



**INTEGRASI ALGORITMA *BETWEENNESS CENTRALITY* DENGAN
*MODIFIED BI-DIRECTIONAL A** UNTUK *ROUTING* HEMAT ENERGI
PADA *WIRELESS SENSOR NETWORK***

TESIS

Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister Teknik



Oleh:

Nurlaily Vendyansyah (146060300111038)

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
MINAT SISTEM KOMUNIKASI DAN INFORMATIKA**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

2018



**INTEGRASI ALGORITMA *BETWEENESS CENTRALITY* DENGAN
*MODIFIED BI-DIRECTIONAL A** UNTUK ROUTING HEMAT ENERGI
PADA *WIRELESS SENSOR NETWORK***

TESIS

Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister Teknik



Disusun oleh:

Nurlailiy Vendyansyah (146060300111038)

**PROGRAM MAGISTER : Teknik Elektro
MINAT : Sistem Komunikasi dan Informatika**

**MENYETUJUI:
KOMISI PEMBIMBING,**

KETUA

ANGGOTA

Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS

NIP. 195807281987011001

Dr. Muladi, S.T., M.T.

NIP. 19680604 199702 1 001

**MENGETAHUI,
KETUA PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO**

Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T.

NIP. 197003292000121001



JUDUL TESIS :

INTEGRASI ALGORITMA *BETWEENESS CENTRALITY* DENGAN *MODIFIED BI-DIRECTIONAL A UNTUK *ROUTING* HEMAT ENERGI PADA *WIRELESS SENSOR NETWORK***

Nama Mahasiswa : Nurlailiy Vandyansyah
 NIM : 146060300111038
 Program Studi : Teknik Elektro
 Kekhususan / Minat : Sistem Komunikasi dan Informatika

KOMISI PEMBIMBING

Ketua : Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, M.S.
 Anggota : Dr. Muladi, S.T., M.T.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.
 Dosen Penguji II : Dr. Ir. Muhammad Aswin, M.T.

Tanggal Ujian : 18 Oktober 2018
 SK Pengujian : 2339 Tahun 2018



RIWAYAT HIDUP

Nurlaily Vandyansyah, dilahirkan di Mojokerto 5 Oktober 1985 dari pasangan Mufaridah dan Affandy Ali Syarif. Pendidikan SD, SMP dan SMA diselesaikan di kota Mojokerto. Lulus SMA pada tahun 2004, kemudian pada tahun 2005 melanjutkan studi di jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang dengan bidang konsentrasi Komputer dan Informatika. Pada tahun 2014 hingga 2018, penulis melanjutkan studi magister di Program Magister Teknik Elektro Universitas Brawijaya dengan minat bidang Sistem Komunikasi dan Informatika.



UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah SWT, atas segala karunia yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis ini. Dalam pelaksanaan pembuatan tesis ini, penulis juga banyak menerima bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu antara lain:

1. Kedua orang tua dan keluarga besar penulis atas dukungan yang sudah diberikan.
2. Bapak Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, M.S. dan bapak Dr. Muladi, S.T., M.T. selaku Pembimbing, terima kasih atas semua arahan dalam penyelesaian penelitian tesis ini.
3. Bapak M. Aziz Muslim, S.T.,M.T.,Ph.D. dan bapak Dr.Ir. Muhammad Aswin, M.T. selaku dewan penguji, terima kasih atas saran dan masukannya yang membuat penelitian ini menjadi lebih detail.
4. Bapak Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro, beserta seluruh dosen pengajar dan staf di Program Magister Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas sistem pembelajaran dan ilmu pengetahuan yang sudah diberikan.
5. Seluruh rekan-rekan di SKI 2014 dan 2015.

Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang secara langsung maupun tidak langsung turut membantu menyelesaikan Tesis ini, terima kasih atas segala dukungan dan doa yang diberikan kepada penulis, semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan hidayat sebagai imbalan atas kebaikannya.



RINGKASAN

Nurlaili Vendyansyah, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2018, *Integrasi Algoritma Betweenness Centrality dengan Modified Bi-Directional A* untuk Routing Hemat Energi pada Wireless Sensor Network*. Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, M.S dan Dr. Muladi, S.T., M.T.

Energi merupakan komponen utama dalam *Wireless Sensor Network (WSN)*. Sistem tidak akan dapat berjalan sesuai fungsinya tanpa ketersediaan *power unit* yang memadai. Salah satu karakteristik *sensor network* adalah *Limitation energy*. Telah banyak penelitian yang dilakukan untuk mengembangkan strategi dalam mengatasi permasalahan ini. Salah satunya adalah teknik *clustering*. Teknik *clustering* yang populer adalah *Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)*. Pada *LEACH*, teknik *clustering* digunakan untuk menentukan *Cluster Head (CH)*, yang kemudian akan bertugas meneruskan paket ke *Base Station (BS)*. Pada penelitian ini, penulis akan menjelaskan teknik *clustering* lain, yang memanfaatkan pendekatan teori *Social Network Analysis* yaitu *Betweenness Centrality (BC)* yang kemudian akan diimplementasikan pada fase *Setup*. Sedang pada fase *Steady-State*, diimplementasikan salah satu algoritma *heuristic searching*, yaitu *Modified Bi-Directional A* (MBDA*)*. Percobaan dilakukan dengan menempatkan 100 *node* secara statis pada area 100x100, dengan satu *Base Station* pada koordinat (50,50). Untuk mengetahui keandalan sistem, pengujian dilakukan dalam 9000 putaran. Performa strategi *routing protocol* yang dirancang akan diuji berdasarkan *network lifetime*, *throughput*, dan *residual energy*. Hasilnya menunjukkan bahwa *BC-MBDA** lebih baik daripada *LEACH* sehingga dapat mengurangi penggunaan energi. Hal ini dipengaruhi oleh cara kerja *LEACH* dalam menentukan *CH* yang bersifat *dynamic*, yaitu selalu berubah dalam setiap melakukan pengiriman data. Pada *LEACH* perubahan ini ditentukan oleh nilai probabilitas. Hasilnya *BC-MBDA** dapat menekan penggunaan energi pada *wireless sensor network* sebesar 3,2247%.

Kata Kunci: *Routing; Wireless; Sensor; Network; Betweenness Centrality; Searching; Heuristic; Modified Bi-directional A**.



SUMMARY

Nurlailiy Vendyansyah, Departement of Electrical Engineering, *Faculty of Engineering, University of Brawijaya, Juli 2018, Energy-Aware Routing Using Betweenness Centrality with Modified Bi-Directional A* for Wireless Sensor Network*. Academic Supervisor : Dr. Ir.Sholeh Hadi Pramono, M.S. and Dr. Muladi, S.T., M.T.

Energy is a key component in the Wireless Sensor Network (WSN). The system will not be able to run according to its function without the availability of adequate power units. One of the characteristics of wireless sensor network is Limitation energy. A lot of research has been done to develop strategies to overcome this problem. One of them is clustering technique. The popular clustering technique is Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH). In LEACH, clustering techniques are used to determine Cluster Head (CH), which will then be assigned to forward packets to Base Station (BS). In this research, we will explain other clustering techniques, which utilize the Social Network Analysis approach theory of Betweenness Centrality (BC) which will then be implemented in the Setup phase. While in the Steady-State phase, one of the heuristic searching algorithms, Modified Bi-Directional A* (MBDA*) is implemented. The experiment was performed deploy 100 nodes statically in the 100x100 area, with one Base Station at coordinates (50,50). To find out the reliability of the system, the experiment to do in 9000 rounds. The performance of the designed routing protocol strategy will be tested based on network lifetime, throughput, and residual energy. The results show that BC-MBDA* is better than LEACH. This is influenced by the workings of LEACH in determining CH which is dynamic, which is always changing in every data transmission. In LEACH this change is determined by the probability value. The result is that BC-MBDA* can reduce energy use on the wireless sensor network by 3, 2247%.

Kata Kunci: Routing; Wireless; Sensor; Network; Betweenness Centrality; Searching; Heuristic; Modified Bi-directional A*



DAFTAR ISI

RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terkait.....	7
2.2 Dasar Teori.....	17
2.2.1 <i>Wireless Sensor Network</i>	17
2.2.2 <i>Performance Metric</i>	21
2.2.3 Pemodelan Konsumsi Energi.....	21
2.2.4 Protokol <i>Routing</i> pada <i>Wireless sensor Network</i>	22
2.2.5 <i>Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy</i>	23
2.2.6 A^*	24
2.2.7 <i>Modified Bi-Directional A*</i>	25
2.2.8 Fungsi Heuristik.....	26
2.2.9 <i>Betweenness Centrality</i>	27
2.2.10 Komunikasi Data.....	28
2.2.11 Komponen Komunikasi Data.....	29
2.2.12 Representasi Data.....	30
2.2.13 Jenis Komunikasi.....	30
2.2.14 Jaringan.....	31
2.2.15 Topologi Fisik.....	31
2.2.16 Network Layer.....	33



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen <i>sensor node</i>	18
Gambar 2.2 Arsitektur <i>Wireless Sensor Network</i>	18
Gambar 2.3 Routing Protocols in WSN.....	22
Gambar 2.4 Cara Kerja LEACH.....	24
Gambar 2.5 <i>Flowchart</i> Algoritma A*.....	25
Gambar 2.6 <i>Betweenness Centrality</i>	27
Gambar 2.7 Jenis Komunikasi.....	31
Gambar 2.8 Topologi mesh dengan lima perangkat.....	32
Gambar 2.9 Topologi star dengan empat perangkat.....	32
Gambar 2.10 Topologi bus dengan lima perangkat.....	32
Gambar 2.11 Topologi ring dengan enam perangkat.....	33
Gambar 2.12 Tujuh layer model Open Systems Interconnection (ISO).....	33
Gambar 2.13 Hubungan antara netwrk layer ke datalink dan transport layer.....	34
Gambar 2.14 Format datagram pada IPy4.....	35
Gambar 3.1 Kerangka Konsep Penelitian.....	39
Gambar 4.1 Metode Penelitian.....	41
Gambar 4.2 Konsep solusi system yang akan dibangun.....	46
Gambar 5.1 Hasil <i>node deployment</i>	52
Gambar 5.2 Hasil penentuan <i>cluster head</i>	54
Gambar 5.3 Hasil analisis <i>Throughput</i>	55
Gambar 5.4 Hasil analisis <i>Network Lifetime</i>	56
Gambar 5.5 Hasil analisis Residual Energi.....	57



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian yang relevan.....	10
Tabel 2.2 Klasifikasi dan contoh sensor.....	19
Tabel 2.3 Protokol komunikasi untuk daya rendah.....	20
Tabel 2.4 Nilai <i>code point</i>	35
Tabel 4.1 Identifikasi Operasional Variabel.....	44



BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian pendahuluan akan diuraikan tentang latar belakang permasalahan yang sedang dihadapi, rumusan masalah, tujuan penelitian serta manfaat penelitian.

1.1 Latar Belakang

Teknologi jaringan nirkabel merupakan media yang sangat berperan penting dalam telekomunikasi. Hal ini menjawab kelemahan teknologi jaringan kabel yang hanya menyediakan topologi jaringan yang tetap dengan didukung instalasi murah dan mudah, komunikasi *ad hoc*, serta portabilitas perangkat jaringan dan mobilitas pengguna jaringan yang sangat terbatas. Bersamaan dengan pertumbuhan teknologi informasi dan komunikasi, area aplikasi jaringan nirkabel diperpanjang ditinjau dari segi kemampuan transfer dengan kecepatan tinggi. Salah satu teknologi jaringan nirkabel yang digunakan untuk berbagai aplikasi adalah jaringan sensor network atau dikenal dengan *Wireless Sensor Network*. *Wireless Sensor Network* atau disingkat dengan *WSN* adalah suatu peralatan sistem *embedded* yang didalamnya terdapat satu atau lebih sensor dan dilengkapi dengan peralatan sistem komunikasi. Dalam hal ini sensor digunakan untuk menangkap informasi sesuai dengan karakteristiknya, misalnya sensor temperatur, tekanan, optik, akustik, mekanik, gerakan dan getaran, posisi, kelembaban, radiasi dan lain sebagainya. Sensor-sensor ini akan mengubah data analog menjadi data dalam bentuk digital, dimana data ini selanjutnya dikirim ke suatu *node* melalui media komunikasi yang digunakannya seperti *bluetooth*, *infrared* atau *wifi*. Berbagai teknik dilakukan agar *WSN* dapat bekerja secara maksimal. Hal ini dapat ditinjau dari berbagai aspek yang membentuk sistem tersebut. Dalam buku *Fundamental of Wireless Sensor Network*, optimalitas *WSN* dapat ditinjau dari berbagai aspek seperti *node architecture*, *operating systems*, *physical layer*, *medium access control*, *network layer*, *power management*, *time synchronization*, *location* dan *security* (Dargie & Poellabauer, 2010). Komponen utama *wireless sensor network* ini adalah *sensing unit*, *processing unit*, *power unit*, serta *communication unit*. *Sensing unit* bekerja sebagai unit pengindra. *Processing unit* bekerja sebagai unit yang melakukan proses *routing*. *Power unit* berfungsi sebagai penyedia sumber energi. Sedangkan *communication unit* bertugas

sebagai penyedia unit komunikasi antara *node* satu dengan *node* lainnya. Pada umumnya jenis komunikasi yang digunakan adalah komunikasi *wireless*. Keempat unit komponen ini harus selalu dapat berfungsi dengan baik. Terjadinya masalah pada salah satu unit ini akan mempengaruhi kinerja sistem, karena unit-unit ini akan saling mendukung kinerja antara satu dengan unit lainnya. Performa dari masing-masing unit ini menjadi suatu topik penelitian yang hingga saat ini banyak diteliti. Kemampuan suatu *node* dalam meneruskan *packet data* sangat dipengaruhi oleh ketersediaan *energy* pada *node* tersebut. Terkait dengan sifat WSN yang *self organization*, dalam sebuah *node* biasanya terdiri atas kumpulan komponen elektronika yang kompleks sehingga membutuhkan energi yang selalu tersedia agar *node* tetap dapat berjalan sesuai fungsinya.

Pada tesis ini penulis mengangkat masalah tentang bagaimana cara menghemat penggunaan energi pada *wireless sensor network*. Energi pada *wireless sensor network* berasal dari baterai dan bersifat *replaceable* (dapat diganti). Pada umumnya besarnya energi pada modul *wireless sensor network* berukuran 5 Volt. Dengan sumber energi kecil yang dimiliki oleh *wireless sensor network* tersebut, diharapkan sistem dapat berfungsi dengan baik dengan masa pakai (*network lifetime*) yang panjang. Sedangkan proses penggantian baterai pada *wireless sensor network* dianggap sebagai hambatan yang cukup berarti, karena penempatan perangkat *node* yang pada skala jaringan komputer kompleks *wireless sensor network* tersebar pada area yang luas dan berada pada kondisi yang sulit dijangkau. Hal ini disebabkan karena *wireless sensor network* seringkali difungsikan sebagai sistem monitoring atau pendukung otomasi sistem.

Dalam menangani masalah ini, sudah banyak para ilmuwan yang melakukan penelitian untuk dapat menghemat penggunaan baterai pada *wireless sensor network*. Salah satu Teknik yang dapat digunakan untuk menangani masalah ini adalah dengan melakukan optimasi pada teknologi *network layer* dengan tetap memperhatikan ketentuan umum *power management* pada *wireless sensor network*, seperti aturan penggunaan energi yang digunakan untuk menerima data (E_{Rx}), energi yang digunakan untuk mengirimkan data (E_{Tx}) pada saat kondisi *Line of Sight* (E_{fs}) atau pada saat adanya hambatan atau dibelokkan (E_{mp}) dan energi yang digunakan untuk memproses data (E_{elec}).

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, teknik *clustering* merupakan salah satu teknik *routing* yang mampu meminimalisasi penggunaan energi. Seperti yang dilakukan oleh Xiao-Hui Li dan Zhi-Hong Guan pada tahun 2013 pada penelitiannya *Energy-Aware Routing in Wireless Sensor Networks Using Local Betweenness Centrality*. Penelitian ini menjelaskan bahwa untuk meminimalisasi penggunaan energi digunakan salah



satu metode jaringan sosial berbasis grafik yaitu *betweenness centrality* (BC). Peneliti menjelaskan bahwa BC digunakan untuk menentukan *node* dengan sentralitas terkecil. Peneliti menyebutkan bahwa *node* dengan lalu lintas paling padat akan menyebabkan ketidak seimbangan penggunaan *energi* pada masing-masing *node*. Hal ini menyebabkan *Wireless Sensor Network* tidak berfungsi secara maksimal, karena *node* dengan sentralitas yang tinggi akan lebih dulu kehabisan energi sehingga mengganggu fungsi sistem secara utuh (Hui Li & Hong Guan, 2013).

Penelitian yang telah dilakukan oleh C. Vimalarani, dkk pada tahun 2016 dengan judul *Enhanced Particle Swarm Optimization-Based Clustering Energy Optimization (EPSO-CEO)*. Pada penelitian ini *cluster formation* dilakukan berdasarkan *base station*. *Base Station* melakukan *broadcast* ke semua *sensor node* untuk mendapatkan pesan. Setelah menerima pesan, *sensor node* kemudian mengirimkan informasi seperti *node id*, *location* (jarak dari *base station* dalam posisi X dan Y), *energy loss* dan *energy loss ratio (velocity)*, dan *current energy* pada masing-masing *node* tersebut.

Pada tesis ini dilakukan penelitian tentang bagaimana cara untuk melakukan penghematan energi yang dikonsumsi oleh sistem ditinjau dari sisi *processing unit*. Penulis melakukan penelitian mengenai bagaimana cara agar performa algoritma *routing* pada sistem *wireless sensor network* ini dapat berjalan lebih efektif daripada algoritma *LEACH (Low Energy Adaptive Cluster Head)*. Efektivitas dari algoritma sistem ini selanjutnya akan berdampak pada penggunaan energi pada *power unit*. Namun yang perlu diperhatikan jaringan sensor nirkabel memiliki keterbatasan yang dapat dipertimbangkan saat menentukan *protocol* apa yang akan digunakan. Beberapa keterbatasan ini adalah pertama, *wireless sensor network* bersifat *limited energy supply*, *wireless sensor network* memiliki persediaan energi yang terbatas, dengan demikian diperlukan *protocol* komunikasi hemat energi. Kedua *Limited Computation*, *sensor node* hanya memiliki kemampuan komputasi yang terbatas sehingga *wireless sensor network* tidak dapat menjalankan *protocol* jaringan yang canggih. Ketiga *Communication, bandwidth* yang terbatas, sehingga seringkali menghambat komunikasi intersensor (Ilyas & Mahgoub, 2005).

Analisis Jaringan Sosial (*Social Network Analysis* atau *SNA*) adalah sebuah pendekatan dalam bidang jaringan yang menggambarkan hubungan sosial minimal dua atau lebih individu yang memiliki hubungan (relasi). Analisis jaringan sosial mendefinisikan hubungan sosial sebagai “simpul” dan “ikatan”. Simpul adalah aktor individu di dalam jaringan, sedangkan ikatan adalah hubungan antar aktor tersebut. Konsep ini sering digambarkan dalam diagram jaringan sosial yang mewujudkan simpul sebagai titik dan





4

ikatan sebagai garis penghubungnya. Pada penelitian ini teori SNA, menggunakan “ikatan” untuk menggambarkan konektivitas antar *node*. Sedangkan “simpul” digunakan untuk menggambarkan *node* atau sebuah sensor.

Teknologi *searching* pada bidang *Artificial Intelligent* seringkali dimanfaatkan oleh para peneliti untuk menyelesaikan permasalahan *routing* pada WSN, khususnya untuk menentukan jalur terpendek. Permasalahan *routing* WSN pada dasarnya adalah bukan hanya permasalahan bagaimana menentukan jalur terbaik, tetapi terletak pada bagaimana melakukan optimasi penggunaan energi dalam melakukan *routing* WSN. Dalam (Suyanto, 2011) untuk kasus dengan ruang lingkup masalah yang besar, metode pencarian heuristik dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah pencarian. Pada metode ini digunakan suatu fungsi yang menghitung biaya perkiraan dari suatu simpul tertentu menuju simpul tujuan. Fungsi ini dikenal sebagai fungsi heuristik. Strategi *searching* dianggap baik jika metode tersebut memenuhi beberapa karakteristik, yaitu *Completeness*, *Time Complexity*, *Space Complexity* dan *Optimality*. *Completeness* adalah metode untuk menjamin adanya solusi jika solusinya tersedia. *Time Complexity* adalah waktu yang diberikan untuk menemukan solusi tersebut. *Space Complexity* adalah banyaknya memori yang dibutuhkan untuk menemukan solusi tersebut. *Optimality* adalah jaminan untuk menemukan solusi terbaik jika terdapat beberapa solusi yang berbeda.

Secara umum protokol *routing* pada WSN dapat dikategorikan berdasarkan *routing metric*, *flooding and gossiping*, *data-centric routing*, *proactive routing*, *on-demand routing*, *hierarchial routing*, *location-based routing*, dan *QoS-based routing protocols* (Dargie & Poellabauer, 2010). Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, maka penulis melakukan penelitian mengenai pengembangan sistem yang digunakan untuk optimasi *routing* yang dapat meminimalisasi penggunaan energi pada *Wireless Sensor Network*. Dalam penelitian ini, diimplementasikan dua metode yaitu tahap pertama untuk menentukan *Cluster Head* digunakan metode *Betweenness Centrality*. Kedua akan diimplementasikan *Modified Bi Directional A* (MBDA*)* yang digunakan untuk menentukan rute terpendek. Keluaran dari sistem ini adalah rute terbaik yang nantinya akan digunakan sebagai mekanisme transmisi data. Integrasi dari kedua algoritma ini diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan efektivitas algoritma *routing* pada *wireless sensor network* yang menggunakan algoritma *LEACH (Low Energy Adaptive Cluster Hierarchy)*.



1.2 Rumusan Masalah

Ketersediaan energi berperan penting dalam kelangsungan hidup Jaringan Sensor Nirkabel. Salah satu permasalahan pada Jaringan Sensor Nirkabel adalah ketersediaan energi yang bergantung pada tenaga baterai, sehingga membuat masa hidup jaringan adalah terbatas. Oleh karena itu diperlukan strategi tentang bagaimana cara melakukan penghematan penggunaan energi untuk memperpanjang masa hidup jaringan. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana rancangan protokol *routing* yang dapat meminimalisasi penggunaan energi pada *wireless sensor network* ?
2. Apasajakah parameter yang digunakan untuk mengetahui performa *routing protocol* yang dirancang pada *wireless sensor network* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan untuk mengukur keberhasilan penelitian, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membangun algoritma *routing* menggunakan metode *Modified Bi Directional A** dan *Betweenness Centrality*.
2. Menentukan performa algoritma *routing* berdasarkan analisis *network lifetime*, *throughput*, dan *residual energy*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Secara akademik : sebagai bentuk pengembangan ilmu di bidang jaringan komputer dengan memanfaatkan metode *artificial intelligent* dan *Social Network Analysis (SNA)* untuk mengevaluasi performa dari strategi *routing* dan memberikan sumbangan keilmuan untuk penelitian berikutnya.
- b) Secara aplikatif : bagi para *network administrator* yang digunakan untuk meminimalisasi penggunaan energi pada *wireless sensor network* sehingga dapat memperpanjang *network lifetime*.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini akan diuraikan tentang penelitian terkait serta teori pendukung penelitian. Penelitian terkait berisi rangkuman penelitian serupa yang telah dilakukan sebelumnya, yaitu penelitian yang membahas tentang bagaimana melakukan penghematan energi pada Jaringan Sensor Nirkabel. Pada penelitian tersebut dijabarkan berbagai strategi metode *routing* yang dapat digunakan untuk meminimalisasi penggunaan energi. Teori pendukung akan menjelaskan tentang teori pengetahuan pendukung penelitian, diantaranya adalah teori Jaringan Sensor Nirkabel, *Modified Bi-Directional A** yang merupakan salah satu metode untuk pencarian terbimbing (*Heuristic Seaching*) dalam *Artificial Intelligent*, serta *Betweenness Centrality* dalam *Social Network Analysis*.

2.1 Penelitian Terkait

Jaringan sensor nirkabel merupakan salah satu industri berteknologi tinggi. Ukuran *sensor node* yang kecil mengakibatkan *sensor node* memiliki berbagai keterbatasan, diantaranya adalah energi, kemampuan komunikasi, energi untuk *processing* serta memori. Oleh karena itu, berbagai teknik dikembangkan untuk memperpanjang masa hidup jaringan. Sebab efisiensi energi merupakan salah satu faktor kunci dalam melakukan desain WSN (Yong & Pei, 2012).

Beberapa penelitian telah dilakukan tentang bagaimana startegi untuk melakukan penghematan penggunaan energi pada jaringan sensor nirkabel. Yong & Pei pada tahun 2012 menggunakan *clustering* untuk meminimalisasi penggunaan energi berdasarkan jarak dan sisa energi pada jaringan sensor nirkabel. Peneliti menggunakan *distance-energy cluster structure algorithm (DECSA)*, sebuah algoritma turunan dari *LEACH*. Hasil penelitian dibandingkan dengan protokol *Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)*, disimpulkan bahwa algoritma yang digunakan dapat menyeimbangkan penggunaan energi, 31% untuk memperpanjang masa hidup jaringan dan sebanyak 40% dapat mengurangi penggunaan energi (Yong & Pei, 2012).

Nadeem, Javaid, Mohammad, Khan, Sarfraz, & Gull, pada tahun 2013 melakukan penelitian bagaimana strategi yang digunakan untuk meminimalisasi penggunaan energi pada *Body Area Network*. Peneliti memasang 8 *sensor node* pada tubuh manusia. Peneliti

menggunakan metode *SIMPLE: Stable Increased-throughput Multihop Protocol for Link Efficiency in Wireless Body Area (WBAN)*. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa algoritma yang digunakan dapat meningkatkan waktu stabilitas jaringan dan rasio *packet delivered* (Nadeem, et al., *SIMPLE: Stable Increased-throughput Multihop Protocol for Link Efficiency in Wireless Body Area Network*, 2013).

Nam & Cho pada tahun 2015 melakukan penelitian menggunakan konfigurasi *fuzzy rule-based path* untuk *Localized Encryption and Authentication Protocol (LEAP)* pada jaringan sensor nirkabel. Hasil penelitian dibandingkan dengan *LEAP* dan menyimpulkan bahwa algoritma yang digunakan dapat menyimpan energi sebesar 10% (Nam & Cho, 2015).

Singh & Lobiyal pada tahun 2012 menggunakan *particle swarm optimization* untuk memilih *cluster head* pada jaringan sensor nirkabel. Hasil penelitian dibandingkan dengan *LEACH-C* dan *PSO-C*, algoritma yang digunakan memiliki performa yang lebih baik dalam memperpanjang masa hidup jaringan dan konsumsi energi (Singh & Lobiyal, 2012).

Penelitian Yu & Xiaohui pada tahun 2011 menggunakan pengembangan *particle swarm optimization* untuk meningkatkan fungsi nilai *fitness*, metode yang dikembangkan disebut *PSO-MV*. Keluaran dari penelitian ini menyebutkan bahwa metode yang digunakan dapat mengurangi konsumsi energi dan memperpanjang masa hidup jaringan. Perbandingan dalam penelitian ini adalah *LEACH* dan *PSO* (Yu & Xiaohui, 2011).

Hui Li & Hong Guan pada tahun 2013 menggabungkan salah satu metode yang ada dalam *artificial intelligent* yaitu *Greedy* dan salah satu metode dalam *Social Network Analysis* yaitu *betweenness centrality* untuk mengetahui penggunaan energi pada jaringan sensor nirkabel. Metode yang dikembangkan dikenal dengan *EAR-LBC*. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa metode yang digunakan lebih baik dari metode *Shortest Path* tradisional (*greedy*), untuk mengurangi penggunaan energi (Hui Li & Hong Guan, 2013).

Penelitian yang dilakukan oleh Khalil & Attea pada tahun 2011 mengembangkan *LEACH* untuk mengetahui stabilitas jaringan dan memperpanjang masa hidup jaringan hingga *node* terakhir mati, atau disebut dengan *Last Node Dies (LND)*. Metode yang dikembangkan disebut dengan *Energy Aware Evolutionary Routing Protocol (EAERP)*. Hasil penelitian dibandingkan dengan *Stable Election Protocol (SEP)*, *LEACH* dan *Hierarchical Clustering-algorithm-based genetic algorithm (HCR)*. Hasilnya bahwa *EAERP* memiliki performa yang lebih baik daripada *SEP*, *HCR*, dan *LEACH* (Khalil & Attea, 2011).

C.Shanti & D.Sharmila pada tahun 2015 menggunakan protokol *SSLEEP (Self-organization in SLEEP)* untuk mengurangi penggunaan energi pada jaringan sensor nirkabel. Hasil dari penelitian ini dibandingkan dengan metode *MSLEEP* dan menunjukkan bahwa metode ini memiliki keunggulan dengan peningkatan rasio *packet delivery* hingga 80% (C.Shanti & D.Sharmila, 2015).

Chen, Wei, Lee, Huang, Hsu, & Shih, pada tahun 2012 mengkombinasikan algoritma *GOAFT, Face Routing, RandHT* yang kemudian disebut dengan *EEGRA (Energy Efficient Geographic Routing Algorithms)*. Hasil dari penelitian dapat meminimalisasi penggunaan energi hingga 30%-50% dibandingkan dengan *algoritma geographic routing* secara umum (Chen, et al., 2012).

Mahajan, Malhotra, & Sharma, pada tahun 2014 menggunakan metode *Cluster Chain Weight Metrics Approach (CCWA)* untuk meningkatkan performa jaringan secara umum. Hasil dari penelitian dibandingkan dengan metode *LEACH, WCA* dan *IWCA*, menyimpulkan 51% lebih baik dari *LEACH*, 27% lebih baik dari *WCA* dan 18,8% lebih baik daripada *IWCA* (Mahajan, Malhotra, & Sharma, 2014).

Penelitian yang terkait dengan penelitian dirangkum dan ditunjukkan Tabel 2.1.



Tabel 2.1 Penelitian yang relevan

No.	Title	Author	Journal/ Proceeding/ Magazine/ Book	Name of Journal/ Proceeding/Magazine/ Book	Topic of Interest	Open Question	Idea
1.	<i>An energy balanced QoS based cluster head selection strategy for WSN</i>	(Mahajan, Malhotra, & Sharma, 2014)	Elsevier	Egyptian Informatics Journal (2014) 15, 189-199	- <i>Routing algorithm</i>	- Bagaimana cara agar penggunaan energi pada jaringan sensor nirkabel tetap seimbang ? - Bagaimana strategi yang digunakan untuk meminimalisasiir penggunaan energi pada jaringan sensor nirkabel ? - Bagaimana strategi yang digunakan untuk menentukan <i>next hop</i> ? - Bagaimana strategi <i>routing</i> yang digunakan ? - Bagaimana menentukan <i>cluster head</i> ?	- Bagaimana jika proses routing tidak menggunakan informasi jaringan, hal ini dimaksudkan untuk meminimalisasiir kebutuhan memori yang nantinya akan mempengaruhi proses komputasi dan akan mempengaruhi penggunaan energi ? - Bagaimana dengan toleransi kesalahan?
2.	<i>Energy-aware routing algorithm for wireless sensor networks</i>	(Amgoth & Prasanta, 2015)	Elsevier	Computer and Electrical Engineering 41 (2015), 357-367	- <i>Routing algorithm</i>	- Apa algoritma routing yang digunakan untuk	- Bagaimana dengan toleransi kesalahan?



				<ul style="list-style-type: none"> - jaringan sensor nirkabel ? - Bagaimana menentukan <i>cluster head</i> ? - Metode apa yang digunakan untuk menentukan <i>cluster formation</i> ? - Bagaimana strategi <i>routing</i> yang digunakan ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Bagaimana performa sistem jika algoritma yang diimplementasikan menggunakan <i>dynamic scenario</i> ?
3.	<i>EEGRA : Energy Efficient Geographic Routing Algorithms for Wireless Sensor Network</i>	(Chen, et al., 2012)	IEEE 2012 International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms and Networks	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Routing algorithm</i> - Bagaimana model simulasinya ? - Apa algoritma <i>routing</i> yang digunakan untuk jaringan sensor nirkabel ? - Bagaimana menentukan <i>cluster head</i> ? - Metode apa yang digunakan untuk menentukan <i>cluster formation</i> ? - Bagaimana strategi <i>routing</i> yang digunakan ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Bagaimanakah bila penentuan <i>power level</i> pada sensor node untuk memilih <i>next hop</i> diatur dari lingkungan ?
4.	<i>A self-organized location aware energy efficient protocol for</i>	(C.Shanti & D.Sharmila, 2015)	Elsevier Computers and Electrical Engineering 41 (2015) 265-274	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Routing algorithm</i> - Apa algoritma <i>routing</i> yang digunakan untuk 	<ul style="list-style-type: none"> - Bagaimana dengan toleransi kesalahan?

wireless sensor networks



					<p>jaringan sensor nirkabel ? - Bagaimana menentukan <i>cluster head</i> ? - Metode apa yang digunakan untuk menentukan <i>cluster formation</i> ? - Bagaimana strategi <i>routing</i> yang digunakan ?</p>	<p>- Bagaimana performa sistem jika algoritma yang diimplementasikan menggunakan <i>dynamic scenario</i> ?</p>
<p>5. <i>Energy-aware evolutionary routing protocol for dynamic clustering of wireless sensor networks</i></p>		<p>(Khalil & Attea, 2011)</p>	<p>Elsevier Swarm and Evolutionary Computation 1 (2011) 195-203</p>	<p>- <i>Routing algorithm</i></p> <p>- Bagaimana menentukan <i>cluster head</i> ? - Metode apa yang digunakan untuk menentukan <i>cluster formation</i> ? - Bagaimana strategi <i>routing</i> yang digunakan ?</p>	<p>- Apa algoritma <i>routing</i> yang digunakan untuk jaringan sensor nirkabel ? - Bagaimana menentukan <i>cluster head</i> ? - Metode apa yang digunakan untuk menentukan <i>cluster formation</i> ? - Bagaimana strategi <i>routing</i> yang digunakan ?</p>	<p>- Bagaimana dengan toleransi kesalahan? - Bagaimana performa sistem jika algoritma yang diimplementasikan menggunakan <i>dynamic scenario</i> ?</p>
<p>6. <i>Energy efficient and QoS aware routing protocol for Clustered Wireless Sensor Network</i></p>		<p>(Nazir & Hasbullah, 2013)</p>	<p>Elsevier Computers and Electrical Engineering 39 (2013) 2425-2441</p>	<p>- <i>Routing algorithm</i></p> <p>- Bagaimana strategi <i>routing</i> yang digunakan ?</p>	<p>- Apa algoritma <i>routing</i> yang digunakan untuk</p>	<p>- Bagaimana performa algoritma yang digunakan apabila diterapkan</p>



					<ul style="list-style-type: none"> - jaringan sensor nirkabel ? - Bagaimana menentukan <i>cluster head</i> ? - Metode apa yang digunakan untuk menentukan <i>cluster formation</i> ? - Bagaimana strategi <i>routing</i> yang digunakan ? 	<ul style="list-style-type: none"> - dengan mobilitas yang berbeda ? - Apakah toleransi kesalahan sudah dimasukkan dalam perhitungan ? - Apakah scenario simulasi telah mempertimbangkan adanya <i>data aggregation</i> ?
7.	<i>A fuzzy rule-based path configuration method for LEAP in sensor networks</i>	(Nam & Cho, 2015)	Elsevier	Ad Hoc Networks 31 (2015) 63-79	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Routing algorithm</i> - Apa algoritma <i>routing</i> yang digunakan untuk jaringan sensor nirkabel ? - Bagaimana menentukan <i>cluster head</i> ? - Metode apa yang digunakan untuk menentukan <i>cluster formation</i> ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Bagaimana dengan toleransi kesalahan? - Bagaimana performa sistem jika algoritma yang diimplementasikan menggunakan <i>dynamic scenario</i> ? - Bagaimanakah performa sistem bila dengan skenario yang sama, namun digunakan metode fuzzy lainnya ?
8.	<i>PSO-based Energy-balanced Double Cluster-heads Clustering</i>	(Yu & Xiaohui, 2011)	Elsevier	Procedia Engineering 15 (2011) 3073-3077	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Routing algorithm</i> - Apa algoritma <i>routing</i> yang digunakan untuk 	<ul style="list-style-type: none"> - Bagaimana dengan toleransi kesalahan?

Routing for wireless sensor networks



- | | | | | | |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9. | <i>Energy-aware cluster head selection using particle swarm optimization and analysis of packet retransmissions in WSN</i> | (Singh & Lobiyal, 2012) | Elsevier Procedia Technology 4 (2012) 171-176 | - <i>Routing algorithm</i> | - Bagaimana dengan toleransi kesalahan? - Bagaimana performa sistem jika algoritma yang diimplementasikan menggunakan <i>dynamic scenario</i> ? |
| 10. | | Hindawi | International Journal of Distributed Sensor Networks, Hindawi Publishing Corporation | - <i>Routing algorithm</i> | - Bagaimana performa jaringan bila menggunakan teori sentralitas yang lain ? - Bagaimana performa jaringan bila BC dikombinasikan dengan |



					<ul style="list-style-type: none"> - Data apa saja yang dibutuhkan dalam proses routing ? - Apakah local betweenness centrality dan bagaimana cara kerja algoritma tersebut ? - Digunakan untuk apakah algoritma <i>local betweenness centrality</i> ? 	<p>menggunakan teori <i>searching</i> lainnya ?</p>
11.	<i>SIMPLE: Stable Increased-throughput Multihop Protocol for Link Efficiency in Wireless Body Area Network</i>	(Nadeem, et al., IEEE SIMPLE: Stable Increased-throughput Multihop Protocol for Link Efficiency in Wireless Body Area Network, 2013)	IEEE Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA), 2013 Eighth International Conference on	- <i>Routing algorithm</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bagaimanakah skenario simulasi untuk mengetahui performa sistem ? - Apa yang terjadi jika salah satu sensor node pada body area networks mati ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Bagaimana dengan toleransi kesalahan? - Bagaimana performa sistem jika algoritma yang diimplementasikan menggunakan <i>dynamic scenario</i> ?
12.	<i>Swarm intelligence based routing protocol for wireless sensor networks : Survey and future directions</i>	Muhammad Saleem, Gianni A.Di Caro, Muddassar Farooq	Elsevier Information Sciences 181 (2011) 4597-4624	- <i>Routing algorithm</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Apa algoritma routing yang digunakan untuk jaringan sensor nirkabel ? - Bagaimana menentukan <i>cluster head</i> ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Bagaimana dengan toleransi kesalahan? - Bagaimana performa sistem jika algoritma yang diimplementasikan menggunakan <i>dynamic scenario</i> ?



13.	<p><i>A Energy-Efficient Clustering Routing Algorithm Based on Distance and Residual Energy for Wireless Sensor Networks</i></p>	<p>(Yong & Pei, 2012)</p>	<p>Elsevier</p>	<p>2012 International Workshop on Information and Electronics Engineering (IWIEE)</p>	<p><i>Routing algorithm</i></p>	<p>- Metode apa yang digunakan untuk menentukan <i>cluster formation</i> ?</p> <p>- Apa algoritma routing yang digunakan untuk jaringan sensor nirkabel ?</p> <p>- Bagaimana menentukan <i>cluster head</i> ?</p> <p>- Metode apa yang digunakan untuk menentukan <i>cluster formation</i> ?</p>	<p>- Bagaimana dengan toleransi kesalahan?</p> <p>- Bagaimana performa sistem jika algoritma yang diimplementasikan menggunakan <i>dynamic scenario</i> ?</p>
-----	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------	-----------------	---------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Wireless Sensor Network (WSN)

Wireless Sensor Network (WSN) atau dikenal dengan Jaringan Sensor Nirkabel merupakan sekumpulan ratusan atau ribuan seperangkat sensor yang terhubung secara nirkabel. Perangkat sensor tersebut berisi seperangkat elektronik yang kompleks yang mampu melakukan fungsi mengindra, melakukan proses komputasi sederhana serta memiliki kemampuan untuk melakukan komunikasi dengan sesama rekannya (sensor node lainnya) (Misra, Woungang, & Misra, 2009) atau secara langsung dapat berkomunikasi dengan *base station* (BS) eksternal. Penyebaran jaringan *sensor node* bisa secara acak ataupun ditanam secara manual (statis).

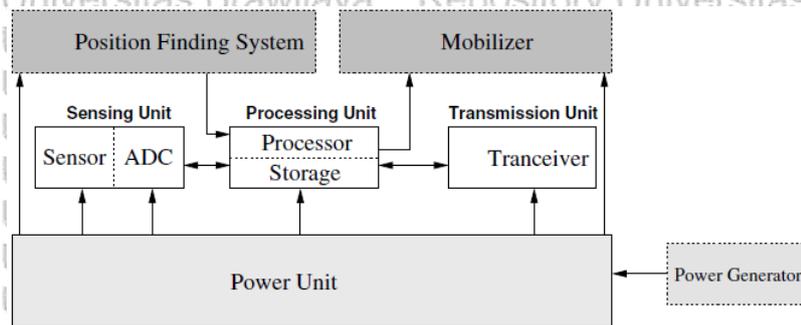
Aplikasi WSN memiliki beberapa karakteristik umum menurut Akyildiz pada (Mauri Kuorilehto, 2007) sebagai berikut :

- 1) **Fault tolerance**: WSN harus kuat terhadap kegagalan node secara individu atau bahkan semua node di lokasi tertentu. Fungsi jaringan harus dipertahankan meskipun sifat dinamis *built-in* dan kegagalan node karena lingkungan yang keras, penipisan baterai, atau gangguan eksternal membuat jaringan rentan terhadap kesalahan.
- 2) **Lifetime**: Umur jaringan merupakan permasalahan penting dalam WSN. Biasanya *node* bertenaga baterai atau energi yang diperoleh dari lingkungan dan pemeliharaan yang sulit. Namun demikian, jaringan diharapkan berfungsi penuh untuk jangka waktu yang lama. Jadi, hemat energi dan *load balancing* harus diperhitungkan dalam desain dan implementasi *platform WSN*, protokol, dan aplikasi.
- 3) **Scalability**: Jumlah node dalam WSN biasanya besar. Sementara skala jaringan sebagian tergantung pada daerah yang tertutup, replikasi node, cakupan komunikasi yang terbatas, dan persyaratan aplikasi juga biasanya tersebar pada daerah-daerah terpencil. Dengan demikian, protokol WSN harus mampu dengan kondisi seperti ini dengan jumlah node dengan kepadatan tinggi.
- 4) **Realtime**: WSN erat terkait dengan dunia nyata. Oleh karena itu, kendala waktu yang digunakan untuk komunikasi pada sensor, pengolahan, dan komunikasi yang dikelola oleh WSN berjalan secara realtime. Misalnya, pada identifikasi *realtime* dari suatu peristiwa, informasi yang datang dari sensor harus segera ditangkap, data yang diperoleh diolah, dan cara mengidentifikasi
- 5) **Security**: Kebutuhan keamanan di WSN harus handal, terutama dalam perawatan node, keamanan, dan aplikasi militer. Sebagian besar aplikasi relay data yang berisi

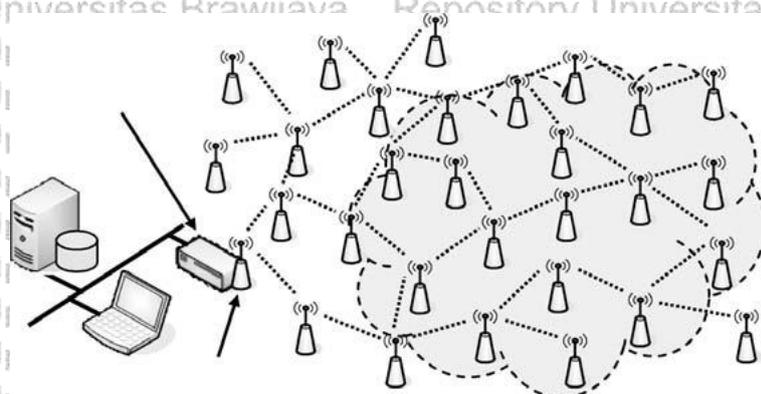
informasi data pribadi atau rahasia. Secara umum, persyaratan keamanan untuk WSN sulit untuk memenuhi karena algoritma yang kompleks dan memakan waktu dan sumber daya yang terbatas.

- 6) **Production cost**: Jumlah node pada WSN tinggi, dan setelah kehabisan baterai mereka diganti dengan yang baru. Selanjutnya, WSN yang tersebar di mana-mana membuat node harus mengkonsumsi biaya produksi yang sangat rendah.

Komponen *sensor node* secara umum ditunjukkan Gambar 2.1 sedangkan Gambar 2.2 menunjukkan arsitektur *wireless sensor network*.



Gambar 2.1 Komponen sensor node
Sumber : (Sohraby, Minoli, & Znati, 2007)



Gambar 2.2 Arsitektur Wireless Sensor Network
Sumber : (Sohraby, Minoli, & Znati, 2007)

Pada Gambar 2.1 dapat dijelaskan bahwa komponen *sensor node* secara umum terdiri dari empat bagian utama, yaitu *sensing unit*, *processing unit*, *communication unit*, dan *power unit*. Sensing unit terdiri dari sensor dan ADC (*Analog Digital Converter*). Fungsi dari ADC adalah untuk mengubah keluaran data dari sensor yaitu data *analog* menjadi data *digital* yang nantinya akan masuk ke suatu komponen digital yaitu mikrokontroler. Klasifikasi sensor dan contoh sensor ditunjukkan Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Klasifikasi dan contoh sensor

Type	Contoh
Temperature	Thermistors, thermocouples
Pressure	Pressure gauges, barometers, ionization gauges
Optical	Photodiodes, phototransistors, infrared sensors, CCD sensors
Acoustic	Piezoelectric resonators, microphones
Mechanical	Strain gauges, tactile sensors, capacitive diaphragms, piezoresistive cells
Motion, vibration	Accelerometers, gyroscopes, photo sensors
Flow	Anemometers, mass air flow sensors
Position	GPS, ultrasound-based sensors, infrared-based sensors, inclinometers
Electromagnetic	Hall-effect sensors, magnetometers
Chemical	pH sensors, electrochemical sensors, infrared gas sensors
Humidity	Capacitive and resistive sensors, hygrometers, MEMS-based humidity sensors
Radiation	Ionization detectors, Geiger-Mueller counters

Sumber : (Dargie & Poellabauer, 2010)

Processing unit terdiri dari *memory* dan *processor*. Unit ini merupakan unit pemroses data. *Transmission unit (communication unit)* merupakan sistem yang bertugas untuk melakukan komunikasi. Unit ini berfungsi untuk menerima/ mengirim data dengan menggunakan protokol *IEEE 802.15.4* atau *IEEE 802.11b/g*. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* menerbitkan *802.11* sebagai standar LAN nirkabel, atau disebut juga sebagai "*Wireless Fidelity*" (*Wi-Fi*). Versi *Wi-Fi* yang banyak digunakan *IEEE 802.11b/g* yang beroperasi pada 2.400 GHz sampai 2,483,50 GHz, sehingga beroperasi dalam 11 *channel* (masing-masing 5 MHz), yang berpusat di frekuensi berikut :

- a. *Channel 1* - 2,412 GHz;
- b. *Channel 2* - 2,417 GHz;
- c. *Channel 3* - 2,422 GHz;
- d. *Channel 4* - 2,427 GHz;
- e. *Channel 5* - 2,432 GHz;
- f. *Channel 6* - 2,437 GHz;
- g. *Channel 7* - 2,442 GHz;
- h. *Channel 8* - 2,447 GHz;
- i. *Channel 9* - 2,452 GHz;
- j. *Channel 10* - 2,457 GHz;
- k. *Channel 11* - 2,462 GHz

Standar *IEEE 802.15.4* digunakan untuk perangkat daya rendah yang beroperasi pada frekuensi 868 MHz, 915 MHz, dan 2,45 GHz. Kecepatan data yang didukung oleh standar ini adalah 20, 40, dan 250 kbps; lebih sederhana dibandingkan dengan protokol lain seperti sebagai *IEEE 802.11* (misalnya, *IEEE 802.11a* menawarkan kecepatan data hingga 54 Mbps) (Dargie & Poellabauer, 2010). Protokol ini bersifat *energy awareness*.

Protokol yang digunakan untuk komunikasi perangkat dengan daya rendah dapat ditunjukkan Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Protokol komunikasi untuk perangkat daya rendah

	GPRS/GSM 1xRTT/CDMA	IEEE 802.11b/g	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4
Market name for standard	2.5G/3G	Wi-Fi	Bluetooth	ZigBee
Network target	WAN/MAN	WLAN and hotspot	PAN and DAN (Desk Area Network)	WSN
Application focus	Wide area voice and data	Enterprise applications (data and VoIP)	Cable replacement	Monitoring and control
Bandwidth (Mbps)	0.0064 – 0.128+	11 – 54	0.7	0.020 – 0.25
Transmission range (ft)	3000+	1 – 300+	1 – 30+	1 – 300+
Design factors	Reach and Transmission Quality	Enterprise support, scalability, and cost	Cost, ease of use	Reliability, power, and cost

Sumber : (Sohraby, Minoli, & Znati, 2007)

Power unit adalah bagian dari sistem *wireless sensor network* yang menyediakan sumber energi. Pada umumnya sumber energi yang digunakan oleh sistem ini bersumber dari energi baterai yang bersifat *replaceable*. Energi yang digunakan untuk proses pengiriman data (E_{TX}) nilainya sama dengan energi yang digunakan untuk menerima data (E_{RX}) yaitu 50 nJ/bit. Energi amplifikasi pada propagasi *free space loss (direct)* pada kondisi ada hambatan besarnya 10 pJ/bit, sedangkan energi untuk *multipath* (dibelokkan) besarnya 0,0013 pJ/bit.

Gambar 2.2 merupakan diagram arsitektur dari *Wireless Sensor Network*. Cara kerja sistem secara umum adalah sensor unit mengumpulkan data berupa intensitas cahaya, temperatur, kelembaban, ataupun pergerakan objek dalam area jangkauan sensor. *Node* kemudian mengirimkan data *sensing* ke *gateway*. *Gateway* mengolah data *sensing* dan mengirimkannya ke *server*. *Server* memproses data dari *gateway* untuk kemudin diolah berdasarkan kebutuhan. Bila sensor melaporkan parameter yang melewati batasan yang ditentukan, server memberi perintah pada kontroler, sehingga kontroler dapat mengendalikan perangkat. Model protokol pada *Wireless Sensor Network* adalah model *protocol generik* yang dapat digunakan untuk mendeskripsikan jalur komunikasi (*routing*) di dalam jaringan sensor nirkabel.

2.2.2 Performance Metrics

Performance metrics dari sebuah *sensor network* dipengaruhi oleh (Ilyas & Mahgoub, 2005):

1. *Energy efficiency/system lifetime*. Sensor dioperasikan dengan baterai dan menghasilkan energi yang sangat langka, sehingga sumber dayanya harus dikelola dengan baik agar bisa memperpanjang *network lifetime*.
2. *Latency*. Protokol harus menjamin bahwa data penginderaan akan dikirimkan ke pengguna tidak lebih dari *delay* yang diperbolehkan (*delay-guaranteed*).
3. *Accuracy*. Mendapatkan informasi yang akurat merupakan tujuan utama. Akurasi dapat meningkat hasilnya melalui gabungan deteksi dan estimasi. *Rate distortion theory* adalah alat yang tepat untuk menilai penyimpangan.
4. *Fault Tolerance*. Kekokohan terhadap kerusakan sensor dan link harus dicapai melalui redundansi serta pengolahan dan komunikasi yang kolaboratif.
5. *Scalability*. Karena *sensor network* memungkinkan terdiri dari ribuan *node*, kemampuan suatu sistem, jaringan, atau proses diperlukan untuk menangani penambahan beban yang diberikan, atau potensinya untuk ditingkatkan sehingga dapat menangani penambahan beban tersebut.
6. *Transport capacity/throughput*. Karena kebanyakan *sensor network* harus dikirim ke satu *base station* atau *fusion center*, maka terdapat area kritis di jaringan sensor dimana *sensor node* harus menyampaikan data yang dihasilkan oleh hampir semua node dalam jaringan. Sehingga lalu lintas beban pada *node* kritis itu berat, bahkan ketika tingkat lalu lintas rata-rata rendah. Daerah ini memiliki pengaruh penting pada umur sistem, penundaan paket *end-to-end*, dan skalabilitas.

2.2.3 Pemodelan Konsumsi Energi

Untuk memodelkan konsumsi energi pada algoritma *routing*, menurut (Ilyas & Mahgoub, 2005) terdapat empat hal yang harus diidentifikasi pada sebuah *node* yang berada pada kondisi *transmission*, *reception*, *listening*, dan *sleeping*, yang meliputi dari tugas-tugas pada sebagai berikut :

1. Akuisisi : *sensing*, *A/D conversion*, *preprocessing*, dan *storing* (penyimpanan).
2. *Transmissions* : Pengolahan untuk penetapan alamat, *packetization*, *encoding*, *framing*, dan mungkin antrian pasokan untuk *baseband* dan sirkuit RF (power amplifier harus

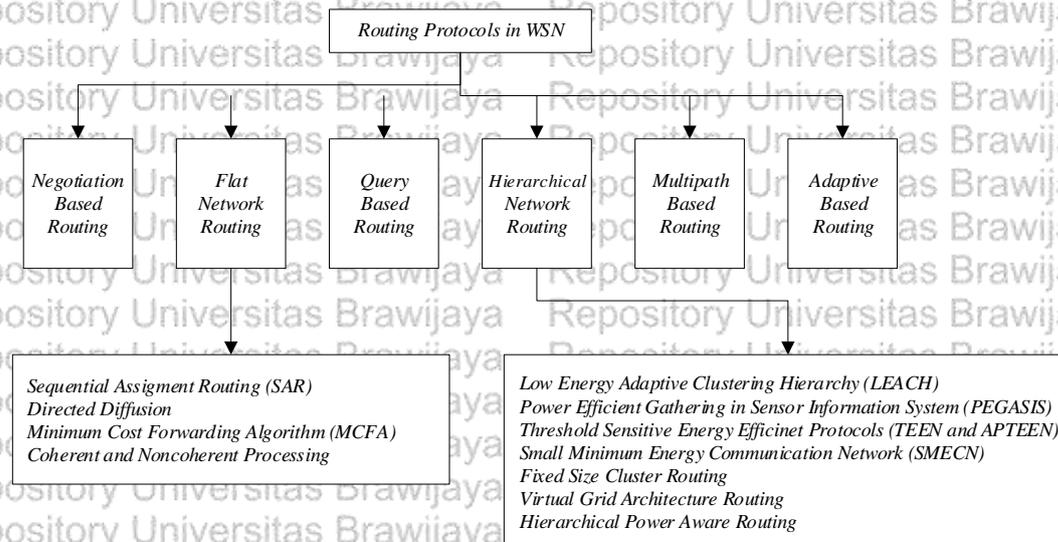
diperhitungkan karena konsumsi daya mungkin tidak sebanding dengan mengirimkan daya.

3. *Reception* : *Low-noise amplifier, downconverter oscillator, filtering, detection, decoding, error detection, and address check*; penerimaan bahkan jika sebuah simpul bukan penerima yang dimaksud.
4. *Listening* : Serupa dengan penerimaan kecuali bahwa rantai pemrosesan sinyal berhenti pada pendeteksian
5. *Sleeping* : *Power supply* untuk tetap hidup.

2.2.4 Protokol Routing pada Wireless Sensor Network

Dalam jaringan sensor, konservasi energi, secara langsung terkait dengan masa hidup jaringan, relatif lebih penting daripada kinerja jaringan dalam hal kualitas data yang dapat dikirim. Sebagai energi yang akan habis, jaringan mungkin diperlukan untuk mengurangi kualitas hasil dalam mengurangi disipasi energi pada node dan dengan demikian dapat memperpanjang masa pakai jaringan. Oleh karena itu, konservasi energi dianggap lebih penting daripada kinerja jaringan.

Secara umum, *routing* dalam WSN dapat dibagi menjadi *Flat-Based Routing*, *Hierarchical-Based Routing*, *Adaptive-Based Routing*, *Negotiation Based Routing*, *Query-Based-Routing*, dan *Multipath-Based-Routing*. Pembagian jenis *routing* dalam WSN (Ilyas & Mahgoub, 2005) dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Routing Protocols in WSN

2.2.5 Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)

Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) merupakan salah satu routing protocol clustering yang populer pada jaringan sensor nirkabel. LEACH bekerja secara self-organizing, untuk mendistribusikan beban energi yang tidak sama diantara sensor node pada jaringan. Pada LEACH, node mengorganisasi dirinya sendiri ke dalam cluster local, dengan satu node sebagai local base station atau cluster head. Pada LEACH, sensor-sensor di dalam jaringan akan dibagi ke dalam kluster dengan salah satu dari sensor di tiap kluster menjadi *cluster head* yang bertugas untuk mengumpulkan data dari anggota kluster untuk kemudian meneruskannya ke *base station*. Pemilihan kluster head bersifat acak. *Node* akan menjadi kluster head jika nilai random yang dibangkitkan padanya lebih kecil dari T_n .

$$T_n(t) = \begin{cases} \frac{k}{N-k \times \text{mod}(r, \frac{N}{k})}, G(t) = 0 \\ 0, G(t) = 1 \end{cases} \quad (2.1)$$

Node yang memiliki nilai random kecil dari T_n hanya akan terpilih menjadi *cluster head* jika belum menjadi kluster head pada ronde pengiriman sebelumnya (r) atau yang memiliki nilai $G=0$. Dengan demikian setiap *node* akan menjadi *cluster head* sekali setiap N/k ronde.

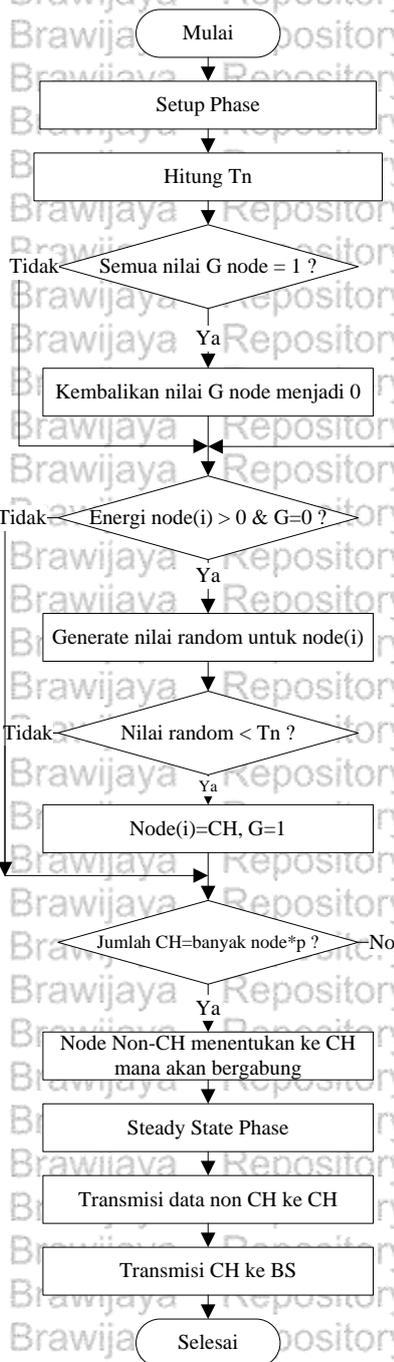
Dengan N adalah banyak *node* dalam jaringan dan k adalah jumlah *cluster*. Jika probabilitas pembentukan kluster adalah p , maka k dapat dicari dengan persamaan 2.2 :

$$k = p \times n \quad (2.2)$$

Sehingga persamaan 2.1 dapat disederhanakan menjadi persamaan 2.3:

$$T_n = \frac{p}{1-p \times \text{mod}(r, \frac{1}{p})} \quad (2.3)$$

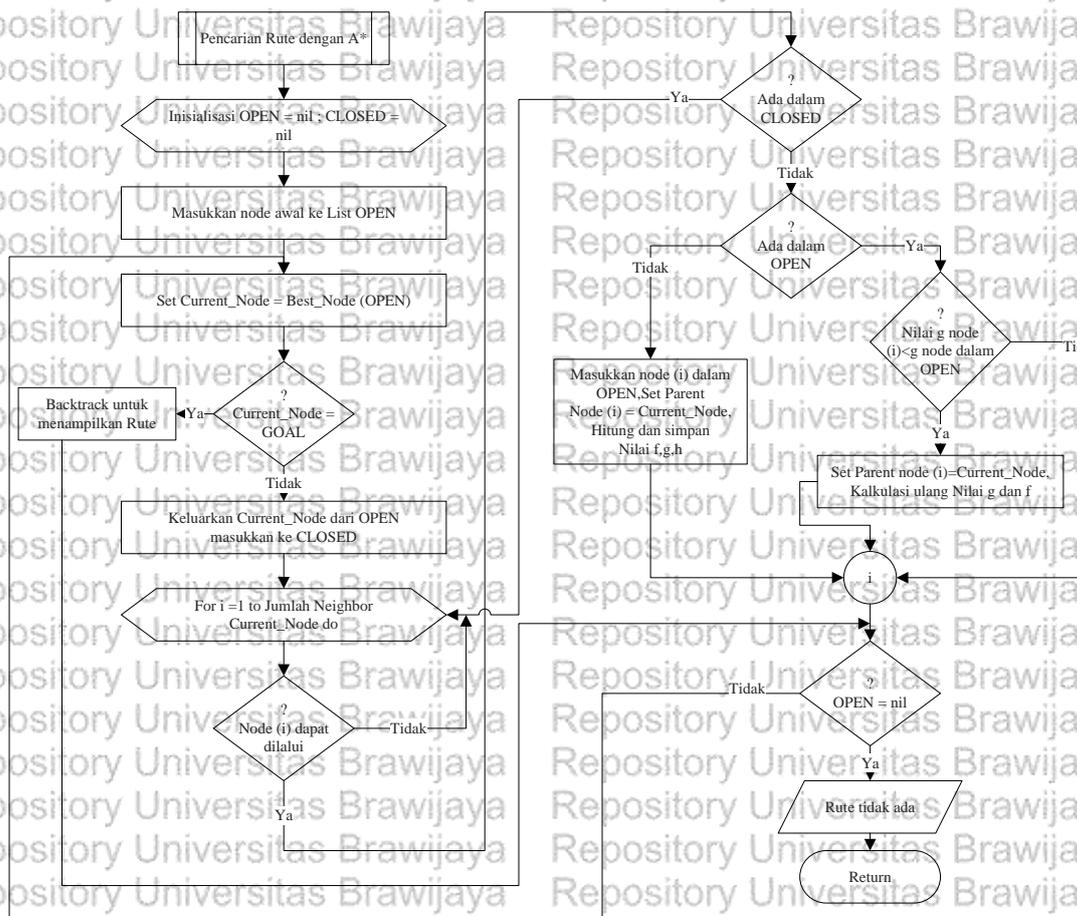
Cara kerja LEACH dapat digambarkan dalam *flowchart* yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Cara kerja LEACH

2.2.6 A* (A Bintang)

Algoritma A* merupakan algoritma *Best First Search* yang menggabungkan *Uniform Cost Search* dan *Greedy Best First-Search*. Biaya yang diperhitungkan didapat dari biaya sebenarnya ditambah dengan biaya perkiraan. Dalam notasi matematika dituliskan sebagai $f(n) = g(n) + h(n)$. Dengan perhitungan biaya seperti ini, algoritma A* adalah *complete* dan *optimal*. Secara detail, cara kerja algoritma A* diilustrasikan oleh *Flowchart* pada Gambar 2.4 (Suyanto, 2011).



Gambar 2.5 Flowchart Algoritma A*

2.2.7 Modified Bi-Directional A* (MBDA*)

Algoritma *Modified Bi-Directional A** menggunakan fungsi *heuristic* dengan sedikit modifikasi. Fungsi *heuristic* untuk simpul n pada pencarian maju dari *Source* (S) ke *Destination* (G) ditunjukkan persamaan 2.1:

$$f = g(S, n) + \frac{1}{2} [h_s(n) - h_g(n)] \quad (2.1)$$

Sedangkan fungsi *heuristic* untuk simpul n pada pencarian balik (dari *Destination* (G) ke *Source* (S)) ditunjukkan persamaan 2.2:

$$f = g(G, n) + \frac{1}{2} [h_g(n) - h_s(n)] \quad (2.2)$$

Dimana:

S : simpul asal atau *initial state*

G : simpul tujuan atau *goal state*

m : *parent* dari n

$g(S, n)$: biaya sebenarnya dari S ke n

$g(G, n)$: biaya sebenarnya dari G ke n

$h_s(n)$: biaya perkiraan dari n ke G

$h_g(n)$: biaya perkiraan dari n ke S

Algoritma 2.2 MBDA*

```

Function MBDA* (masalah) return solusi
  Inputs : masalah : berisi ruang masalah, jenis solusi, jenis
solusi, S dan G
  Local variables : BNs dan BNg : BestNode dari arah start dan
goal
                    OPENS dan OPENg : OPEN dari arah start dan goal
                    CLOSEDs dan CLOSEDg : CLOSED dari arah start dan goal
Loop sampai goal ditemukan
  BNs, OPENs, CLOSEDs  $\leftarrow$  A* (OPENS, CLOSEDs, S, G)
  If BNs in CLOSEDg then {goal sudah ditemukan}
  v  $\leftarrow$  simpul di CLOSEDg yang sama dengan BNs
  g-terbaik  $\leftarrow$  g (G,v) {biaya sebenarnya dari G ke v melalui
parent lama}
  loop untuk semua suk = simpul di CLOSED yang merupakan suksesor
  v
    if g(G,v) melalui suk < g-terbaik then
      g-terbaik  $\leftarrow$  g (G,v) melalui suk
      parent-baru  $\leftarrow$  suk
    end
  end
  g(v)  $\leftarrow$  g-terbaik
  parent dari v  $\leftarrow$  parent baru
  return solusi
end
  BNg, OPENg, CLOSEDg  $\leftarrow$  A* (OPENg, CLOSEDg, G, S)
  If BNg in CLOSEDs then {goal sudah ditemukan}
  u  $\leftarrow$  simpul di CLOSEDs yang sama dengan BNg
  g-terbaik  $\leftarrow$  g (S,u) {biaya sebenarnya dari S ke u melalui
parent lama}
  loop untuk semua suk = simpul di CLOSEDg yang merupakan
suksesor u
    if g(S,u) melalui suk < g-terbaik then
      g-terbaik  $\leftarrow$  g (S,u) melalui suk
      parent-baru  $\leftarrow$  suk
    end
  end
  g(S,u)  $\leftarrow$  g-terbaik
  parent dari u  $\leftarrow$  parent baru
  returns solusi
end
end

```

2.2.8 Fungsi Heuristik

Di dalam metode-metode yang termasuk dalam *heuristic search*, fungsi heuristik memainkan peranan yang sangat menentukan. Suatu fungsi dapat diterima sebagai fungsi heuristik jika biaya perkiraan yang dihasilkan tidak melebihi dari biaya yang sebenarnya.

Ketika fungsi heuristik memberikan biaya perkiraan yang melebihi biaya sebenarnya (*overestimate*), maka proses pencarian bisa tersesat dan membuat *heuristic search* menjadi tidak optimal. Fungsi heuristik dikatakan baik jika bisa memberikan biaya perkiraan yang mendekati biaya sebenarnya. Semakin mendekati biaya sebenarnya, fungsi heuristik tersebut semakin baik. Fungsi heuristik yang dapat digunakan untuk masalah pencarian rute

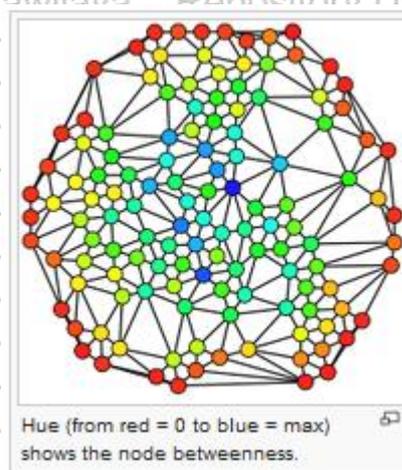
terpendek adalah jarak garis lurus pada koordinat *Cartesian* yang bisa dihitung menggunakan persamaan 2.3 (Suyanto, 2011):

$$d_{ab} = \sqrt{(y_b - y_a)^2 + (x_b - x_a)^2} \quad (2.3)$$

Dengan d_{ab} adalah jarak antara *node a* dengan *node b*. x_a dan y_a berturut-turut adalah posisi *node a* pada sumbu x dan y . x_b dan y_b berturut-turut adalah posisi *node a* pada sumbu x dan y .

2.2.9 Betweenness Centrality

Dalam teori grafik dan analisa jaringan, indikator sentralitas digunakan untuk mengidentifikasi simpul yang paling penting dalam grafik. Biasanya digunakan untuk mengidentifikasi orang yang paling berpengaruh dalam jaringan sosial, kunci infrastruktur utama di internet atau jaringan perkotaan, dan penyebar utama penyakit. Konsep sentralitas pertama kali dikembangkan dalam analisis jaringan sosial, dan banyak istilah yang digunakan untuk mengukur sentralitas.



Gambar 2.6 Betweenness Centrality

Sumber : (Social Network Analysis : Theory and Application)

Gambar 2.6 menunjukkan *Betweenness Centrality* suatu jaringan komputer. *Betweenness Centrality* merupakan indikator *centrality* dari node pada sebuah jaringan komputer. *BC* atau *Betweenness Centrality* bekerja dengan cara menghitung banyaknya jalur yang melewati *node* tersebut. *Betweenness Centrality* dari simpul (*node*) v dirumuskan dengan persamaan (2.2).

$$g(v) = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}} \quad (2.2)$$

Dimana σ_{st} adalah jumlah total *shortest path* dari *source* (s) ke *destination* (t) dan $\sigma_{st}(v)$ adalah jumlah yang melewati node v .

Algoritma 2.3 *Betweenness Centrality*

```

procedure INITIALIZESNODE T
  rolet ← Border; sonsPathst{0}
  pathst ← 1; hopst ← 0
  sBett ← 0
  if iid = 1 then
    Initializes P as Hello
    rolet ← Sink
    P.hops ← hopst; P.paths ← pathst
    broadcast P
  end if
end procedure
procedure RECEIVES PACKET P
  if P.type = Hello then
    if P.hopst + 1 < hopst then
      hopst ← P.hops + 1; P.hops ← hopst
      pathst ← P.paths
    end if
  if P.hops + 1 = hopst then
    pathst ← pathst + P.paths
  end if
  if P.hops > hopst then
    rolet ← Relay
  end if

  schedule Broadcast P
  schedule Send Border
  else
  if hopst < P.hops then
    for j ← 1..length(P.sonsPaths) do
      sonsPathst[j] ← sonsPathst[j] + P.sonsPaths[j]
      P.sonsPaths[j] ← sonsPathst[j]
    end for
    for k ← 1..length(sonsPaths) do
      sBet ← sBet + sonsPathst[k] - (pathst/k)
    end for
    broadcast P
  end if
  end if
end procedure
procedure SEND BORDER
  Initializes P as Border
  if rolet = Border then
    P.hops ← hopst; P.paths ← pathst
    P.sonsPaths ← (pathst, 1)
    broadcast P
  end if
end procedure

```

2.2.10 Komunikasi Data

Kata “Tele”, dalam Bahasa Yunani artinya jauh. Istilah “Telekomunikasi”, artinya berkomunikasi dengan jarak jauh. Istilah “data” mengacu pada informasi yang disajikan dalam bentuk apapun yang disepakati oleh kedua belah pihak yang membuat dan

menggunakan data. Pengertian komunikasi data adalah pertukaran data antara dua perangkat melalui berbagai media transmisi seperti kabel kawat (Forouzan, 2007).

Efektivitas komunikasi data bergantung pada empat karakteristik dasar, yaitu :

1. *Delivery*. Sistem harus mampu mengirimkan data ke alamat tujuan dengan benar. Data harus dapat diterima oleh perangkat yang dimaksud.
2. *Accuracy*. Sistem harus mengirimkan data secara akurat. Data yang telah diubah dalam transmisi dan tidak dikoreksi tidak dapat digunakan lagi
3. *Timelines*. Sistem harus dapat mengirimkan data secara tepat waktu. Data yang dikirimkan terlambat tidak akan berguna. Untuk kasus video dan audio, pengiriman data waktu berarti mengirimkan data saat diproduksi, dalam urutan yang sama dengan yang dihasilkan, dan tanpa penundaan yang signifikan. Jenis pengiriman semacam ini disebut transmisi waktu nyata
4. *Jitter*. Jitter adalah selisih penundaan waktu (*delay*) kedatangan paket. Sebagai contoh mari kita asumsikan bahwa paket video dikirim setiap 30ms. Jika beberapa paket tiba dengan penundaan 30-ms dan yang lainnya dengan *delay* 40-ms. Selisih waktu yang sama itulah yang disebut *jitter*.

2.2.11 Komponen Komunikasi Data

Sistem komunikasi data memiliki lima komponen (Forouzan, 2007), yaitu :

1. *Message*. Message adalah informasi (data) yang dikomunikasikan, seperti teks, angka, audio, video, dan gambar.
2. *Sender*. Sender adalah perangkat yang mengirim data message, seperti komputer, laptop, handphone, kamera video, dsb.
3. *Receiver*. Receiver adalah perangkat yang menerima data message, seperti komputer, laptop, handphone, kamera video, dsb.
4. *Transmission medium*. Media transmisi adalah jalur fisik yang digunakan untuk mengirim pesan dari sender ke receiver, seperti kabel twisted pair, kabel coaxial, kabel fiber optik, dan gelombang radio.
5. *Protocol*. Protokol adalah seperangkat aturan atau cara yang mengatur bagaimana cara data dapat berkomunikasi. Protokol merupakan kesepakatan antara perangkat komunikasi. Tanpa protokol, dua perangkat dapat terhubung tetapi tidak dapat berkomunikasi, seperti orang yang hanya bisa dan mengerti berbicara bahasa

Indonesia tidak dapat dipahami oleh orang yang hanya mengerti berbicara bahasa Arab.

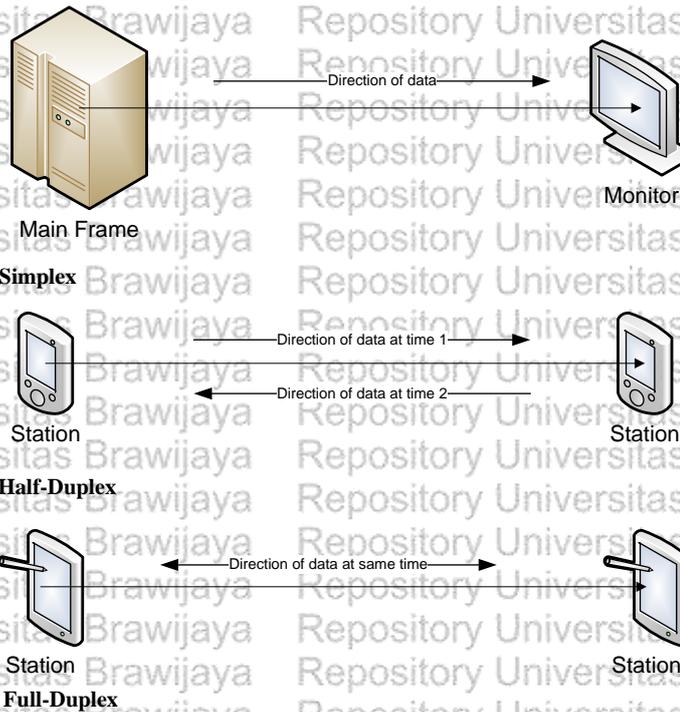
2.2.12 Representasi Data

Representasi data merupakan jenis informasi apasajakah yang dapat dikirimkan dalam melakukan komunikasi. Informasi dapat berupa teks, angka, gambar, audio, dan video (Forouzan, 2007).

1. Teks. Dalam komunikasi data, teks direpresentasikan dalam bit (bit 0 dan 1). Sistem pengkodean terdiri dari dua yaitu Unicode dan American Standard Code for Information Interchange (ASCII). Unicode menggunakan 32 bit yang terdiri dari simbol atau karakter yang digunakan dalam seluruh bahasa di dunia, sedangkan ASCII terdiri dari 127 karakter pertama di Unicode.
2. Angka. Angka direpresentasikan dalam bit, sehingga terlebih dahulu diubah menjadi bilangan biner.
3. Gambar. Gambar direpresentasikan dalam bit. Gambar merupakan kumpulan piksel dalam bentuk matrik. Piksel adalah komponen terkecil dalam gambar. Ukuran piksel tergantung pada resolusi. Setelah gambar dibagi dalam piksel, masing-masing piksel diubah kedalam bit.
4. Audio. Secara umum data audio merupakan data kontinyu, bukan data digital.
5. Video. Data video merupakan data dalam kontinyu.

2.2.13 Jenis Komunikasi

Dua perangkat dapat saling berkomunikasi secara simplex, half-duplex, atau full-duplex (Forouzan, 2007), seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6.



Gambar 2.7 Jenis komunikasi

- Simplex*. Komunikasi satu arah.
- Half-duplex*. Komunikasi dua arah, namun bergantian.
- Full-duplex*. Komunikasi dua arah dengan waktu yang sama.

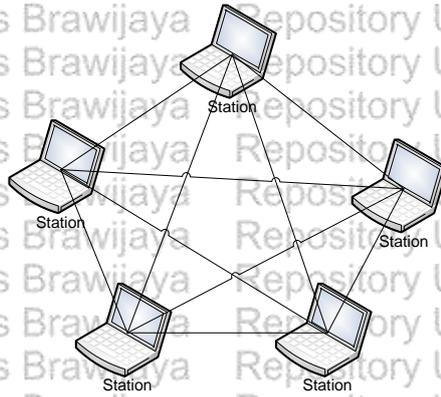
2.2.14 Jaringan

Jaringan adalah sekumpulan perangkat (*node*) yang saling terhubung satu sama lain melalui media komunikasi. Sebuah *node* dapat berupa komputer, printer, atau perangkat lain yang dapat mengirim atau menerima data (Forouzan, 2007).

2.2.15 Topologi Fisik

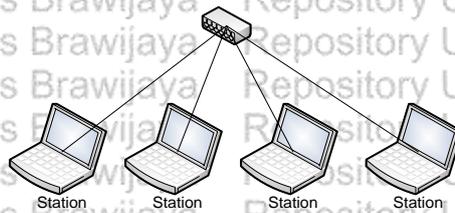
Topologi fisik mengacu pada bagaimana jaringan ditata secara fisik. Terdapat empat dasar topologi fisik pada jaringan komputer, yaitu *mesh*, *star*, *bus*, dan *ring* (Forouzan, 2007).

Pada topologi *mesh* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6, setiap perangkat terhubung dengan semua perangkat lainnya yang ada dalam jaringan. Tipe koneksinya adalah *point-to-point*, artinya setiap *link* (jalur komunikasi) hanya membawa lalu lintas antara kedua perangkat yang terhubung.



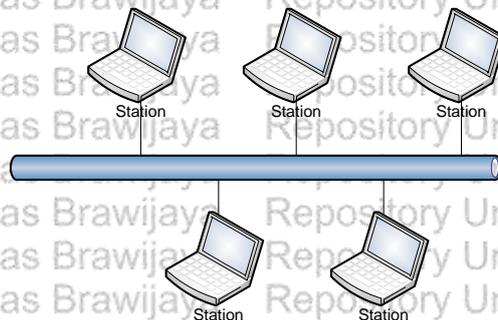
Gambar 2.8 Topologi *mesh* dengan lima perangkat

Pada topologi *star* yang ditunjukkan pada Gambar 2.7, setiap perangkat terhubung secara *point-to-point* ke *central controller*, dalam hal ini adalah *hub*. Apabila satu komputer akan berkomunikasi dengan komputer lainnya harus berkomunikasi terlebih dahulu ke *central controller*, kemudian data akan disampaikan ke komputer tujuan.



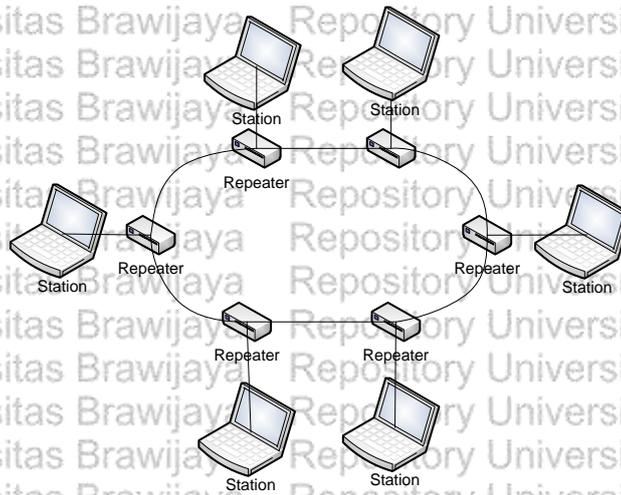
Gambar 2.9 Topologi *star* dengan empat perangkat

Pada topologi *bus* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8, tipe koneksinya adalah *point-to-multipoint*. Satu kabel (kabel koaksial) berfungsi sebagai *backbone* untuk menghubungkan semua perangkat yang ada pada jaringan.



Gambar 2.10 Topologi *bus* dengan lima perangkat

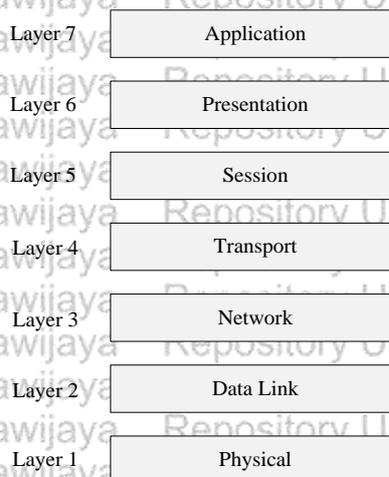
Pada topologi *ring* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9, tipe koneksinya adalah *point-to-point* yaitu hanya dengan *repeaternya*. Sebuah sinyal dilewatkan sepanjang ring dalam satu arah, dari perangkat (*repeater*) ke perangkat (*repeater*), hingga mencapai tujuannya.



Gambar 2.11 Topologi ring dengan enam perangkat

2.2.16 Network Layer

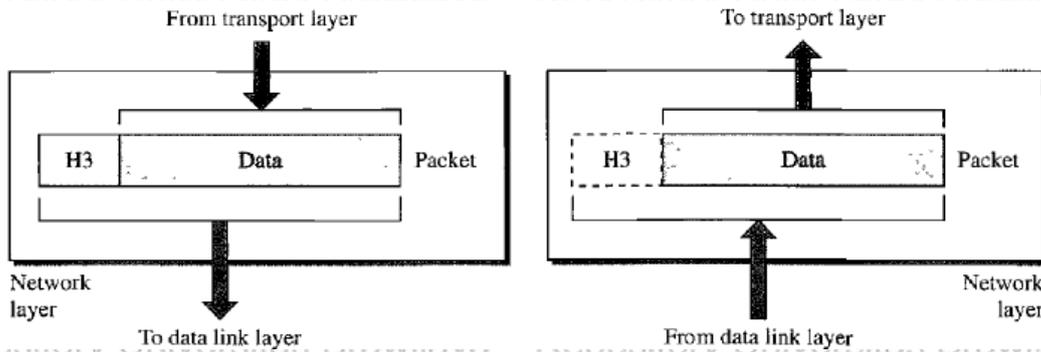
International Standard Organization (ISO) mencakup semua aspek tentang jaringan komunikasi adalah Open Systems Interconnection (OSI) model. OSI pertama kali dikenalkan pada akhir tahun 1970an. OSI model merupakan kumpulan *protocol* yang memungkinkan dua sistem yang berbeda dapat berkomunikasi tanpa memperhatikan arsitektur dasarnya (Forouzan, 2007). Tujuan dari model OSI adalah untuk menunjukkan bagaimana memfasilitasi komunikasi antara sistem yang berbeda tanpa memerlukan perubahan pada logika perangkat keras dan perangkat lunak yang mendasari. Model OSI berupa tujuh kerangka berlapis yang saling berhubungan antara layer satu dengan lainnya, yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.12 Tujuh layer model Open Systems Interconnection (OSI)

Network layer terletak pada Layer 3, bertanggung jawab terhadap pengiriman paket dari sumber ke tujuan pada jaringan yang berbeda. Layer *data link* mengawasi pengiriman paket

dari sumber ke tujuan pada jaringan yang sama, sedangkan layer network memastikan bahwa setiap paket mengarahkan dari sumber ke tujuannya.



Gambar 2.13 Hubungan antara *network layer* ke *datalink* dan *transport layer* (Forouzan, 2007)

Tugas *network layer* lainnya adalah :

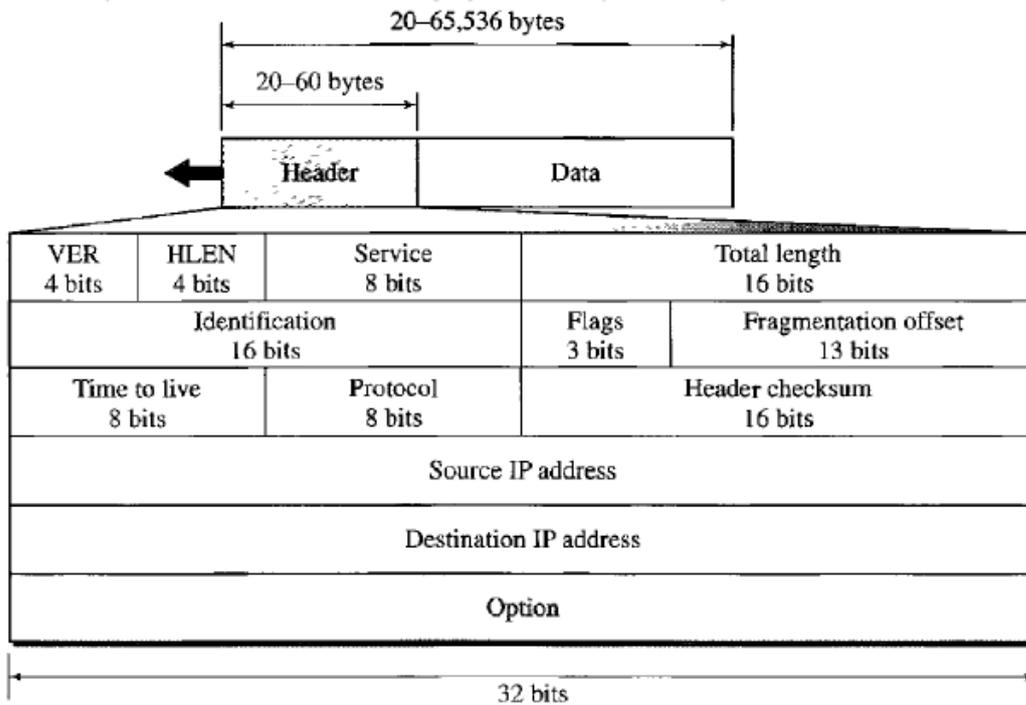
1. *Logical Addressing*. Pengalamatan fisik yang dilakukan oleh lapisan *datalink* menangani masalah pengalamatan secara lokal. Jika sebuah paket melewati batas jaringan, dibutuhkan sistem pengalamatan lain untuk membantu membedakan sumber dan sistem tujuan. Pada *network layer*, TCP/IP mendukung protokol *internetworking*. IP menggunakan empat protokol pendukung yaitu ARP, RARP, ICM, IGMP.
2. *Routing*. *Network layer* menyediakan mekanisme *routing*, agar jaringan satu dengan jaringan lain dapat berkomunikasi.

2.2.17 Datagram

Paket pada IPv4 disebut *datagram*. Gambar 2.12 menggambarkan format *datagram* pada IPv4. Datagram adalah panjang paket yang terdiri dari dua bagian yaitu *header* dan *data*. Panjang header adalah 20 hingga 60 *byte* dan berisi informasi penting untuk *routing* dan pengiriman. TCP/IP menampilkan header dalam empat bagian, yaitu VER, HLEN, Service dan Total length.

VER (Version), panjangnya 4 bit yang menjelaskan versi protokol IPv4.

HLEN (Header Length), panjangnya 4 bit. Bagian ini menentukan panjang total header datagram 4-byte dalam word. Bagian ini diperlukan karena panjang header adalah variabel (antara 20 dan 60 *byte*). Ketika tidak ada pilihan, panjang header adalah 20 *byte*, dan nilai bidang ini nilai minimum yaitu 5 ($5 \times 4 = 20$). Ukuran maksimum bagian ini adalah ($15 \times 4 = 60$).



Gambar 2.14 Format *datagram* pada IPv4 (Forouzan, 2007)

Pada bagian ini sebelumnya disebut *service type*, namun sekarang disebut *differentiated services*. 6 bit pertama digunakan untuk menyusun *code point*, 2 bit selanjutnya tidak digunakan. *Code point* berisi informasi seperti ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Nilai *code point*

Categories	Code points	Assigning Authority
1	XXXXX0	Internet
2	XXXX11	Local
3	XXXX01	Temporary or Experimental

Total length. Panjangnya 16 bit yang mendefinisikan panjang total (header ditambah dengan data) datagram IPv4 dalam bytes. Untuk mengetahui panjang data (Length of data) yang berasal dari lapisan atas, *total length* dikurangi *header length*.

Identification, digunakan pada *fragmentation*.

Flags, digunakan pada *fragmentation*.

Fragmentation offset, digunakan pada *fragmentation*.

Time to live.

Protocol.

Header checksum.

Checksum.



BAB III

KERANGKA KONSEP PENELITIAN

Kerangka konsep penelitian adalah kerangka hubungan antara konsep-konsep yang ingin diamati dan diukur melalui penelitian yang akan dilakukan. Penyusunan kerangka konsep penelitian dapat membantu dalam membuat hipotesis, dan memberikan gambaran umum tentang rencana penelitian yang akan dilakukan. Dalam bagian ini, akan dibahas tentang penjelasan mengenai kerangka konsep penelitian, variabel penelitian dan hipotesis tentang optimasi *routing* hemat energi menggunakan *Betweenness Centrality* dengan *Modified Bi-Directional A** pada jaringan sensor nirkabel.

3.1 Kerangka Konsep Penelitian

Pada penelitian ini, analisis yang akan dilakukan adalah berupa analisis penggunaan energi *routing* dari rancangan *routing protocol*. Ketersediaan energi merupakan faktor utama dalam keberlangsungan hidup jaringan sensor nirkabel. Salah satu komponen yang berperan dalam jaringan sensor nirkabel adalah *processing unit*. Pada unit inilah tempat dilakukan proses pengaturan dan penentuan rute pada *dynamic routing* untuk kemudian dilakukan proses transmisi data melalui *communication unit*. Beberapa faktor yang mempengaruhi performa dari penentuan rute terpendek antara lain adalah jumlah *node* yang terhubung dengan jaringan, jarak antar *node*, dan biaya sesungguhnya.

Dalam penelitian ini *sensor node* pada aplikasi *Wireless Sensor Network* dimodelkan dalam bentuk grafik dua dimensi, dengan posisi yang tersebar secara *random* (dalam sumbu x dan y) dengan jumlah *sensor node* yang telah ditentukan. Sistem menggunakan komunikasi *multi-hop* untuk meneruskan *packet data*. Masing-masing *sensor node* pada saat pengaturan awal simulasi memiliki informasi jumlah *node*, *node id*, posisi *Base Station*, jarak, ukuran *packet data* yang akan dikirim, serta biaya sesungguhnya untuk mengirimkan *packet data*.

Pada pemodelan simulasi ini, terdiri dari tiga tahap :

1) Fase Awal

Pada tahap ini penulis menyebutnya sebagai tahap *node deployment*. Pada proses ini sistem akan menentukan posisi *node*, dan menentukan jarak antar *node*. Semua *node*

akan mempelajari dan menyimpan informasi jarak dengan *node* tetangganya. Jarak antar *node* dihitung menggunakan fungsi *heuristic*, yaitu dihitung berdasarkan posisi x dan y . Fungsi *heuristic* adalah sebuah fungsi yang dapat memodelkan jarak perkiraan yang mendekati jarak sesungguhnya.

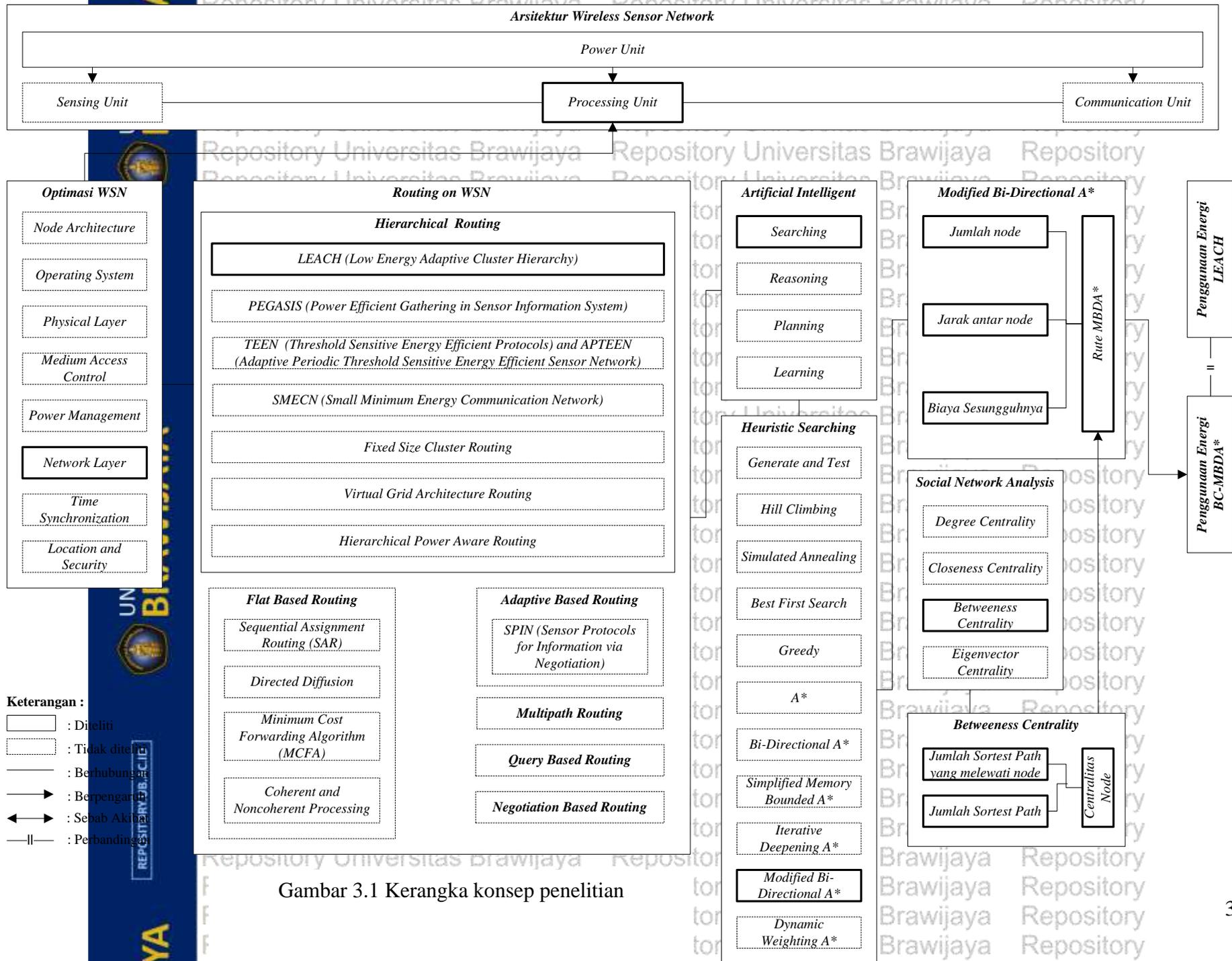
2) Fase *Setup*

Pada proses ini akan diterapkan metode *Social Network Analysis*, yaitu *Betweenness Centrality*. Keluaran dari proses ini adalah *centralitas node* dalam jaringan. *Node* yang ditentukan sebagai *centralitas node* akan difungsikan sebagai *cluster head*, yang akan bertugas meneruskan *packet data* ke *Base Station*.

3) Fase *Steady State*

Proses ini akan ditentukan mekanisme proses *routing* pada *communication unit*. Pada proses ini penulis mengimplementasikan salah satu algoritma pencarian terbimbing (*heuristic searching*), yaitu *Modified Bi-Directional A** (*MBDA**) yang kemudian digunakan untuk menentukan jarak terpendek (*Shortest Path*). Keluaran dari sistem adalah berupa aturan urutan *id node* (mekanisme) dari *source* ke *destination* yang berkomunikasi secara *multihop*.

Dari hasil simulasi akan di analisis performa metode yang telah diterapkan, berdasarkan kemampuan *node* dalam mengirimkan *packet data* ke *Base Station*, jumlah *node* aktif, dan jumlah *node* mati. Kemudian hasilnya akan dibandingkan dengan metode *routing* pada penelitian sebelumnya, yaitu *LEACH* (*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy*). Kerangka konsep penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kerangka konsep penelitian

3.2 Definisi Operasional Variabel

Variabel adalah sesuatu yang digunakan sebagai ciri, sifat, atau ukuran yang dimiliki atau didapatkan oleh satuan penelitian tentang suatu konsep pengertian tertentu. Berdasarkan hubungan fungsionalnya, variabel dibedakan menjadi dua, yaitu variabel tergantung, akibat, terpengaruh atau *variabel dependen*, dan variabel bebas, sebab, mempengaruhi atau *variabel independen*. Disebut variabel tergantung atau *dependent* karena variabel ini dipengaruhi oleh variabel bebas atau variabel *independent*. Variabel *dependent* dan variabel *independent* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a) Variabel *dependent*

- | | |
|------------------|----------------|
| 1) xd | 7) $distance$ |
| 2) yd | 8) X |
| 3) d_o | 9) Y |
| 4) C | 10) min_dis |
| 5) E | 11) id |
| 6) $first_dead$ | |

Variabel ini didapatkan dari hasil analisis perhitungan dan simulasi perangkat lunak.

b) Variabel *independent*

- | | |
|---------------|---------------|
| 1) n | 8) E_{Tx} |
| 2) xm | 9) E_o |
| 3) ym | 10) E_{DA} |
| 4) $sink.x$ | 11) E_{fs} |
| 5) $sink.y$ | 12) E_{mp} |
| 6) E_{elec} | 13) r_{max} |
| 7) E_{Rx} | |

Pengukuran variabel *independent* yang digunakan dalam penelitian ini adalah skala *nominal*.

3.5 Hipotesis

Pada penelitian ini, hipotesis yang digunakan adalah dengan menerapkan metode *Modified Bi-Directional A* (MBDA*)* dengan *Betweenness Centrality (BC)*, dapat meminimalisasi penggunaan energi pada *wireless sensor network* daripada penggunaan metode *Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)*.

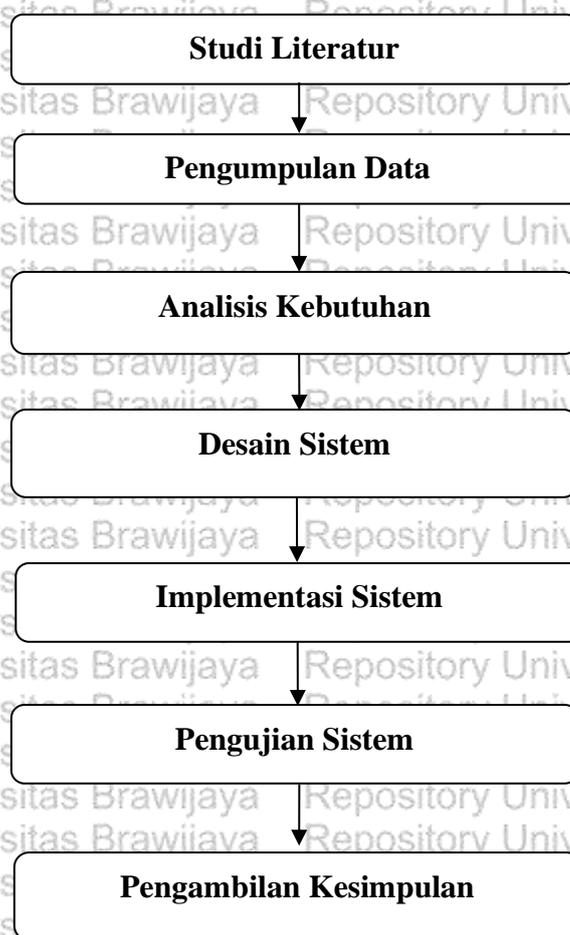


BAB IV METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan tahapan proses yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan. Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana cara untuk mendapatkan Study Literatur, Pengumpulan Data, Analisis Kebutuhan, Desain Sistem, Implementasi Sistem, Pengujian Sistem dan Pengambilan Keputusan.

4.1 Metode Penelitian

Tahapan proses penelitian yang akan dilakukan dalam menyelesaikan masalah ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Metode Penelitian

Tahapan pada Gambar 4.1 merupakan rangkaian tahapan penelitian yang secara garis besar terdiri dari 6 tahapan, tahapan-tahapan ini nantinya akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya dalam bab ini.

4.2 Studi Literatur

Pengumpulan informasi yang berhubungan dengan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan karya tulis ilmiah yang berhubungan dengan penelitian, berupa jurnal, *proceeding* ataupun tesis yang berkaitan dengan topik penelitian, dalam hal ini adalah masalah dan bagaimana strategi yang digunakan untuk meminimalisasi penggunaan energi pada jaringan sensor nirkabel.
2. Pencarian referensi mengenai jenis *routing* pada jaringan sensor nirkabel melalui *e-book*.
3. Pencarian referensi berupa buku cetak dan *e-book* yang berhubungan dengan metode yang digunakan untuk menentukan rute terpendek dalam teori *Artificial Intelligent*.
4. Pencarian referensi yang berhubungan dengan algoritma yang akan digunakan baik dari algoritma yang digunakan untuk menentukan jarak terpendek yaitu *Modified Bi Directional A* (MBDA)* maupun metode yang digunakan untuk menentukan sentralitas jaringan menggunakan metode *social network analysis* yaitu *Betweenness Centrality*.
5. Pengumpulan informasi tentang faktor-faktor penting yang mempengaruhi masa hidup jaringan melalui karya tulis ilmiah melalui jurnal dan *proceeding*.

4.3 Pengumpulan Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan cara mendapatkannya adalah data primer. Data primer, merupakan data yang didapatkan melalui penelitian sebelumnya yang berupa arsip resmi hasil penelitian.

Teknik pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu Penelitian Kepustakaan. Penelitian kepustakaan merupakan teknik pengumpulan data melalui teks-teks tertulis maupun *softcopy edition*, seperti buku cetak, *ebook*, artikel-artikel dalam majalah, surat kabar, buletin, jurnal, laporan atau arsip organisasi, makalah, publikasi pemerintah dan lain-lain. Penulis menggunakan data yang akan digunakan untuk memodelkan variabel apasajakah yang digunakan dalam proses *routing* pada jaringan sensor nirkabel serta nilai variabel penelitian berdasarkan penelitian terdahulu. Hal ini akan

mempermudah dalam membandingkan hasil dengan penelitian terdahulu, sehingga akan diketahui metode apa yang lebih baik yang nantinya akan diterapkan pada sistem yang sesungguhnya.

4.4 Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan merupakan segala sesuatu yang dibutuhkan dalam pembuatan sistem. Analisis kebutuhan dilakukan dengan mengidentifikasi segala kebutuhan dari sistem. Sumber data adalah komponen dari analisis kebutuhan. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Pemodelan harga energi yang digunakan untuk *transmission data* (E_{Tx}) dan *received data* (E_{Rx}) berdasarkan penelitian (Mahajan, Malhotra, & Sharma, 2014).
- b. Pemodelan jarak untuk menentukan jarak antar node dihitung dengan menggunakan persamaan *Euclidean distance* seperti pada penelitian (Mahajan, Malhotra, & Sharma, 2014) dan (Hui Li & Hong Guan, 2013).
- c. Data harga energi untuk *processing data* dalam satuan bit berdasarkan penelitian (Mahajan, Malhotra, & Sharma, 2014).
- d. Pemodelan luas area percobaan.
- e. Jumlah sensor *node* yang ditempatkan dalam jaringan.
- f. Jumlah perulangan dalam percobaan.

Dari data yang telah didapatkan kemudian diproses ke dalam dua tahap. Tahap pertama, data diproses menggunakan metode *Betweenness Centrality* untuk menghasilkan luaran *Centralitas Node*. Tahap selanjutnya adalah proses komputasi menggunakan *Modified Bi-Directional A** untuk menghasilkan luaran rute terpendek yang kemudian akan digunakan untuk *routing*. Hasil simulasi adalah berupa efektivitas penggunaan energi ditinjau dari kemampuan sistem dalam menyampaikan *packet data* ke *Base Station*, jumlah *node* aktif, dan jumlah *node* mati, yang akan dianalisis dan dibandingkan dengan metode yang sudah dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan pemodelan simulasi yang sama.

4.4.1 Identifikasi Operasional Variabel

Variabel yang dibutuhkan dalam penelitian ini ditunjukkan Tabel 4.1. Pada Tabel 4.1 dapat dijelaskan bahwa pada penelitian ini dibutuhkan sebanyak 24 variabel yang terdiri dari 13 variabel *input* (*independend variable*) dan 11 variabel *output* (*dependend variable*),

dengan masing-masing fungsi variabel dijelaskan pada kolom keterangan. Variabel *independend* ini akan digunakan untuk perhitungan *routing protocol*.

Tabel 4.1 Identifikasi operasional variabel

No	Nama Variabel	Jenis Variabel	Keterangan
1.	n	Input	Jumlah <i>node</i> .
2.	x_m	Input	Nilai maksimum area sebaran <i>node</i> pada sumbu x.
3.	y_m	Input	Nilai maksimum area sebaran <i>node</i> pada sumbu y.
4.	$sink.x$	Input	Nilai koordinat kartesian (posisi) <i>Base Station</i> pada sumbu x.
5.	$sink.y$	Input	Nilai koordinat kartesian (posisi) <i>Base Station</i> pada sumbu y.
6.	E_{TX}	Input	Energi yang dibutuhkan untuk melakukan transmisi <i>paket data</i>
7.	E_{RX}	Input	Energi yang dibutuhkan untuk menerima <i>paket data</i>
8.	E_{elec}	Input	Energi yang dibutuhkan pada <i>sensor node</i> untuk proses komputasi
9.	E_o	Input	Energi awal untuk masing-masing <i>node</i> .
10.	E_{DA}	Input	Energi yang digunakan untuk <i>data aggregation</i> .
11.	E_{fs}	Input	Energi yang dibutuhkan untuk mengirimkan data ke penerima secara <i>free space loss</i> (secara langsung).
12.	E_{mp}	Input	Energi yang dibutuhkan untuk mengirimkan data ke penerima secara <i>multipath</i> (dibelokkan).
13.	r_{max}	Input	Nilai maksimal perulangan <i>rounds</i> sistem.
14.	x_d	Output	Nilai posisi <i>node</i> pada sumbu x.
15.	y_d	Output	Nilai posisi <i>node</i> pada sumbu y.
16.	d_o	Output	Jarak antara <i>Base Station</i> dengan <i>Cluster Head</i> .
17.	C	Output	<i>Node</i> yang ditunjuk sebagai <i>Cluster head</i> .
18.	E	Output	Energi <i>Cluster Head</i> .
19.	$first_dead$	Output	Jumlah <i>node</i> yang mati.
20.	$distance$	Output	Jarak antar <i>node</i> .
21.	X	Output	Nilai posisi <i>cluster head</i> pada sumbu x.
22.	Y	Output	Nilai posisi <i>cluster head</i> pada sumbu y.
23.	min_dis	Output	Jarak antar <i>cluster head</i> .
24.	id	Output	Id <i>node</i> .

4.5 Desain Sistem

Perancangan sistem menjelaskan algoritma *routing* yang akan dibangun, dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Jumlah *node* = 100 yang ditempatkan secara acak dan tetap (tidak bergerak atau *statis*);
2. Luas area sebaran *node* digambarkan dalam diagram kartesian dua dimensi dengan nilai $x=100$ dan $y=100$;
3. Setiap *node* memiliki energi awal yang sama. Energi awal *sensor node* = 0,5 Joule;
4. $E_{elec} = E_{tx} = E_{rx} = 50 * 0,000000001$ Joule;
5. Jumlah perulangan adalah 9000 *rounds*;



6. *Node* dengan nilai *BC* terbesar, ditentukan sebagai *central node*. Untuk setiap *node*

$$n_i, \text{ nilai } BC_i \text{ dihitung dengan persamaan } BC_i = \sum_{s \neq d} \frac{\sigma_{sd}(t)}{\sigma_{sd}}$$

7. Untuk setiap *sensor node X* yang menerima paket data *P*, *next hop* ditentukan sebagai berikut :

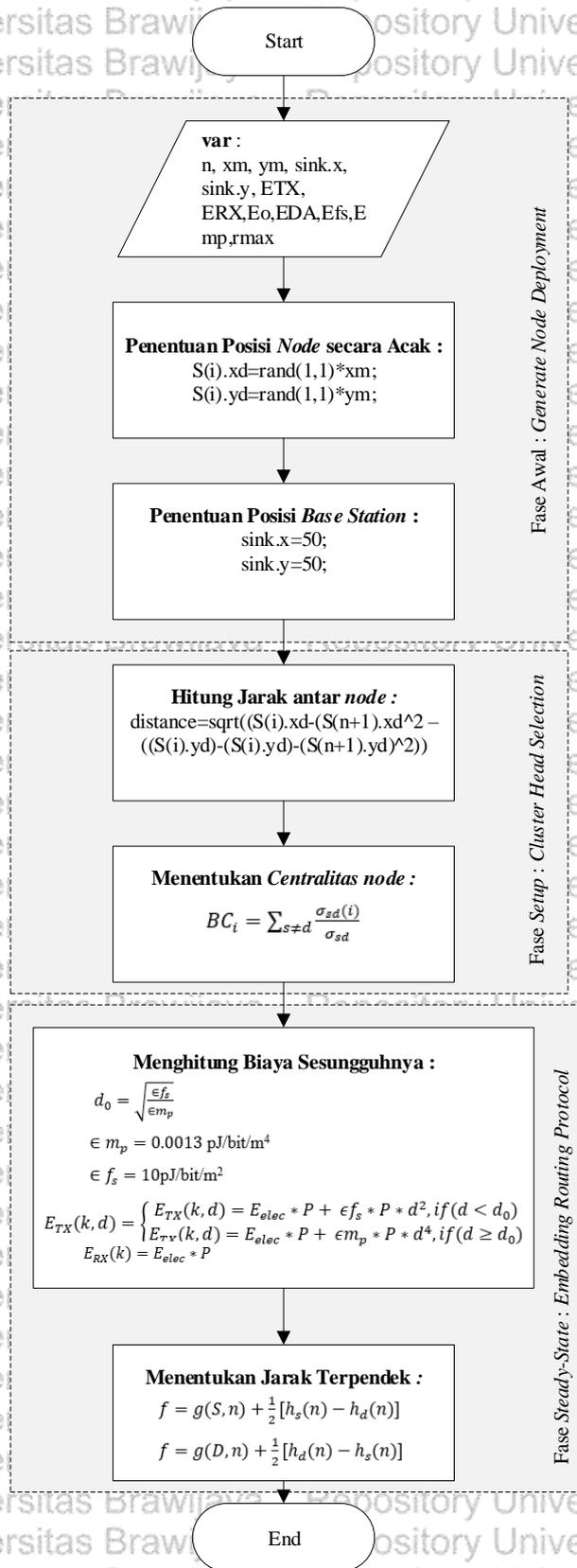
a. Untuk setiap tetangga n_i , biaya $cost_i$ dihitung menggunakan persamaan (2.1) dan (2.2) dengan menggunakan tabel *routing* yang telah ada.

b. Diantara tetangga *sensor node X*, dipilih n_i dengan minimum $cost_i$ sebagai lompatan selanjutnya dan kemudian meneruskan paket data *P*.

c. Jika tidak ada informasi *routing* tentang paket data *P* pada tabel *routing*, jalur *routing* untuk *P* ditambahkan. Jika informasi *routing* sudah ada, program akan memperbarui lompatan selanjutnya, untuk menentukan langkah b.

4.5.1 Konsep Solusi

Konsep solusi dari permasalahan yang digunakan dalam penelitian ini digambarkan dalam *flowchart* yang ditunjukkan Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Konsep solusi sistem yang akan dibangun

Aliran konsep solusi masalah pada Gambar 4.2 dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Menentukan *Node Deployment*.

Dalam proses ini variabel yang digunakan adalah n , x , y , x_m , y_m , $sink.x$, dan $sink.y$.

Adapun fungsi dari variabel tersebut akan dijelaskan penggunaannya sebagai berikut :

- Variabel n berfungsi untuk menentukan jumlah *sensor node* yang berada pada jaringan sensor nirkabel.
- Variabel x_m dan y_m , berfungsi untuk menentukan nilai maksimum area sebaran *node* pada jaringan sensor nirkabel yang ditunjukkan dalam diagram kartesian berdasarkan sumbu x dan y .
- Variabel $sink.x$ dan $sink.y$, berfungsi untuk menentukan nilai koordinat kartesian (posisi) *Base Station* pada sumbu x dan y .

Setelah *variable independend* ditentukan, maka sistem akan memproses data. Keluaran pada tahapan ini adalah sistem akan menentukan *id* dari *sensor node*, dan posisi *node* dalam sumbu x dan y .

2. Menghitung jarak antara *node* satu dengan *node* lainnya (tetangganya).

Jarak antar *node* dihitung dengan menggunakan fungsi heuristik dengan menggunakan persamaan *Euclidean* (Hui Li & Hong Guan, 2013) dan (Mahajan, Malhotra, & Sharma, 2014). Fungsi ini digunakan untuk menentukan biaya perkiraan. Untuk menentukan jarak *node s* ke *node n* dihitung dengan persamaan 4.1. Pada tahapan ini keluaran perangkat lunak adalah posisi masing-masing *sensor node* yang di acak dan berada pada jangkauan area jaringan sensor nirkabel yang telah ditentukan, sehingga jarak antar *sensor node* dapat ditentukan.

$$h_s(n) = \sqrt{((x_n - x_s)^2 + (y_n - y_s)^2)} \quad (4.1)$$

3. Menentukan sentralitas *node*.

Pada tahap ini, sistem akan menghitung sentralitas *node* dengan cara menghitung total biaya dari *node source* ke *node destination* dibandingkan dengan jumlah *node* yang melewati. Untuk menentukan sentralitas *node* dihitung dengan menggunakan metode *Betweenness Centrality (BC)*, seperti pada persamaan 4.2.

$$BC_i = \sum_{s \neq d} \frac{\sigma_{sd}(i)}{\sigma_{sd}} \quad (4.2)$$

4. Menghitung biaya sesungguhnya.

Biaya sesungguhnya adalah energi yang dibutuhkan oleh suatu *sensor node* untuk menerima *packet data* (E_{RX}), mengirimkan *packet data* (E_{TX}), dan energi yang dibutuhkan oleh *sensor node* untuk *processing* (E_{elec}). Dalam tahapan ini, biaya

sesungguhnya ditentukan berdasarkan pencarian maju (dari *node source* ke *node destination*) dan pencarian balik (dari *node destination* ke *node source*). Biaya sesungguhnya yang dibutuhkan oleh *node D* mengirimkan paket data ke *node n*, dihitung dengan persamaan 4.3. (Mahajan, Malhotra, & Sharma, 2014). Variabel yang digunakan dalam proses ini adalah d_0 , *distance*, min_dis , dan ukuran *packet data* yang akan dikirim (P). Keluaran dari proses ini ditunjukkan oleh variabel E.

$$E_{TX}(k, d) = \begin{cases} E_{TX}(k, d) = E_{elec} * P + \epsilon f_s * P * d^2, & \text{if } (d < d_0) \\ E_{TX}(k, d) = E_{elec} * P + \epsilon m_p * P * d^4, & \text{if } (d \geq d_0) \end{cases} \quad (4.3)$$

$$E_{RX}(k) = E_{elec} * P \quad (4.4)$$

Dengan :

$$d_0 = \sqrt{\frac{\epsilon f_s}{\epsilon m_p}}$$

$$\epsilon m_p = 0.0013 \text{ pJ/bit/m}^4$$

$$\epsilon f_s = 10 \text{ pJ/bit/m}^2$$

5. Menentukan jalur terpendek menggunakan metode *Modified Bi Directional A** (*MBDA**).

Pada tahapan ini menggunakan variabel *dependend* yang didapatkan dari hasil perhitungan pada tahap sebelumnya. Variabel yang digunakan dalam perhitungan pada tahapan ini adalah n , id , E_{TX} , E_{RX} , E_{mp} , E_{fs} dan E_{DA} . Pada tahap ini dilakukan proses pencarian maju dan proses pencarian balik. Proses pencarian maju dan pencarian balik secara berturut-turut dihitung dengan menggunakan persamaan 4.5 dan 4.6. Keluaran yang dihasilkan pada tahap ini ditunjukkan oleh variable *distance* dan min_dis .

$$f = g(S, n) + \frac{1}{2} [h_s(n) - h_a(n)] \quad (4.5)$$

$$f = g(D, n) + \frac{1}{2} [h_a(n) - h_s(n)] \quad (4.6)$$

4.6 Implementasi Sistem

Untuk menunjang penelitian ini, diperlukan alat dan bahan yang digunakan untuk membuat simulasi untuk mengetahui performa algoritma yang di gunakan. Kebutuhan tersebut antara lain sebagai berikut :

1. Perangkat lunak
 - Sistem Operasi : Windows 7
 - Program Aplikasi : Matlab2017a
2. Perangkat keras
 - Processor : Core i3 1.6Ghz
 - Harddisk : Seagate 500Gb
 - Ram : DDR2, 4GB

4.7 Pengujian Sistem

Untuk mengetahui keandalan suatu sistem maka perlu dilakukan pengujian. Dalam penelitian ini dilakukan *Performance Testing* (Pengujian kinerja), yaitu membandingkan metode yang digunakan pada penelitian ini (*Modified Bi Directional A** dengan *Betweenness Centrality*) dengan metode lain (*LEACH*) yang diukur berdasarkan analisis *residual energy* dan jumlah *sensor node* yang mati. Tahapan skenario pengujian sebagai berikut :

1. Membuat skenario percobaan, dan memasukkan nilai variable.
2. Mengambil nilai dari proses yang dilakukan dengan sistem yang menerapkan metode *Modified Bi Directional A** dan *Local Betweenness Centrality* dengan metode pembanding yaitu *Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)*.
3. Membandingkan hasil proses yang berdasarkan analisis performa algoritma *routing* berdasarkan analisis kemampuan system dalam menyampaikan packet data ke Base Station, jumlah *sensor node* yang aktif, serta jumlah *sensor node* yang mati setelah dilakukan perulangan sistem.
4. Hasil tersebut divalidasi untuk mendapatkan persentase keandalan algoritma dengan metode pembanding.

4.8 Pengambilan Kesimpulan

Dari seluruh langkah pada metode penelitian, pengambilan kesimpulan merupakan tahap akhir yang dilakukan. Pengambilan kesimpulan merupakan tahap menyimpulkan kinerja dari implementasi metode pada sistem dan optimalitas sistem yang telah dibangun dalam menyelesaikan permasalahan.



BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

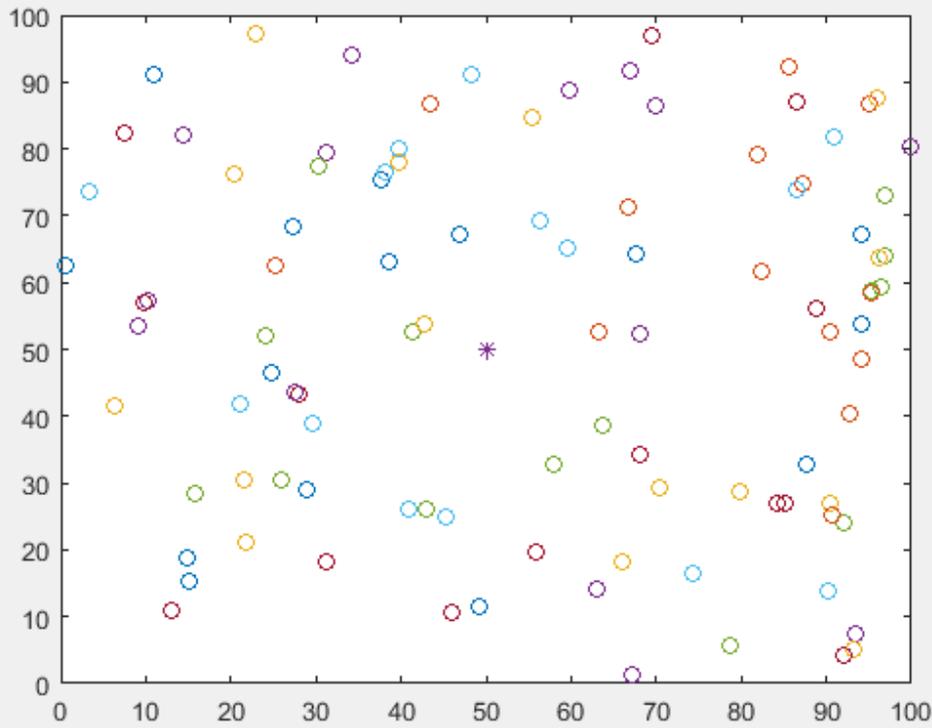
Pada bab ini akan dibahas hasil penelitian dari skema yang dirancang pada bab sebelumnya. Pembahasan hasil pengujian meliputi hasil pada setiap proses mulai dari pembuatan skenario percobaan, proses *generate node deployment*, *embedding routing protocol* dan uji performa *routing protocols*. Parameter yang digunakan untuk mengetahui performa *routing protocol* dalam penelitian ini adalah *network lifetime*, *throughput*, dan *residual energy*.

5.1 Skenario Percobaan

Pada bagian ini akan dijelaskan network model sebelum dilakukan analisis performa metode yang akan diterapkan. Pada percobaan ini penempatan 100 sensor node disebar secara acak yang direpresentasikan dalam diagram kartesian dua dimensi berbentuk persegi dengan panjang 100 dan lebar 100 (dalam satuan meter). Penyebaran node ini bersifat statis, dengan asumsi jenis sensor node adalah sama. Satu base Station ditempatkan pada koordinat (50,50). Setelah itu sistem akan membaca posisi *node* berdasarkan nilai koordinat. Kemudian sistem akan menghitung jarak antar *node*. Energi awal pada masing-masing *node* adalah 0,5 Joule. Energi yang digunakan untuk proses pengiriman data (E_{TX}) nilainya sama dengan energi yang digunakan untuk menerima data (E_{RX}) yaitu 50 nJ/bit. Energi amplifikasi pada propagasi *free space loss (direct)* besarnya 10 pJ/bit, sedangkan energi untuk *multipath* (dibelokkan) besarnya 0,0013 pJ/bit. Untuk menentukan penggunaan kedua energi tersebut (E_{fs} atau E_{mp}), terlebih dahulu diketahui nilai d_o . Jarak antara *cluster head* dan *Base Station* dihitung oleh sistem menggunakan persamaan d_o . Percobaan dilakukan sebanyak 9000 putaran.

5.2 Generate Node Deployment

Proses *generate node deployment* merupakan proses penentuan sebaran *node* berdasarkan sumbu x dan y pada koordinat kartesian. Penempatan *node* disebar secara acak menggunakan fungsi *rand* berdasarkan sumbu x dan y . Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 5.1, 'o' untuk sensor node dan '*' untuk Base Station, secara lengkap data ditunjukkan pada Lampiran 1.



Gambar 5.1 Hasil *node deployment*

Pada proses ini sistem akan menentukan posisi *Base Station* dalam koordinat kartesian yaitu pada alamat (50,50). Kemudian sistem akan menghitung jarak antar *node* yang diproses dengan menggunakan fungsi Euclidean distance sesuai persamaan (4.1).

$$h_s(n) = \sqrt{((x_n - x_s)^2 + (y_n - y_s)^2)}$$

Jarak node 1 dengan node 2 ditentukan sebagai berikut :

$$h_2(1) = \sqrt{((x_1 - x_{(1+1)})^2 + (y_1 - y_{(1+1)})^2)}$$

$$h_2(1) = \sqrt{((70,49727 - 49,18404)^2 + (29,37463 - 11,52094)^2) = 57,27943}$$

Kemudian, sistem akan menentukan cluster head. Jarak antar cluster head dengan Base Station dihitung sebagai berikut :

$$E_{TX}(k, d) = \begin{cases} E_{TX}(k, d) = E_{elec} * P + \epsilon f_s * P * d^2, & \text{if } (d < d_0) \\ E_{TX}(k, d) = E_{elec} * P + \epsilon m_p * P * d^4, & \text{if } (d \geq d_0) \end{cases} \quad (4.3)$$

$$E_{RX}(k) = E_{elec} * P \quad (4.4)$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{\epsilon f_s}{\epsilon m_p}}$$

Apabila,

$$\in m_p = 0.0013 \text{ pJ/bit/m}^4$$

$$\in f_s = 10 \text{ pJ/bit/m}^2$$

Maka,

$$d_0 = \sqrt{\frac{10 \times 10^{-9}}{0,0013 \times 10^{-9}}} = 87,7058$$

Diketahui bahwa jarak node 1 dengan node 2 adalah 57,27943, kurang dari nilai d_0 , maka diketahui bahwa antar node 1 dan node 2 tidak ada node lain yang menghalangi, sehingga energi dikirimkan secara langsung menggunakan Efs dan besarnya adalah 10 pJ. Apabila nilai jarak antara node 1 dengan node 2 nilainya lebih besar dari d_0 , artinya antara node 1 dengan node 2 terdapat penghalang, sehingga energi yang digunakan untuk mengirimkan data adalah E_{mp} (diblokkan), dan besarnya adalah 0,0013 pJ/bit.

Pada LEACH, penentuan cluster head ditentukan secara acak. Node akan menjadi cluster head apabila nilai random yang dibangkitkan lebih kecil dari nilai T_n . Node tersebut akan menjadi cluster head apabila sebelumnya belum pernah menjadi cluster head. Untuk mengetahui nilai T_n dihitung dengan sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$T_n(t) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p \times \text{mod}\left(r, \frac{1}{p}\right)}, & G(t) = 0 \\ 0, & G(t) = 1 \end{cases}$$

Diketahui, nilai probabilitas pemilihan cluster head $p=0,1$.

Maka,

$$T_n(1) = \begin{cases} \frac{0,1}{1 - 0,1 \times \text{mod}\left(1, \frac{1}{0,1}\right)}, & G(t) = 0 \\ 0, & G(t) = 1 \end{cases}$$

$$T_n(1) = \frac{0,1}{1 - 0,1 \times \text{mod}\left(1, \frac{1}{0,1}\right)} = 0,01111111$$

Nilai T_n dari node 1 adalah 0,01111111, sehingga nilai $G(1)=1$. Oleh karena itu node (1) tidak dipilih sebagai cluster head.

Pada BC-MBDA*, cluster head ditentukan dengan menggunakan pendekatan teori Betweenness Centrality. Sentralitas suatu node akan menentukan apakah node tersebut ditunjuk sebagai cluster head atau normal node. Penentuan cluster head, ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

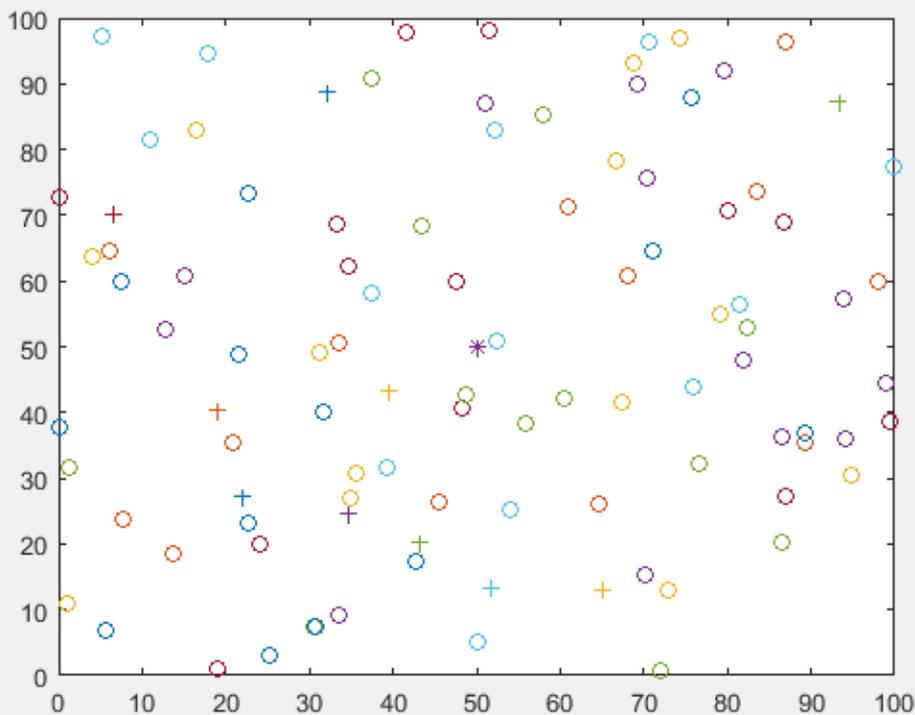
$$BC_i = \sum_{s \neq d} \frac{\sigma_{sd}(i)}{\sigma_{sd}}$$

Sentralitas node 1 adalah :

$$BC_1 = \sum_{s \neq d} \frac{\sigma_{1,2}(1)}{\sigma_{1,2}}$$

Sehingga,

$$BC_i = \sum_{s \neq d} \frac{\sigma_{sd}(1)}{\sigma_{sd}}$$



Gambar 5.2 Hasil penentuan *cluster head*

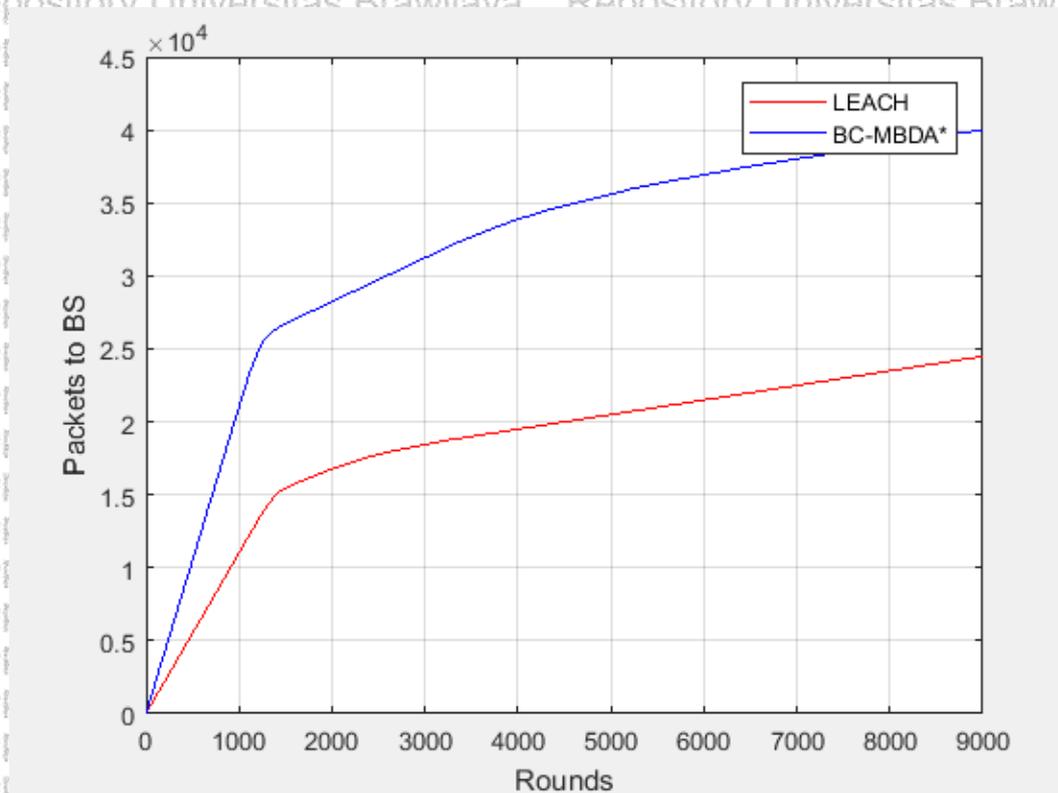
Pada Gambar 5.2 dapat dilihat bahwa sistem memberikan simbol 'o' untuk normal *node*, simbol '+' untuk *cluster head*, dan simbol '*' untuk *Base Station*.

5.3 Uji Performa *Routing Protocols*

5.3.1 *Throughput*

Pada tahap ini dilakukan pengujian performa *routing protocols* yang dirancang terhadap kemampuan dalam mengirimkan *packet data* ke *Base Station*. Proses pengujian dilakukan

dengan perulangan sebanyak 9000 *rounds*. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 5.3, secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 2.



Gambar 5.3 Hasil analisis *Throughput* ($r_{max}=9000$).

Pada Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa grafik menunjukkan kemampuan *routing protocol* yang dirancang lebih baik dalam menyampaikan *packet data* ke *Base Station*. Untuk mengevaluasi kinerja *throughput*, jumlah *packet data* yang diterima oleh *BS* dibandingkan dengan jumlah *packet* yang dikirim oleh *node* pada setiap putaran. Performa *throughput BC-MBDA** dapat ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 5.3.

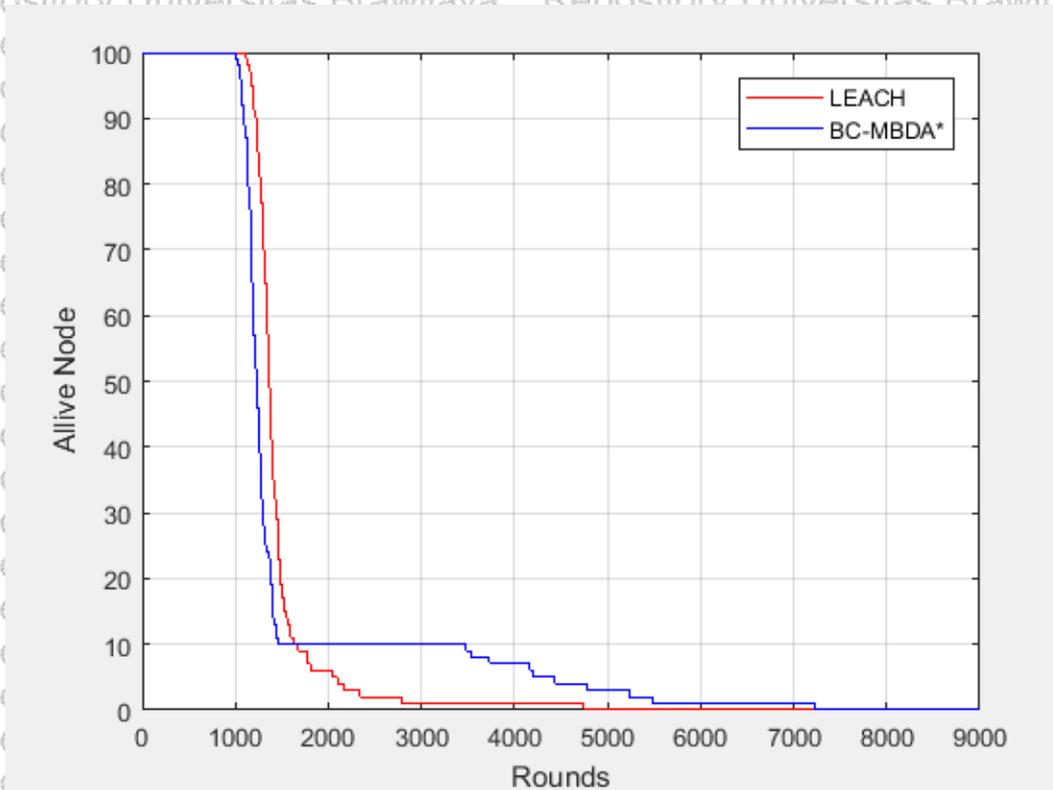
Grafik menunjukkan bahwa performa *throughput BC-MBDA** lebih baik 1,692883% daripada LEACH. Angka ini diperoleh dari persamaan 5.1.

$$\text{Performa Throughput} = \left(\frac{\text{Throughput BC-MBDA}^*}{\text{Throughput LEACH}} \times 100\% \right) \div 9000 \quad (5.1)$$

Hal ini dipengaruhi oleh kemampuan CH dalam menyampaikan *packet* ke *BS*. Apabila CH *overload*, sehingga mengakibatkan CH mati karena ketersediaan energi telah habis. Apabila CH mati maka *node* tidak akan dapat meneruskan paket ke *BS*. Hal ini mengakibatkan terganggunya kinerja sistem WSN.

5.3.2 Network Lifetime

Pengujian selanjutnya adalah pengujian keandalan *network lifetime* dari skema yang dirancang ditinjau dari banyaknya *node* aktif selama percobaan (dari putaran ke-1 hingga 9000). Kemampuan *routing protocols* dalam mengirimkan *packets data* ke *BS* berpengaruh terhadap masa hidup *node* dalam *wireless sensor network*. Pengujian dilakukan berulang sebanyak 9000 *rounds*.



Gambar 5.4 Hasil analisis *Network Lifetime* ($r_{max}=9000$).

Hasil pengujian dibandingkan dengan penelitian terdahulu (*LEACH*) dan hasilnya dihitung dengan menggunakan persamaan 5.2 ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 5.4, secara lengkap data dapat dilihat pada Lampiran 3.

$$\text{Performa Network Lifetime} = \left(\frac{\text{Network Lifetime BC-MBDA}^*}{\text{Network Lifetime Throughput LEACH}} \times 100\% \right) \div 9000 \quad (5.2)$$

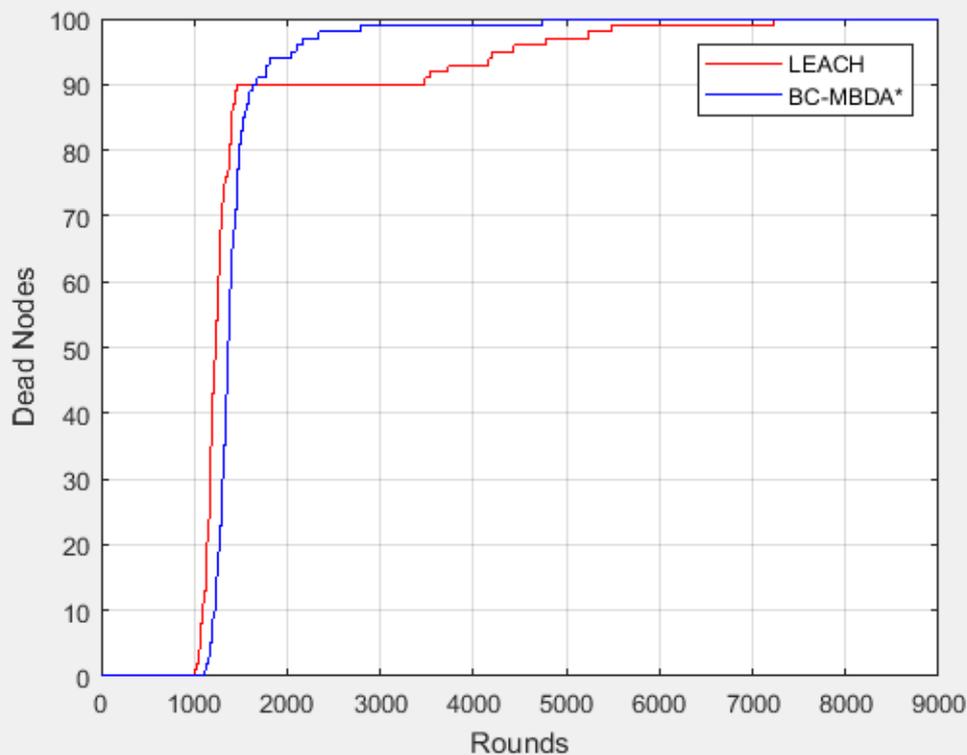
Gambar 5.4 menunjukkan grafik hasil simulasi performa *routing protocol* untuk mengukur performa masa hidup jaringan (*network lifetime*). Pada percobaan ini *node* akan mati setelah mengkonsumsi energi sebesar 0,5 Joule. Kemampuan BC-MBDA* menunjukkan *network lifetime* yang lebih baik 3,22473% daripada LEACH. Hal ini dipengaruhi oleh cara kerja LEACH yang selalu menggunakan *dynamic clustering* dalam setiap putaran yang

menggunakan fungsi probabilitas, yang tentunya akan berakibat pada penggunaan energi pada CH. Berbeda dengan LEACH, BC-MBDA* menggunakan strategi *dynamic clustering* dengan memperhatikan sisa energi pada setiap node yang ada pada jaringan. CH ditentukan pada fase awal. Hal ini akan mengurangi proses komputasi, sehingga penggunaan energi dapat dihemat.

5.3.3 Residual Energy

Pengujian terakhir adalah pengujian keandalan dari skema yang dirancang ditinjau dari *residual energy*. Hasil pengujian dibandingkan dengan penelitian terdahulu dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 5.5, secara lengkap data dapat dilihat pada Lampiran 4. Gambar 5.5 menunjukkan hasil analisis jumlah *node* yang mati dalam percobaan. Percobaan dilakukan sebanyak 9000 putaran, dengan energi awal 0,5 Joule/*node* dan penempatan node bersifat statis. Sehingga total energi dari 100 *node* adalah 50 Joule. Grafik menunjukkan bahwa BC-MBDA* lebih baik 0,879459% daripada LEACH, yang dihitung dengan menggunakan persamaan 5.3.

$$\text{Performa Residual Energy} = \left(\frac{\text{Residual Energy BC-MBDA}^*}{\text{Residual Energy LEACH}} \times 100\% \right) \div 9000 \quad (5.3)$$



Gambar 5.5 Hasil analisis *Residual Energy* ($r_{max}=9000$).

Hal ini dipengaruhi oleh kemampuan *node* dalam menyampaikan *packet* ke CH. Sistem menentukan CH secara dinamis, pada awal fase (Initial Phase), dengan aturan bahwa semua *node* boleh menjadi CH dan *node* yang pernah menjadi CH untuk proses selanjutnya tidak dipilih menjadi CH. Apabila semua *node* pada sudah pernah menjadi CH, maka system akan memilih CH berdasarkan sisa energi yang paling banyak untuk kemudian dipilih sebagai CH lagi. Penentuan CH yang pada awal fase yang bersifat dinamis ini mengurangi terjadinya penumpukan proses pada satu *node*, sehingga penggunaan energi tidak terpusat pada satu *node* saja (pemerataan energy). Terjadinya penumpukan proses mengakibatkan penggunaan energi berlebih pada *node* tersebut. Apabila energi pada masing-masing *node* habis, *packet* tidak akan dapat tersampaikan ke CH, dan tidak akan sampai ke BS sehingga data tidak akan sampai kepada *node* tujuan, maka sistem akan terganggu.

