *Sensing* merupakan suatu cara yang digunakan untuk mengumpulkan informasi dari suatu benda maupun fenomena. Sebuah objek yang dilakukan untuk melakukan *sensing* disebut dengan *sensor node*. *Sensor node* merupakan sebuah perangkat yang bertugas untuk mengubah fenomena fisik menjadi sinyal yang dapat diukur dan dianalisa. Banyak pula WSN yang juga termasuk ke dalam aktuator sehingga memungkinkan untuk melakukan kendali langsung ke fenomena maupun perangkat lain yang diamati.

Hal yang terpenting dari sebuah *sensor node* adalah dapat dikendalikan secara terpusat. Pada penerapannya, dibutuhkan ratusan hingga ribuan *sensor node* untuk aplikasi di daerah terpencil dan sulit diakses. Dalam hal ini yang digunakan adalah *wireless sensor node*. Sebuah *wireless sensor node* tidak hanya berfungsi sebagai komponen *sensing* tetapi harus memiliki kemampuan pengolahan data, komunikasi, dan menyimpan data. Selain itu *wireless sensor node* juga bertanggung jawab untuk melakukan pengumpulan data, analisa perutean, dan meneruskan data dari dan ke *wireless sensor node* lain. Salah satu contohnya dapat dilihat pada Gambar 2.1 yang menunjukkan bahwa WSN dapat digunakan untuk *monitoring* dua wilayah yang

berbeda. *Wireless sensor node* tidak hanya berkomunikasi dengan sesama *wireless sensor node* tetapi juga berkomunikasi dengan *base station* atau biasa pula disebut dengan *sink node*.



Gambar 2.1 Gambaran umum *Wireless Sensor Networks* (WSN)

Kemampuan dari *sensor node* pada WSN sangat bervariasi, seperti *sensor node* yang sederhana hanya mampu memantau salah satu fenomena fisik saja, sedangkan *sensor node* yang lebih kompleks dapat memantau lebih banyak fenomena fisik dalam satu waktu. Terkadang *sensor node* yang lebih kompleks bahkan telah dilengkapi teknologi untuk berkomunikasi seperti *infrared* hingga *Global Positioning System* (GPS). Tetapi *sensor node* yang memiliki kemampuan tersebut akan mengonsumsi banyak energi dibandingkan dengan *sensor node* sederhana.

2.3 Aplikasi *Wireless Sensor Network* (WSN)

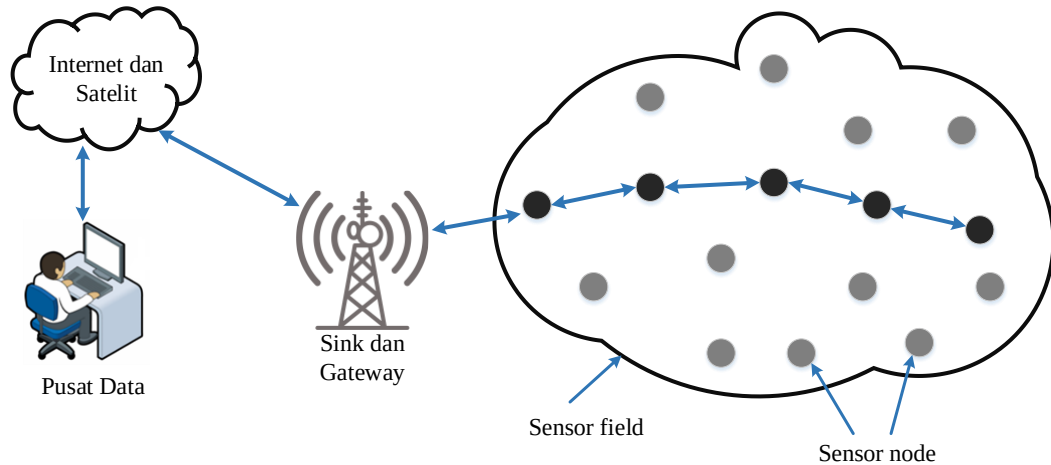
Wireless Sensor Network (WSN) terdiri dari sejumlah *sensor node* berukuran kecil yang digunakan untuk mengamati suatu fenomena. *Sensor node* terdiri dari komponen penginderaan, pengolahan data, dan komponen untuk komunikasi. Peletakan *sensor node* dapat ditentukan maupun secara acak, sesuai dengan kebutuhan. Saat ini *sensor node* yang biasa digunakan sudah dilengkapi dengan prosesor *inboard*. Komponen pengolahan data digunakan untuk memisahkan data yang diperlukan. Karena *sensor node* yang digunakan sangat banyak, maka kemungkinan jarak antar *node* akan berdekatan. Oleh karena itu, komunikasi *multi hop* banyak dipilih agar dapat mengkonsumsi lebih sedikit daya dibandingkan dengan komunikasi *single hop*. Komunikasi *multi hop* efektif digunakan untuk mengatasi beberapa efek propagasi sinyal yang sering terjadi pada komunikasi nirkabel jarak jauh. WSN dapat digunakan dalam berbagai bidang di antaranya dapat disebutkan sebagai berikut.

- a. Pengamatan lingkungan. WSN dapat digunakan untuk memantau perubahan lingkungan. Contohnya adalah deteksi polusi air danau yang letaknya berdekatan dengan pabrik yang menggunakan bahan kimia. *Sensor node* secara acak dikerahkan di tempat-tempat yang tidak diketahui dan aktif ketika mendeteksi polutan. Contoh lain termasuk deteksi kebakaran hutan, polusi udara, pengamatan aktifitas hewan dan pengamatan curah hujan untuk lahan pertanian.
- b. Pemantauan militer. Militer menggunakan WSN pada area tempur. Sensor dapat memantau lalu lintas kendaraan, melacak posisi musuh atau bahkan menjaga peralatan perang.

- c. Pemantauan bangunan. WSN juga dapat digunakan di gedung-gedung besar atau pabrik untuk memantau perubahan iklim. Termostat dan *sensor node* suhu digunakan pada seluruh area bangunan. Selain itu, sensor dapat digunakan untuk memantau getaran yang dapat merusak struktur bangunan.
- d. Perawatan kesehatan. Sensor dapat digunakan dalam aplikasi biomedis untuk meningkatkan kualitas perawatan yang diberikan. Sensor yang ditanamkan dalam tubuh manusia untuk memantau masalah medis seperti kanker dan membantu pasien yang menjaga kesehatan mereka [1].

2.4 Arsitektur *Wireless Sensor Network* (WSN)

Wireless Sensor Network (WSN) terdiri dari ratusan atau ribuan *node* berbiaya rendah, yang bisa memiliki lokasi yang ditentukan maupun acak yang digunakan untuk memantau lingkungan. Karena ukurannya yang kecil, *sensor node* memiliki beberapa keterbatasan. *Sensor node* biasanya saling berkomunikasi dengan menggunakan pendekatan *multi hop*. Aliran data berakhir pada *node* khusus yang disebut *sink node* yang dilengkapi dengan pintu gerbang ke jaringan lain yang biasa disebut *gateway* dan bertugas untuk menyebarluaskan data agar dapat diproses lebih lanjut. *Sink node* memiliki kemampuan di atas *sensor node* sederhana karena harus melakukan pengolahan data yang kompleks sehingga *sink node* memiliki prosesor, memori, dan energi yang cukup. Hal ini karena dibutuhkan penyimpanan dan kemampuan komputasi untuk tugas-tugasnya dengan baik. Biasanya, komunikasi antara *sink node* dimulai atas *link bandwidth* yang tinggi. Arsitektur jaringan ini dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 *Wireless Sensor Network*

Arsitektur jaringan sensor seperti dijelaskan oleh Gambar 2.2 dipengaruhi oleh banyak faktor seperti dijelaskan berikut ini.

- Toleransi kesalahan. Beberapa *sensor node* mungkin gagal atau mati karena kurangnya daya, kerusakan fisik, atau gangguan lingkungan. Kegagalan *sensor node* seharusnya tidak akan mempengaruhi keseluruhan tugas WSN. Ini adalah keandalan atau masalah toleransi kesalahan. Toleransi kesalahan adalah kemampuan untuk mempertahankan fungsi jaringan sensor tanpa gangguan ketika terjadi kegagalan *sensor node*.
- Skalabilitas. *Sensor node* yang dikerahkan untuk memantau fenomena pada suatu lingkungan dimungkinkan berjumlah ratusan atau ribuan tergantung pada kebutuhan. Kepadatan dapat berkisar dari satuan hingga ratusan *sensor node* di wilayah tertentu

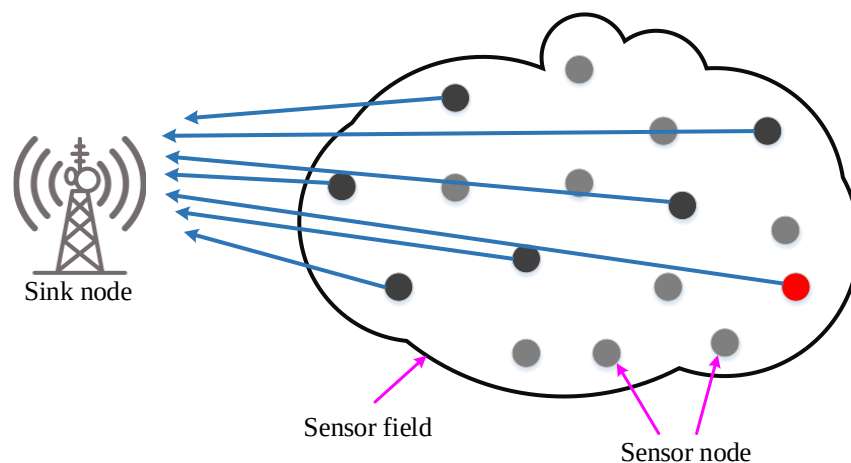
- Biaya produksi. WSN terdiri dari banyak *sensor node*, biaya satu *node* sangat penting untuk menghitung biaya keseluruhan jaringan. Biaya setiap *sensor node* harus tetap rendah.
- Kendala *hardware*. Sebuah *sensor node* terdiri dari empat komponen dasar yaitu sebuah unit penginderaan, unit pengolahan, unit *transceiver* dan unit daya. Unit penginderaan biasanya terdiri dari dua bagian: sensor dan *Analog to Digital Converter* (ADC). Sinyal analog yang diproduksi oleh sensor berdasarkan fenomena yang diamati diubah menjadi sinyal digital oleh ADC dan kemudian dimasukkan ke unit pengolahan. Unit pengolahan, yang umumnya dikaitkan dengan unit penyimpanan yang kecil, mengelola prosedur yang membuat *sensor node* berkolaborasi dengan *node* lain untuk melaksanakan tugas penginderaan yang ditetapkan. Unit *transceiver* menghubungkan *node* ke jaringan. Salah satu komponen yang paling penting dari sebuah *node* penginderaan adalah unit daya. Unit daya mungkin didukung oleh unit daya seperti sel surya. Sebagian besar teknik *routing* dan tugas-tugas penginderaan memerlukan pengetahuan tentang lokasi dengan akurasi yang tinggi. Dengan demikian, sangat umum jika sebuah *sensor node* memiliki sistem penemu lokasi (*Global Positioning System*/GPS). Selain itu, terdapat beberapa kendala lain yang ada pada *sensor node*. *Sensor node* ini harus mengkonsumsi daya yang sangat rendah, beroperasi dalam kepekaan tinggi, diproduksi dengan biaya rendah, dan dapat beroperasi tanpa pengawasan.
- Topologi jaringan. Ratusan hingga ribuan *sensor node* digunakan di sepanjang area pengamatan. Menyebarkan *node* dalam kepadatan tinggi

membutuhkan penanganan lebih khusus agar tidak ada *node* yang saling bertumpuk.

- Lingkungan. *Sensor node* dapat dikerahkan sangat dekat atau langsung di dalam fenomena yang diamati. Mereka biasanya bekerja tanpa pengawasan di wilayah geografis terpencil. Mereka dapat bekerja di pedalaman, di bawah laut, di lapangan biologis atau kimiawi terkontaminasi, bidang pertempuran melampaui garis musuh, atau di sebuah bangunan besar.
- Media transmisi. WSN yang berkomunikasi secara *multi hop*, komunikasi *infrared* dan media optik membutuhkan lintasan *line-of-sight* antara pengirim dan penerima. Untuk mengaktifkan operasi WSN secara global, media transmisi yang dipilih harus tersedia di seluruh dunia.
- Konsumsi daya. *Sensor node* dapat hanya dilengkapi dengan sumber daya terbatas (<0,5 Ah, 1,2 V). Umur *sensor node* tergantung pada umur hidup baterai. Dalam jaringan *multi hop*, setiap *node* memainkan peran ganda pencari data dan perute data. Kegagalan fungsi beberapa *node* dapat menyebabkan perubahan topologi yang signifikan dan mungkin memerlukan perutean ulang paket dan reorganisasi jaringan. Oleh karena itu, konservasi daya dan manajemen daya mengambil tambahan penting. Konsumsi daya dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu penginderaan, komunikasi, dan pengolahan data. Kekuatan penginderaan bervariasi dengan sifat aplikasi. Energi dalam komunikasi data melibatkan pengiriman dan penerimaan data.

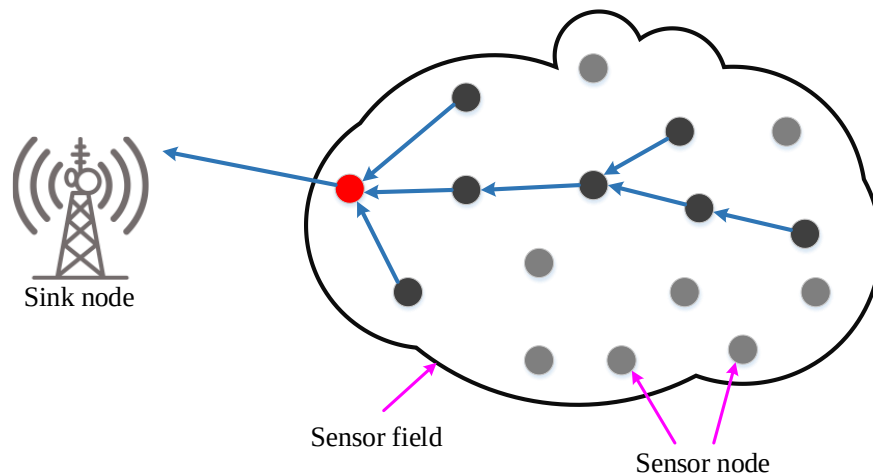
2.5 Metode *Routing* pada *Wireless Sensor Network* (WSN)

Metode *routing* pada WSN dibedakan menjadi tiga jenis yaitu *single hop*, *multi hop* dan *clustering*. Awal mulanya pada WSN digunakan *routing* secara *single hop*. Metode *single hop* ini adalah metode yang paling sederhana karena setiap *sensor node* hanya perlu mengirimkan data hasil pengamatannya ke pengumpul yang biasa disebut *sink node*. Oleh karena itu, setiap *sink node* membutuhkan energi yang berbeda-beda tergantung dengan jarak masing-masing *sensor node* tersebut ke *sink node*. *Sensor node* yang letaknya paling jauh dari *sink node* akan membutuhkan energi yang lebih besar untuk mengirimkan data informasi dibandingkan dengan *sensor node* yang letaknya lebih dekat dengan *sink node*. Hal tersebut menyebabkan *sensor node* yang letaknya paling jauh dari *sink node* akan mengalami kehabisan energi lebih cepat dibandingkan dengan *sensor node* lainnya. Ilustrasi metode *routing* secara *single hop* dapat dilihat pada Gambar 2.3 di mana *sensor node* yang berwarna merah akan mengalami kehabisan energi paling cepat.



Gambar 2.3 Metode *Routing* dengan *Single Hop*

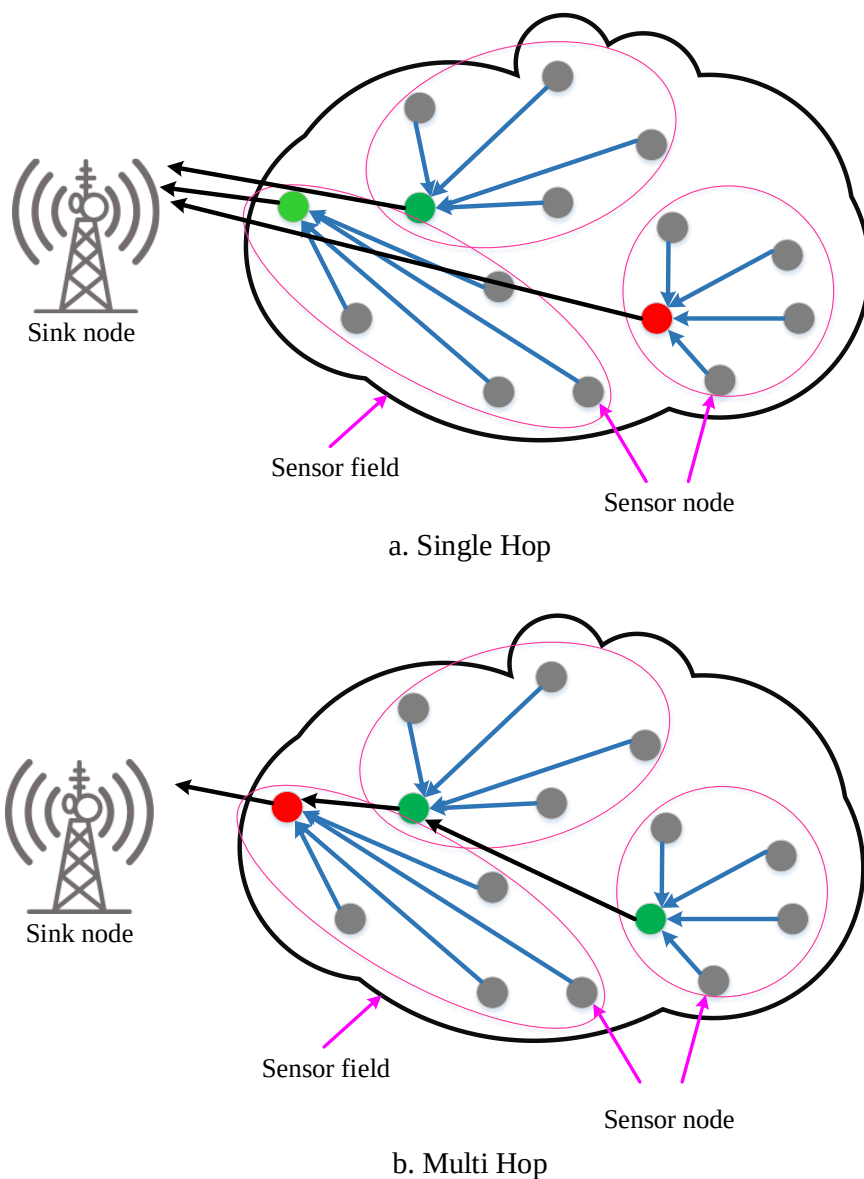
Metode selanjutnya adalah *multi hop* yang diharapkan dapat mengatasi permasalahan energi yang ada pada metode *single hop*. Setiap *sensor node* akan mengirimkan data hasil pengamatannya ke *sensor node* lain yang ada di dekatnya secara bertahap sehingga data tersebut dapat sampai ke *sink node*. Hal tersebut menyebabkan *sensor node* yang letaknya paling dekat dengan *sink node* akan kehabisan energi lebih cepat karena akan melakukan aktifitas yang lebih banyak dibandingkan dengan *sensor node* yang jauh dari *sink node*. Ilustrasi metode *routing* secara *multi hop* dapat dilihat pada Gambar 2.4 di mana *sensor node* yang berwarna merah akan mengalami kehabisan energi paling cepat.



Gambar 2.4 Metode *Routing* dengan *Multi Hop*

Metode yang terakhir adalah pengelompokan (*clustering*), yaitu gabungan dari metode *single hop* dan *multi hop*. Setiap kawasan yang akan diamati akan dibagi menjadi beberapa *cluster* (kelompok), di mana pada tiap *cluster* akan terdapat satu buah *cluster head node*. Setiap *sensor node* dalam kelompok tertentu akan mengirimkan data ke *cluster head node* secara *single hop* dan setiap *cluster head node* akan mengirimkan data ke *sink node* secara *multi hop*. Walaupun merupakan

gabungan dari kedua metode sebelumnya, hal tersebut menyebabkan *cluster head node* yang letaknya paling dekat dengan *sink node* akan lebih cepat kehabisan energi karena akan melakukan aktifitas lebih banyak dibandingkan dengan *cluster head node* dan *sensor node* yang letaknya lebih jauh. Ilustrasi metode *routing* secara *clustering* dapat dilihat pada Gambar 2.5 di mana *sensor node* yang berwarna hijau adalah *cluster head node* dan yang berwarna merah adalah *cluster head node* yang akan mengalami kehabisan energi paling cepat.



Gambar 2.5 Metode *Routing* Secara *Clustering*

2.6 Model Energi

Pembahasan mengenai *sensor node* tidak terlepas dari permasalahan energi. Setiap *sensor node* memiliki besar energi yang berbeda-beda. Konsumsi energi terdiri dari tiga bagian yaitu energi untuk mengirim, menerima, dan energi untuk tidur (*sleep*) [3]. Energi yang digunakan *sensor node* untuk tidur jauh lebih kecil dibandingkan dengan energi *sensor node* untuk mengirim dan menerima data. Oleh karena itu, energi *sensor node* untuk tidur tidak begitu berpengaruh terhadap umur dari jaringan (*lifetime*) sehingga dapat diabaikan. Total konsumsi energi tidak dapat melebihi energi awal yang telah diinisialisasikan, karena ketika energi awal tersebut habis maka *sensor node* tersebut tidak dapat lagi bekerja atau dapat dikatakan mati. Energi awal yang telah diinisialisasikan tersebut kemudian digunakan untuk mengirim dan menerima data seperti pada [7] dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$E_{Tx}(d) = (E_{elec} \times l) + (\varepsilon_{amp} \times l \times d^2) \quad (2.1)$$

$$E_{Rx}(d) = E_{elec} \times l \quad (2.2)$$

dengan:

E_{Tx} : Energi untuk mengirimkan data (J)

E_{Rx} : Energi untuk menerima data (J)

E_{elec} : Energi yang digunakan untuk mengoperasikan *wireless sensor node* (J/bit)

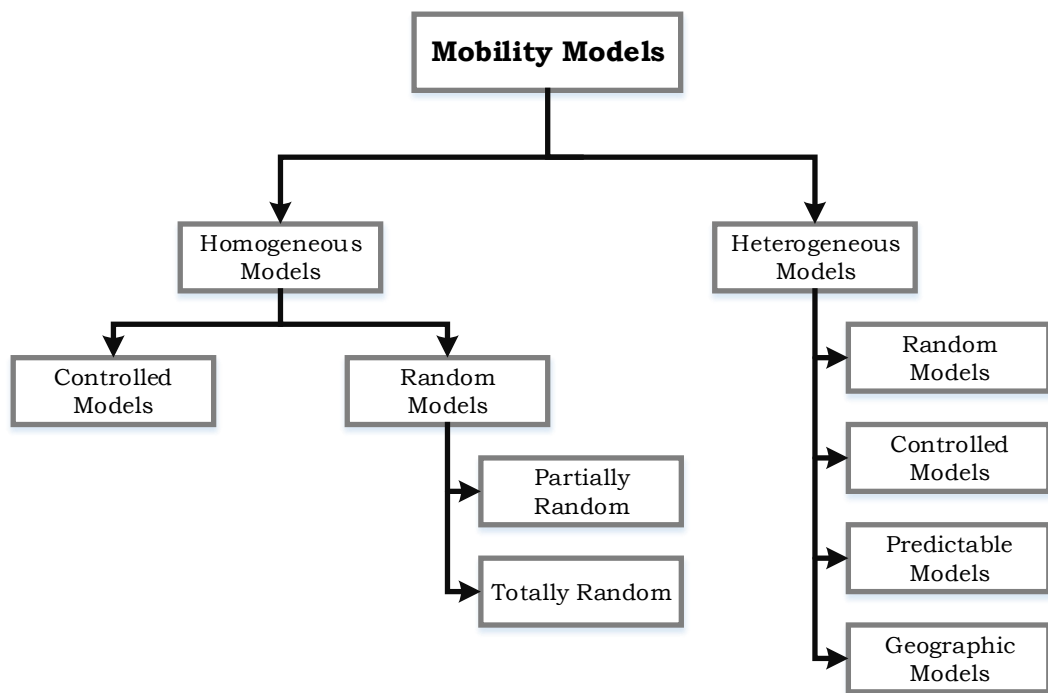
ε_{amp} : Energi untuk memperkuat sinyal data (J/bit/m²)

l : Ukuran panjang paket data (bit)

d : Jarak antara pengirim dan penerima (m).

2.7 Model Mobilitas

Umur dari jaringan merupakan salah satu permasalahan yang terdapat pada WSN. Salah satu upaya untuk meningkatkan kinerja dan memperpanjang umur jaringan adalah dengan menggunakan *mobile node*. Oleh karena itu, ada banyak jenis model mobilitas yang dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan jaringan. Model mobilitas pada WSN secara garis besar diklasifikasikan ke dalam dua kategori yaitu model *homogenous* dan *heterogenous* [8]. Klasifikasi dari model mobilitas dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Klasifikasi Model Mobilitas

Model mobilitas *homogenous* dapat diibaratkan bahwa terdapat sekelompok *mobile node* menggunakan model pergerakan yang sama dalam suatu jaringan, sedangkan model mobilitas *heterogenous* diibaratkan bahwa setiap *mobile node* memiliki model pergerakan yang berbeda-beda dalam suatu jaringan.

Kategori *homogenous* dan *heterogenous* diklasifikasikan kembali menjadi sub kategori yang disebutkan dan dijelaskan pada sub-bab berikut.

2.7.1 Model Mobilitas *Homogenous*

Model mobilitas *homogenous* didasarkan oleh keseragaman pergerakan *mobile node* sesuai model tertentu di daerah penyebaran. Jumlah *mobile node* bervariasi dari sebagian *node* hingga seluruh *node* bergerak sesuai model mobilitas tertentu. Model mobilitas tiap *mobile node* akan sama atau seragam. Model mobilitas *homogenous* dibagi menjadi dua, yaitu *controlled model*, dan *random model* yang dijelaskan sebagai berikut.

2.7.1.1 *Controlled Model*

Model mobilitas yang ada di dalam kategori ini didasarkan pada seperangkat *node* yang bergerak ke arah yang ditentukan. Selain itu, model ini telah memberikan sebuah skema yang dapat digunakan untuk memperkirakan mobilitas kelompok skala besar sehingga mobilitas perwakilan *node* digunakan untuk memperkirakan mobilitas anggota kelompok yang lainnya.

2.7.1.2 *Random Model*

Model mobilitas yang ada di dalam kategori ini dapat dibagi menjadi *partially random* dan *totally random*. Dalam kategori *partially random*, *mobile node* bergantung satu sama lain untuk menentukan arah gerakan. Di sisi lain, dalam kategori *totally random* kelompok *mobile node* bergerak dalam arah acak yang berubah secara berkala.

2.7.2 Model Mobilitas *Heterogenous*

Model mobilitas *heterogenous* memiliki *mobile node* yang bergerak secara independen terhadap *node* lain yang ada dalam jaringan. *Mobile node* tersebut akan bergerak menurut model mobilitas yang diadopsinya tanpa mempertimbangkan model mobilitas yang diadopsi oleh *mobile node* yang lain. Model mobilitas *heterogenous* dibagi menjadi empat, yaitu *random model*, *controlled model*, *predictable model*, dan *geographic model* yang dijelaskan secara singkat sebagai berikut.

2.7.2.1 *Random Model*

Model mobilitas ini didasarkan dengan membagi gerakan *mobile node* ke dalam periode jeda dan periode gerak. Pada periode jeda, *mobile node* akan tetap dalam posisi saat ini untuk jangka waktu tertentu. Namun, dalam periode gerak, *mobile node* akan memilih arah acak dan akan mulai bergerak ke arah yang baru dengan kecepatan acak. Setelah tiba di posisi baru, *mobile node* memasuki masa jeda dan tetap dalam posisi itu untuk jangka waktu yang digunakan dalam posisi sebelumnya yang sama.

2.7.2.2 *Controlled Model*

Pada model mobilitas ini, *mobile node* akan mendatangi *sensor node* dengan jadwal tertentu yang telah ditentukan sebelumnya berdasarkan laju *sampling* dari *sensor node* dan laju terjadinya kejadian. Selain itu, ketika membangun jadwal, waktu yang diambil antara dua kedatangan untuk *sensor node* harus sama.

2.7.2.3 Predictable model

Model mobilitas ini dapat memperpanjang umur dari jaringan karena *sensor node* dapat pada kondisi tidur (*sleep*) sementara untuk menghemat energi ketika elemen *mobile node* tidak akan bergerak untuk beberapa saat. Model mobilitas ini dapat memprediksi jalan yang akan digunakan oleh *sink node* sehingga *sensor node* dapat *sleep* sementara untuk menghemat energi hingga datangnya waktu pengiriman data yang telah diperkirakan sebelumnya.

2.7.2.4 Geographic Model

Cara lain untuk mengendalikan mobilitas dari *mobile node* adalah membatasi gerakan menurut geografis alam lingkungan di mana akan dikerahkan *mobile node* atau *sink node*. Pada model tersebut, adanya hambatan dan kendala lain akan dipertimbangkan dan dipelajari terlebih dahulu sebelum menentukan pergerakan dari *sink node*.

2.8 Cumulative Distribution Function (CDF)

Cumulative Distribution Function (CDF) adalah suatu fungsi yang merupakan penjumlahan dari nilai probabilitas suatu kejadian acak tertentu. CDF dapat pula dikatakan sebagai probabilitas nilai dari suatu variable acak X yang memiliki nilai kurang dari atau sama dengan nilai variabel acak tertentu (konstanta) x yang telah ditentukan di mana nilai probabilitas dari variabel acak tersebut akan dihitung. Secara matematis CDF dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (2.3)$$

di mana:

$F(x)$: CDF dari nilai variabel acak pada titik x ,

x : Nilai variabel acak berupa konstanta x yang ditentukan,

$P(X \leq x)$: Probabilitas nilai variabel acak yang kurang dari atau sama dengan x .

2.8 Probability Density Function (PDF)

Sedangkan *Probability Density Function* (PDF) adalah suatu fungsi yang menyatakan nilai probabilitas dari setiap kejadian acak X dan dituliskan dengan $f(x)$. Secara matematis PDF dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$f(x) = P(X = x) \quad (2.4)$$

di mana:

$f(x)$: PDF dari nilai variabel acak pada titik x ,

x : Nilai variabel acak berupa konstanta x yang ditentukan,

$P(X = x)$: Probabilitas nilai variabel acak yang sama dengan x .

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun waktu dan tempat penelitian untuk skripsi ini adalah sebagai berikut.

Waktu : November 2016 - Juni 2017

Tempat : Laboratorium Teknik Pengukuran Besaran Elektrik, Jurusan
Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian untuk skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Satu buah laptop,
2. *Software* MATLAB.

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian dari skripsi ini adalah metode pemodelan dan simulasi. Beberapa tahapan kerja yang dilakukan dalam metode ini adalah sebagai berikut.

3.3.1 Studi Literatur

Proses studi literatur dilakukan dengan mencari informasi yang berkaitan dengan topik penelitian yang akan dilakukan, baik dari buku, jurnal, internet maupun dari

penelitian-penelitian lainnya yang telah dilakukan sebelumnya, antara lain sebagai berikut.

- a. Pengenalan *Wireless Sensor Network* (WSN),
- b. Aplikasi WSN,
- c. Arsitektur WSN,
- d. Metode *Routing* pada WSN,
- e. Model Energi,
- f. Model Mobilitas.

3.3.2 Pemodelan Sistem dan Simulasi

Setelah melakukan studi literatur maka tahap penelitian selanjutnya adalah membuat pemodelan dari sistem berupa skenario simulasi jaringan yang direncanakan beserta parameter-parameter apa saja yang diperlukan dalam simulasi. Selanjutnya adalah mendesain diagram alir (*flow chart*) dari program simulasi dan pembuatan program simulasi dengan menggunakan *software* MATLAB.

3.3.2.1 Pemodelan Sistem

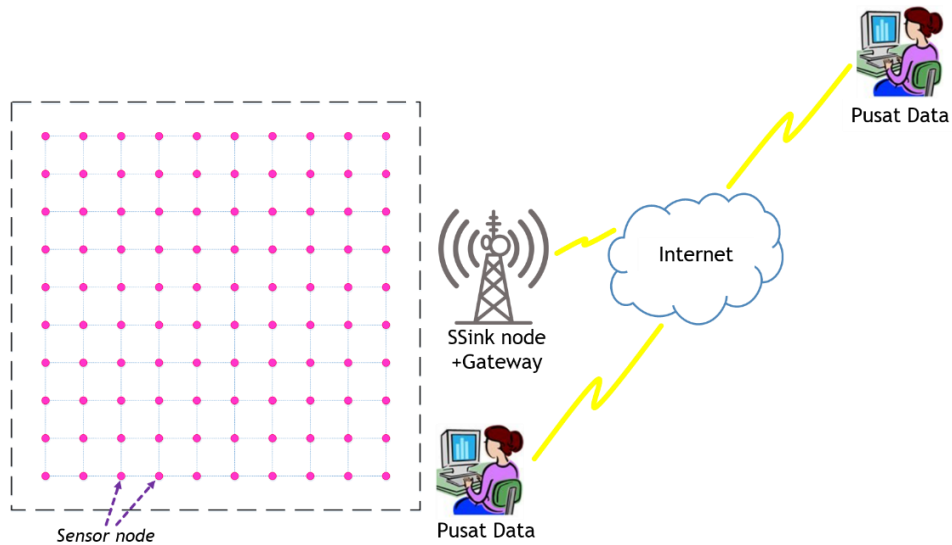
Tahapan pertama dalam pemodelan sistem adalah dengan membuat asumsi yang akan diterapkan dalam simulasi. Pada penelitian ini diasumsikan setiap *sink node* memiliki energi yang tak terbatas dan *lifetime* jaringan akan berakhir ketika terdapat *sensor node* pertama dalam WSN mengalami kehabisan energi. Metode pengiriman data yang digunakan oleh *sensor node* adalah secara *multi hop*. Model mobilitas yang digunakan adalah *homogeneous controlled model* yang berarti model

mobilitas yang digunakan bersifat berbeda untuk setiap *mobile sink node*-nya tetapi memiliki pergerakan secara terkontrol. Area penangkaran hewan yang akan diamati diasumsikan berbentuk bujur sangkar dengan luas $\pm 1.300 \text{ km}^2$ yang bersesuaian dengan luas area dari area penangkaran Taman Nasional Way Kambas. Selanjutnya akan diletakkan *sensor node* dengan jarak yang sama antara *node*-nya, yaitu 1 km. Terdapat dua jenis *sink node* yang mungkin digunakan dalam skenario yaitu *sink node* yang diam (*static*) dan *sink node* yang bergerak (*mobile*). Setiap *static sink node* (SSink node) akan berfungsi juga sebagai *gateway*. Setiap *mobile sink node* (MSink node) tidak berfungsi sebagai *gateway*. *Mobile sink node* akan bergerak searah putaran jarum jam. Aktivitas berpindahnya gajah melewati area yang dipantau pada garis batas peletakkan antara *sensor node* akan ditandai dengan aktifnya dua buah buah *sensor node* yang bersebelahan.

Skenario pertama dalam pemodelan sistem adalah skenario dasar yang akan dijadikan acuan (*baseline*). Terdapat tujuh skenario yang telah dimodelkan dan dapat digunakan pada simulasi, yaitu:

a. Skenario 1 (*baseline*), *single static sink node*

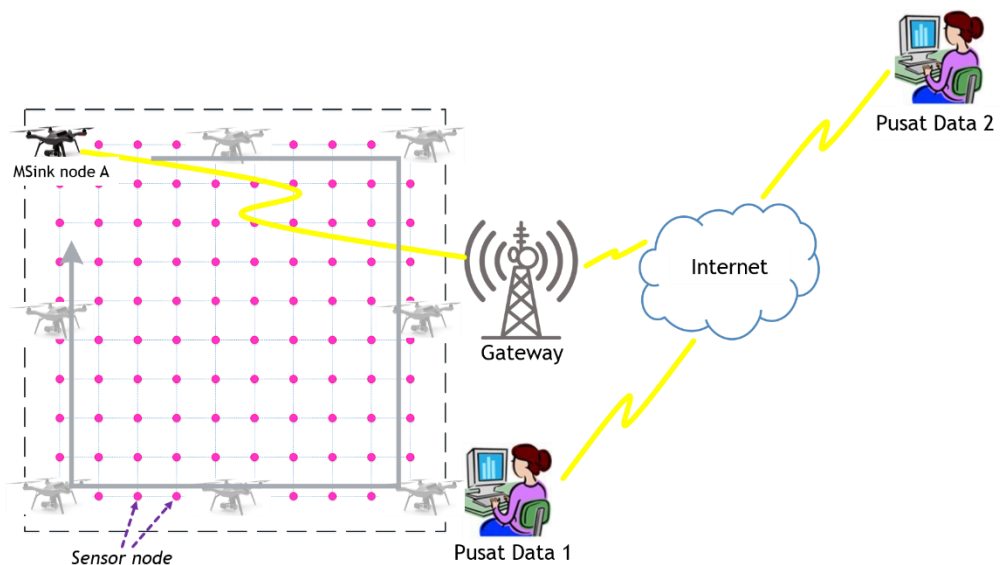
Skenario ini akan dijadikan sebagai acuan (*baseline*) dari simulasi yang akan dilakukan. Setiap *wireless sensor node* akan mengirimkan data informasi yang diperolehnya menuju *sink node* secara *multi hop*. Setelah data informasi diterima oleh *sink node*, data tersebut akan dikirimkan ke internet melalui *gateway* sehingga dapat diakses oleh pusat data yang letaknya dekat maupun jauh dari area penangkaran. Pada skenario ini hanya terdapat satu buah *sink node* yang tidak bergerak (*static*). *Sink node* ini akan berfungsi juga sebagai *gateway*. Ilustrasi dari skenario 1 dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Ilustrasi skenario 1 (*Baseline*)

b. Skenario 2, *single mobile sink node*

Skenario ini hampir sama dengan skenario pertama, hanya saja pada skenario ini terdapat satu buah *sink node* yang bergerak (*mobile*). *Mobile sink node* ini akan bergerak mengelilingi bagian luar dari area penangkaran dengan kecepatan konstan dan searah putaran jarum jam pada lintasan berbentuk bujur sangkar dengan ukuran tertentu. Ilustrasi skenario 2 dapat dilihat pada Gambar 3.2.

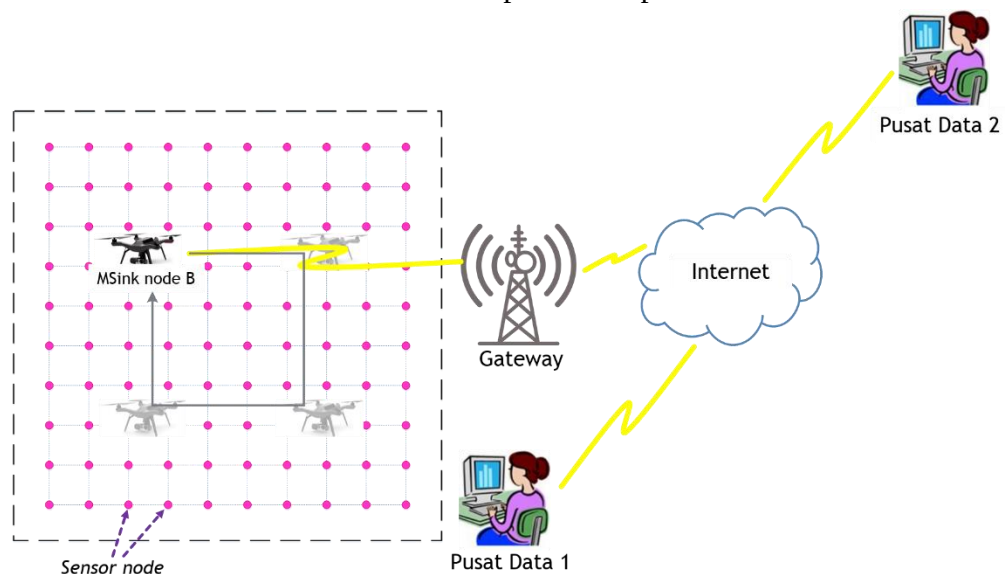


Gambar 3.2 Ilustrasi skenario 2

Setiap *wireless sensor node* akan mengirimkan data informasi yang diperolehnya menuju *mobile sink node* (berupa *drone*) secara *multi hop*. Setelah data informasi diterima oleh *mobile sink node*, data tersebut akan dikirimkan ke internet melalui *gateway* sehingga dapat diakses oleh pusat data yang letaknya dekat maupun jauh dari area penangkaran.

c. Skenario 3, *single mobile sink node*

Skenario ini hampir sama dengan skenario kedua, perbedaannya terletak pada lintasan pergerakan dari *mobile sink node*. *Mobile sink node* ini akan bergerak mengelilingi bagian dalam dari area penangkaran dengan kecepatan konstan dan searah putaran jarum jam pada lintasan berbentuk bujur sangkar dengan ukuran tertentu. Ilustrasi skenario 3 dapat dilihat pada Gambar 3.3.



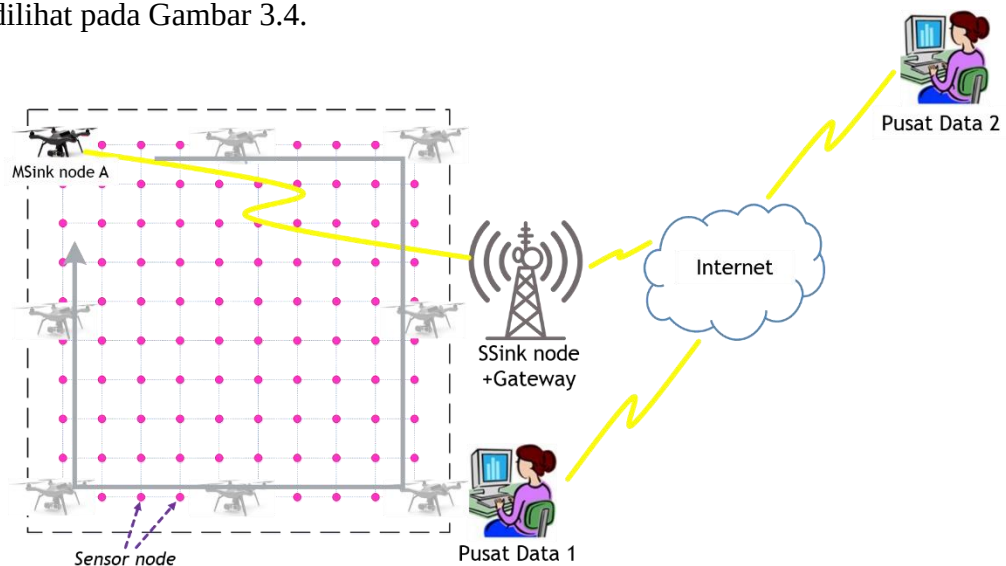
Gambar 3.3 Ilustrasi skenario 3

Setiap *wireless sensor node* akan mengirimkan data informasi yang diperolehnya menuju *mobile sink node* (berupa *drone*) secara *multi hop*. Setelah data informasi diterima oleh *mobile sink node*, data tersebut akan dikirimkan ke internet melalui

gateway sehingga dapat diakses oleh pusat data yang letaknya dekat maupun jauh dari area penangkaran.

d. Skenario 4, *static sink node* dan *mobile sink node*

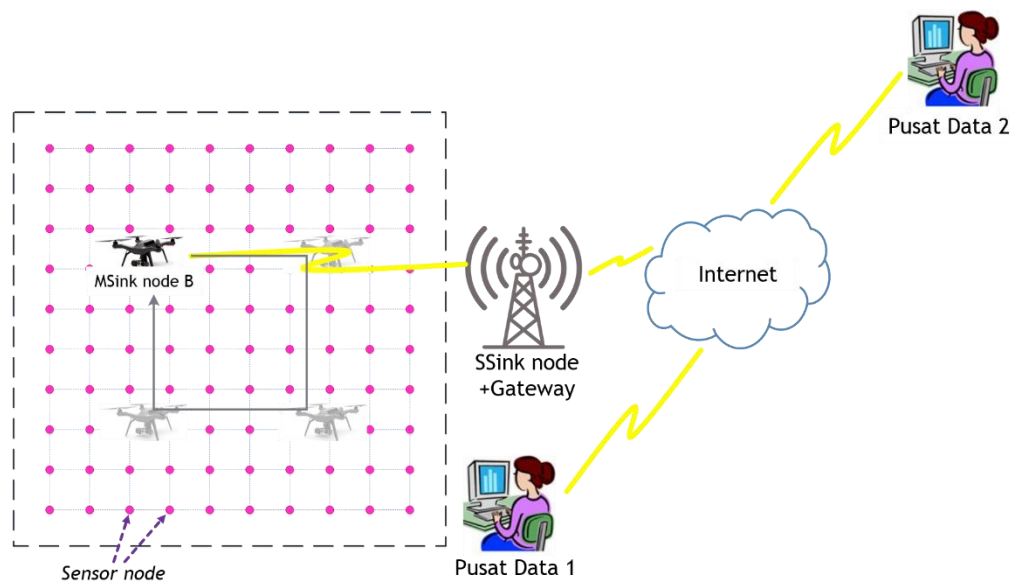
Skenario ini merupakan penggabungan dari skenario pertama dan kedua yaitu terdapat satu buah *sink node* yang tidak bergerak (*static*) dan satu buah *sink node* yang bergerak (*mobile*). Setiap *wireless sensor node* akan mengirimkan data informasi yang diperolehnya menuju *mobile sink node* (berupa *drone*) secara *multi hop*. *Mobile sink node* ini akan bergerak mengelilingi bagian luar dari area penangkaran dengan kecepatan konstan dan searah putaran jarum jam pada lintasan berbentuk bujur sangkar dengan ukuran tertentu. Kemudian *mobile sink node* akan mengirimkan data informasi yang telah dikumpulkannya ke *static sink node* yang berfungsi juga sebagai *gateway* dan selanjutnya data informasi dikirimkan ke internet sehingga dapat diakses oleh pusat data yang letaknya dekat maupun jauh dari area penangkaran. Ilustrasi skenario 4 dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Ilustrasi skenario 4

e. Skenario 5, *static sink node* dan *mobile sink node*

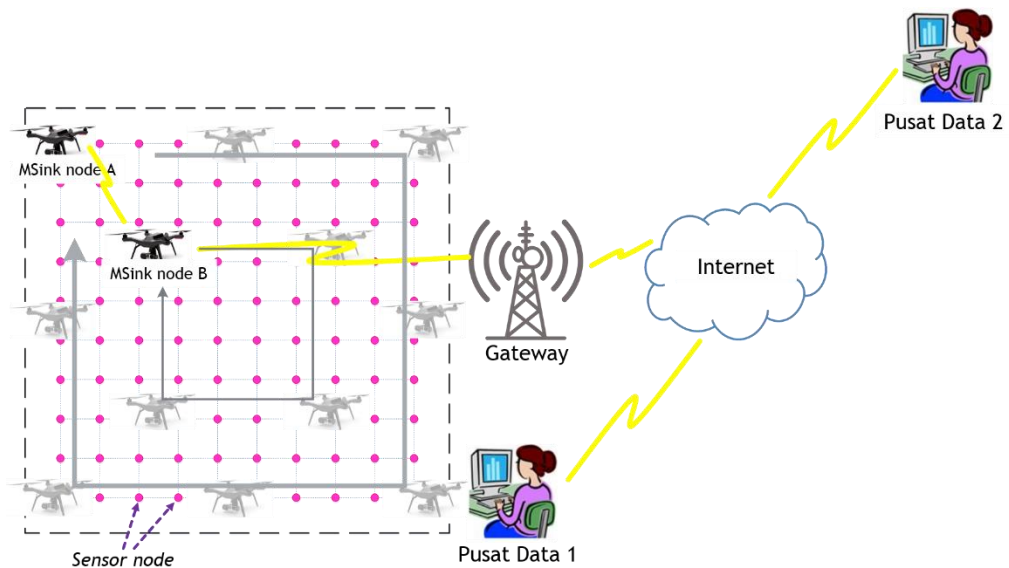
Skenario ini merupakan penggabungan dari skenario pertama dan ketiga yaitu terdapat satu buah *sink node* yang tidak bergerak (*static*) dan satu buah *sink node* yang bergerak (*mobile*). Setiap *wireless sensor node* akan mengirimkan data informasi yang diperolehnya menuju *mobile sink node* (berupa *drone*) secara *multi hop*. *Mobile sink node* ini akan bergerak mengelilingi bagian dalam dari area penangkaran dengan kecepatan konstan dan searah putaran jarum jam pada lintasan berbentuk bujur sangkar dengan ukuran tertentu. Kemudian *mobile sink node* akan mengirimkan data informasi yang telah dikumpulkannya ke *static sink node* yang berfungsi juga sebagai *gateway* dan selanjutnya data informasi dikirimkan ke internet sehingga dapat diakses oleh pusat data yang letaknya dekat maupun jauh dari area penangkaran. Ilustrasi skenario 5 dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Ilustrasi skenario 5

g. Skenario 6, *dual mobile sink node*

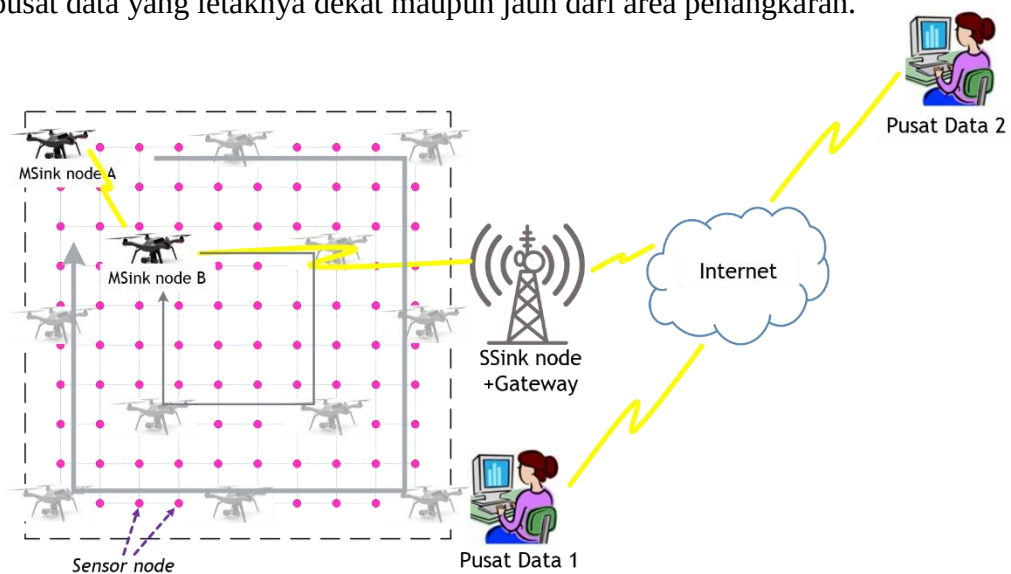
Skenario ini merupakan penggabungan dari skenario kedua dan ketiga yaitu terdapat dua buah *sink node* yang bergerak (*mobile*). Setiap *wireless sensor node* akan mengirimkan data informasi yang diperolehnya menuju *mobile sink node* yang jaraknya lebih dekat secara *multi hop*. *Mobile Sink node A* akan bergerak mengelilingi bagian luar sedangkan *mobile sink node B* akan bergerak mengelilingi bagian dalam dari area penangkaran dengan kecepatan konstan dan searah putaran jarum jam pada lintasan berbentuk bujur sangkar dengan ukuran tertentu. Kemudian *mobile sink node* yang letaknya lebih jauh dari *gateway* akan mengirimkan data informasi yang telah dikumpulkannya ke *mobile sink node* yang letaknya lebih dekat. *Mobile sink node* yang letaknya lebih dekat dengan *gateway* akan mengirimkan data informasi yang diperolehnya ke *gateway* dan kemudian dikirimkan ke internet sehingga dapat diakses oleh pusat data yang letaknya dekat maupun jauh dari area penangkaran. Ilustrasi skenario 6 dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Ilustrasi skenario 6

h. Skenario 7, *static sink node* dan *dual mobile sink node*

Skenario ini merupakan penggabungan dari skenario pertama, kedua dan ketiga yaitu terdapat satu buah *sink node* yang tidak bergerak (*static*) dan dua buah *sink node* yang bergerak (*mobile*). Setiap *wireless sensor node* akan mengirimkan data informasi yang diperolehnya menuju *sink node* yang jaraknya lebih dekat secara *multi hop*. *Mobile Sink node A* akan bergerak mengelilingi bagian luar sedangkan *mobile sink node B* akan bergerak mengelilingi bagian dalam dari area penangkaran dengan kecepatan konstan dan searah putaran jarum jam pada lintasan berbentuk bujur sangkar dengan ukuran tertentu. Kemudian *mobile sink node* yang letaknya lebih jauh dari *gateway* akan mengirimkan data informasi yang telah dikumpulkannya ke *mobile sink node* yang letaknya lebih dekat. *Mobile sink node* yang letaknya lebih dekat dengan *static sink node* akan mengirimkan data informasi yang diperolehnya ke *static sink node* yang berfungsi juga sebagai *gateway* dan kemudian data informasi dikirimkan ke internet sehingga dapat diakses oleh pusat data yang letaknya dekat maupun jauh dari area penangkaran.



Gambar 3.7 Ilustrasi skenario 7

3.3.2.2 Model Energi

Energi yang digunakan untuk mengirim dan menerima data seperti pada [7] dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$E_{Tx}(d) = (E_{elec} \times l) + (\varepsilon_{amp} \times l \times d^2) \quad (3.1)$$

$$E_{Rx}(d) = E_{elec} \times l \quad (3.2)$$

dengan:

E_{Tx} : Energi untuk mengirimkan data (J)

E_{Rx} : Energi untuk menerima data (J)

E_{elec} : Energi yang digunakan untuk mengoperasikan *wireless sensor node* (J/bit)

ε_{amp} : Energi untuk memperkuat sinyal data (J/bit/m²)

l : Ukuran panjang paket data (bit)

d : Jarak antara pengirim dan penerima (m).

3.3.2.3 Model Mobilitas

Model mobilitas *sink node* dapat dilihat pada Gambar 3.8. Garis yang berwarna biru merupakan lintasan dari *Mobile Sink node A* dan garis yang berwarna coklat merupakan lintasan dari *Mobile Sink node B*. *Mobile Sink node A* akan bergerak di luar area sedangkan *Mobile Sink node B* akan bergerak di dalam area penangkaran. Lintasan dari *Mobile Sink node A* akan searah putaran jarum jam mengikuti lintasan yang berbentuk bujur sangkar dan dimulai dari La1 hingga La4 dan akan terus berulang hingga simulasi berakhir. Begitu pula dengan lintasan dari *Mobile Sink node B*, lintasan akan dimulai dari Lb1 hingga Lb4 dan akan terus berulang hingga

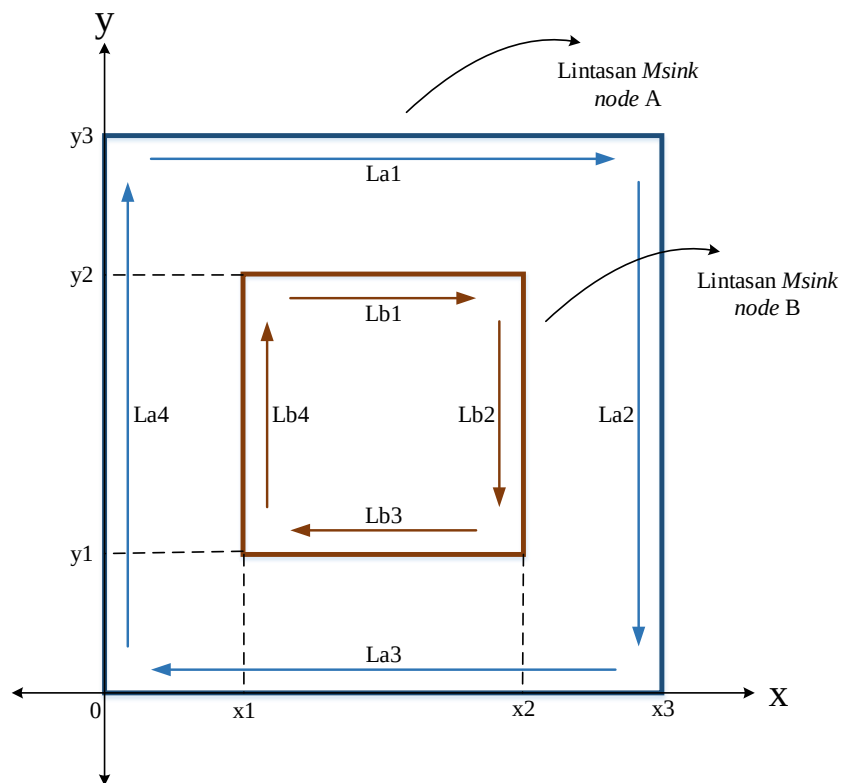
simulasi berakhir. Model mobilitas dari *sink node* untuk model simulasi dibedakan menjadi dua, yaitu pada *Mobile Sink node A* dan *Mobile Sink node B* dan dapat diuraikan sebagai berikut.

a. Mobilitas *Mobile Sink node A*

Pada awalnya, *Mobile Sink node A* bergerak mulai dari titik koordinat (x_0, y_3) pada Gambar 3.8 dengan kecepatan konstan (v_a) pada La1 secara horizontal. Perpindahan posisi koordinat (x, y) dari *Mobile Sink node A* pada saat t_1 dapat diperoleh melalui persamaan:

$$\text{Koordinat } x = x_0 + v_a \cdot t_1 \quad (3.3)$$

$$\text{Koordinat } y = y_3 \text{ (konstan)}$$



Gambar 3.8 Ilustrasi Model Mobilitas *Sink Node*

Sebelum memasuki waktu selanjutnya ($t_1+1 = t_2$), koordinat x dari *mobile sink node* A pada saat t_1 akan diperiksa apakah bernilai sama dengan x_3 . Jika ya, maka *mobile sink node* A akan memasuki lintasan La2 dengan kecepatan konstan secara vertikal dengan perhitungan koordinat *Mobile Sink node* A pada saat tertentu (t_2) menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Koordinat } y = y_3 - v_a \cdot t_2 \quad (3.4)$$

$$\text{Koordinat } x = x_3 \text{ (konstan)}$$

Sebelum memasuki waktu selanjutnya ($t_2+1 = t_3$), koordinat y dari *mobile sink node* A pada saat t_2 akan diperiksa apakah bernilai sama dengan y_0 . Jika ya, maka *mobile sink node* A akan memasuki lintasan La3 dengan kecepatan konstan secara horizontal dengan perhitungan koordinat *mobile sink node* A pada saat tertentu (t_3) menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Koordinat } x = x_3 - v_a \cdot t_3 \quad (3.5)$$

$$\text{Koordinat } y = y_0 \text{ (konstan)}$$

Sebelum memasuki waktu selanjutnya ($t_3+1 = t_4$), koordinat x dari *mobile sink node* A pada saat t_3 akan diperiksa apakah bernilai sama dengan x_0 . Jika ya, maka akan memasuki lintasan La4 dengan kecepatan konstan secara vertikal dengan perhitungan koordinat *Mobile Sink node* A menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Koordinat } y = y_0 + v_a \cdot t_4 \quad (3.6)$$

$$\text{Koordinat } x = x_0 \text{ (konstan)}$$

Sebelum memasuki waktu selanjutnya ($t_4+1 = t_5$), koordinat y dari *mobile sink node* A pada saat t_4 akan diperiksa apakah bernilai sama dengan y_3 . Jika ya, maka akan memasuki lintasan La1 dan cara perhitungan akan kembali dan berulang ke seperti Persamaan 3.3 dan seterusnya sampai waktu simulasi berakhir.

b. *Mobile Sink node B*

Pada awalnya, *Mobile Sink node B* bergerak mulai dari titik koordinat (x_1, y_2) pada Gambar 3.8 dengan kecepatan konstan (v_b) pada lintasan Lb1 secara horizontal. Perpindahan posisi koordinat (x, y) dari *mobile sink node B* dapat diperoleh melalui persamaan berikut ini.

$$\text{Koordinat } x = x_1 + v_b \cdot t_6 \quad (3.7)$$

$$\text{Koordinat } y = y_2 \text{ (konstan)}$$

Sebelum memasuki waktu selanjutnya ($t_6+1 = t_7$), koordinat x dari *mobile sink node B* pada saat t_6 akan diperiksa apakah bernilai sama dengan x_2 . Jika ya, maka *mobile sink node B* akan memasuki lintasan Lb2 dengan kecepatan konstan secara vertikal dengan perhitungan koordinat *mobile sink node B* menggunakan persamaan berikut ini.

$$\text{Koordinat } y = y_2 - v_b \cdot t_7 \quad (3.8)$$

$$\text{Koordinat } x = x_2 \text{ (konstan)}$$

Sebelum memasuki waktu selanjutnya ($t_7+1 = t_8$), koordinat y dari *mobile sink node B* pada saat t_7 akan diperiksa apakah bernilai sama dengan y_1 . Jika ya, maka *mobile sink node B* akan memasuki lintasan Lb3 dengan kecepatan konstan

secara horizontal dengan perhitungan koordinat *mobile sink node* B menggunakan persamaan berikut ini.

$$\text{Koordinat } x = x_2 - v_b \cdot t_8 \quad (3.9)$$

$$\text{Koordinat } y = y_1 \text{ (konstan)}$$

Sebelum memasuki waktu selanjutnya ($t_8+1 = t_9$), koordinat x dari *mobile sink node* B pada saat t_8 akan diperiksa apakah bernilai sama dengan x_1 . Jika ya, maka *mobile sink node* B akan memasuki lintasan Lb4 dengan kecepatan konstan secara vertikal dengan perhitungan koordinat *mobile sink node* B menggunakan persamaan berikut ini.

$$\text{Koordinat } y = y_1 + v_b \cdot t_9 \quad (3.10)$$

$$\text{Koordinat } x = x_1 \text{ (konstan)}$$

Sebelum memasuki waktu selanjutnya ($t_9+1 = t_{10}$), koordinat y dari *Mobile Sink node* B pada saat t_9 akan diperiksa apakah bernilai sama dengan y_2 . Jika ya, maka *mobile sink node* B akan memasuki lintasan Lb1 dan perhitungan akan kembali dan berulang seperti Persamaan (3.7) dan seterusnya sampai waktu simulasi berakhir.

3.3.2.4 Parameter Simulasi

Adapun parameter yang digunakan pada simulasi dengan menggunakan MATLAB adalah ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 3.1 Parameter Simulasi

No	Parameter	Nilai
1	Jumlah <i>sensor node</i>	1296 buah
2	Energi <i>sensor node</i> [9]	10 J
3	Cakupan <i>sensor node</i> [10]	1,5 km
4	Energi elektronik (E_{elec}) [7]	50 nJ/bit
5	Energi amplifikasi (ϵ_{amp}) [7]	10 pJ/bit/m ²
6	Panjang paket data	11 bit
7	Kecepatan <i>Mobile Sink node</i> A	v_a
8	Kecepatan <i>Mobile Sink node</i> B	v_b

Parameter jumlah *sensor node* diperoleh dengan asumsi area yang diamati berupa bujur sangkar dengan seluas 1.300 m² yang merujuk pada area Taman Nasional Way Kambas sehingga diperoleh sisi sepanjang 36 km yang dapat dicakup oleh 36x36 unit *sensor node* yang diletakkan dengan jarak yang sama, yaitu 1 km. Asumsi tersebut menghasilkan *sensor node* sejumlah 1296 unit. Parameter panjang paket data diperoleh dengan asumsi data yang ditransmisikan akan merepresentasikan nomor identitas *sensor node*, yaitu 1 sampai 1296 sehingga jumlah bit yang dibutuhkan untuk mengakomodasi keseluruhan unit *sensor node* adalah 11 bit ($2^{11} = 2048$). Kecepatan *Mobile Sink node* A disimbolkan dengan v_a sedangkan kecepatan *Mobile Sink node* B disimbolkan dengan v_b . Kecepatan *mobile sink node* baik v_a maupun v_b pada dianggap bernilai 1 km/ t_i (t_i adalah waktu iterasi), sehingga di waktu iterasi selanjutnya *Mobile Sink node* A dan *Mobile Sink node* B akan berada 1 km dari posisi sebelumnya.

3.3.3 Simulasi Menggunakan MATLAB

Simulasi yang dilakukan adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh model jaringan dengan perubahan posisi *single* dan *multiple mobile sink node* terhadap *lifetime* dari WSN, pengaruh model jaringan *dengan mobile sink node* dan *static sink node* terhadap *lifetime* dari WSN, dan perbandingan masing-masing jaringan yang telah dimodelkan terhadap sistem *baseline*. Simulasi ini akan menggunakan perangkat lunak MATLAB dan akan dilakukan perhitungan terhadap *lifetime* yang berupa lama jaringan akan bekerja hingga terdapat satu *sensor node* yang kehabisan energi dengan parameter simulasi yang sudah ditentukan. Simulasi ini juga akan memperoleh perbandingan *lifetime* dari masing-masing model jaringan yang direpresentasikan dalam bentuk grafik yang dihasilkan oleh perhitungan pada MATLAB.

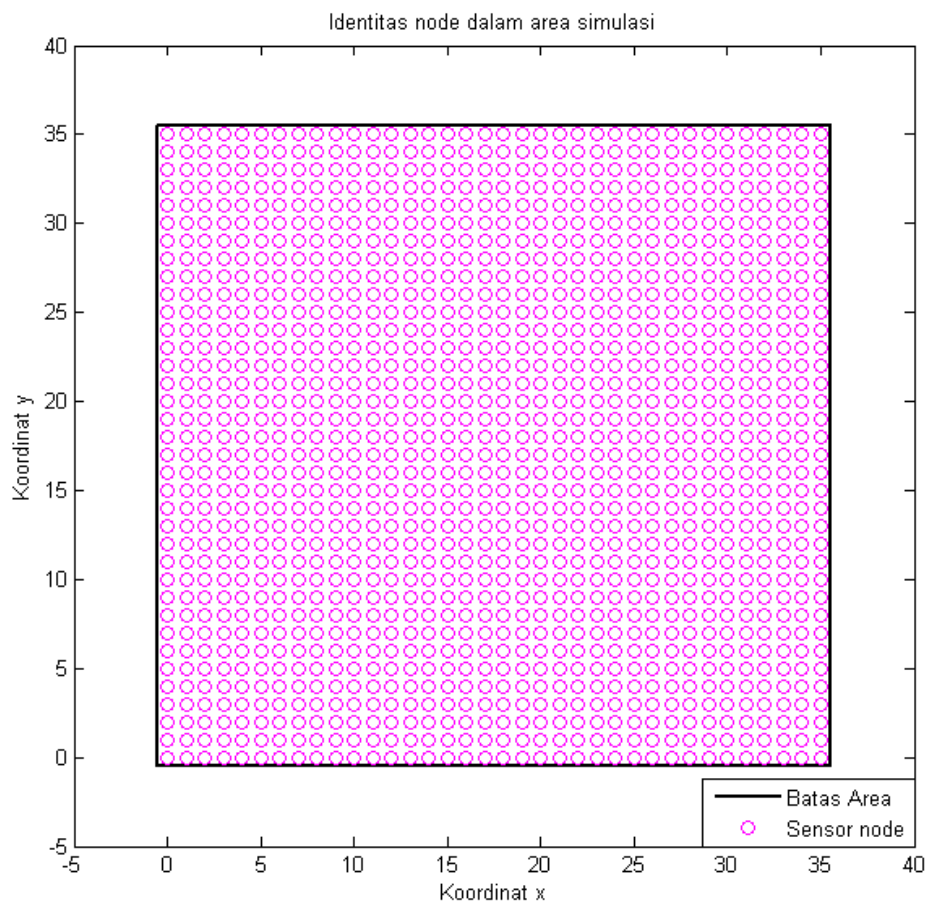
3.3.3.1 Peletakan *Sensor node*

Sensor node sejumlah 1296 *node* akan diletakkan di area simulasi yang berbentuk bujur sangkar. *Sensor node* ini akan membentuk matriks 36x36 pada bidang datar dengan koordinat x dan koordinat y. *Sensor node* pertama akan diletakkan pada koordinat (0,0) dan *sensor node* terakhir akan diletakkan pada koordinat (35,35). Identitas *sensor node* dalam area simulasi dapat dilihat pada Tabel 3.3. Pada koordinat y = 0, terdapat 36 *node* dengan identitas 1 sampai 36. Pada koordinat y = 1, terdapat 36 *node* dengan identitas 37 sampai 72. Demikian pula dengan koordinat y seterusnya, akan terdapat 36 *node* dengan identitas yang berurutan hingga koordinat y = 35 dan identitas *node* mencapai 1296.

Tabel 3.2 Identitas *node* dalam area simulasi

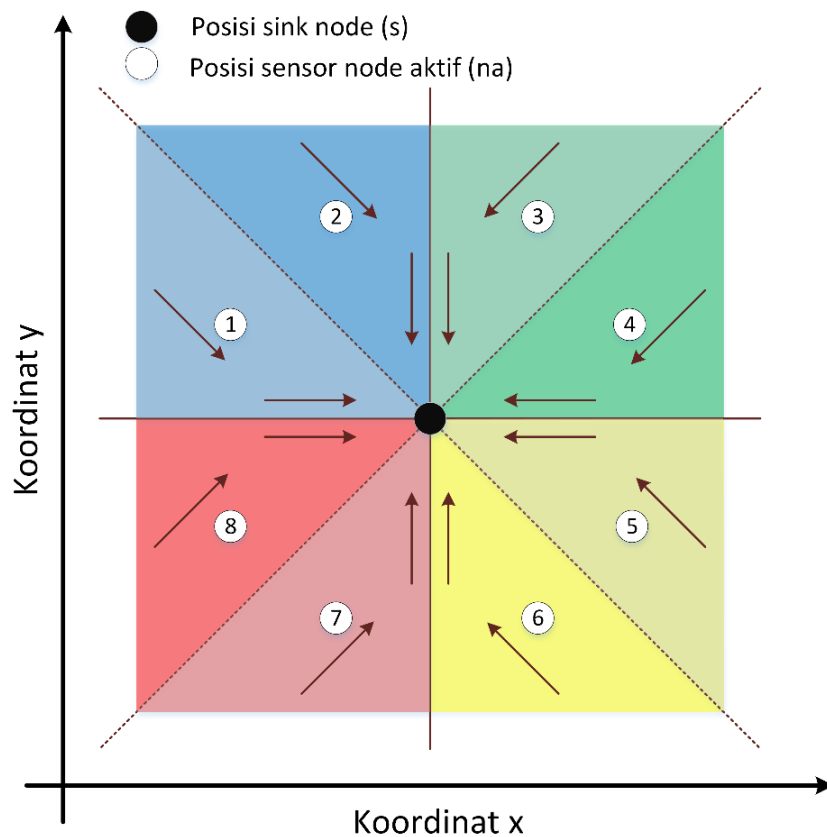
Koordinat y	Koordinat x						
	0	1	2	...	34	35	36
35	1261	1262	1263	...	1294	1295	1296
34	1225	1226	1227	...	1258	1259	1260
33	1189	1190	1191	...	1222	1223	1224
...	...	...		...		...	...
2	73	74	74	...	106	107	108
1	37	38	39	...	70	71	72
0	1	2	3	...	34	35	36

Peletakan *sensor node* dalam area simulasi ditampilkan pada Gambar 3.9. Setiap *sensor node* pada gambar tersebut memiliki identitas sesuai dengan Tabel 3.3.

Gambar 3.9 Identitas *node* dalam area simulasi

3.3.3.2 Pemilihan Lintasan (*Hop*)

Setelah *sensor node* sejumlah 1296 *node* akan diletakkan di area simulasi yang berbentuk bujur sangkar, maka selanjutnya adalah membangkitkan aktifitas *sensor node* tersebut secara acak. Setiap *sensor node* dibangkitkan aktifitasnya akan mengirimkan data informasi identitas *node* aktif yang berupa kombinasi dari 11 bit hingga diterima oleh *sink node*. Posisi *sensor node* terhadap *sink node* sangat menentukan lintasan mana yang akan dilewati oleh data tersebut. Gambar 3.10 menunjukkan posisi *sensor node* aktif dan lintasannya sesuai dengan koordinatnya masing-masing. Setiap *sensor node* aktif akan mengirimkan data dengan lintasan diagonal dan dilanjutkan dengan lintasan mendatar (vertikal atau horizontal).



Gambar 3.10 Pemilihan lintasan (*hop*)

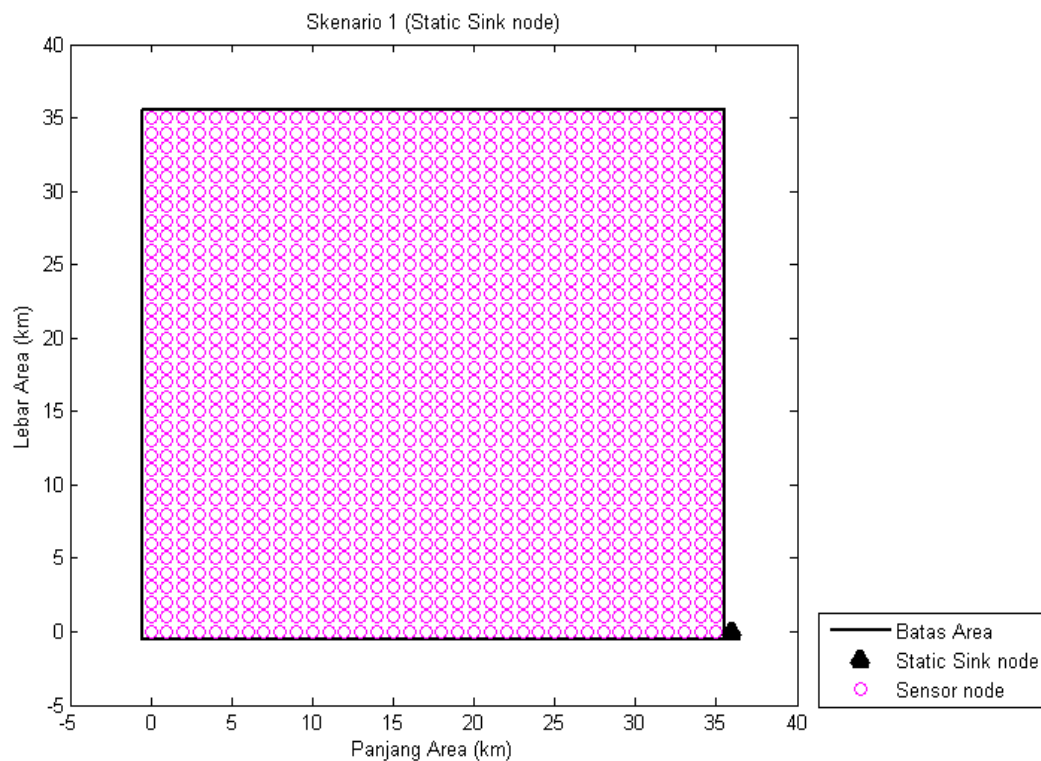
Pemilihan lintasan seperti pada Gambar 3.10 dapat dilihat dari tanda panah yang ada pada tiap area dengan bulatan hitam yang diumpamakan sebagai posisi *sink node* dan bulatan putih sebagai posisi *sensor node* aktif. Pemilihan lintasan pengiriman data akan diperjelas melalui Tabel 3.4. Pada tabel berikut, identitas *node* akan dilambangkan dengan i , selisih koordinat x dari *sink node* dan *sensor node* aktif akan dilambangkan dengan x , dan selisih koordinat y dari *sink node* dan *sensor node* aktif akan dilambangkan dengan y . Ketika *sensor node* aktif berada pada area 1, maka lintasan pengiriman data akan berupa *hop* diagonal sejumlah y ke arah tenggara ($i-35$) dan dilanjutkan dengan *hop* mendatar sejumlah $x-y$ ke arah timur ($i-1$). Ketika *sensor node* aktif berada pada area 2, maka lintasan pengiriman data akan berupa *hop* diagonal sejumlah y ke arah tenggara ($i-35$) dan dilanjutkan dengan *hop* mendatar sejumlah $x-y$ ke arah selatan ($i-36$). Begitu pula dengan pemilihan lintasan pada area yang lainnya. Untuk skenario 1 (*Baseline*), *sink node* akan tetap berada di posisi awal yaitu pada koordinat (36,0) hingga simulasi selesai. Oleh karena itu, *sensor node* yang aktif hanya memiliki dua buah kemungkinan lintasan yang akan dilewati, yaitu lintasan pada area 1 dan area 2.

Tabel 3.3 Pemilihan Lintasan (*Hop*)

Area	Lintasan
1	<i>Hop</i> diagonal ($i-35$) sebanyak y , kemudian <i>hop</i> datar ($i+1$) sebanyak $x-y$
2	<i>Hop</i> diagonal ($i-35$) sebanyak y , kemudian <i>hop</i> datar ($i-36$) sebanyak $x-y$
3	<i>Hop</i> diagonal ($i-37$) sebanyak y , kemudian <i>hop</i> datar ($i-36$) sebanyak $x-y$
4	<i>Hop</i> diagonal ($i-37$) sebanyak y , kemudian <i>hop</i> datar ($i-1$) sebanyak $x-y$
5	<i>Hop</i> diagonal ($i+35$) sebanyak y , kemudian <i>hop</i> datar ($i-1$) sebanyak $x-y$
6	<i>Hop</i> diagonal ($i+35$) sebanyak y , kemudian <i>hop</i> datar ($i+36$) sebanyak $x-y$
7	<i>Hop</i> diagonal ($i+37$) sebanyak y , kemudian <i>hop</i> datar ($i+36$) sebanyak $x-y$
8	<i>Hop</i> diagonal ($i+37$) sebanyak y , kemudian <i>hop</i> datar ($i+1$) sebanyak $x-y$

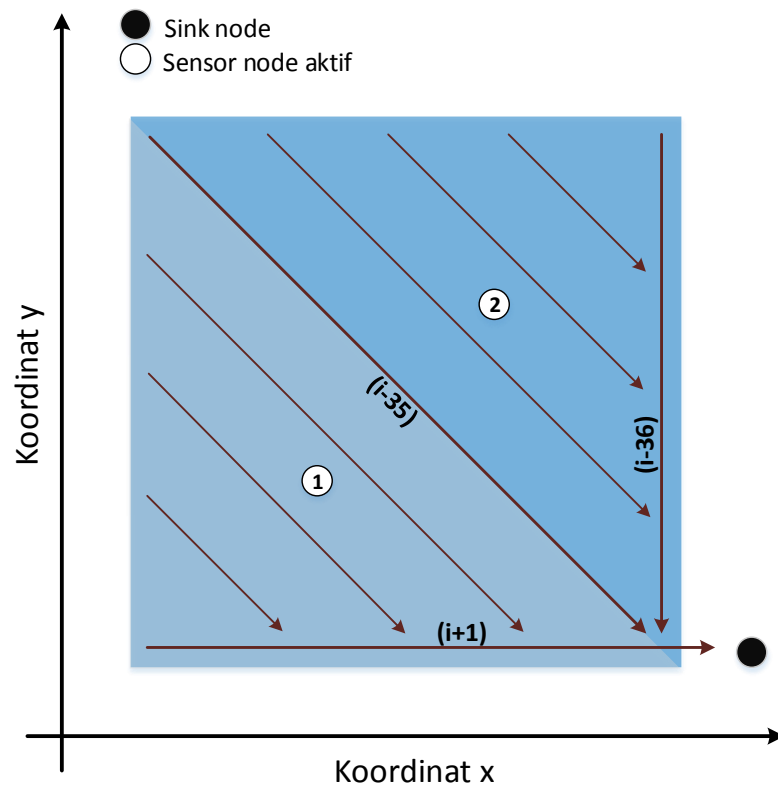
3.3.3.3 Simulasi Skenario 1

Berdasarkan skenario yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya, maka dilakukan pemodelan sistem untuk simulasi skenario penelitian. Skenario pertama yang akan dibahas adalah skenario sistem *baseline* yang akan dijadikan acuan dalam pemodelan sistem selanjutnya. Batas dari area yang akan diamati ditandai oleh garis yang berwarna hitam tebal pada Gambar 3.11. Garis tersebut akan berbentuk area bujur sangkar yang di dalamnya akan diletakkan 1296 unit *sensor node* dengan susunan yang ditunjukkan oleh Tabel 3.3. *Sensor node* diletakkan dengan jarak yang sama antara *sensor node*-nya dan nomor identitas terkecil berada pada koordinat x dan y terkecil yaitu (0,0). *Static Sink node* diletakkan pada koordinat (36,0) dan akan tetap pada posisi tersebut hingga simulasi skenario ini berakhir.



Gambar 3.11 Simulasi skenario 1

Setelah membangkitkan *sensor node* dan *sink node*, dibangkitkan 1296 bilangan acak yang berupa 0 dan 1 yang mewakili aktifitas tiap *sensor node*. Bilangan acak tersebut kemudian dicek, apabila terdapat dua bilangan yang bernilai 1 yang letaknya bersebelahan sesuai dengan posisi *sensor node* maka nantinya dua *sensor node* tersebut akan dianggap aktif. Setiap *sensor node* yang aktif akan mengirimkan data ke *Static Sink node* secara *muti hop* dengan lintasan diagonal maupun mendatar sesuai dengan Gambar 3.10 dan Tabel 3.4. Ilustrasi lebih terperinci dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut.



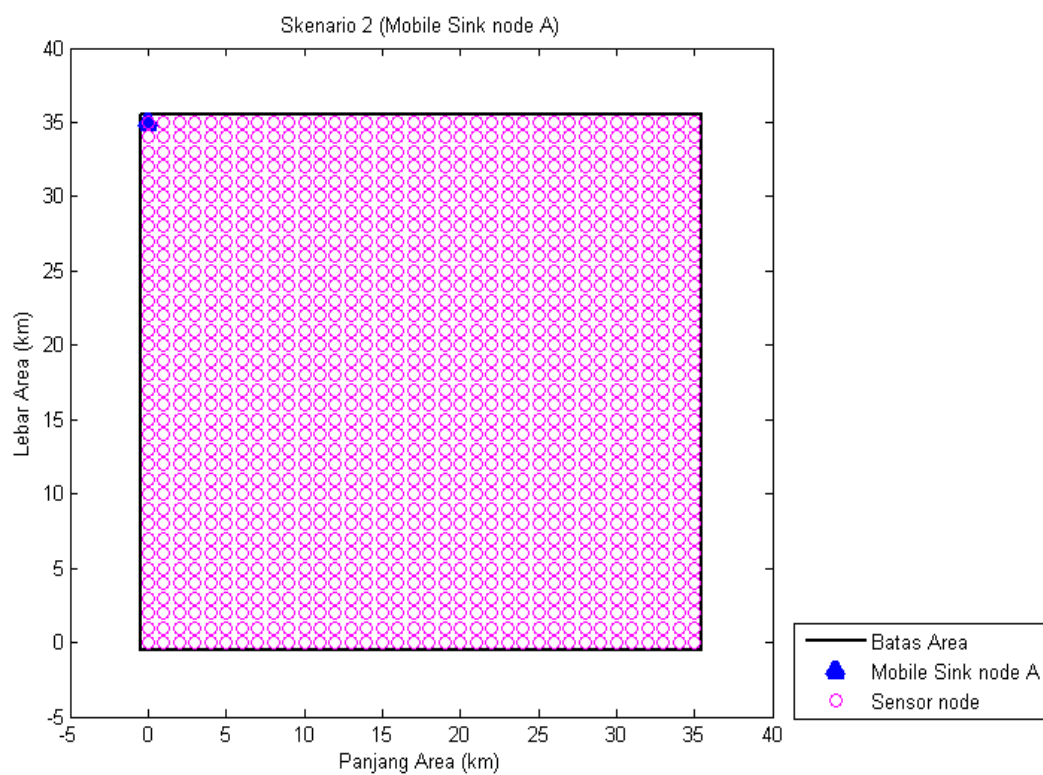
Gambar 3.12 Ilustrasi pemilihan lintasan (*hop*) skenario 1

Sink node pada skenario ini akan tetap berada pada posisinya hingga simulasi selesai. Oleh karena itu, hanya ada satu kemungkinan lintasan pengiriman data pada

setiap *sensor node* yaitu secara diagonal (i-35), dan kemudian secara horizontal (i+1) untuk area 1 maupun vertikal (i-36) untuk area 2.

3.3.3.4 Simulasi Skenario 2

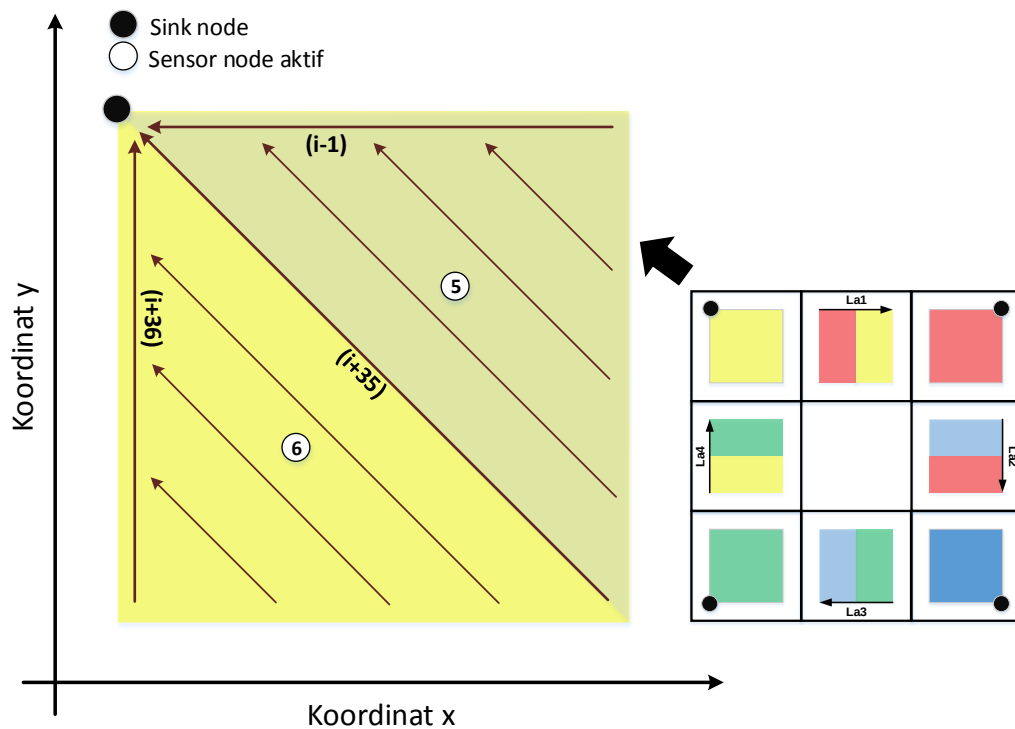
Skenario kedua yang akan dibahas adalah modifikasi dari sistem *baseline* yang menggunakan sebuah *Mobile Sink node* yang selanjutnya akan disebut *Mobile Sink node A*. Simulasi skenario ini akan ditunjukkan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Simulasi skenario 2

Perbedaan skenario ini dengan sistem *baseline* adalah posisi *Mobile Sink node A* ketika simulasi dimulai berada pada koordinat (0,35) dan pada waktu selanjutnya akan berubah posisi sesuai dengan Gambar 3.13 serta penjelasan pada model mobilitas *Mobile Sink node A*. Setelah *sensor node* diaktifkan secara acak, setiap

sensor node yang aktif akan mengirimkan data ke *Mobile Sink node A* secara *multi hop* dengan lintasan diagonal maupun mendatar sesuai dengan Gambar 3.10 dan Tabel 3.4. Ilustrasi pemilihan lintasan (*hop*) skenario 2 secara lebih terperinci dapat dilihat pada Gambar 3.14.



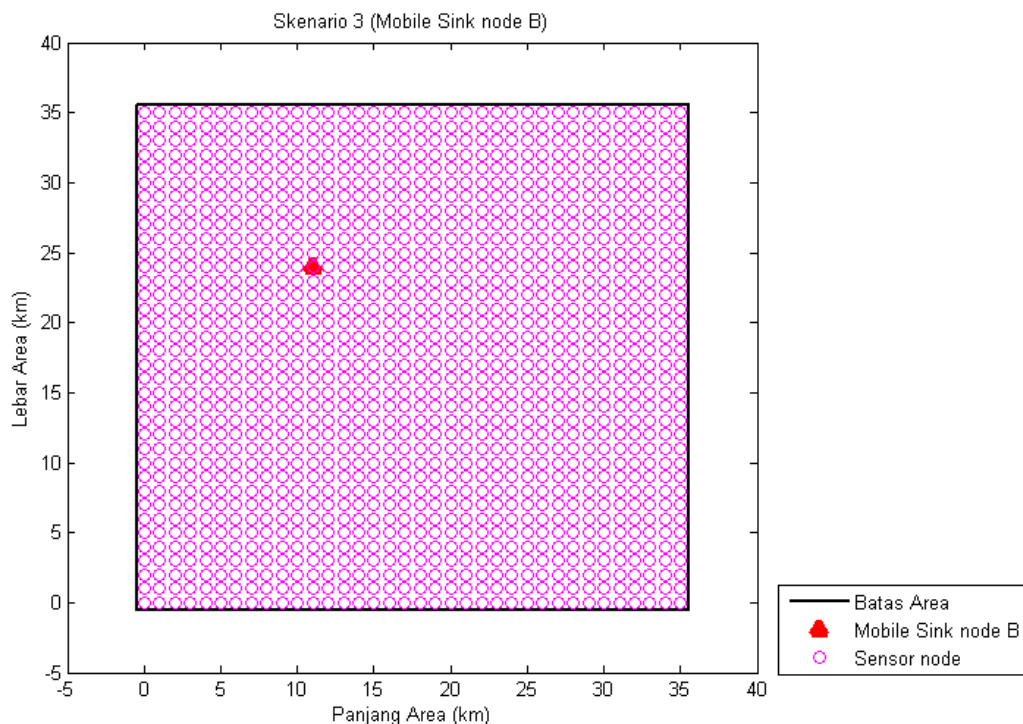
Gambar 3.14 Ilustrasi pemilihan lintasan (*hop*) skenario 2

Ketika simulasi dimulai, semua *sensor node* akan berada di area kuning pada Gambar 3.14. Hanya ada satu kemungkinan lintasan pengiriman data pada setiap *sensor node* yaitu secara diagonal ($i+35$), dan kemudian secara horizontal ($i-1$) untuk area 5 maupun vertikal ($i+36$) untuk area 6. Ketika iterasi selanjutnya, *sink node* akan bergerak sesuai lintasan $La1$ dan *sensor node* akan berada di area merah dan kuning hingga memasuki lintasan $La2$. Ketika *sink node* berada di $La2$, *sensor node* akan berada di biru dan merah. Ketika *sink node* berada di $La3$, *sensor node*

akan berada di area biru dan hijau. Ketika *sink node* berada di La4, *sensor node* akan berada di area hijau dan kuning. Begitu pula seterusnya hingga simulasi selesai.

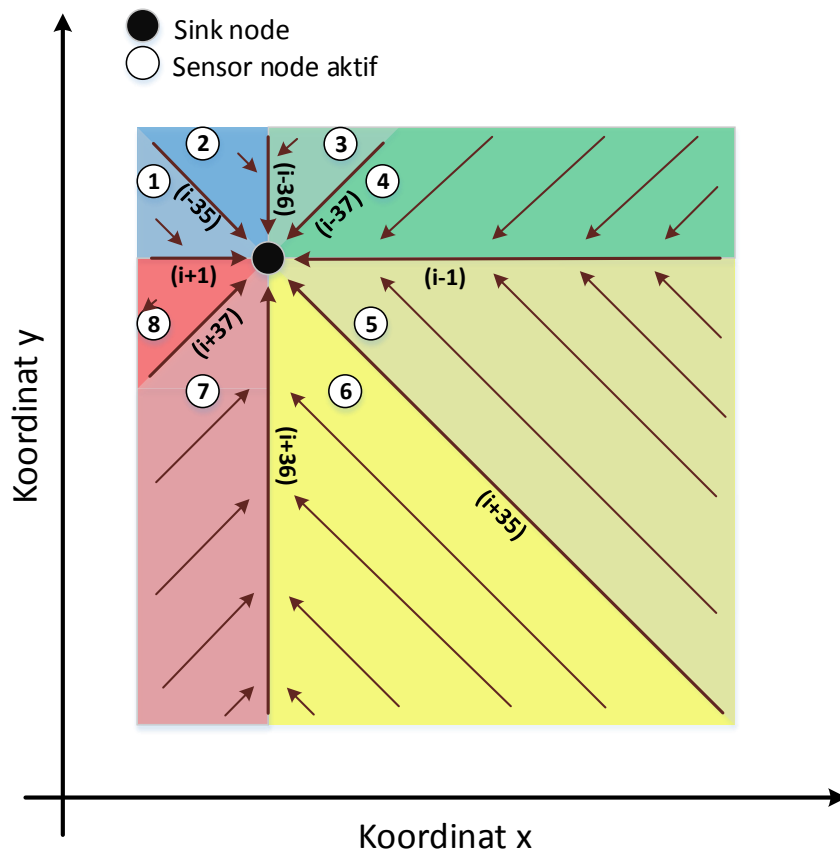
3.3.3.5 Simulasi Skenario 3

Hampir sama seperti dua skenario sebelumnya, skenario ketiga yang akan dibahas adalah modifikasi dari sistem *baseline* yang menggunakan sebuah *Mobile Sink node* yang selanjutnya akan disebut *Mobile Sink node B*. Simulasi skenario ini akan ditunjukkan pada Gambar 3.15. Perbedaan skenario ini dengan sistem *baseline* adalah posisi *Mobile Sink node B* ketika simulasi dimulai berada pada koordinat (11,24) dan pada waktu selanjutnya akan berubah posisi sesuai dengan Gambar 3.8 serta penjelasan pada model mobilitas *Mobile Sink node B*.



Gambar 3.15 Simulasi skenario 3

Koordinat tersebut dipilih agar panjang lintasan dari *Mobile Sink node B* $\pm \frac{1}{3}$ dari panjang area yang diamati. Koordinat tersebut dipilih agar jarak antara *sensor node* terluar ke lintasan *Mobile Sink node B* terdekat dapat memiliki panjang yang sama dengan panjang salah satu sisi lintasan *Mobile Sink node B*. Setelah *sensor node* diaktifkan secara acak, setiap *sensor node* yang aktif akan mengirimkan data ke *Mobile Sink node B* secara *muti hop* dengan lintasan diagonal maupun mendatar sesuai dengan Gambar 3.10 dan Tabel 3.4. Ilustrasi pemilihan lintasan (*hop*) skenario 2 secara lebih terperinci dapat dilihat pada Gambar 3.16.



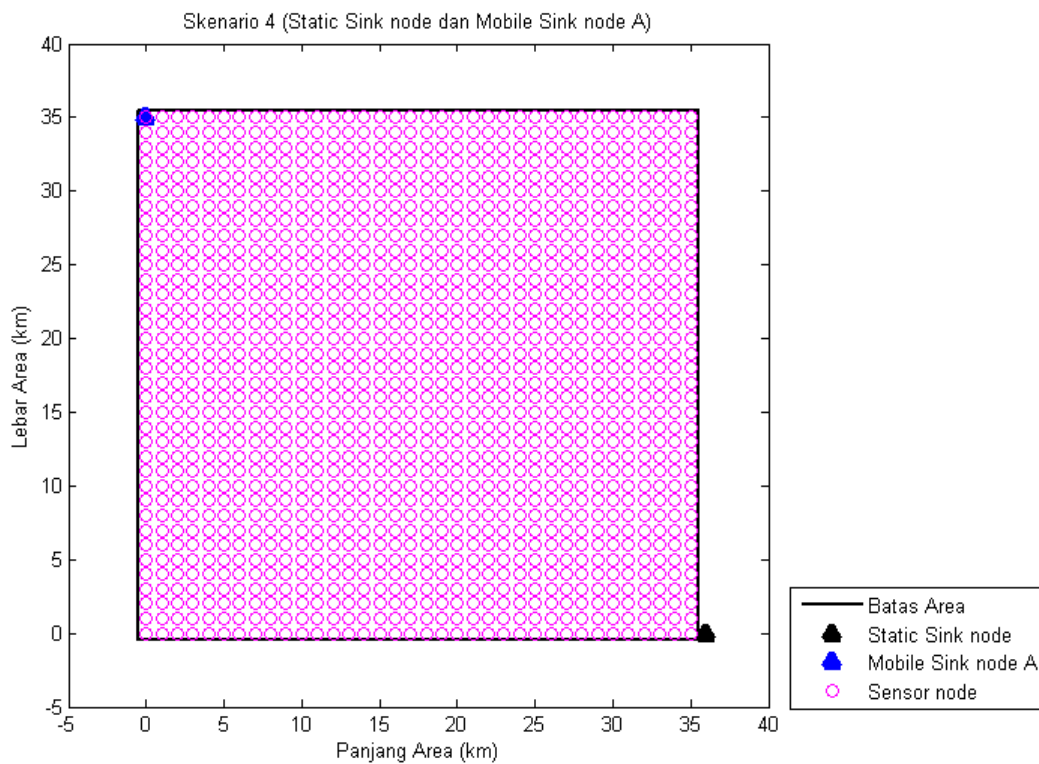
Gambar 3.16 Ilustrasi pemilihan lintasan (*hop*) skenario 3

Ketika simulasi dimulai, *sink node* akan berada pada lintasan Lb1. *Sensor node* akan menempati semua area pada Gambar 3.16. Titik pusat dari gambar tersebut

adalah posisi *sink node*, titik pusat ini yang akan terus berpindah mengikuti lintasan yang dilalui oleh *Mobile Sink node B*.

3.3.3.6 Simulasi Skenario 4

Skenario keempat yang akan dibahas adalah gabungan dari sistem *baseline* yang menggunakan sebuah *Static Sink node* dan skenario 2 yang menggunakan *Mobile Sink node A*. Simulasi skenario ini akan ditunjukkan pada Gambar 3.17.



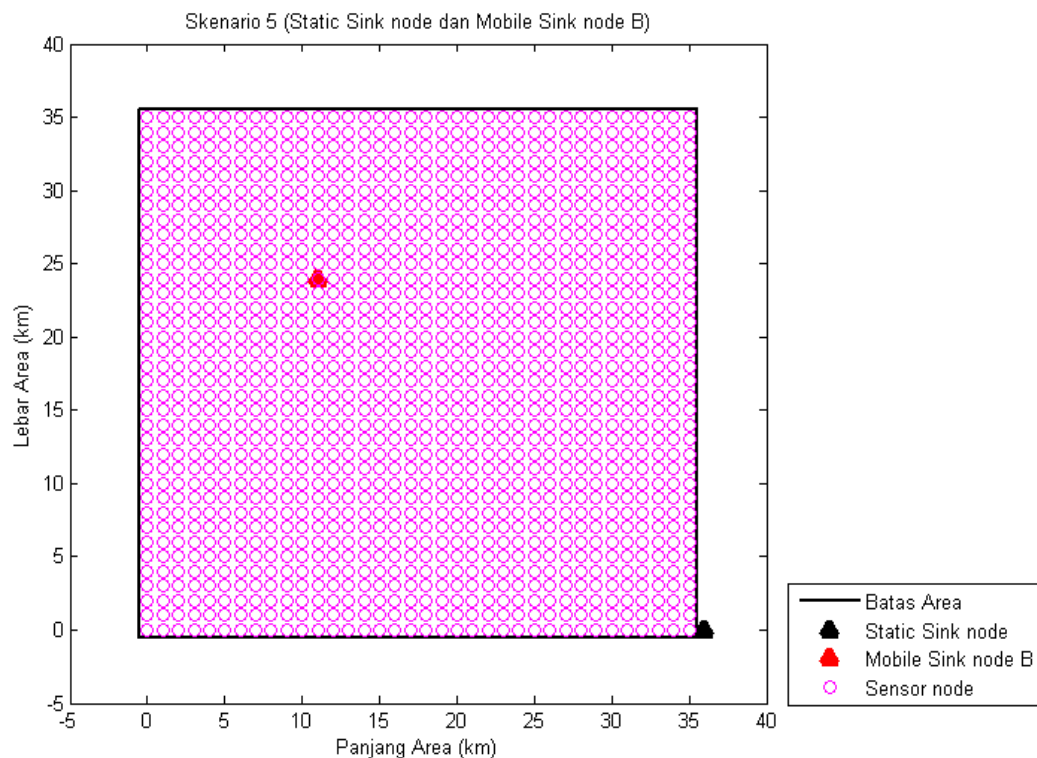
Gambar 3.17 Simulasi skenario 4

Static Sink node diletakkan pada koordinat (36,0) dan akan tetap pada posisi tersebut hingga simulasi skenario ini berakhir dan posisi *Mobile Sink node A* yang ketika simulasi dimulai berada pada koordinat (0,35). Pada waktu selanjutnya akan berubah posisi sesuai dengan Gambar 3.8 serta penjelasan pada model mobilitas *Mobile Sink node A*. Setelah *sensor node* diaktifkan secara acak, setiap *sensor node*

yang aktif akan memilih jarak terdekat untuk mengirimkan data. Jika jarak ke *Mobile Sink node* A lebih dekat dibanding dengan jarak ke *Static Sink node* maka *sensor node* aktif akan mengirimkan data ke *Mobile Sink node* A secara *muti hop* dengan lintasan sesuai dengan Gambar 3.10 dan Tabel 3.4. Begitu pula sebaliknya.

3.3.3.7 Simulasi Skenario 5

Skenario kelima yang akan dibahas adalah gabungan dari sistem *baseline* yang menggunakan sebuah *Static Sink node* dan skenario 3 yang menggunakan *Mobile Sink node* B. Simulasi skenario ini akan ditunjukkan pada Gambar 3.18. *Static Sink node* diletakkan pada koordinat (36,0) dan akan tetap pada posisi tersebut hingga simulasi skenario ini berakhir.

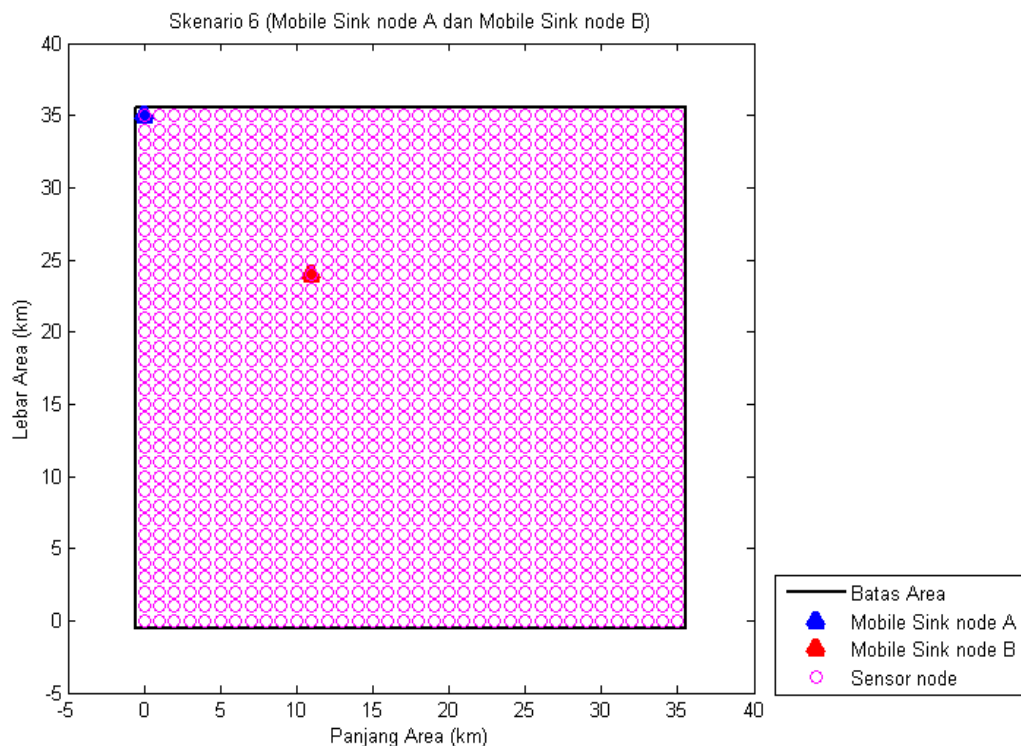


Gambar 3.18 Simulasi skenario 5

Posisi *Mobile Sink node* B ketika simulasi dimulai berada pada koordinat (11,24) dan pada waktu selanjutnya akan berubah posisi sesuai dengan Gambar 3.8 serta penjelasan pada model mobilitas *Mobile Sink node* B. Setelah *sensor node* diaktifkan secara acak, setiap *sensor node* yang aktif akan memilih jarak terdekat untuk mengirimkan data. Jika jarak ke *Mobile Sink node* B lebih dekat dibanding dengan jarak ke *Static Sink node* maka *sensor node* aktif akan mengirimkan data ke *Mobile Sink node* B secara *muti hop* dengan lintasan sesuai dengan Gambar 3.10 dan Tabel 3.4. Begitu pula sebaliknya.

3.3.3.8 Simulasi Skenario 6

Skenario keenam yang akan dibahas adalah gabungan dari skenario 2 dan skenario 3 sehingga menggunakan dua buah *Mobile Sink node* yaitu *Mobile Sink node* A dan *Mobile Sink node* B. Simulasi skenario ini akan ditunjukkan pada Gambar 3.19.

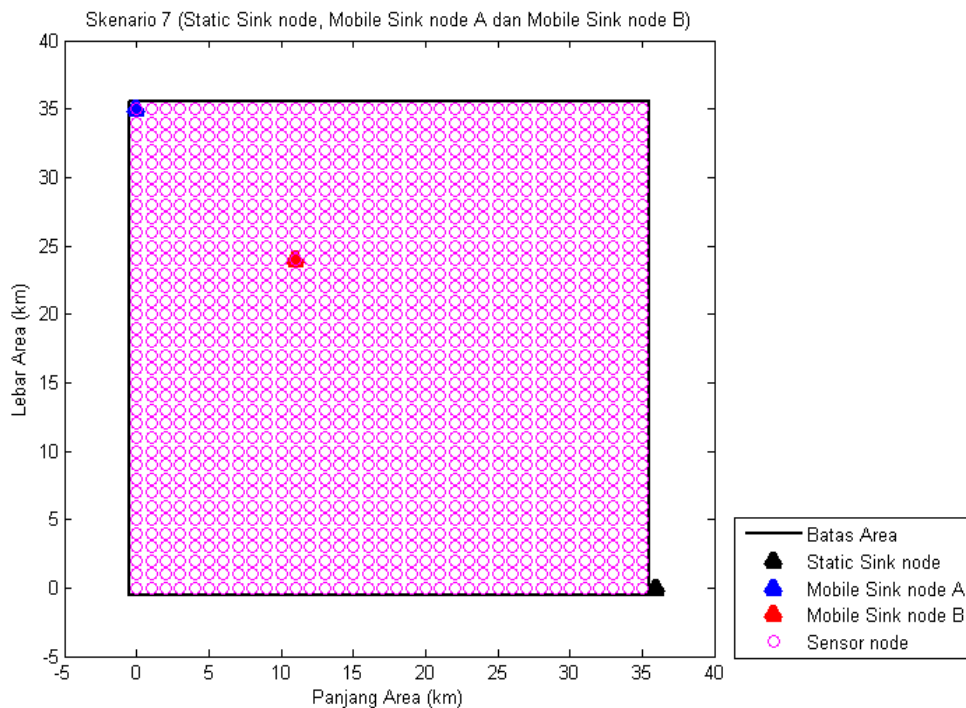


Gambar 3.19 Simulasi skenario 6

Ketika simulasi dimulai, *Mobile Sink node A* diletakkan pada koordinat (0,35) dan *Mobile Sink node B* pada koordinat (11,24) dan pada waktu selanjutnya kedua *Mobile Sink node* ini akan berubah posisi sesuai dengan Gambar 3.8 serta penjelasan pada model mobilitas *Mobile Sink node A* dan *Mobile Sink node B*. Setelah *sensor node* diaktifkan secara acak, setiap *sensor node* yang aktif akan memilih jarak terdekat untuk mengirimkan data. Jika jarak ke *Mobile Sink node A* lebih dekat dibanding dengan jarak ke *Mobile Sink node B* maka *sensor node* aktif akan mengirimkan data ke *Mobile Sink node A* secara *muti hop* sesuai dengan Gambar 3.10 dan Tabel 3.4. Begitu pula sebaliknya.

3.3.3.9 Simulasi Skenario 7

Skenario terakhir yang akan dibahas adalah gabungan dari skenario 1, skenario 2 dan skenario 3 sehingga menggunakan sebuah *Static Sink node* dua buah *Mobile Sink node* yaitu *Mobile Sink node A* dan *Mobile Sink node B*.



Gambar 3.20 Simulasi skenario 7

Simulasi skenario ini akan ditunjukkan pada Gambar 3.20. Ketika simulasi dimulai, *Static Sink node* diletakkan pada koordinat (36,0) dan akan tetap pada posisi tersebut hingga simulasi skenario ini berakhir, sedangkan *Mobile Sink node A* diletakkan pada koordinat (0,35) dan *Mobile Sink node B* pada koordinat (11,24) dan pada waktu selanjutnya kedua *Mobile Sink node* ini akan berubah posisi sesuai dengan Gambar 3.8 serta penjelasan pada model mobilitas *Mobile Sink node A* dan *Mobile Sink node B*. Setelah *sensor node* diaktifkan secara acak, setiap *sensor node* yang aktif akan memilih jarak terdekat untuk mengirimkan data. Jika jarak ke *Mobile Sink node A* lebih dekat dibanding dengan jarak ke *Static Sink node* dan *Mobile Sink node B* maka *sensor node* aktif akan mengirimkan data ke *Mobile Sink node A* secara *muti hop* dengan diagonal maupun mendatar sesuai dengan Gambar 3.10 dan Tabel 3.4. Begitu pula sebaliknya.

3.4 Tabel Capaian Penelitian

Pengerjaan penelitian skripsi ini dibagi ke dalam beberapa tugas (*task*) kecil dengan tujuan agar mendapatkan kemudahan dalam mengukur capaian dari pengerjaan penelitian skripsi ini. Adapun *task*, tujuan (*goal*) dari setiap *task*, penjelasan (*description*) dari tugas, dan luaran (*output*) yang diharapkan dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.4 Capaian Penelitian

No.	<i>Task, Goal, Description dan Output yang Diharapkan</i>
1	Task : Mempelajari permasalahan energi yang terdapat pada WSN
	Goal : Mendapatkan solusi dari permasalahan energi yang terdapat pada WSN
	Description : Metode <i>routing</i> data pada WSN awalnya <i>single hop</i> , yaitu setiap <i>sensor node</i> akan mengirimkan data hasil pengamatannya secara langsung ke <i>sink node</i> tetapi memiliki kelemahan yaitu <i>sensor node</i> yang letaknya paling jauh dari <i>sink node</i> akan lebih cepat kehabisan energi. Selanjutnya secara <i>multi hop</i> , yaitu semua <i>sensor node</i> akan saling bahu-membahu mengirimkan data hasil pengamatannya ke <i>sensor node</i> lain sehingga data tersebut dapat sampai ke <i>sink node</i> , tetapi memiliki kelemahan yaitu <i>sensor node</i> yang letaknya paling dekat dari <i>sink node</i> akan memiliki lebih banyak aktifitas sehingga lebih cepat kehabisan energi. Yang terakhir adalah <i>clustering</i> , di mana kawasan yang akan diamati akan dibagi menjadi beberapa <i>cluster</i> (kelompok), di mana pada tiap <i>cluster</i> akan terdapat satu buah <i>cluster head node</i> . Setiap <i>sensor node</i> dalam kelompok tertentu akan mengirimkan data ke <i>cluster head node</i> dan setiap <i>cluster head node</i> akan mengirimkan data ke <i>sink node</i> baik secara <i>single hop</i> maupun secara <i>multi hop</i> sehingga memiliki kelemahan yang sama seperti dua sebelumnya. Untuk mengatasi ketidakmerataan konsumsi energi, saat ini WSN menggunakan <i>node</i> yang <i>dynamic</i> (bergerak) dan biasanya dikenal dengan istilah <i>mobile node</i> . <i>Node</i> yang bergerak ini dapat berupa <i>sensor node</i> , <i>cluster head node</i> maupun <i>sink node</i> .

Tabel 3.4 Capaian Penelitian (Lanjutan)

No.	<i>Task, Goal, Description dan Output yang Diharapkan</i>
1	Output : <i>Mobile node</i> diharapkan dapat mengatasi permasalahan energi yang ada pada WSN. Pada skripsi ini akan berfokus untuk membahas <i>mobile sink node</i> .
2	Task : Mempelajari pengertian <i>lifetime</i> yang ada pada WSN.
	Goal : Mendapatkan pengertian <i>lifetime</i> yang akan digunakan dalam simulasi.
	Description : Terdapat dua pengertian <i>lifetime</i> yang biasa digunakan oleh peneliti untuk melakukan simulasi, yaitu umur jaringan berupa waktu yang dihitung sejak WSN diaktifkan hingga <i>wireless sensor node</i> pertama mengalami kehabisan energi dan waktu yang dihitung sejak WSN diaktifkan hingga semua <i>wireless sensor node</i> mengalami kehabisan energi.
3	Output : Skripsi ini akan menggunakan pengertian <i>lifetime</i> yaitu umur jaringan yang dihitung sejak WSN diaktifkan hingga terdapat <i>wireless sensor node</i> pertama yang kehabisan energi.
	Task : Mengidentifikasi jenis-jenis <i>wireless sensor node</i>
	Goal : Mengetahui jarak transmisi dari <i>wireless sensor node</i>
	Description : <i>Wireless sensor node</i> terdiri dari beberapa jenis dengan spesifikasi jarak transmisi yang berbeda-beda [10]. <i>Wireless sensor node</i> terdiri dari beberapa jenis yaitu: a. Tipe NRF24L01, range: 80 m b. Tipe CC1101, range: 1-2 km a. Tipe TRM-433-LT, range: 915 m tanpa data loss b. Tipe CC2500, range: 70-75 m
4	Output : Skripsi ini akan menggunakan <i>wireless sensor node</i> Tipe CC1101 dengan jarak transmisi 1-2 km
	Task : Mempelajari model mobilitas yang ada pada WSN
4	Goal : Mendapatkan model mobilitas yang akan digunakan pada simulasi.

Tabel 3.4 Capaian Penelitian (Lanjutan)

No.	<i>Task, Goal, Description dan Output yang Diharapkan</i>
4	Description : Secara garis besar model mobilitas pada WSN dibedakan menjadi <i>homogenous model</i> dan <i>heterogenous model</i> . Perbedaan yang ada pada kedua model ini adalah pada <i>homogenous model</i> pergerakan akan bersifat sama untuk setiap <i>node</i> yang bergerak sedangkan pada <i>heterogenous model</i> pergerakan akan berbeda untuk setiap <i>node</i> yang bergerak
	Output : Skripsi ini akan menggunakan model mobilitas <i>homogenous model</i>
5	Task : Membuat asumsi dan parameter acuan yang akan digunakan pada simulasi
	Goal : Mendapatkan asumsi dan parameter simulasi
	Description : Asumsi dan parameter simulasi dibuat untuk mempermudah proses pembuatan skenario sistem yang akan dimodelkan serta disimulasikan
	Output : Asumsi dan parameter acuan
6	Task : Membuat diagram alir (<i>flow chart</i>) penelitian dan simulasi sistem.
	Goal : Mendapatkan <i>flow chart</i> penelitian dan simulasi sistem.
	Description : <i>Flow chart</i> dibuat untuk mempermudah proses penelitian dan pembuatan program simulasi sistem.
	Output : <i>Flow chart</i> penelitian dan <i>flow chart</i> simulasi sistem.
7	Task : Pembuatan skenario sistem
	Goal : Mendapatkan skenario sistem.
	Description : Skenario dibuat sesuai dengan asumsi dan parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Pada sistem akan digunakan <i>static sink node</i> dan <i>mobile sink node</i> .

Tabel 3.4 Capaian Penelitian (Lanjutan)

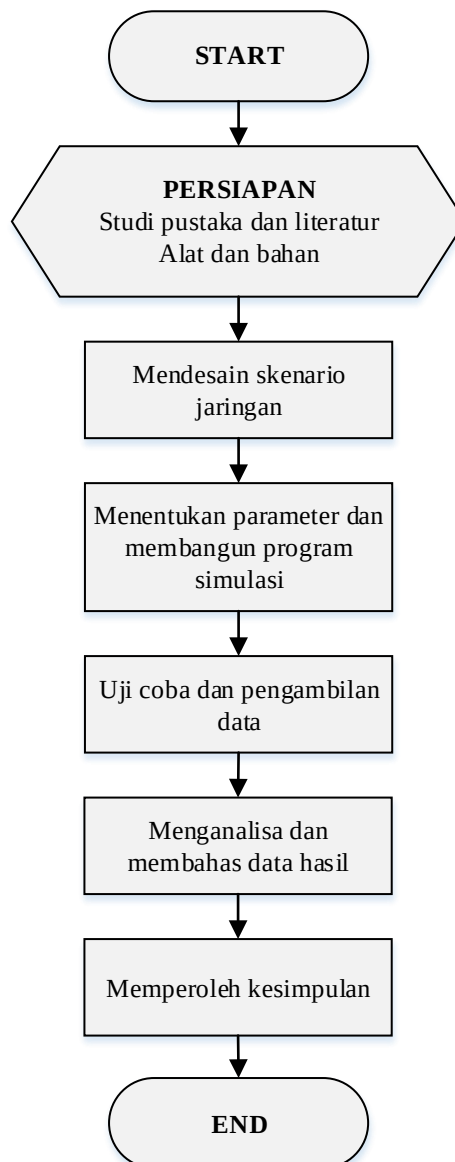
No.	<i>Task, Goal, Description dan Output yang Diharapkan</i>
7	Output : Terdapat 7 skenario sistem yang akan dibuat, yaitu: <i>Single static sink node</i> <i>Single mobile sink node</i> (bergerak di luar area pengamatan) <i>Single mobile sink node</i> (bergerak di dalam area pengamatan) <i>Static sink node + mobile sink node</i> (bergerak di luar area pengamatan) <i>Static sink node + mobile sink node</i> (bergerak di dalam area pengamatan) <i>Dual mobile sink node</i> (bergerak di luar dan di dalam area pengamatan) <i>Static sink node + dual mobile sink node</i> (bergerak di luar dan di dalam area pengamatan)
8	Task : Membuat program simulasi dengan MATLAB
	Goal : Mendapatkan kode program yang untuk simulasi skenario sistem.
	Description : Kode program akan dibuat sesuai dengan asumsi pemodelan dan sesuai pula dengan parameter simulasi.
	Output : Kode program yang dapat digunakan untuk mensimulasikan skenario sistem.
9	Task : Uji coba dan pengambilan data hasil simulasi.
	Goal : Mendapatkan data hasil simulasi.
	Description : Program yang telah dibuat akan diuji coba sehingga dapat menghasilkan data hasil simulasi yang nantinya akan dianalisa.
	Output : Data hasil simulasi.
10	Task : Menganalisa hasil simulasi.
	Goal : Memperoleh kesimpulan berdasarkan data hasil simulasi
	Description : Data hasil simulasi akan diolah sehingga dapat dianalisa. Setelah dianalisa maka akan diperoleh kesimpulan.
	Output : Laporan skripsi

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian skripsi ini terdiri dari diagram alir proses penelitian dan diagram alir program simulasi.

3.5.1 Diagram Alir Proses Penelitian

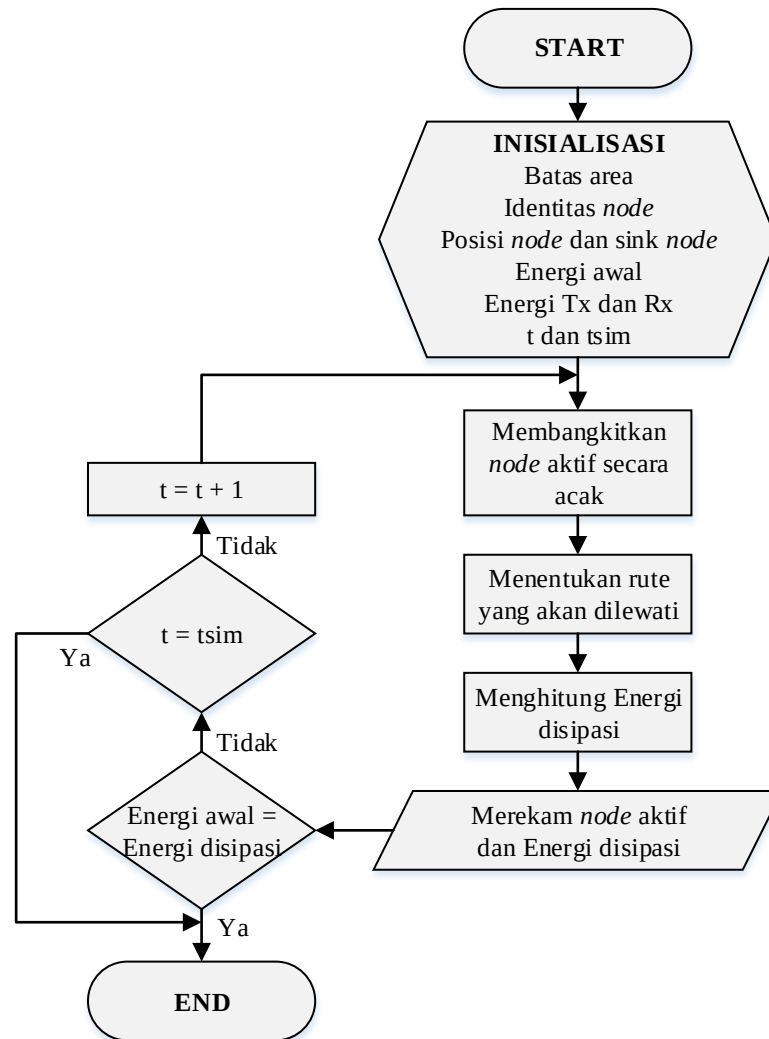
Diagram alir (*flow chart*) proses penelitian yang dibuat dalam pengerjaan skripsi ini adalah sebagai berikut.



Gambar 3.21 Diagram Alir Penelitian

3.5.2 Diagram Alir Program Simulasi

Untuk membuat program simulasi terlebih dahulu dibuat *flow chart* untuk memudahkan pembuatan program. *Flow chart* program simulasi dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3.22 Diagram Alir Program Simulasi

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan berisi simpulan dan saran yang diperoleh setelah menyelesaikan simulasi, menganalisa dan membahas data hasil simulasi.

5.1 Simpulan

Simpulan yang diperoleh setelah menyelesaikan simulasi dan menyusun laporan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Skenario *Single Sink node* dengan menggunakan *Mobile Sink node A* (*sink node* yang bergerak di luar area yang diamati) menghasilkan *lifetime* yang lebih panjang dibandingkan dengan menggunakan *Static Sink node* maupun *Mobile Sink node B* (*sink node* yang bergerak di dalam area yang diamati).
2. Skenario *Multiple Sink node* dengan menggunakan dua buah *Mobile Sink node* yaitu *Mobile Sink node A* (*sink node* yang bergerak di luar area yang diamati) dan *Mobile Sink node B* (*sink node* yang bergerak di dalam area yang diamati) menghasilkan *lifetime* yang lebih panjang dibandingkan dengan menggunakan *Static Sink node* dan *Mobile Sink node A*, *Static Sink node* dan *Mobile Sink node B*, maupun *Static Sink node*, *Mobile Sink node A* dan *Mobile Sink node B*.

3. Skenario *Single Sink node* dengan menggunakan *Mobile Sink node A* (*sink node* yang bergerak di luar area yang diamati) memiliki disipasi energi rata-rata yang lebih besar dibandingkan dengan *Static Sink node* maupun *Mobile Sink node B* (*sink node* yang bergerak di luar area yang diamati), yaitu 90% dari jumlah *sensor node* memiliki disipasi energi kurang dari 7,5 Joule.
4. Skenario *Multiple Sink node* dengan menggunakan dua buah *Mobile Sink node* yaitu *Mobile Sink node A* (*sink node* yang bergerak di luar area yang diamati) dan *Mobile Sink node B* (*sink node* yang bergerak di luar area yang diamati) memiliki disipasi energi rata-rata yang lebih besar dibandingkan dengan *Static Sink node* dan *Mobile Sink node A*, *Static Sink node* dan *Mobile Sink node B*, maupun *Static Sink node*, *Mobile Sink node A* dan *Mobile Sink node B*, yaitu yaitu 90% dari jumlah *sensor node* memiliki disipasi energi kurang dari 4,5 Joule.
5. Posisi lintasan *Mobile Sink node* mempengaruhi *lifetime* jaringan. Pada *Single Mobile Sink node*, panjang lintasan akan sebanding dengan *lifetime* jaringan, sedangkan pada *Multiple Mobile Sink node*, panjang lintasan akan berbanding terbalik dengan *lifetime* jaringan.

5.2 Saran

Saran yang diperoleh setelah menyelesaikan simulasi dan menyusun laporan skripsi ini untuk dapat dipertimbangkan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan penelitian lanjutan mengenai skenario pada skripsi ini yang memiliki panjang *lifetime* jaringan yang paling baik untuk melihat seberapa besar pengaruh perubahan posisi *Mobile Sink node* terhadap *lifetime* jaringan.
2. Melakukan modifikasi lintasan *Mobile Sink node* guna lebih meratakan distribusi energi tiap *sensor node*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Garg, K. Vijay, "Wireless Personal Area Networks: Low Rate and High Rate," *Wireless Communications and Networking*, United States of America: Elsevier, 2007, 675-682.
- [2] Koteswararao, S., M. Sailaja, T. Madhu, "Implementation of Multi-hop Cluster based Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," *International Journal of Computer Applications (0975 – 9997)*, Vol. 59, No. 8, hal. 1 – 5, Desember 2012.
- [3] Gu, Yu, et al, "ESWC: Efficient Scheduling for the Mobile Sink in Wireless Sensor Networks with Delay Constraint," *IEEE Transactions On Parallel and Distributed Systems*, Vol. 24, No. 7, hal. 1310 – 1318, Juli 2013.
- [4] Taleb, A. Anas, et al, "Sink Mobility Model for Wireless Sensor Networks," *Arab J Sci Eng*, Vol. 39, hal. 1775–1783, 2014.
- [5] Wu, Xiaobing and Guihai Chen, "Dual-Sink: Using Mobile and Static Sinks for Lifetime Improvement in Wireless Sensor Networks," *International Conference on Computer Communications and Networks 16th*, hal. 1297–1302, Agustus 2007.
- [6] Dargie, Waltenegus, and Christian Poellabauer, "Motivation for a Network of Wireless Sensor Nodes," *Fundamentals Of Wireless Sensor Networks*, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 2010, 3-10.
- [7] Arshad, Muhammad, M. Y. Aalsalem, and Farhan A. Siddiqui, "Energy efficient cluster head selection in mobile WSNs," *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 9, No. 6, hal. 735–737, 2014.
- [8] Taleb, A. Anas, et al, "A Survey of Sink Mobility Models for Wireless Sensor Networks," *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, Vol. 4, No. 9, hal. 680-685. September 2013.
- [9] Guo, Jingxing, "Sink Mobility Schemes in Wireless Sensor Networks for Network Lifetime Extension," *Electronic Theses and Dissertations*, hal. 43, 2012.

- [10] Narayanan, Ram, Thazath Veedu Sarath, and Vellora Veetil Vineeth, "Survey on Motes Used in Wireless Sensor Networks: Performance & Parametric Analysis," *Scientific Research Publishing*, Vol. 8, hal 51-60, April 2016.