

Optimasi Efisiensi Energi untuk Pemilihan *Intermediate Cluster Head* menggunakan MI-C LEACH: *Multi-hop Inter-Cluster* pada Jaringan Sensor Nirkabel

Aidil Saputra Kirsan, M. Udin Harun Al Rasyid*, Iwan Syarif
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS)
Jl. Raya ITS, Kampus PENS Sukolilo, Surabaya, Indonesia

Email: aidil17kirsan@gmail.com, udinharun@pens.ac.id, iwanarif@pens.ac.id
Corresponding author*: udinharun@pens.ac.id

Abstrack - The warm discussion of researchers on wireless sensor network is still complexity in use of energy in each node. This is because increased information needs that affect technological development are increasing. Therefore, the information exchange continuously causes a decrease in the lifetime of the node. The solution to this problem is to use routing protocols such as Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH). The LEACH protocol works by grouping nodes and selecting cluster heads (CH) that do to send data to the Sink Node (SN). One weakness of LEACH protocol is distant CH from SN which requires a lot of energy for sending data to SN. One way to reduce the energy consumption of each distant CH is to use multi-hop communication. In this paper, we propose Multi-hop Inter-Cluster LEACH (MI-C LEACH) with the development algorithm of the LEACH protocol. The simulation results using OMNeT ++ show that the number of nodes 100 in average remaining energy from MI-C LEACH is far more than LEACH with average difference of 27,082 watts. But in node number 200, MI-C LEACH does not differ greatly the remaining energy from LEACH for each number of rounds from 100 to 600.

Keywords – Wireless Sensor Network, LEACH, OMNeT++

Intisari - Perbincangan hangat para peneliti pada jaringan sensor nirkabel masih terkait pada penggunaan energi disetiap node. Hal ini dikarenakan kebutuhan informasi meningkat yang mempengaruhi perkembangan teknologi semakin meningkat pula. Sehingga, pertukaran informasi secara terus menerus menyebabkan penurunan masa hidup node. Solusi untuk permasalahan tersebut adalah menggunakan *routing protocol* seperti *Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy* (LEACH). Protokol LEACH bekerja dengan melakukan pengelompokan node dan memilih kepala kluster (CH) yang bertugas untuk mengirimkan data ke *Sink Node* (SN). Salah satu kelemahan protokol LEACH adalah CH yang jauh dari SN dimana memerlukan energi banyak untuk pengiriman data ke SN. Salah satu cara untuk mengurangi konsumsi energi tiap CH jauh adalah dengan menggunakan komunikasi multi-hop. Pada makalah ini, kami mengusulkan *Multi-hop Inter-Cluster LEACH* (MI-C LEACH) dengan algoritma pengembangan dari protokol LEACH. Hasil simulasi menggunakan OMNeT++ menunjukkan bahwa jumlah node 100 pada rata-rata energi tersisa dari MI-C LEACH jauh lebih banyak dari LEACH dengan perbedaan rata-rata 27.082 watt. Tetapi pada jumlah node 200, MI-C LEACH tidak berbeda jauh energi yang tersisa dari LEACH untuk setiap jumlah putaran 100 hingga 600.

Kata Kunci – Jaringan Sensor Nirkabel, LEACH, OMNeT++.

I. PENDAHULUAN

Energi merupakan sebuah daya atau kekuatan yang digunakan untuk melakukan berbagai proses kegiatan. Seiring dengan perkembangan teknologi, konsumsi energi pada suatu perangkat di jaringan juga ikut meningkat. Hal ini dikarenakan meningkatnya kebutuhan informasi yang mengakibatkan kebutuhan informasi yang mengakibatkan terjadinya pertukaran data secara terus menerus tanpa henti dan membuat masa hidup perangkat menjadi menurun. Salah satu isu utama pada jaringan yang masih menjadi perbincangan adalah tentang konsumsi energi [1]. Dibutuhkan upaya lebih untuk mengganti baterai pada node-node di jaringan sensor nirkabel secara manual. Adanya permasalahan tersebut menarik perhatian para peneliti untuk mengatasi masalah tersebut menggunakan perhatian para peneliti untuk mengatasi masalah tersebut menggunakan protokol routing seperti Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) [2]–[6], Coordinate/Routing for Nanonetworks (CORONA) [7], [8], Hierarchical Ad hoc and Demand Distance Vector (AODV) [9], Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS) [10], dan lain-lain [11]–[13].

Protokol routing terbagi menjadi dua jenis yaitu routing datar dan routing hirarkis atau routing berbasis cluster. Routing datar bekerja dengan semua node menyampaikan data ke Sink Node (SN), sedangkan routing hirarkis bekerja dengan melakukan pengelompokan node dan memilih Cluster Head (CH) yang bertugas untuk menyampaikan data ke SN. Salah satu protokol routing yang sering diadopsi untuk jaringan sensor nirkabel adalah protokol LEACH. Hal ini dikarenakan protokol ini memanfaatkan strategi jaringan hirarkis sebagai skema yang sepenuhnya terdesentralisasi. Pengembangan dari protokol LEACH untuk menghasilkan masa hidup yang lebih baik pada jaringan sensor nirkabel. CH dipilih langsung oleh SN untuk mengurangi konsumsi energi tiap node. Hasil pengujian dari skema ini menunjukkan bahwa metode yang diusulkan memiliki kinerja yang lebih baik pada masa hidup jaringan dibandingkan protokol LEACH pada umumnya.

Salah satu cara untuk mengurangi konsumsi energi tiap node adalah dengan memilih CH dengan mempertimbangkan energi sisa node di tiap clustering dan menggunakan komunikasi multi-hop [14]–[17]. Dalam karya ini, kami mengusulkan algoritma pengembangan dari protokol LEACH berdasarkan komunikasi multi-hop inter-cluster yaitu Multi-hop Inter-Cluster LEACH (MI-C LEACH). Pemilihan CH dengan mempertimbangkan energi sisa node di tiap clustering sehingga menghindari node yang memiliki energi rendah menjadi CH. Selain itu, komunikasi multi-hop digunakan untuk mengurangi konsumsi energi tiap node.

Makalah ini disusun sebagai berikut: bagian 2 menyajikan penjelasan dari metode pemilihan CH dan komunikasi multi-hop inter-cluster berdasarkan LEACH yang diusulkan untuk penghematan energi dari setiap node. Bagian 3 menyajikan hasil dan pembahasan dari uji kinerja algoritma pemilihan CH dan komunikasi multi-hop inter-cluster berdasarkan LEACH dari metode yang diusulkan. Hasil kesimpulan dirangkum pada bagian 4.

II. SIGNIFIKANSI STUDI

Berikut ini menjelaskan signifikan studi dari penelitian ini yang terdiri dari studi literatur terkait atau penelitian terdahulu dan metode penelitian.

A. Studi Literatur

Penelitian Rasyid dkk. [2] mengusulkan topologi partisi LEACH (LEACH-PT). Didalam LEACH-PT, kepala klaster (CH) dipilih oleh base station (BS). Sehingga bisa menjamin jumlah klaster yang terbentuk tetap pada setiap putaran. Selain itu, akan meminimalkan beban konsumsi energi di masing-masing node, menghasilkan *network lifetime* lebih baik daripada LEACH. Sebagai tambahan, node yang terdistribusi dilakukan secara merata ke ketentuan

spesifik daripada topologi acak yang ada di LEACH. Tidak seperti LEACH, pembentukan sektor kluster di LEACH-PT berbeda untuk setiap putaran. Itu karena pemilihan CH oleh BS pada putaran berikutnya berasal dari node dengan energi residual tertinggi di seluruh jaringan, bukan di setiap sektor. LEACH pada setup area pembentukan kluster yang sama masing-masing sesuai topologi awal, sedangkan di LEACH-PT area pembentukan kluster dapat berbeda setiap putaran.

Penelitian Varshney dkk. [4] mengusulkan membahas protokol hierarki paling efektif yang disebut *Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy* (LEACH) bersama dengan masalah dan kelemahannya. Pencarian mendalam tentang varian protokol LEACH telah dilakukan. Penulis ini menyajikan taksonomi dari berbagai keturunan protokol LEACH dan membandingkan kinerja mereka berdasarkan metrik seperti skalabilitas, agregasi data, mobilitas, dll.

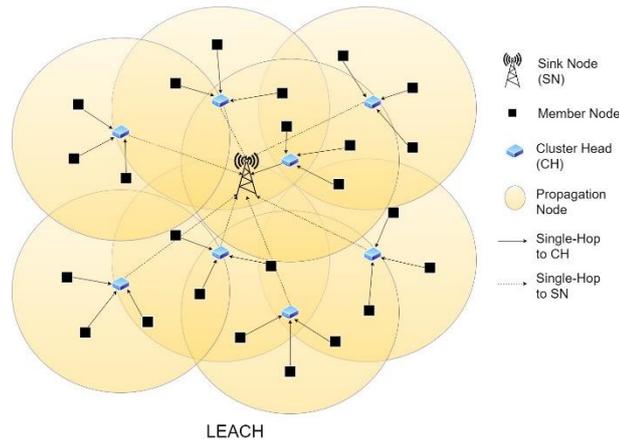
Penelitian Alnawafa dkk. [15] mengusulkan tentang pendekatan baru untuk membagi jaringan sensor keseluruhan menjadi beberapa tingkatan. Sehingga setiap node akan bertindak sesuai dengan posisi dan statusnya. Selain pendekatan baru, terdapat dua teknik yang dikembangkan yaitu yang statis dan dinamis. Teknik ini digunakan untuk rute data antar level. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa teknik yang diusulkan memperpanjang umur, meningkatkan stabilitas dan meningkatkan throughput jaringan dibandingkan dengan LEACH, *Improved MHT-LEACH* (IMHT-LEACH), dan *Enhanced DMHT-LEACH* (EDMHT-LEACH) protokol. Selanjutnya, dua teknik yang dijelaskan yakni Static and Dynamic Techniques telah dikembangkan. Kemudian, hubungan antara *number of living nodes* dengan *the rounds*. Dapat dilihat bahwa kedua teknik tersebut, *Static Multi-Hop Routing* (SMR) dan *Dynamic Multi-Hop Routing* (DMR) bisa dilihat Node yang hidup ketika the round (putarannya) makin banyak. Dari perbandingan-perbandingan dari beberapa aspek atau kinerja protokol routing menunjukkan bahwa teknik DMR memperoleh hasil yang lebih baik daripada teknik SMR disemua metrik evaluasi.

Penelitian Hosen dkk. [18] mengusulkan mekanisme routing berbasis energi-sentris cluster di WSN. Cluster-head dipilih berdasarkan peringkat yang lebih tinggi dari node, peringkat ditentukan oleh energi residual dan jarak rata-rata dari node anggota. Cluster-head bertindak sebagai juru kunci pemilihan cluster-head selanjutnya, yang mana informasi dikirim dengan pengiriman data lokal selama komunikasi intra-kluster. Hasil penelitian menunjukkan bahwa protokol yang diusulkan lebih menghemat energi di antara node dan mencapai peningkatan yang signifikan dalam masa hidup jaringan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa protokol *an Energy-Centric Cluster-based routing* (ECCR) yang diusulkan, menghemat konsumsi energi di antara node dan mencapai peningkatan yang signifikan dalam lifetime jaringan.

B. Metode Penelitian

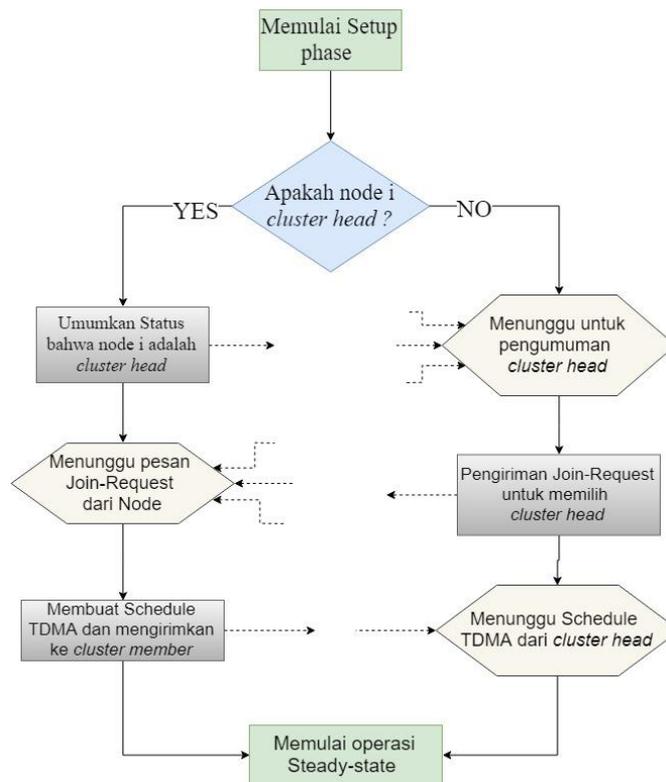
Bagian ini menjelaskan metode pemilihan Cluster Head (CH) dan komunikasi multi-hop inter-cluster berdasarkan energi sisa dari node pada setiap clustering untuk routing protokol Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH).

LEACH merupakan salah satu metode hierarchical-based routing yang bertujuan untuk efisiensi energi pada jaringan dengan cara membagi node ke dalam kluster. Algoritma LEACH dimulai dengan memilih suatu node sebagai (CH) lalu dengan algoritma clustering memilih node non-CH sebagai anggota sehingga membentuk kluster. Mekanisme ini menghemat energi karena hanya CH yang melakukan transmisi data ke Sink Node (SN). Sedangkan setiap sensor node cukup mengirim data ke CH masing-masing. Akibatnya, konsumsi energi berkurang sehingga waktu hidup jaringan menjadi optimal. Blok diagram sistem jaringan sensor nirkabel pada LEACH yang dibangun dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok sistem pada LEACH

Proses dalam membentuk jaringan menggunakan routing protocol LEACH terdiri dari dua fase yaitu fase *set-up* dan fase *steady-state*. Pada fase *set-up* merupakan fase dimana pembentukan kluster terjadi. Mulai dari penentuan CH sampai bergabungnya anggota CH ke masing-masing CH. Fase selanjutnya yaitu fase *steady-state*, dimana proses pengiriman data terjadi, mulai dari pengiriman data di dalam kluster sampai pengiriman ke *Sink node* oleh CH. Berikut diagram alur pembentukan kluster dari algoritma LEACH itu sendiri pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram alur pembentukan kluster pada LEACH

Fase *set-up* merupakan fase pembentukan kluster dimana pada fase ini dilakukan pemilihan CH. Setiap node memiliki kesempatan yang sama untuk menjadi CH. Penentuan CH ini ditentukan berdasarkan angka random yang dibangkitkan oleh masing-masing node. Node akan menjadi CH jika nilai random yang dihasilkan lebih kecil dari $P_i(t)$.

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{k}{N-k*(r \bmod \frac{N}{k})} & : C_i(t) = 1 \\ 0 & : C_i(t) = 0 \end{cases} \tag{1}$$

Node yang memiliki nilai *random* kecil dari $P_i(t)$ hanya akan terpilih menjadi CH pada ronde pengiriman sebelumnya (r) atau yang memiliki nilai $C_i=0$. Dengan demikian setiap node akan menjadi CH sekali setiap N/k putaran. Dengan N adalah banyak node dalam jaringan dan k adalah jumlah kluster. Jika probabilitas pembentukan kluster adalah b , maka k dapat dicari dengan persamaan berikut:

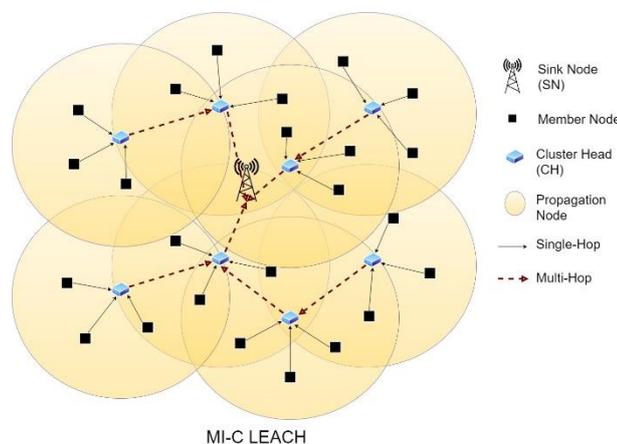
$$k = N \times b \tag{2}$$

Dengan begitu persamaan 1 dapat disederhanakan menjadi:

$$P_i = \frac{p}{1-b \times \bmod(r, \frac{1}{b})} \tag{3}$$

Dalam algoritma pemilihan CH [19] yang menghasilkan informasi kluster efisien untuk memilih CH yang optimal. Kemudian setelah CH yang optimal terpilih pada masing-masing kluster, setiap node memilih bergabung dengan CH berdasarkan kekuatan sinyal yang diterimanya sehingga *Intermediate Cluster Head* (Perangkat antara Kepala Kluster) akan saling terhubung satu sama lain dengan komunikasi *inter cluster multi-hop*. Kemudian, sebuah CH mengumpulkan data dari anggota node dalam sebuah kluster dan mengirimkan kumpulan data ke SN baik secara langsung atau melalui rute multi-hop.

CH yang dekat dengan SN mengirimkan data langsung ke SN tetapi dimana jarak antara CH dan SN jauh memerlukan komunikasi multi-hop *inter-cluster* sehingga energi yang terpakai tidak terlalu besar. Berikut topologi jaringan untuk komunikasi multi-hop *inter-cluster* (CH ke CH) pada gambar 3.



Gambar 3. Topologi jaringan untuk komunikasi multi-hop inter-cluster (CH ke CH).

Selama inisialisasi jaringan, semua node mengirim tingkat Sisa Energi (SE) dan lokasi mereka ke SN. Dengan cara ini, SN mengetahui secara keseluruhan area jaringan. Pemilihan *Energy Threshold* (ET) dalam komunikasi *multi-hop* dengan mengambil nilai rata-rata SE dari tetangga CH ke CH yang dikirimkan. Threshold digunakan untuk menentukan CH yang sesuai untuk keperluan sebagai hop berikutnya selama routing data ke SN. Berikut persamaan dari Energy Threshold (ET):

$$ET_{CH} = \frac{\sum_{n=1}^m SE (tetangga CH)}{m} \quad (4)$$

Untuk ET_{CH} adalah pemilihan Energy Threshold untuk CH. Kemudian $SE (tetangga CH)$ adalah sisa energi dari tetangga-tetangga CH. Dan m adalah jumlah dari tetangga-tetangga CH.

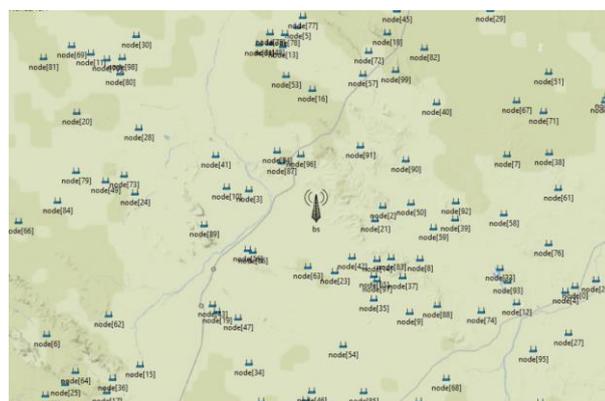
Setelah proses pada fase set-up selesai, proses berlanjut ke fase steady-state. Pada fase ini, node-node yang tergabung pada kluster masing-masing mulai melakukan pemindaian terhadap lingkungan. Data hasil pemindaian yang diperoleh oleh setiap node diteruskan ke CH. Selanjutnya CH mengumpulkan data dari semua node pada klasternya dan mengirimkan data tersebut ke SN.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode Multi-hop Inter-Cluster Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (MI-C LEACH) yang diusulkan telah diimplementasikan secara simulasi dengan menggunakan OMNeT++. Untuk algoritmanya yang telah diimplementasikan akan dikompilasi dan hasilnya akan diperoleh untuk diproses lebih lanjut. Setelah hasil kompilasi diperoleh, grafik termasuk rata-rata energi tersisa dari CH akan diperlihatkan pada bagian uji kinerja metode yang diusulkan.

A. Parameter yang dibutuhkan

Pengujian kinerja ini dilakukan dengan skenario dengan Sink Node (SN) yang berada ditengah jaringan dan jumlah node yang ditentukan pada tabel 1. Berikut topologi jaringan LEACH dan MI-C LEACH yang disimulasikan di OMNeT++ pada ilustrasi gambar 4.



Gambar 4. Topologi Jaringan LEACH dan MI-C LEACH

Kemudian menentukan parameter yang dibutuhkan pada algoritma LEACH maupun MI-C LEACH. Seperti jarak komunikasi, waktu dan area simulasi, jumlah node, energi, durasi

pemilihan CH, dll. Pembentukan parameter ini bertujuan untuk membuat semua algoritma yang akan diuji sehingga bisa menghasilkan hasil yang signifikan. Diantara parameter yang dibutuhkan adalah ditunjukkan pada tabel I:

Tabel I.
Parameter yang dibutuhkan

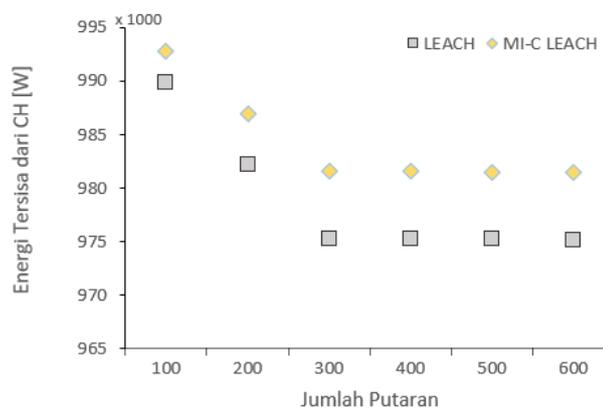
Parameter	Nilai
Jarak Komunikasi	500m dan 1000m
Waktu Simulasi	100,200,300, 400, 500, dan 600round
Area Simulasi	500x500m dan 1000x1000m
Jumlah Node	200 dan 100
Pembentukan TDMA	0.1ms
Pengumuman dari member node	0.1ms
Durasi Pemilihan CH	0.02s
Durasi Putaran	1s
Energi	1.000.000watt
Penempatan Node	Random

B. Uji Kinerja Metode yang Diusulkan

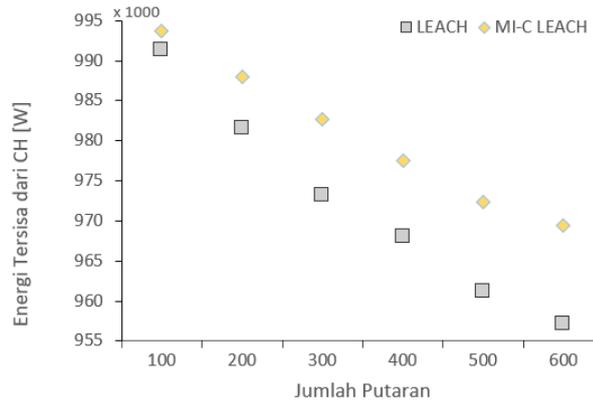
Pengujian kinerja ini dilakukan dengan menghitung rata-rata energi tersisa dari CH dengan area simulasi dan jumlah node yang telah ditentukan pada parameter sebelumnya. Berikut hasil dari setiap Area Simulasi dan Jumlah Nodenya:

1. Area (500x500m)

Pada area simulasi 500x500m dengan jumlah node 200 dan 100, didapatkan hasil yang signifikan dari rata-rata energi tersisa. Berikut hasil dari rata-rata energi tersisa dari CH ditunjukkan pada gambar 5 dan 6 pada setiap rata-rata putarannya:



Gambar 5. Energi Tersisa dari CH vs Jumlah Putaran (Node = 200)

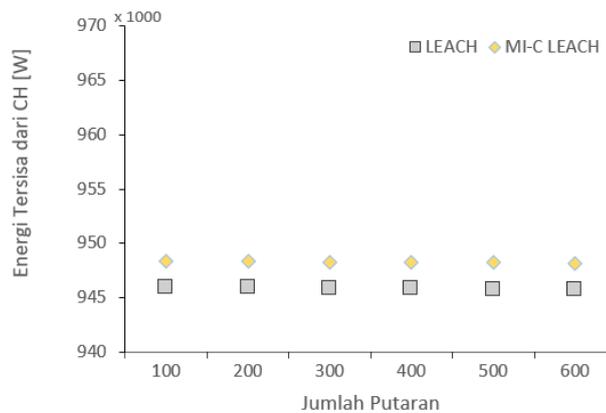


Gambar 6. Energi Tersisa dari CH vs Jumlah Putaran (Node = 100)

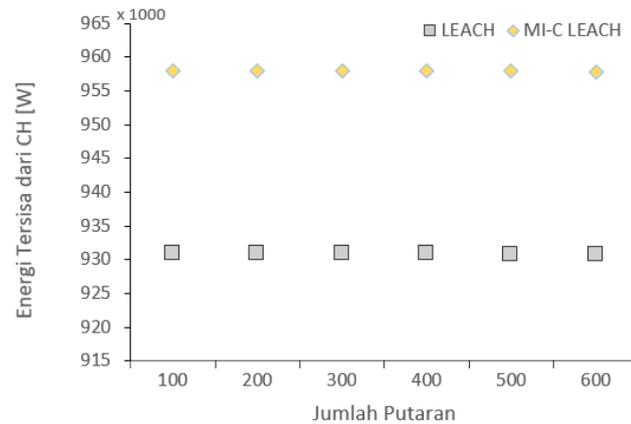
Ilustrasi yang ditampilkan pada gambar 5 dan gambar 6 menunjukkan bahwa jumlah node mempengaruhi kinerja pada metode yang diusulkan yakni MI-C LEACH. Pada Jumlah node 200 dan 100, MI-C LEACH selalu menghasilkan rata-rata energi tersisa yang melebihi dari LEACH untuk setiap jumlah putaran 100 hingga 600. Kemudian mensimulasikan dengan area yang lebih besar yakni 1000x1000m.

2. Area (1000x1000m)

Pada area simulasi 1000x1000m dengan jumlah node 200 dan 100, didapatkan pula hasil yang signifikan dari rata-rata energi tersisa. Berikut hasil dari rata-rata energi tersisa dari CH ditunjukkan pada gambar 7 dan 8 pada setiap rata-rata putarannya:



Gambar 7. Energi Tersisa dari CH vs Jumlah Putaran (Node = 200)



Gambar 8. Energi Tersisa dari CH vs Jumlah Putaran (Node = 100)

Ilustrasi yang ditampilkan pada gambar 7 dan gambar 8 menunjukkan bahwa jumlah node mempengaruhi kinerja pada metode yang diusulkan. Untuk jumlah node 100, rata-rata energi tersisa dari MI-C LEACH jauh lebih banyak dari LEACH dengan perbedaan rata-rata 27.082 watt. Tetapi pada jumlah node 200, MI-C LEACH tidak berbeda jauh energi yang tersisa dari LEACH untuk setiap jumlah putaran 100 hingga 600. Sehingga konsumsi energi pada suatu jaringan dari metode MI-C LEACH bisa lebih lama untuk bertahan hidup dari protokol LEACH.

IV. KESIMPULAN

Dalam makalah ini, metode routing protokol Multi-hop Inter-Cluster pada Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (MI-C LEACH) melibatkan pemilihan node *intermediate* (perantara) yakni CH yang meneruskan sebuah data dari satu node CH ke node CH lain dengan tujuan ke SN. Analisis protokol dari metode yang diusulkan menunjukkan bahwa MI-C LEACH lebih optimal pada energi tersisa dari CH disetiap jumlah node 100 dan 200 pada area 500x500m dan 1000x1000m. Untuk Area 1000x1000m dan jumlah node 100 menghasilkan rata-rata energi yang cukup berbeda dari LEACH yaitu 27.082 watt.

REFERENSI

- [1] B. Steffen. The importance of project finance for renewable energy projects. *Energy Economics*. 2018; vol: 69, pp. 280–294.
- [2] M.U.H.A. Rasyid, B. H. Lee, I. Syarif, and M. M. Arkham. *LEACH Partition Topology for Wireless Sensor Network*. IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW). Taiwan. 2018; vol: pp. 1–5.
- [3] S.H. Kang. Energy optimization in cluster-based routing protocols for large-area wireless sensor networks. *Symmetry (Basel)*. 2019; vol. 11, no. 1.
- [4] S. Varshney dan R. Kumar. *Variants of LEACH Routing Protocol in WSN: A Comparative Analysis*. IEEE International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence). Noida. 2018; vol: pp. 199–204.
- [5] M. Aslam, N. Javaid, A. Rahim, U. Nazir, A. Bibi, Z. A. Khan. *Survey of extended LEACH-based clustering routing protocols for wireless sensor networks*. IEEE 14th International Conference on High Performance Computing and Communication & IEEE 9th International Conference on Embedded Software and Systems. Liverpool. 2012; vol: pp. 1232–1238.

- [6] M.U.H.A. Rasyid, N. R. Mubtadai, J. Abdulrokhim. *Performance Analysis LEACH Based Genetic Algorithm in Wireless Sensor Network*. International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic). Semarang. 2019; vol: pp. 394–399.
- [7] N. Abuali, S. Aleyadeh, F. Djebbar, A. Alomainy, M.M. Ali Almaazmi, S. Al Ghaithi. Performance evaluation of routing protocols in electromagnetic nanonetworks. *IEEE Access*. 2018; vol: 6, no. c, pp. 35908–35914.
- [8] A. Tsioliaridou, C. Liaskos, S. Ioannidis, A. Pitsillides. *CORONA: A coordinate and routing system for nanonetworks*. Proc. 2nd ACM Int. Conf. Nanoscale Comput. Commun. ACM NANOCOM. 2015.
- [9] A. Shaf, T. Ali, U. Draz, S. Yasin. Energy based performance analysis of AODV routing protocol under TCP and UDP environments. *EAI Endorsed Trans. Energy Web*. 2018; vol: 5, no. 17.
- [10] M. R. Mufid, M.U.H.A. Rasyid, I. Syarif. *Performance Evaluation of PEGASIS Protocol for Energy Efficiency*. International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications (IES-ETA). Bali. 2019; vol: pp. 241–246.
- [11] S. Boussoufa-Lahlah, F. Semchedine, L. Bouallouche-Medjkoune. Geographic routing protocols for Vehicular Ad hoc NETWORKS (VANETs): A survey. *Veh. Commun.* 2018; vol: 11, pp. 20–31.
- [12] F. T. Al-Dhief, N. Sabri, M. S. Salim, S. Fouad, S. A. Aljunid. *MANET Routing Protocols Evaluation: AODV, DSR and DSDV Perspective*. MATEC Web Conf. 2018; vol: 150, pp. 1–6.
- [13] M.U.H.A. Rasyid, F.A. Saputra, Z.S. Hadi, A. Fahmi. *Beacon-enabled IEEE 802.15.4 wireless sensor network performance*. IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT). Yogyakarta. 2013; vol: pp. 46–49.
- [14] S. Dhauta dan R. Rishi. Review on LEACH-Homogeneous and Heterogeneous Wireless Sensor Network. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*. 2015; vol: 5, pp. 4442–4447.
- [15] E. Alnawafa dan I. Marghescu. New energy efficient multi-hop routing techniques for wireless sensor networks: static and dynamic techniques. *Sensors (Switzerland)*. 2018; vol: 18, no. 6, pp. 1–21.
- [16] R. K. Kodali. *Energy efficient routing in multi-level LEACH for WSNs*. International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI). Kochi. 2015; vol: pp. 959–965.
- [17] S. K. Singh, P. Kumar, dan J. P. Singh. A Survey on Successors of LEACH Protocol. *IEEE Access*. 2017; vol: 5, no. c, pp. 4298–4328.
- [18] A. S. M. S. Hosen dan G. H. Cho. An energy centric cluster-based routing protocol for wireless sensor networks. *Sensors (Switzerland)*. 2018; vol: 18, no. 5.
- [19] A. S. Kirsan, M.U.H.A. Rasyid, I. Syarif. *Efficient Energy for Cluster Head Selection using New LEACH-based routing protocol in Wireless Sensor Network*. International Electronics Symposium (IES). Surabaya. 2019; vol: pp. 70–75.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan dan Politeknik Elektronika Negeri Surabaya atas beasiswa studi pascasarjana.