

Analisa Efisiensi Energi Algoritma *Routing Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy* (LEACH) Pada *Wireless Sensor Network* (WSN) Menggunakan MATLAB

Ahmad Darbi*, Yusnita Rahayu, Linna Oktaviana Sari****

*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: ahmaddarbi91@gmail.com

ABSTRACT

Wireless sensor networks (WSN) consists of a large number of sensor nodes. It has been pervasive in various applications including health care system, battlefield surveillance system, environment monitoring system and so on. The main issues of WSN is about how to extend lifetime by reducing power consumption of sensor nodes. Since the most energy is used for transmitting and receiving packet, and replacing batteries as a main power source of sensor nodes are impossible due the location of sensor nodes that is hazardous, routing protocol become the best solution for minimize power consumption of sensor nodes. Many routing protocols have been proposed to increase lifetime of WSN. One of these protocols called LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy). LEACH is the first clustering based routing protocol, many researcher proposed new protocols and compared it's performance with LEACH. So, we decided to analyze LEACH using MATLAB. We found that LEACH can be more effective if more number of nodes in networks with the right number of cluster, more initial energy and if location of base station is near from the plan.

Keywords : Wireless Sensor Networks, LEACH, Lifetime

I. PENDAHULUAN

Wireless sensor networks (WSN) terdiri dari sejumlah *sensor nodes* yang tersebar di dalam area tertentu untuk dimonitor atau diamati kondisi parameter fisik tertentu di area tersebut [Abad dkk, 2011]. Sensor pada WSN memiliki kemampuan untuk *sensing, processing data* dan *wireless communication* [Anastasi dkk, 2008].

Karena berukuran sangat kecil, sensor pada WSN memiliki banyak keterbatasan baik dalam hal processor, memory dan power supply yang hanya berupa baterai. Namun harganya yang relatif murah, berukuran kecil dan mampu berkomunikasi secara nirkabel memungkinkan untuk membentuk suatu jaringan sensor yang besar terdiri dari ratusan bahkan ribuan sensor

dapat meningkatkan kualitas dan toleransi kesalahan pada penginderaan dalam jaringan [Heinzelman dkk, 2000].

Aplikasi untuk WSN berhubungan dengan pemantauan (*monitoring*), *tracking object* dan pengendalian (*control*). Tapi secara umum suatu WSN akan disebar pada daerah yang akan dipantau atau diambil datanya melalui *sensor nodes*. Kemudian data itu akan dikirimkan ke *base station* untuk dianalisa lebih lanjut [Fahri, 2009].

Sumber daya utama pada WSN adalah baterai yang memiliki jumlah energi terbatas. Sedangkan WSN, harus memiliki *lifetime* jaringan yang panjang untuk memenuhi persyaratan dalam pengukuran. Dalam beberapa kasus, dibutuhkan *lifetime* jaringan hingga beberapa bulan bahkan tahun [Anastasi dkk, 2008]. Oleh karena itu,

efisiensi penggunaan energi menjadi isu utama pada WSN [Chang dkk, 2012].

Beberapa pendekatan telah dilakukan untuk memperpanjang *lifetime* WSN, mulai dari teknik pengolahan data/informasi hasil pembacaan *sensor* menggunakan *mining data stream*, melakukan pengelompokan data pada *sensor node* berdasarkan *similarity* atau kedekatan data, dan algoritma pendistribusian data dari *sensor node* ke *base station* menggunakan algoritma *routing protocol* [Syarif dkk, 2011]. Karena penggunaan energi terbesar pada *sensor node* adalah saat melakukan pengiriman dan penerimaan data, jadi metoda yang paling efektif untuk meningkatkan *lifetime* dari WSN adalah menggunakan algoritma *routing protocol* [Abad dkk, 2011].

Banyak skema *routing* yang telah diterapkan untuk meningkatkan *lifetime* WSN, 3 diantaranya yang menjadi dasar pengembangan algoritma *routing* pada WSN adalah *direct communication*, *multihop*, dan *clustering*. Pada *direct communication*, setiap *sensor node* akan mengirimkan data hasil pengindraannya langsung ke *base station*, namun karena lokasi *base station* yang sangat jauh dari *sensor node*, menyebabkan *sensor* yang berada paling jauh dari *base station* akan menggunakan lebih banyak energi untuk mentransmisikan data dan lebih cepat kehabisan energi. Metoda ini tidak cukup efektif dalam meningkatkan *lifetime* jaringan. *Multihop protocol* akan memberikan efek yang serupa pada *sensor node* yang berada paling dekat dengan *base station*, karena pada *multihop* data akan ditransmisikan melewati *intermediate node* yang akan bertindak sebagai *router* bagi *node* yang lain. Dengan begitu dapat dilihat bahwa *node* terdekat dengan *base station* akan lebih cepat kehabisan energi, karena mentransmisikan lebih banyak data yang merupakan akumulasi data dari *sensor* yang lokasinya lebih jauh. Berikutnya adalah *clustering*,

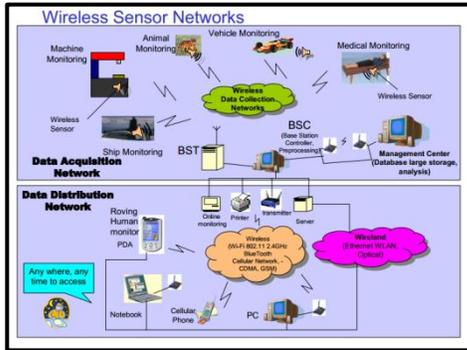
pada protokol ini *sensor node* akan dikelompokkan ke dalam kluster dengan salah satu *node* menjadi *cluster head* yang bertugas untuk mengumpulkan data dari anggota klusternya untuk kemudian dikirimkan ke *base station*. Protokol ini dinilai paling efektif untuk meningkatkan *lifetime* jaringan, sehingga banyak algoritma *routing* yang dikembangkan berdasarkan metoda *clustering* ini [Abad, 2011].

Algoritma pertama yang dikembangkan adalah LEACH (*low energy adaptive clustering hierarchy*). LEACH melakukan rotasi terhadap *cluster head* yang pemilihannya dilakukan secara acak [Heinzelman dkk, 2000]. Karena sifatnya yang acak distribusi *cluster head* menjadi tidak seragam, menyebabkan beberapa *nodes* berada pada jarak yang terlalu jauh dengan *cluster head*. Maka kemudian dikembangkan LEACH-Centralized (LEACH-C). Pada LEACH-C, *base station* ikut berperan dalam penentuan *cluster head* dengan memperhatikan posisi *node* dan sisa energinya. Berikutnya [Mao Ye dkk, 2005], mengembangkan protokol *Energy Efficient Clustering Scheme* (EECS) yang dapat meningkatkan *lifetime* jaringan hingga 135% dari LEACH.

Karena algoritma LEACH adalah algoritma *clustering based* yang pertama dikembangkan serta banyak algoritma lain dikembangkan berdasar LEACH. Maka pada penelitian ini akan dianalisa protokol *routing* LEACH menggunakan MATLAB.

Arsitektur WSN

Terdapat 2 macam *node* dalam *wireless sensor network* yaitu *sensor node* dan *sink node*. *Sensor node* berfungsi sebagai sumber data karena bertugas untuk melakukan penginderaan pada parameter fisik di *plan*, sedangkan *sink node* bertugas untuk mengumpulkan dan mengirimkan data ke perangkat atau sistem lain.



Gambar 1. Arsitektur WSN

Pada gambar 2.1 dapat kita lihat bahwa arsitektur *wireless sensor network* terdiri dari *data acquisition* dan *data distribution network*. *Sink node* dan *sensor node* terdapat pada *data acquisition network* yang digunakan untuk mengumpulkan data penginderaan. Data tersebut akan diakses oleh *user* untuk kemudian dilakukan *monitoring* dan pengontrolan data sebagai fungsi dari *data distribution network* [Rohman dkk, 2013].

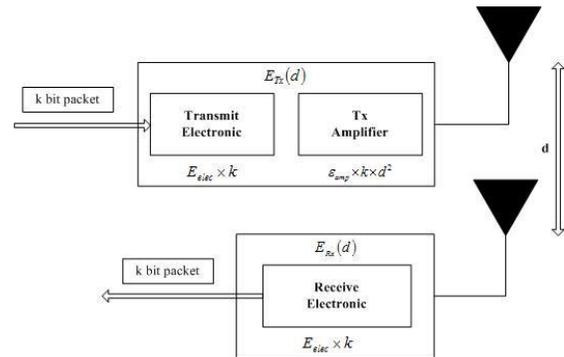
IEEE 802.15.4

Standar yang digunakan pada WSN adalah IEEE 802.15.4. Standar ini mengatur penggunaan frekuensi untuk aplikasi WSN pada *band ISM* yaitu 868 MHz untuk kawasan Eropa, 915 MHz Amerika dan 2,4 GHz global. Dengan *data rate* untuk masing-masing band berturut-turut adalah 20 kbps, 40 kbps dan 250 kbps. Serta menggunakan teknologi *direct spread sequence spectrum (DSSS)* dalam pengiriman data agar lebih kebal terhadap *noise* [Ergen, 2004].

First Order Radio Model

Konsumsi energi terbesar pada WSN adalah pada saat pengiriman data dari *sensor* ke *sink node* dalam hal ini adalah *base station*. Energi yang digunakan berbanding lurus dengan jarak sensor ke BS, semakin jauh BS maka energi yang dibutuhkan untuk mengirim data akan semakin besar. Berikut

adalah bentuk komunikasi radio sederhana yang disebut *First Order Radio Model*.



Gambar 2. First Order Radio Model

Jika jarak pengirim dan penerima d dan panjang paket data l , maka energi yang digunakan untuk mengirim data dapat dihitung dengan persamaan berikut [Heinzelman dkk, 2000] :

$$E_{TX}(d) = (E_{elec} \times l) + (\epsilon_{amp} \times l \times d^2) \quad (1)$$

Dan untuk menerima data :

$$E_{RX} = E_{elec} \times l \quad (2)$$

E_{elec} pada persamaan 1 dan 2 adalah energi yang digunakan untuk mengoperasikan *circuit* pada perangkat radio dari *sensor nodes*, sedangkan E_{amp} adalah energi untuk memperkuat sinyal informasi agar sinyal yang sampai pada penerima masih memenuhi nilai minimum yang menjadi batas penerimaan sinyal informasi pada *receiver* atau disebut sensitivitas penerima.

Nilai E_{elec} dan E_{amp} bergantung kepada nilai beberapa parameter antenna yaitu : panjang gelombang pengirim (λ), penguatan (G), *bit rate* (R_b), tinggi antenna (h) dan sensitivitas penerima.

Panjang Gelombang Pengirim (λ)

Panjang gelombang didefinisikan sebagai jarak yang ditempuh oleh 1 bukit

dan 1 lembah dari gelombang elektromagnetik. Dan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3)$$

Dengan f adalah frekuensi kerja gelombang dan c cepat rambat gelombang diudara ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$).

Bit Rate (Rb)

Didefinisikan sebagai laju pengiriman data setiap detik dengan satuan bit per detik.

Penguatan (G)

Merupakan perbandingan daya pada antenna dengan daya pada antenna isotropis. Penguatan (*gain*) biasanya memiliki satuan turunan dari decibel (dB) yaitu dBi. Oleh karena itu, di dalam perhitungan ini dBi harus dikonversi terlebih dahulu menggunakan persamaan berikut :

$$A_p = 10^{\frac{G}{10}} \quad (4)$$

Tinggi Antena (h)

Tinggi antenna didefinisikan sebagai jarak yang diambil dari dasar (tanah) ke antenna.

Sensitivitas Penerima (S)

Antena pada sisi penerima memiliki kemampuan untuk menangkap sinyal yang berada dalam frekuensi kerjanya. Beberapa dari sinyal itu akan didefinisikan sebagai derau. Sinyal dianggap sebagai informasi jika memiliki daya sama atau lebih besar dari nilai ambang batas penerimaan dari *receiver* atau dikenal dengan istilah sensitivitas penerima. Sensitivitas pada umumnya dinyatakan dalam dBm, sehingga untuk merubah kedalam satuan Watt digunakan persamaan berikut.

$$S_{watt} = 10^{\frac{S_{dBm} - 30}{10}} \quad (5)$$

Electronic Energy (E_{elec})

Energi yang digunakan untuk mengoperasikan *circuit* elektronik pada sisi pengirim maupun penerima dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$E_{elec} = \frac{V \times I}{R_b} \quad (6)$$

V dan I pada persamaan 6 merupakan tegangan dan arus untuk mengoperasikan *circuit*.

Amplify Energy (E_{amp})

Gelombang elektromagnetik dapat dipropagasikan dengan 2 cara pada medium udara yaitu, secara *free space loss* dan *multipath*. Jika antenna pengirim dan penerima berada pada kondisi LOS (*Line of Sight*) dimana diantara kedua antenna tidak terdapat penghalang, maka sinyal dipropagasikan secara *free space loss*. Energi amplifikasi untuk *free space loss* adalah sebagai berikut :

$$\epsilon_{fs} = \frac{S \times (4\pi)^2}{R_b \times G_t \times G_r \times \lambda^2} \quad (7)$$

Sedangkan jika terdapat penghalang di antaranya, maka sinyal akan dipantulkan dan dibelokkan terlebih dahulu sebelum sampai ke penerima. Pola seperti ini disebut *multipath* dan energi amplifikasi yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\epsilon_{mp} = \frac{S}{R_b \times G_t \times G_r \times h_t^2 \times h_r^2} \quad (8)$$

Untuk membedakan penggunaan kedua energi di atas maka pada skripsi ini

akan digunakan parameter jarak (d_c) yang dihitung sebagai berikut :

$$d_c = \sqrt{\frac{\epsilon_{friss}}{\epsilon_{mp}}} \quad (9)$$

Jika jarak pengirim dan penerima lebih kecil atau sama dengan d_c ($d \leq d_c$) sinyal dipropagasikan *free space loss*, sebaliknya dipropagasikan secara *multipath* ($d > d_c$).

Algoritma Routing LEACH

LEACH merupakan salah satu *routing protocol* yang digunakan pada jaringan sensor nirkabel (WSN). 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 .

$$T_n(t) = \begin{cases} \frac{k}{N-k \times \text{mod}\left(r, \frac{N}{k}\right)}, & G(t)=0 \\ 0, & G(t)=1 \end{cases} \quad (10)$$

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 berikut :

$$k = p \times n \quad (11)$$

Dengan begitu persamaan 10 dapat disederhanakan menjadi :

$$T_n = \frac{p}{1 - p \times \text{mod}\left(r, \frac{1}{p}\right)} \quad (12)$$

II. METODOLOGI PENELITIAN

Menentukan Karakteristik Sensor

Pada skripsi ini karakteristik sensor yang digunakan akan mengikuti standar IEEE 802.15.4. Tabel berikut akan menyajikan karakteristik yang digunakan :

Tabel 1. Parameter Sensor

Parameter	Nilai
Frekuensi	2,4 GHz
Sensitivitas	-100 dBm
Bit Rate	250 Kbps
Arus	15 mA
Tegangan	3,3 V
Gain	2 dBi
Tinggi Antena	0,5 m

Menentukan Energi

Perhitungan energi pada skripsi ini meliputi energi elektronik dan energi amplifikasi data. Untuk itu perlu diketahui terlebih dahulu panjang gelombang dari sinyal elektromagnetik. Berdasarkan data frekuensi kerja dari tabel 1, panjang gelombang dapat dicari menggunakan persamaan 3 :

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{2,4 \times 10^9} = 0,125 \text{ m} \quad (13)$$

Selanjutnya gunakan persamaan 6 untuk mendapatkan nilai dari E_{elec} :

$$E_{elec} = \frac{3,3 \times 15 \times 10^{-3}}{250 \times 10^3} = 0,2 \text{ } \mu\text{J} / \text{bit} \quad (14)$$

Sedangkan untuk mendapatkan E_{amp} , parameter sensitivitas penerima dan gain harus dikonversi dahulu menggunakan persamaan 4 dan 5 :

$$A_p = 10^{\frac{2}{10}} = 1,6 \quad (15)$$

$$S_{watt} = 10^{\frac{-100}{10}-3} = 0,1 \text{ pW} \quad (16)$$

Kemudian gunakan persamaan 7 dan 8 untuk mendapatkan energi amplifikasi pada pola propagasi *free space loss* dan *multipath*.

$$\epsilon_{fs} = \frac{0,1 \times 10^{-12} \times (4\pi)^2}{250 \times 10^3 \times 1,6 \times 1,6 \times 0,125^2}$$

$$\epsilon_{fs} = 1,5 \times 10^{-3} \text{ pJ / bit / m}^2 \quad (17)$$

$$\epsilon_{mp} = \frac{0,1 \times 10^{-12}}{250 \times 10^3 \times 1,6 \times 1,6 \times 0,5^2 \times 0,5^2}$$

$$\epsilon_{mp} = 2,5 \times 10^{-6} \text{ pJ / bit / m}^4 \quad (18)$$

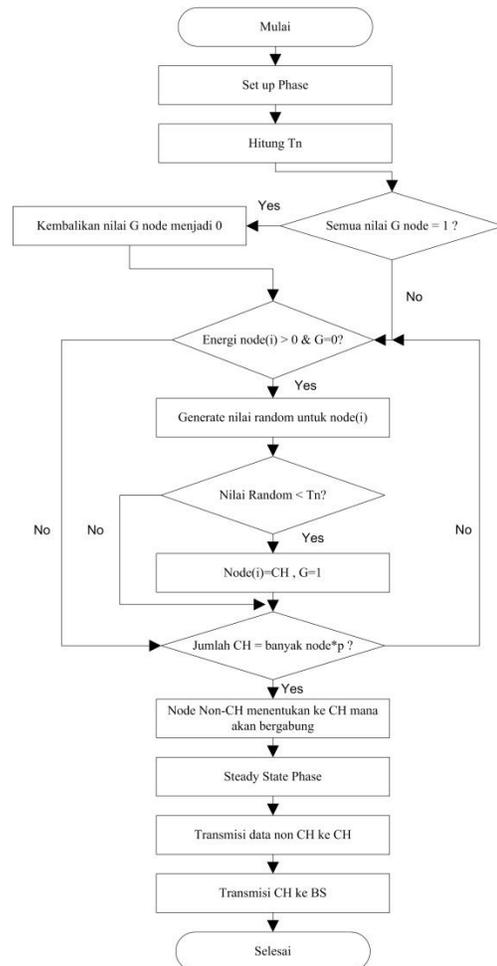
Setelah mendapatkan E_{fs} dan E_{mp} , langkah selanjutnya adalah menentukan parameter jarak d_c untuk membedakan penggunaan kedua energi amplifikasi tersebut.

$$d_c = \sqrt{\frac{1,5 \times 10^{-15}}{2,5 \times 10^{-18}}} = 24,5 \text{ m} \quad (19)$$

Pemodelan WSN dan protokol LEACH

Jaringan WSN dan protokol LEACH yang akan diaplikasikan pada skripsi ini dirancang menggunakan MATLAB. *Sensor nodes* akan disebar secara acak di dalam *plan* berbentuk segi empat dengan luas $100 \times 100 \text{ m}^2$. Kemudian untuk penerapan algoritma routing LEACH akan mengikuti

diagram alir pada gambar 3.. Diawali dengan penentuan *node* yang menjadi *cluster head* dengan T_n bersesuaian untuk probabilitas 0,06 dan ronde yang telah dilewati. Kemudian anggota *cluster* ditentukan dengan jarak dari setiap *cluster head*, dan bergabung dengan *cluster head* yang memiliki jarak paling minimum. Selanjutnya transmisi data dilakukan dari anggota ke *cluster head* untuk kemudian dilanjutkan dari *cluster head* ke *base station*.



Gambar 3. Diagram alir perancangan LEACH

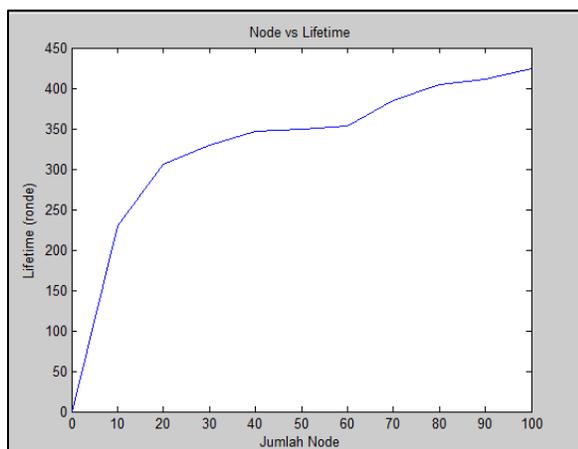
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada skripsi ini akan dianalisa kemampuan algoritma LEACH dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi di dalam jaringan yang secara tidak

langsung akan memperpanjang *lifetime* dari jaringan tersebut. Untuk itu akan diterapkan beberapa skenario pada WSN yaitu : meningkatkan jumlah *nodes* dari 10 hingga 100 *nodes* di dalam jaringan dengan peningkatan 10 *nodes* pada setiap skenarionya, meningkatkan energi awal *nodes* dari 0,25 J hingga 1J dengan *increment* 0,25 J dan melakukan serangkaian variasi terhadap posisi *base station*.

Pengaruh Variasi Jumlah Nodes Terhadap Lifetime Jaringan

Pada gambar 4 yang menunjukkan hubungan antara jumlah *nodes* dan *lifetime* jaringan sensor nirkabel, tampak jika semakin banyak jumlah *nodes* di dalam suatu *plan* dengan luas tetap maka *lifetime* jaringan akan bertambah. Ini terjadi karena kerapatan *nodes* meningkat yang artinya jarak rata-rata antar *nodes* akan berkurang. Sehingga pada algoritma LEACH kluster yang terbentuk akan lebih baik dengan masing-masing anggota kluster berada tidak jauh dari *cluster head*, ini berimplikasi pada pengurangan energi yang dibutuhkan untuk mentransmisikan data sehingga dengan begitu akan memperpanjang *lifetime* dari jaringan itu sendiri.



Gambar 4. Jumlah *nodes* VS *Lifetime* Jaringan

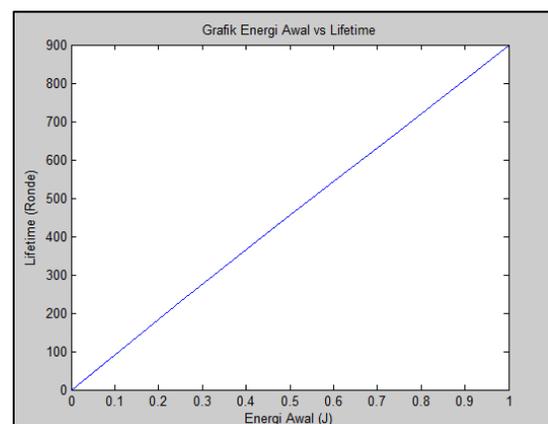
Tabel 2 memaparkan nilai *lifetime* dari setiap skenario jumlah nodes di dalam jaringan. *Lifetime* paling tinggi terdapat pada jumlah *nodes* 100, sedangkan yang paling rendah berada pada jumlah *nodes*

Tabel 2. Pengaruh *lifetime* jaringan terhadap jumlah node

Jumlah node	Lifetime	Jumlah node	Lifetime
10	229	60	353
20	306	70	385
30	329	80	405
40	347	90	411
50	349	100	425

Pengaruh Pertambahan Energi Awal Terhadap Lifetime Jaringan

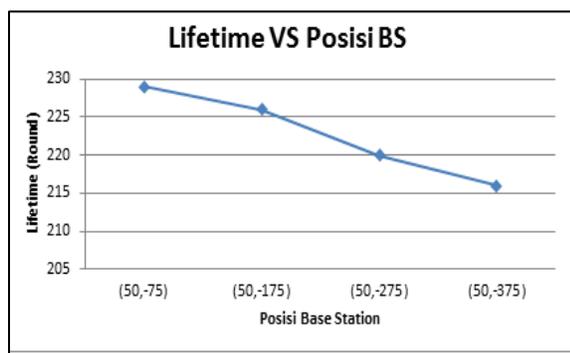
Semakin besar energi awal, maka akan semakin lama *lifetime* sebuah jaringan. Ini terlihat jelas pada gambar 5 yang memperlihatkan hubungan yang linier antara energi awal dengan *lifetime* jaringan. Jika diasumsikan penggunaan energi setiap rondonya adalah tetap, maka jika energi awal dinaikkan menjadi 2 kali semula, maka *lifetime* pun akan bertambah menjadi 2 kalinya dan begitu seterusnya.



Gambar 5. Grafik energi awal VS *lifetime*

Pengaruh Posisi Base Station Terhadap lifetime Jaringan

Pada algoritma LEACH transmisi data akan dilakukan dalam 2 tahap. Diawali dengan pengiriman data dari setiap anggota kluster kepada *cluster head*, kemudian dilanjutkan dari *cluster head* ke *base station*. Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin jauh lokasi *base station* maka akan semakin berkurang *lifetime* jaringan. Ini berkaitan dengan energi yang dibutuhkan oleh *sensor nodes* untuk mengamplifikasi sinyal.



Gambar 6. Grafik posisi BS vs *lifetime*

Semakin jauh *base station* dari area *monitoring* atau *plan*, maka akan semakin besar energi yang dibutuhkan untuk mentransmisikan data.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil analisa menunjukkan bahwa efisiensi energi pada *wireless sensor networks* (WSN) yang menerapkan *routing protocol* LEACH berpengaruh terhadap jumlah *nodes*, energi awal dan jarak *base station*. *Lifetime* akan bertambah jika jumlah *nodes* dalam jaringan lebih banyak, energi awal lebih besar dan jarak *base station* dari *plan* lebih dekat.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat melibatkan lebih banyak *sensor nodes* lagi untuk lebih mencerminkan skalabilitas dari algoritma *routing* LEACH. Kemudian juga

dapat melakukan perbandingan dengan algoritma lain dan menggunakan standar WSN yang berbeda.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada ibu Dr. Yusnita Rahayu, ST., MT dan ibu Linna Oktaviana Sari ST., MT selaku pembimbing yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama penelitian ini. Terima kasih kepada kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama ini. Terima kasih kepada para sahabat Nithron dan rekan-rekan Teknik Elektro Angkatan 2009 yang telah banyak membantu penulis dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abad, M.F.K. & Jamali, M.A.J. (2011). Modify LEACH Algorithm for Wireless Sensor Network. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 8, Issue 5, No 1.
- Anastasi, G., Conti, M., Francesco, M.D. & Passarella, A. (2008). *Energy Conservation in Wireless Sensor Networks : A Survey*.
- Arrozaqi, U.A., Santoso, T.B., & Kristalina, P. (2011). *Simulasi Routing Protokol Pada Jaringan Sensor Nirkabel Dengan Menggunakan Metode Cluster Based*. Jurusan Teknik Telekomunikasi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Chang, J.Y., & Ju, P.H. (2012). An efficient cluster-based power saving scheme for wireless sensor networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*.
- Ergen, Sinem Coleri. (2004). *Zigbee/IEEE 802.15.4 Summary*.
- Fahri, Ridwan. (2009). *Studi Kinerja Protokol Routing On-Demand pada*

- Wireless Ad-Hoc Network Menggunakan Network Simulator-2*. Department of Electrical Engineering, Institut Teknologi Bandung.
- Geetha, V., Kallapur, P.V., & Tellajeera, S. (2012). *Clustering in Wireless Sensor Networks: Performance Comparison of LEACH & LEACH-C Protocols Using NS2*.
- Heinzelman, W.R., Chandrakasan, A., & Balakrishnan, H. (2000). Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. *Proc 33rd Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 1–10).
- Mao Ye, Chengfa Li, Guihai Chen, & Jie Wu. (2005). *EECS: An Energy Efficient Clustering Scheme in Wireless Sensor Networks*.
- Syarif, M.I., Djanali, S., & Shiddiqi, A.M. (2011). Resource Aware Data Stream dan Frequent Item Dengan Distance Vector Routing Pada Wireless Sensor Networks. *Seminar Nasional Pasca Sarjana XI ITS*. Surabaya.
- Rohman, M. dan Wirawan. (2013). Pemodelan Lapisan Fisik untuk Efisiensi Energi pada Jaringan Sensor Nirkabel. *Seminar Nasional Teknik Informatika*. Surabaya.
- Romandi, Hary. (2008). *Perancangan dan Realisasi Demodulator Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)*. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Komputer Indonesia.