

Analisis Performansi LEACH-C pada Wireless Sensor Network

Latifah Zain Nur Aini¹, Syaiful Ikhwan², Jafaruddin Gusti Amri Ginting³

^{1,2,3}Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi, Institut Teknologi Telkom Purwokerto

Email : 17101021@ittelkom-pwt.ac.id

Article Information

Article history

Received 5 May 2023

Revised 5 June 2023

Accepted 20 June 2023

Available 30 June 2023

Keywords

Wireless Sensor Network
LEACH-C
Clustering
Sensor node

Corresponding Author:

Latifah Zain Nur Aini,
Institut Teknologi Telkom
Purwokerto,
Email : 17101021@ittelkom-pwt.ac.id

Abstract

Wireless Sensor Network (WSN) is a wireless network infrastructure that requires sensor nodes to process information and communicate. Small sensor nodes generally use batteries as their energy source, causing sensor nodes to have limited power, therefore energy efficiency is needed to extend network life. The solution to overcome these problems is by using the clustering method. In this study the cluster-based routing algorithm used is LEACH-C which can function to allocate overall energy consumption between sensor nodes. In this study, LEACH-C divides the network into several clusters, each of which has a cluster head (CH). cluster head is performed at the base station based on the average energy size of all nodes. The research simulation uses a scenario of changing nodes 50, 100, and 150. The simulation results show that the number of nodes affects the value of energy consumption, the number of data packets received, and the number of packet losses.

Keywords : *Wireless Sensor Network, LEACH-C, Clustering, Sensor node*

Abstrak

Wireless Sensor Network (WSN) merupakan suatu infrastruktur jaringan nirkabel yang memerlukan *node* sensor untuk memproses informasi dan berkomunikasi. Node sensor yang berukuran kecil umumnya menggunakan baterai sebagai sumber energinya, menjadikan *node* sensor memiliki daya yang terbatas, oleh karena itu efisiensi energi yang dibutuhkan untuk memperpanjang masa pakai jaringan. Solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu dengan penggunaan metode *clustering*. Pada penelitian ini algoritma *routing* berbasis *cluster* yang digunakan adalah LEACH-C yang dapat berfungsi untuk mengalokasikan konsumsi energi secara menyeluruh antar *node* sensor. Dalam penelitian ini, LEACH-C membagi jaringan menjadi beberapa *cluster* yang didalamnya masing-masing memiliki *cluster head* (CH). *cluster head* dilakukan pada base station berdasarkan besarnya energi rata-rata dari seluruh *node*. Pada simulasi penelitian menggunakan skenario pengubahan *node* 50, 100, dan 150. Hasil simulasi menunjukkan bahwa banyaknya *node* mempengaruhi nilai konsumsi energi, banyak paket data yang diterima, dan banyak packet loss.

Kata Kunci : *Wireless Sensor Network, LEACH-C, Clustering, Sensor node*

Copyright©2023 Latifah Zain Nur A, Syariful Ikhwan, Jafaruddin Gusti A. G
This is an open access article under the [CC-BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license.



1. Pendahuluan

Wireless Sensor Network merupakan jaringan infrastruktur yang membutuhkan *node* sensor untuk berkomunikasi. Sensor *node* menggunakan radio nirkabel untuk terhubung tidak hanya satu sama lain, tetapi juga dengan *base station* (BS), yang memungkinkan sensor *node* mengirim data sensor ke sistem pemrosesan, visualisasi, analisis, dan penyimpanan jarak jauh. Kendala yang berkaitan dengan arsitektur jaringan sensor adalah bahwa *node* sensor memiliki anggaran energi yang terbatas. Sensor *node* biasanya diberi daya oleh baterai yang harus diganti atau diisi ulang saat hampir habis. Untuk beberapa *node*, tidak ada alternatif yang sesuai, dan sensor *node* akan dibuang setelah sumber energinya habis. Kemampuan baterai untuk diisi ulang memiliki dampak yang cukup besar terhadap strategi konsumsi energi (W. Dargie and C. Poellabauer, 2010).

Protokol perutean mengacu pada metode penentuan jalur dari *node* sumber ke *node* tujuan. Protokol perutean memiliki dampak signifikan pada waktu hidup dan efisiensi jaringan. Tujuan utama dari protokol *routing* adalah untuk meningkatkan efisiensi dan masa hidup jaringan (A. Khamiss, 2015). Salah satu pendekatan *routing* yang bertujuan untuk efisiensi energi pada *node* sensor WSN adalah secara hirarkis yaitu dengan mengikutsertakan *node* dalam komunikasi *cluster* (Al-Shaikh, Khattab, & Al-Sharaeh, 2018). LEACH atau *Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy* merupakan algoritma berbasis *cluster* yang dapat digunakan untuk mengurangi konsumsi daya. Sistem *clustering* pada LEACH yaitu dengan membagi tiap *node* ke dalam sebuah *cluster* yang memiliki *cluster-head* (CH) sebagai ketuanya (Syukri, Rakhmatsyah, & Prabowo, 2017). Algoritma LEACH memiliki beberapa modifikasi, salah satunya *Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy-Centralized* (LEACH-C). Algoritma LEACH-C adalah algoritma protokol *routing* berbasis *cluster* yang terpusat. Keunggulan LEACH-C yaitu dapat mengalokasikan konsumsi energi secara menyeluruh antar *node* sensor dengan menempatkan CH ke pusat *cluster* (Al-Shaikh, Khattab, & Al-Sharaeh, 2018).

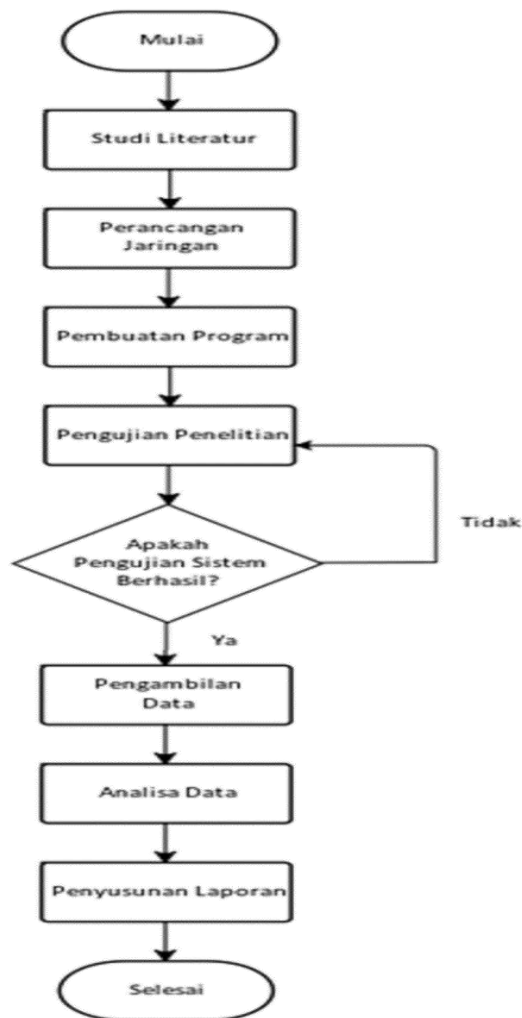
2. Kajian Terdahulu

Penelitian (Al-Shaikh, Khattab, & Al-Sharaeh, 2018) menjelaskan bahwa penelitian algoritma LEACH dan LEACH-C hanya sebatas analisa penggunaan energi, pengiriman packet data, dan dead node yang dihasilkan oleh simulasi. Pada penelitian performansi jaringan dibutuhkan analisi *quality of service* agar dapat mengukur kualitas jaringan, dan memberikan layanan koneksi yang baik. Berdasarkan latar belakang penelitian sebelumnya, maka penelitian ini berjudul “Analisis Performansi Algoritma Leach-C Pada *Wireless Sensor Network*”. Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan memberikan pengetahuan lebih mengenai analisa mendalam seperti packet

loss dan analisis penyebaran node yang disebabkan algoritma LEACH-C pada jaringan WSN.

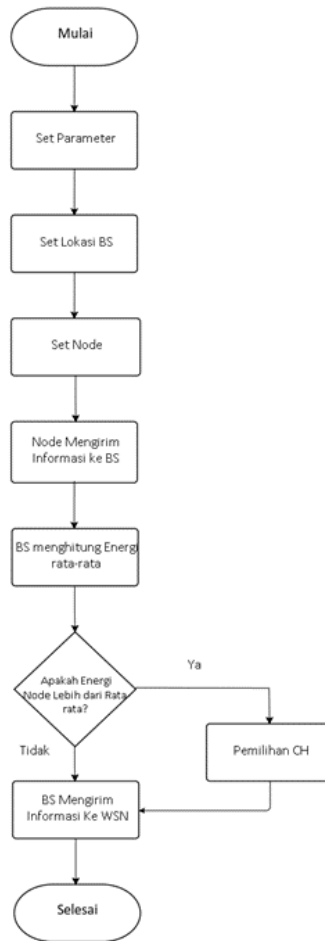
3. Metodologi Penelitian

Alur penelitian ini dilakukan dalam beberapa langkah yang dimulai dengan studi literatur dari topik penelitian yang diambil, melakukan perancangan jaringan, sampai dengan tahapan terakhir yaitu penyusunan laporan, langkah-langkah tersebut diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Algoritma *LEACH-C* pada Gambar 2 menunjukkan *flowchart* simulasi dari algoritma *LEACH-C*.



Gambar 2. Diagram Alir Algoritma *LEACH-C*

Tabel 1 menunjukkan parameter yang digunakan pada simulasi ini. Dalam penentuan parameter *LEACH-C* ditinjau dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya.

Tabel 1. Parameter Simulasi

No.	Parameter	Keterangan
1	Jumlah <i>node</i>	a. 50 <i>node</i> b. 100 <i>node</i> c. 150 <i>node</i>
2	Dimensi area	100 x 100 m

No.	Parameter	Keterangan
3	Lokasi <i>base station</i>	(50,50)
4	Energi awal	0.2 Joule
5	Efs	10 pJ/bit/m ²
6	Eamp	0.0013 pJ/bit/m ⁴
7	Bit Rate	1 Mbps
8	k	2000 bits
9	Eelec	50 nJ/bit
10	EDA	5 nJ/bit
11	Round	100
12	p	0,1

Pemilihan Cluster Head (CH)

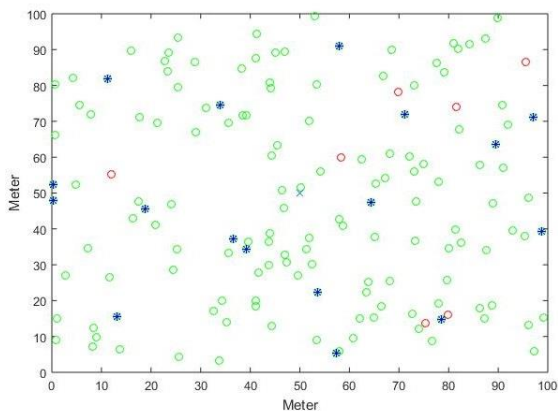
Dalam proses ini, BS akan menerima informasi dari *node* sensor yang, berupa posisi dan energi sisa dari *node*. Setelah semua *node* data telah diterima oleh BS, BS akan melakukan proses pemilihan *cluster head* dengan cara menghitung energi rata-rata sisa jaringan. Apabila energi sisa dari *node* sensor lebih tinggi dari energi rata-rata jaringan, maka *node* sensor telah memenuhi syarat untuk menjadi *cluster head* pada putaran ini. Tabel 2 menunjukkan jumlah CH yang didapatkan pada setiap *node* simulasi.

Tabel 2. Jumlah CH pada Penelitian LEACH-C

<i>Node</i>	<i>Cluster Head</i>
50	<i>Random</i>
100	<i>Random</i>
150	<i>Random</i>

Penyebaran Node

Penyebaran *node* dilakukan secara *random* pada area pengamatan seluas 100 x 100 meter dengan *base station* yang diletakan di titik koordinat (50,50). Karena persebaran *node* yang acak mengakibatkan posisi CH juga tersebar secara acak dimana bulatan hitam pada Gambar 3 menunjukan *node* tersebut berfungsi sebagai CH.



Gambar 3. Persebaran *Node* LEACH-C

Pengiriman Data

Pada pengiriman data, sebuah cluster dapat mengimplementasikan dua jenis transmisi. Jenis pertama adalah lalu lintas antar cluster yaitu transmisi antara CH dan anggota cluster. jenis kedua yaitu lalu lintas di luar cluster yaitu transmisi antara CH dengan BS. Dalam protokol LEACH-C, transmisi antara CH dan anggota cluster dilakukan oleh *node* yang berdekatan dengan CH, apabila cluster sudah terbentuk dan CH telah dipilih, *node* sensor siap mengirim data ke CH. Pada transmisi antara CH dengan BS, apabila CH sudah menerima data yang telah dikirimkan oleh *node* sensor, selanjutnya CH akan mengirimkan data tersebut ke BS. Energi yang dikonsumsi oleh CH akan lebih cepat terkuras karena CH harus meneruskan sejumlah besar data yang dikirim dari *node* sensor dan data akuisisinya sendiri.

Skenario Pengujian

Node sensor yang digunakan pada simulasi jaringan ini bersifat homogen. *Node* sensor memiliki energi awal yang sama yaitu 0,2 joule. *Node* sebanyak 50, 100, dan 150 didistribusikan di area sensor dengan luas 100 x 100. *Node* ditempatkan secara acak dengan masing masing memiliki koordinat (x,y). *Base Station* (*sink*) dipusatkan di bidang sensor pada titik (50,50).

Pengujian Konsumsi Energi

Untuk pengujian konsumsi energi menganalisa perubahan besarnya sisa energi pada 100 *round*, dengan melihat total energi awal pada masing-masing *node* penelitian dan melihat jumlah energi sisa pada *round* ke 100 untuk masing-masing *node* penelitian. Seperti yang terlihat pada tabel 3 merupakan sampel energi total pada *round* awal hingga akhir pada 150 *node*, dimana jumlah *round* terdiri dari *round* 1 dengan total energi 30.1522 joule hingga *round* 100 dengan total energi 25.1303 joule. Energi total

didapatkan dengan jumlah energi total dari seluruh node yang dihitung ketika simulasi telah selesai di aplikasi Matlab.

Tabel 3. Sampel total energi dari *round* awal hingga akhir

Round ke-	Energi total (E total) Joule
1	30.1522
2	30.1052
3	30.0230
4	29.9749
5	29.9145
...	...
96	25.2966
97	25.2641
98	25.2167
99	25.1792
100	25.1303

Pengujian Paket Yang Diterima

Analisis yang dilakukan pada pengujian paket yang diterima yaitu melihat banyaknya total paket yang dikirim pada *node* 50, 100 dan 150 yang dilakukan selama 100 *round*. Apabila simulasi telah dilakukan maka akan mendapatkan nilai paket yang dikirim pada masing-masing *round*, kemudian paket tersebut di jumlahkan sebanyak 100 *round*. Sampel pengujian paket yang terkirim dapat dilihat pada Tabel 4, pada 50 node dari round 95 hingga round 100 didapat 50 paket yang terkirim setiap roundnya.

Tabel 4. Sampel Paket Yang Terkirim pada Node 50

Round ke-	Banyak paket
95	50
96	50
97	50
98	50
99	50
100	50

Pengujian Packet Loss

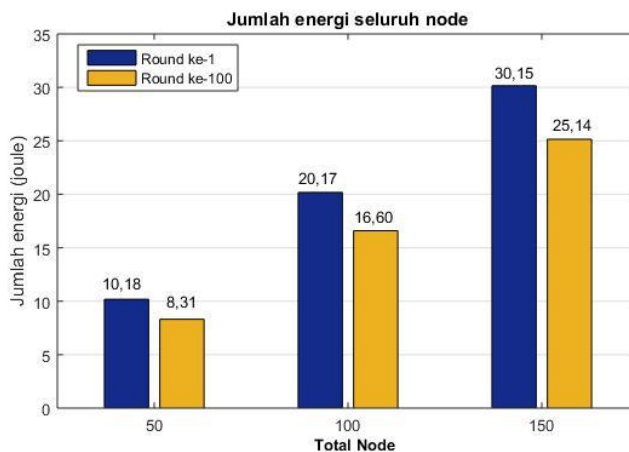
Packet loss merupakan perbandingan paket yang hilang dengan paket yang dikirim. Skenario untuk pengujian *packet loss* yaitu menghitung banyaknya paket data yang hilang pada *node* 50, 100, dan 150 selama 100 *round* pada saat simulasi dilakukan. Rumus untuk menghitung *packet loss* dapat dilihat pada persamaan (1) (Yanto, 2013).

$$\text{packet loss} = \frac{\text{paket dikirim} - \text{paket diterima}}{\text{paket dikirim}} \times 100\%$$

4. Hasil dan Pembahasan

A. Analisis Total Energi

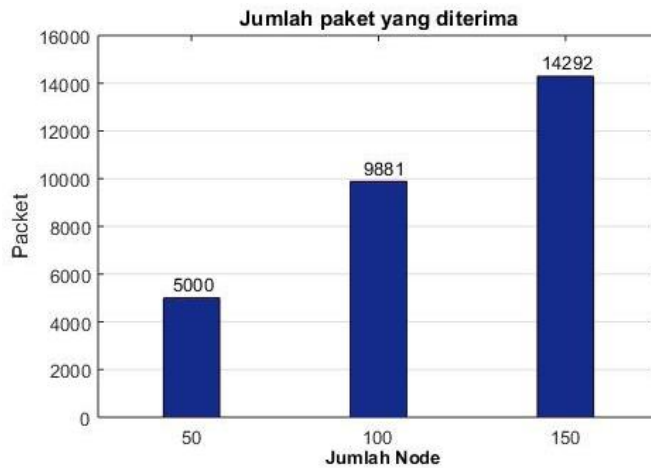
Pada gambar 4 dapat dilihat dimana total energi yang dimiliki untuk jumlah node terkecil yaitu 50 node sebesar 10,18 joule pada round ke-1 dan 8,31 joule untuk round ke-100. Pengujian pada 100 node energi total yang dimiliki sebesar 20,17 joule untuk round ke-1 dan 16,60 joule untuk round ke-100. Untuk node terbanyak yaitu 150 total jumlah energi untuk seluruh node yaitu 30,15 joule pada round ke-1 dan 25,14 joule pada round ke-100.



Gambar 4. Total Energi yang dibutuhkan

B. Analisa Paket Yang Diterima

Pada gambar 5 merupakan hasil pengujian dari paket yang diterima dari masing masing *node* selama 100 *round*. Pada pengujian 50 *node* paket yang berhasil diterima sebanyak 5000 paket, untuk pengujian 100 *node* didapatkan jumlah paket sebanyak 9881 paket, dan untuk 150 *node* mendapatkan hasil 14292 paket.



Gambar 5. Hasil Paket yang Diterima

C. Analisa Konsumsi Energi

Simulasi konsumsi energi dilakukan selama 100 *round* dengan energi awal sebesar 0,2 *joule* per node dan paket data yang dikirimkan berukuran 2000 *byte*. Dapat dilihat pada tabel 5 saat percobaan pada jumlah *node* terendah yaitu 50 *node*, energi konsumsi sebesar 1,84 *joule* sedangkan untuk jumlah *node* tertinggi yaitu 150, energi konsumsi yang digunakan sebanyak 5,15 *joule*.

Tabel 5. Total Konsumsi Energi Tiap Node

Total Node	Energi Awal	Total Konsumsi	Sisa Energi Konsumsi Per Node
50	10,18 <i>joule</i>	1,87 <i>joule</i>	0,0374 <i>joule</i>
100	20,17 <i>joule</i>	3,57 <i>joule</i>	0,0357 <i>joule</i>
150	30,15 <i>joule</i>	5,01 <i>joule</i>	0,0334 <i>joule</i>

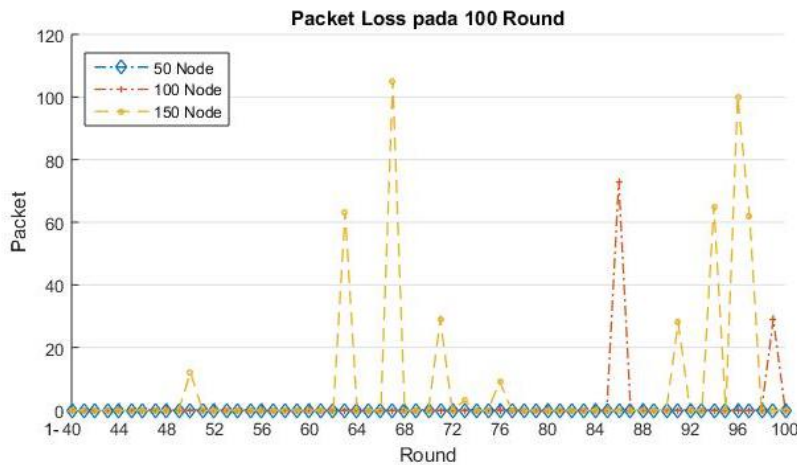
D. Analisa Packet Loss

Berdasarkan pada tabel 6 dan gambar 6 dapat diketahui bahwa pada pengujian algoritma protokol LEACH-C ini termasuk kedalam kategori yang bagus karena tidak lebih dari 15% persentase *packet loss*. Dapat dilihat bahwa *packet loss* akan mengalami kenaikan jika jumlah *node* bertambah, pada pengujian 50 *node* mendapat persentase *packet*

loss sebesar 0%, untuk pengujian 100 *node* mendapat persentase nilai *loss* sebesar 1,19%, dan untuk hasil pengujian 150 *node* mendapat persentase 4,72%.

Tabel 6. Hasil *Packet Loss*

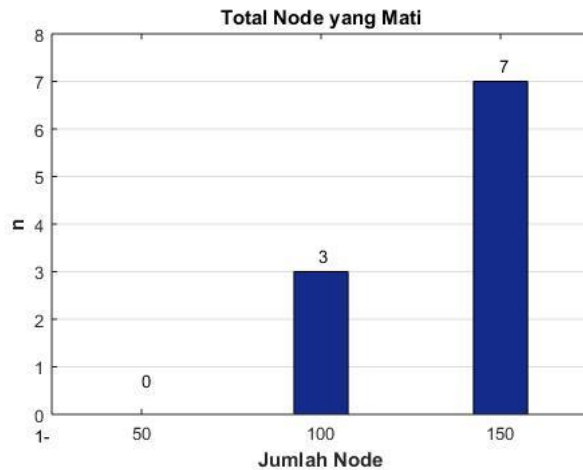
<i>Node</i>	Packet dikirim	Packet diterima	<i>Packet Loss</i>	Persentase	Kategori
50	5.000	5.000	0	0%	Sangat bagus
100	10.000	9.881	119	1,19%	Sangat bagus
150	15.000	14.292	708	4,72%	Bagus



Gambar 6. Hasil Packet Loss LEACH-C

E. Analisa Node

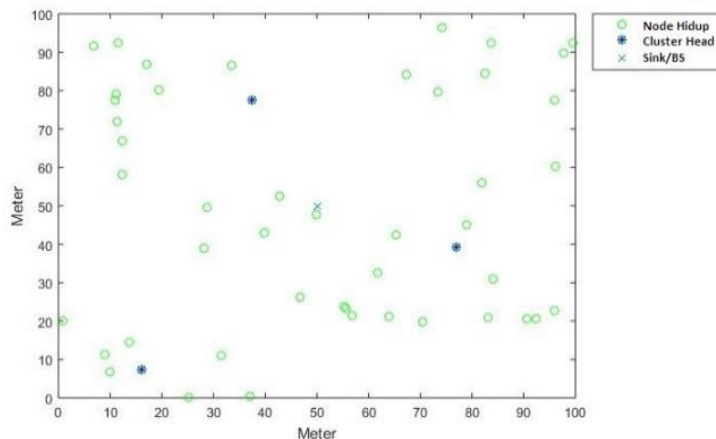
Berdasarkan pada gambar 7 dapat diketahui bahwa semakin banyak *node* yang digunakan dalam 100 *round* maka total *node* yang hidup semakin berkurang, disisi lain paket yang dikirimkan juga semakin banyak. Pada simulasi 50 *node* semua *node* yang digunakan masih hidup, untuk simulasi 100 *node* terdapat 3 total *node* yang mati, sedangkan untuk simulasi 150 *node* jumlah *node* yang mati yaitu 7 *node*.



Gambar 7. Total Node yang mati

F. Analisa Penyebaran 50 Node

Berdasarkan pada gambar 8 merupakan simulasi penyebaran 50 node. Simulasi penyebaran node LEACH-C dilakukan secara acak pada area pengamatan seluas 100 x 100 meter dimana base station diletakkan di tengah yaitu dengan titik koordinat (50,50). Penyebaran node dimana base station dilambangkan dengan x dan cluster head dilambangkan dengan bulatan hitam-biru dengan jumlah 3 node sedangkan bulatan lainnya merupakan node non-cluster head.

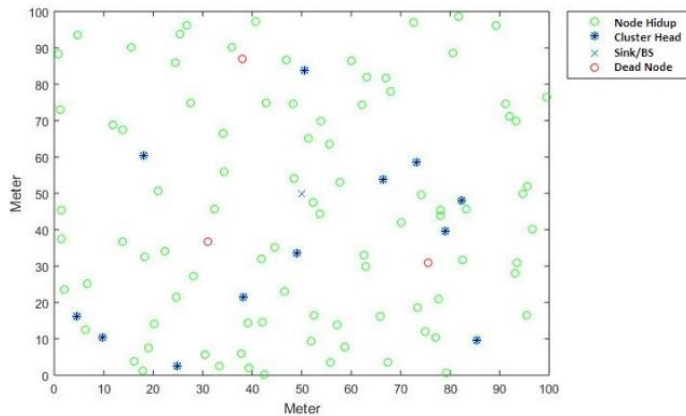


Gambar 8. Penyebaran 50 Node

G. Analisa Penyebaran 100 Node

Berdasarkan pada gambar 9 merupakan simulasi penyebaran 100 node. Penyebaran 100 dilakukan secara acak pada area pengamatan seluas 100 x 100 meter

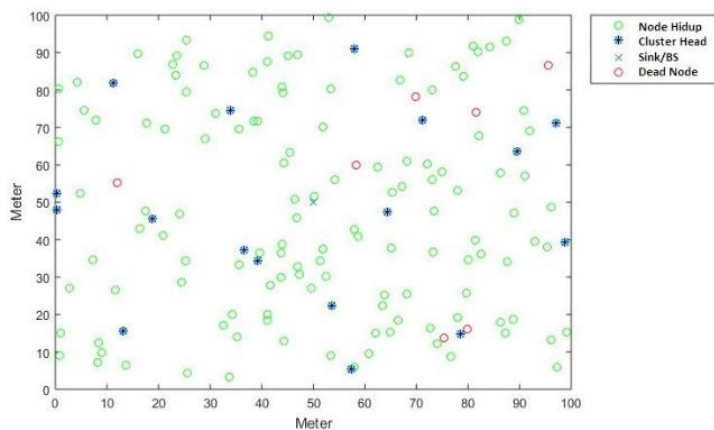
dimana *base station* diletakkan di tengah yaitu dengan titik koordinat (50,50). Gambar 9 merupakan gambar penyebaran *node* dimana *base station* dilambangkan dengan x dan *cluster head* dilambangkan dengan bulatan hitam-biru dengan jumlah 12 *node*, bulatan merah dilambangkan sebagai *node* yang mati yaitu berjumlah 3 *node* atau 3% dari jumlah 100 *node*, sedangkan bulatan lainnya merupakan *node non-cluster head*.



Gambar 9. Penyebaran 100 Node

H. Analisa Penyebaran 150 Node

Berdasarkan pada gambar 10 merupakan simulasi penyebaran 150 *node*. Untuk simulasi penyebaran 150 *node* dilakukan secara acak pada area pengamatan seluas 100 x 100 meter dimana *base station* diletakkan di tengah yaitu dengan titik koordinat (50,50). Gambar 10 merupakan gambar penyebaran *node* dimana *base station* dilambangkan dengan x dan *cluster head* dilambangkan dengan bulatan hitam-biru dengan jumlah 17 *node*, bulatan merah dilambangkan sebagai *node* yang mati yaitu berjumlah 7 *node* atau 4,6% dari jumlah 150 *node*, sedangkan bulatan lainnya merupakan *node non-cluster head*.



Gambar 10. Penyebaran 150 Node

5. Discussion

A. Analisa Total Energi

Simulasi menunjukkan semakin banyak jumlah *node* maka semakin besar total energi yang dimiliki. Pada percobaan sebanyak 100 *round* ini memiliki pengurangan energi yang cukup sedikit, dan dapat dikatakan baik karena energi yang dimiliki setelah melakukan 100 *round* untuk jumlah *node* 50, 100 dan 150 *node* masih menyimpan 80% energi. Hasil baik tersebut didapatkan karena LEACH-C memiliki *cluster head* yang digunakan sebagai penentu jalur menuju *node* yang di tuju sehingga untuk *node* yang tidak melakukan komunikasi atau *node* yang tidak di tuju akan berada pada kondisi mati untuk *interfacenya*. Sehingga LEACH-C memiliki pengoptimalan energi yang cukup baik untuk simulasi ini.

B. Analisa Paket Yang Diterima

Pada hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa banyaknya jumlah paket dipengaruhi dari banyaknya jumlah *node*, karena semakin banyak *node* yang digunakan maka semakin banyak pula paket yang akan dikirimkan. Paket yang diterima memiliki nilai yang cukup baik karena hanya mengalami sedikit pengurangan paket ketika jumlah *node* 100 dan 150, dan menerima paket secara penuh pada *node* 50. Adapun pengurangan paket yang diterima untuk jumlah *node* 100 dan 150 dikarenakan adanya *node* yang mati karena energi yang dimiliki oleh *node* tersebut habis digunakan untuk berkomunikasi.

C. Analisa Konsumsi Energi

Tabel 5 menunjukkan total konsumsi energi 50, 100 dan 150 *node*. Konsumsi energi yang digunakan dapat dihitung dengan mengurangkan total energi awal dan total energi sisa yang ada pada akhir simulasi. Berdasarkan hasil yang sudah didapatkan maka diketahui bahwa jumlah *node* yang digunakan mempengaruhi jumlah konsumsi energi. Semakin banyak *node* yang digunakan maka semakin banyak pula konsumsi energi, ini terjadi karena *node* mengirimkan informasi energi dan juga informasi posisi *node* ke BS pada saat fase *setup* yaitu pada saat pembentukan CH.

D. Analisa Packet Loss

Berdasarkan pada tabel 6 dapat diketahui bahwa packet loss yang didapatkan cukup baik karena hanya mengalami sedikit packet loss. paket loss terjadi ketika jumlah *node* 100 dan 150, dan tidak memiliki packet loss pada *node* 50. Adapun packet loss untuk jumlah *node* 100 dan 150 dikarenakan adanya *node* yang mati karena energi yang dimiliki oleh *node* tersebut habis digunakan untuk berkomunikasi.

E. Analisa Node

Berdasarkan simulasi yang sudah dilakukan dapat diketahui bahwa semakin banyak *node* yang digunakan dalam 100 *round* maka total *node* yang hidup semakin berkurang, disisi lain paket yang dikirimkan juga semakin banyak. *Node* yang mati dikarenakan pada *node* tersebut sudah tidak lagi memiliki energi yang digunakan untuk berkomunikasi. Kehabisan energi tersebut disebabkan oleh penambahan jumlah *node* yang semakin besar dan semakin banyak pula data yg diproses untuk melakukan pengiriman paket data. Pada simulasi penelitian ini menggunakan 100 *round*, apabila menggunakan lebih dari 100 *round* maka *node* yang mati juga akan semakin bertambah.

F. Analisa Penyebaran 50 Node

Berdasarkan hasil simulasi, untuk menentukan banyaknya *cluster head*, *node* akan mengirimkan informasi ke *base station* berupa informasi energi dan posisi *node* untuk menghitung energi rata-rata, apabila energi *node* lebih dari energi rata-rata maka *node* tersebut akan menjadi *cluster head*. Banyak *cluster head* akan mewakili juga banyaknya jumlah *cluster* yang terbentuk.

G. Analisa Penyebaran 100 Node

Berdasarkan hasil simulasi, untuk menentukan banyaknya *cluster head*, *node* akan mengirimkan informasi ke *base station* berupa informasi energi dan posisi *node* untuk menghitung energi rata-rata, apabila energi *node* lebih dari energi rata-rata maka *node* tersebut akan menjadi *cluster head*. Banyak *cluster head* akan mewakili juga banyaknya jumlah *cluster* yang terbentuk. Penyebaran *node* yang mati dapat dikatakan cukup merata untuk penyebarannya. *Node* yang mati berjumlah 3 *node* disebabkan oleh banyaknya *round* yang dilakukan yaitu 100 *round*, dimana *node* tersebut mati ketika mulai memasuki *round* yang mendikati 100. Apabila simulasi dilakukan melebihi 100 *round* maka akan semakin banyak pula *node* yang mati karena kehabisan energi untuk melakukan *round* yang terlalu banyak.

H. Analisa Penyebaran 150 Node

Berdasarkan hasil simulasi, untuk menentukan banyaknya *cluster head*, *node* akan mengirimkan informasi ke *base station* berupa informasi energi dan posisi *node* untuk menghitung energi rata-rata, apabila energi *node* lebih dari energi rata-rata maka *node* tersebut akan menjadi *cluster head*. Banyak *cluster head* akan mewakili juga banyaknya jumlah *cluster* yang terbentuk. *Node* yang mati berjumlah 7 *node* disebabkan oleh banyaknya *round* yang dilakukan yaitu 100 *round*, dimana *node* tersebut mati ketika mulai memasuki *round* yang mendikati 100. Apabila simulasi dilakukan melebihi 100 *round* maka akan semakin banyak pula *node* yang mati karena kehabisan energi untuk melakukan *round* yang terlalu banyak.

6. Kesimpulan

Algoritma LEACH-C memiliki pengaruh yang baik terhadap konsumsi energi karena pada algoritma LEACH-C energi yang habis merupakan energi yang dimiliki oleh cluster head. Sehingga kemungkinan node yang mati pada setiap roundnya hanya sedikit, dan algoritma LEACH-C dapat menentukan ulang node mana yang akan menjadi cluster head. Dimana total konsumsi energi cukup kecil yaitu sebesar 1,87 joule pada 50 node, sebesar 3,75 joule pada 100 node, dan sebesar 5,01 joule pada 150 node

Pada total energi, algoritma LEACH-C masih memiliki energi sekitar 80% untuk jumlah node 50, 100, dan 150 node. Pada paket yang diterima dan packet loss, algoritma LEACH-C hanya mengalami penurunan jumlah paket yang diterima dan packet loss pada jumlah 100 dan 150 node. Meskipun mengalami sedikit penurunan paket, namun packet loss masih dalam kategori sangat bagus berdasarkan standar THIPON.

7. Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dan membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

8. Pernyataan Penulis

Penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan terkait publikasi artikel ini. Penulis menyatakan bahwa data dan makalah bebas dari plagiarisme serta penulis bertanggung jawab secara penuh atas keaslian artikel.

Bibliografi

- A. A. Khamiss, C. Senchun, Z. Baihai and C. Lingguo, "Combined Metrics–Clustering Algorithm based on LEACH-C," in *The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC)*, Qingdao, China, 2015.
- A. Al-Shaikh, H. Khattab and S. Al-Sharaeh, "Performance Comparison of LEACH and LEACH-C Protocols in Wireless Sensor Networks," *Journal of ICT Research and Applications*, vol. 12, no. 3, pp. 219-236, 2018.
- F. S. Syukri, A. Rakhmatsyah and S. Prabowo, "Analisis dan Simulasi Clustering Node Menggunakan Algoritma LEACH," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 4, no. 3, pp. 4614-4622, 2017.

W. Dargie and C. Poellabauer, *Fundamentals of Wireless Sensor Networks*, United Kingdom: John Wiley and Sons, Ltd., 2010.

Yanto, "Analisis QoS (Quality of Service) Pada Jaringan Internet (Studi Kasus : Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura)," *Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi (JustIN)*, vol. 1, no. 1, pp. 1-6, 2013.