

PENINGKATAN KINERJA PROTOKOL PEGASIS DENGAN PEMBAGIAN AREA DAN PEMBENTUKAN CHAIN SECARA ADAPTIF

Muhammad Riko Anshori Prasetya^{*1}, Waskhito Wibisono²

^{1,2} Intitut Teknologi Sepuluh November (ITS)
Email: ¹riko.18051@mhs.its.ac.id, ²waswib@if.its.ac.id
^{*}Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 16 Juni 2020, diterima untuk diterbitkan: 26 November 2020)

Abstrak

Wireless Sensor Networks (WSN) merupakan sebuah perangkat jaringan yang terdiri dari *base station* dan beberapa sensor node. WSN sendiri banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti bidang industri, kesehatan, militer, dan pengelolaan bencana. Penggunaan WSN ini sendiri ditunjukkan untuk mendapatkan informasi terkait suhu, intensitas cahaya, getaran, panas, dan lain-lain. Saat mengumpulkan informasi, sensor *node* membutuhkan energi, namun sensor *node* memiliki energi yang terbatas. PEGASIS merupakan salah satu algoritma *routing* protokol dengan sistem *chain-based* yang berguna untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Namun dalam penggunaan berskala luas, protokol ini membutuhkan energi besar dalam melakukan transmisi data. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan sebuah pengembangan PEGASIS, yaitu VCLUS-PEGASIS. VCLUS-PEGASIS memodifikasi area PEGASIS dengan membaginya menjadi beberapa grid secara vertikal. Selain itu, *chain* dalam satu *grid* akan diubah apabila terjadi transmisi yang panjang antara satu node dengan node tetangganya yang masih dalam satu area menggunakan algoritma K-Means. Hal tersebut bertujuan untuk meminimalisasi pengiriman energi setiap transmisi. Hasil pengujian menunjukan jika protokol VCLUS-PEGASIS mampu untuk mempertahankan masa hidup *node* hingga 41,2% lebih lama dari PEGASIS asli dan mampu untuk menghemat penggunaan energi hingga 4,58 % daripada PEGASIS asli.

Kata kunci: Efisiensi Energi, Klaster, Sistem Rantai, Jaringan Sensor Nirkabel, PEGASIS

THE ENHANCEMENT OF PEGASIS PROTOCOL PERFORMANCE BY ADAPTIVE AREA DISTRIBUTION AND CHAIN FORMATION

Abstract

Wireless Sensor Networks (WSN) is a network device consisting of a base station and several sensor nodes. WSN is widely used in various fields such as industry, healthcare, military, and disaster management. The purpose of WSN is to obtain information related to temperature, vibration, heat, and so forth. Nevertheless, the sensor nodes have energy limitations. PEGASIS is one of the routing protocols with a chain-based system that is useful for solving these problems. However, this protocol requires a lot of energy while transmitting data in wide-scale use. This research proposes the development of PEGASIS, namely VCLUS-PEGASIS. VCLUS-PEGASIS modifies the area of PEGASIS by dividing it into vertical grids. Also, the chain in one grid will be changed if there is a long transmission between one node and its neighbor nodes that are still in one area. It aims to minimize the energy delivery of each transmission using the K-Means algorithm. The test result shows that the VCLUS-PEGASIS protocol is able to maintain the life span of nodes until 41,2% longer than the standard PEGASIS and decrease the energy transmission until 4,58% from the standard PEGASIS.

Keywords: Energy Efficiency, Cluster, Chain Based, Wireless Sensor Network, PEGASIS

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi di bidang *Micro Electro Mechanical System (MEMS)* mendorong peningkatan penggunaan dari *Wireless Sensor Network (WSN)*. Teknologi WSN menggunakan sebuah perangkat komputer dengan ukuran yang kecil (sensor *node*) dan teknologi jaringan berbasis

nirkabel yang terdiri dari sebuah *Base Station (BS)* dan gabungan dari banyak sensor *node* dalam suatu area tertentu yang berguna untuk memantau suhu, intensitas cahaya, getaran, panas, dan lain-lain pada suatu sistem atau lingkungan yang didukung dengan perangkat cerdas dan dikontrol secara aktual untuk di proses menjadi sebuah data yang digunakan untuk mendukung kegiatan manusia dalam melakukan

pengamatan di berbagai macam bidang kegiatan. (Warrier & Kumar, 2016)(Astuti & Wibisono, 2017) (Somauroo & Bassoo, 2019)(Arioua *et al.*, 2016). Saat ini, teknologi WSN mendapat perhatian besar dengan digunakannya aplikasi WSN didalam berbagai bidang seperti bidang industri, kesehatan, militer, dan pengelolaan bencana (Sunil Kumar Singh, Kumar & Jyoti Prakash Singh, 2017)(Wang *et al.*, 2018).

Sensor *node* dalam WSN memakai baterai sebagai sumber tenaganya dan biasanya disebarakan dalam lingkungan yang sulit dan ekstrim sehingga sulit untuk dilakukan pengisian ulang maupun pergantian sensor *node* ketika energinya habis sementara sensor *node* sendiri memiliki kapasitas dan daya yang sangat terbatas (Wang *et al.*, 2018)(Rana, Vhatkar & Mohommad Atique, 2015)(Khan *et al.*, 2015)(Fallo, Wibisono & Kun Nursyaful Priyo Pamungkas, 2019). Oleh karena itu, cara untuk memperpanjang masa hidup dan juga untuk mengurangi konsumsi energi dari sensor *node* ini masalah yang sangat penting dalam bidang WSN (Ramluckun & Bassoo, 2018)(Li, 2016).

Salah satu algoritma untuk meningkatkan masa hidup dan energi pada WSN yaitu PEGASIS (*Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems*) (Vhatkar, Shaikh & Atique, 2017). PEGASIS sendiri merupakan sebuah protokol berbasis *chain* yang diklasifikasikan sebagai *hierarchical* protokol yang merupakan peningkatan dari LEACH protokol (Prajapat & Barwar, 2018). Protokol PEGASIS menciptakan *chain* dari sensor *node* yang ada sehingga setiap sensor *node* dapat menerima dan mengirimkan data ke sensor *node* tetangga terdekatnya (Mishra & Samantara, 2016). *Chain* sendiri terbentuk dengan menggunakan algoritma *greedy* (Rana, Vhatkar & Mohommad Atique, 2015). Selain itu, pada salah satu dari sensor *node* didalam *chain* akan menjadi sebuah *leader* dengan tugas utama untuk mengirimkan data langsung ke BS (Prajapat & Barwar, 2018).

Pada algoritma PEGASIS, banyak protokol yang berbeda yang dikembangkan untuk mengurangi jumlah energi dan menambah masa hidup jaringan pada PEGASIS. Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengurangi penggunaan energi dan juga meningkatkan masa hidup dari protokol PEGASIS seperti dalam penelitian (Ramluckun & Bassoo, 2018) yang idenya adalah membangun *clustering* berdasarkan titik koordinat x dari *nodes* yang dinamakan *PEG-ACO Vertical Clustering* dan membangun *clustering* berdasarkan koordinat y dari *nodes* yang dinamakan *PEG-ACO Horizontal Clustering*. *Chain* sendiri dibuat pada setiap *clustering* dan mengadopsi transmisi yang multihop untuk menuju ke BS. CH pada setiap *chain* sendiri ditentukan berdasarkan perbandingan antara energi dan juga jarak.

Penelitian berikutnya (Huang, Yan & Lin, 2012) mengusulkan metode berbasis *grid-chain* (EEGDG).

Metode ini membagi *sensing* area menjadi beberapa sub area agar dapat mengurangi jarak antar *chain* pada area *sensing*, dan menyeimbangkan konsumsi energi pada setiap *node*. Selain itu, protokol ini juga menggabungkan konsep *cluster* untuk memilih satu *node* di setiap area untuk melakukan proses pengumpulan dan *sensing* data. EEGDG mampu untuk memperpanjang masa hidup *node* dan mengurangi penggunaan energi dalam lingkungan skala besar

Penelitian (Sen, Bing & Liangrui, 2011) mengembangkan PEGASIS dengan cara mengadopsi cara baru untuk menyederhanakan pembuatan *chain* pada saat proses konstruksi dengan mempertimbangkan *chain* yang panjang. Saat pemilihan *leader* pada protokol ini menggunakan metode pembobotan yang mempertimbangkan energi *node* dan jarak antara *node* dan BS sebagai parameternya. Penelitian ini sendiri berhasil mencatatkan energi yang lebih efisien dan memperpanjang masa hidup *node*.

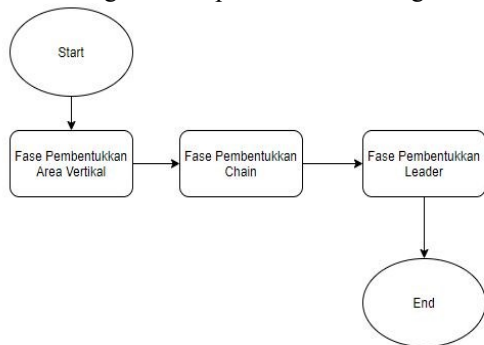
Pada penelitian (Marhoon, Mahmuddin & Nor, 2016) melakukan penelitian yang diberi nama PEGASIS-CC-DCF untuk meningkatkan *network lifetime* dengan menggunakan konsep formasi *chain* yang dinamis. Skema pada protokol ini sendiri memilih *leader* yang memiliki energi sisa yang paling banyak yang digunakan sebagai penghubung antar *chain* pada setiap level *cluster*. Hasil pada penelitian ini sendiri menunjukan jika metode mampu meningkatkan *network lifetime* dari sensor *node* yang ada.

Dari beberapa penelitian yang telah dibahas memperlihatkan jika PEGASIS sendiri masih memiliki beberapa kelemahan seperti; semakin panjang *chain* yang dibentuk maka akan semakin besar energi untuk melakukan transmisi datanya. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan diusulkan sebuah pengembangan dari PEGASIS yang dinamakan VCLUS-PEGASIS untuk mengatasi kekurangan tersebut dengan cara memodifikasi area pada PEGASIS dengan membaginya menjadi beberapa *grid* dengan bentuk vertikal. Selain itu, *chain* dalam satu *grid* akan diubah apabila terjadi transmisi yang panjang antara satu *node* dengan *node* tetangganya dalam satu area serta menambahkan *leader* baru pada setiap *grid* yang ada. Pengembangan dari PEGASIS ini diharapkan mampu untuk meningkatkan masa hidup dari sensor *node* dan juga mampu untuk mengurangi pemakaian energi saat melakukan transmisi data.

2. METODE PENELITIAN

Alur tahapan perancangan strategi untuk melakukan modifikasi pada PEGASIS dapat dilihat pada Gambar 1. Secara keseluruhan, tahapan dalam pembentukan VCLUS-PEGASIS sendiri dibagi menjadi 3 fase. Adapun fase VCLUS-PEGASIS yaitu: (1) fase pembagian area dalam bentuk vertikal, (2) fase pembentukan *chain*, (3) fase pembentukan

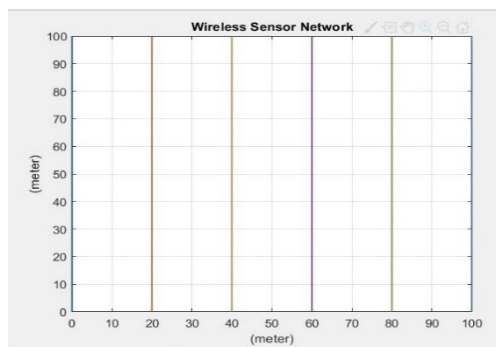
leader. Dalam setiap fase yang dilakukan akan dibahas dengan detail pada sub-bab sebagai berikut:



Gambar 1. Alur Perancangan VCLUS Pegasus

2.1. Fase Pembagian Area Vertikal

Tujuan utama pada fase ini adalahh membagi area *sensing* menjadi beberapa *grid* yang lebih kecil dengan tujuan untuk memperkecil energi pada saat melakukan transmisi dengan cara membagi area itu menjadi sama rata berdasarkan koordinat dari lebar *node* nya (y). Untuk area ($A \times A$) m^2 , ukuran area dalam satu *grid* akan ($A \times A/k$) m^2 dimana k sendiri adalah jumlah dari *grid* yang diinginkan (Ramluckun & Bassoo, 2018). Dalam setiap masing-masing *grid* sendiri akan dibentuk *chain*. Adapun pembagian *grid* dalam satu area ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pembagian Grid

2.2. Fase Pembentukan Chain

Dalam fase ini, *node* dalam setiap area akan saling menghubungkan untuk membentuk sebuah *chain*. Modifikasi pada tahap ini dapat dilihat pada *flowchart* di Gambar 3.

Pada penelitian ini, setelah *chain* awal terbentuk, seluruh jarak antara satu *node* dengan *node* tetangganya pada satu *grid* tadi akan dihitung. Untuk menghitung jarak antara setiap *node* dengan *node* tetangganya digunakan rumus *Euclidean Distance* dengan menggunakan persamaan (1) (Rizaldi, Kurniawati & Angkoso, 2018). Lalu setelah didapat jarak antar *node* dengan *node* tetangganya tadi, maka jarak tadi akan ditotalkan lalu dihitung nilai rata-ratanya. Nilai rata-rata ini nantinya akan dikalikan tiga dan nilai tersebut akan digunakan sebagai nilai batas (*threshold*) sebagai jarak maksimal suatu *node* dengan *node* tetangganya. *Threshold* sendiri dapat

dilihat pada persamaan (2). Apabila *node* pada suatu *grid* tadi memiliki jarak yang melebihi nilai *threshold*, maka akan dilakukan pembuatan *chain* baru pada *grid* tersebut. Adapun pembuatan *chain* baru pada setiap *node* dapat dilihat pada Gambar 4.

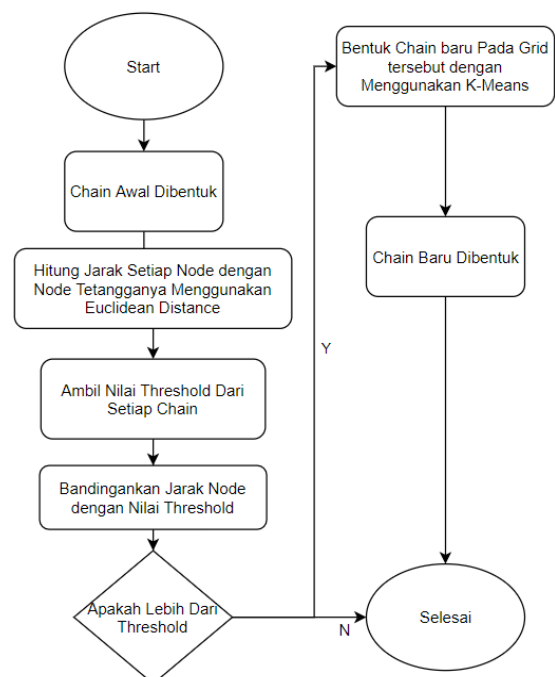
$$j = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (1)$$

dimana j adalah jarak, x_2 adalah *latitude* x_2 dari *node* awal, z_2 adalah *longitude* z_2 dari *node* awal, x_1 adalah *latitude* x_1 ke *node* tujuan, z_1 adalah *longitude* z_1 ke *node* tujuan.

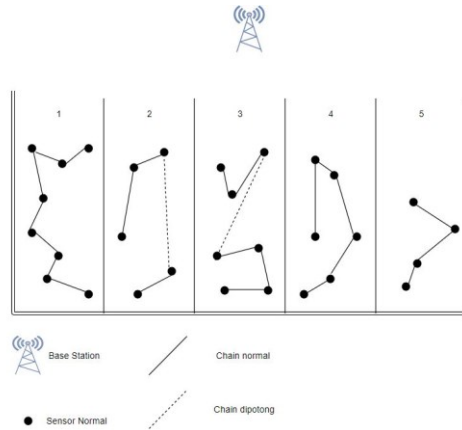
$$\gamma = \frac{j_1 + j_2 + j_3 + j_{...n}}{n} \times 3 \quad (2)$$

dimana γ adalah *threshold*, j adalah jarak, n adalah jumlah *node*.

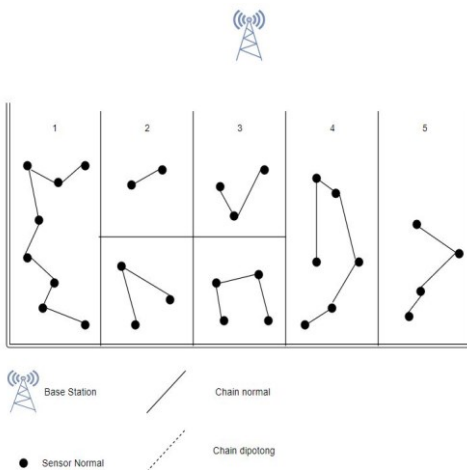
Seperti terlihat pada Gambar 4, terlihat pada *grid* 2 dan *grid* 3 jika ada sebuah *node* yang memiliki jarak dengan tetangganya yang melebihi nilai *threshold*. Maka pada masing-masing *grid* tersebut akan dilakukan pembuatan *chain* baru yang dibagi dengan menggunakan algoritma K-Means. Cara pembentukan *chain* yang dilakukan dengan menggunakan algoritma K-mean, pembentukan ini dimulai dengan kelompok pertama yang dibentuk berdasarkan *centroid* yang dipilih secara acak yang digunakan sebagai titik awal setiap *cluster*, lalu dilakukan penghitungan ulang hingga menemukan nilai optimal posisi *centroid*. Setelah *centroid* telah stabil, *chain* baru akan terbentuk dalam satu *grid*. Sedangkan pada *grid* lain yang jarak *node* dengan *node* tetangganya tidak melebihi dari nilai *threshold* maka tidak terjadi perubahan pada *grid* tersebut. Adapun pembentukan *chain* baru tersebut terlihat pada Gambar 5.



Gambar 3. Alur Fase Pembentukan Chain pada VCLUS-PEGASIS



Gambar 4. Skenario Pembentukan Chain



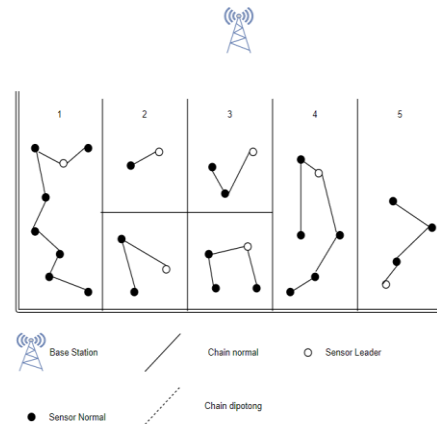
Gambar 5. Skenario Pembentukan Chain Baru

2.3. Fase Pembentukan Leader

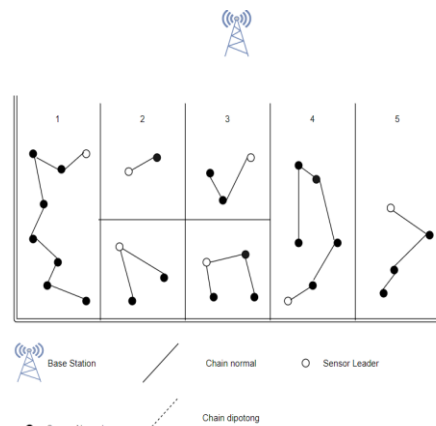
Pembentukan *leader* di dalam penelitian ini sendiri akan dibentuk pada setiap area yang ada. Leader pada setiap area sendiri akan dipilih secara acak dan akan berganti pada setiap putaran. *Leader* sendiri memiliki fungsi sebagai *node* yang mengumpulkan semua data lalu mengirimkannya ke BS. Ketika *leader node* dipilih dan memberitahukan ke BS jika *node* tersebut adalah *leader*, setiap *node* pada *chain* akan melakukan transmit data dan menerima gabungan data hingga ke *leader* (Lindsey & Raghavendra, 2002). Adapun skenario 2 round awal dalam pencarian *leader* dari fase ini dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

2.4. Radio dan Model Energi

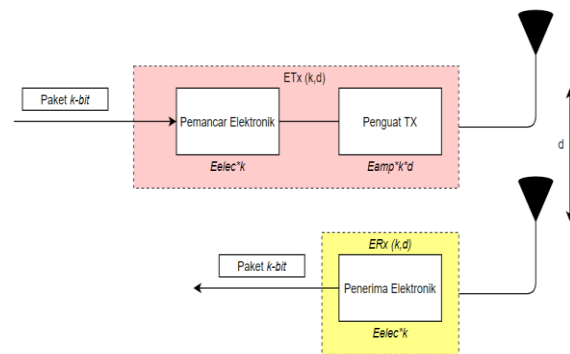
Radio dan model energi yang digunakan pada penelitian ini pada setiap transmisinya akan dihitung menggunakan persamaan yang sama dengan beberapa penelitian seperti (Prajapat & Barwar, 2018) (Mishra & Samantara, 2016) (Marhoon, Mahmuddin & Nor, 2016). Dapat terlihat pada Gambar 8 dapat dilihat model radio yang digunakan dalam perhitungan energi yang digunakan.



Gambar 6. Fase Pembentukan Leader Round 1



Gambar 7. Fase Pembentukan Leader Round 2



Gambar 8. Radio Model (Lindsey & Raghavendra, 2002)

Dalam penggunaan energi, energi yang paling digunakan terletak pada saat transmisi dan penerimaan data. Pada saat melakukan transmisi, ada dua buah cara dalam perhitungan disipasi energi didalam jaringan yaitu dengan model *free space* dan model *multipath*. Dalam melakukan penstransmisian paket data sebesar k -bit dengan jarak d meter, energi yang dibutuhkan radio dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3)(4)(5) berikut:

$$E_{TX} = E_{TX-elec(k)} + E_{TX-amp(k,d)} \quad (3)$$

$$k * E_{elec} + k * \epsilon_{fs} * d^2 \quad \text{if } d < d_0 \quad (4)$$

$$k * E_{elec} + k * \epsilon_{mp} * d^4 \quad \text{if } d \geq d_0 \quad (5)$$

Dimana E_{TX} adalah energi yang diperlukan ketika proses transmisi dilakukan, E_{elec} merupakan energi yang dibutuhkan untuk melakukan proses sebelum *packet data unit* ditransmisikan, d adalah jarak antara perangkat transmisi dan penerima, d_0 merupakan nilai *threshold* untuk menentukan apakah akan memakai model *free space* atau *multipath*, ε_{fs} merupakan disipasi energi per bit yang digunakan *amplifier* pada mode *free space* dan ε_{mp} yang digunakan *amplifier* pada model *multipath*.

Pada perangkat penerima data sendiri, energi yang digunakan saat menerima data sebesar k -bit *packet data unit*, maka energi yang dibutuhkan terlihat pada persamaan (5) berikut:

$$E_{rx(k)} = E_{rx-elec(k)} = k * E_{elec} \quad (5)$$

Dimana $E_{rx(k)}$ energi yang dibutuhkan oleh penerima untuk menerima sejumlah bit *packet data unit* setiap data k -bit.

Terakhir pada saat perangkat menerima, akan ada penggabungan data pada data di setiap *node* pada *chain*. Adapun energi yang dikeluarkan pada saat penggabungan data ini dapat dilihat pada persamaan (6) berikut:

$$E_{DA-tot} = s * k * E_{da} \quad (6)$$

Dimana E_{da} adalah energi per bit yang dikeluarkan pada saat melakukan penggabungan data dan s adalah jumlah dari sinyal yang digabungkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian hasil ini akan dibahas tentang hasil simulasi dari protokol VCLUS-PEGASIS yang dibandingkan dengan protokol PEGASIS. Parameter data yang bersifat tetap diperlukan untuk melakukan uji coba berdasarkan pada protokol PEGASIS (Lindsey & Raghavendra, 2002). Uji coba sendiri dilakukan dengan menggunakan MATLAB dengan penempatan sensor *node* secara acak dengan jumlah kerapatan 200 *node* dalam area simulasi sepanjang 100*100 m² dan *base station* yang diletakkan di tengah pada area 50*50. Skenario pengujian dilakukan dengan energi awal dari setiap *node* pada simulasi ini sebanyak 2 Joule dengan energi yang dibutuhkan untuk melakukan transmisi sebanyak 50 nJ/bit.

Pengujian sendiri akan dihitung hingga semua energi pada *node* habis. Adapun parameter uji coba yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1. Pada simulasi yang dilakukan menggunakan parameter diatas didapatkan area simulasi yang terlihat pada Gambar 9.

Untuk melakukan evaluasi kinerja pada protokol yang diajukan maka digunakan evaluasi berdasarkan persentase hidup *node* (*Alive Node in Network*) yang dihitung berdasarkan FND (*First Node Die*), HND (*Half Node Die*), serta LND (*Last Node Die*) dan *average consumption energy per transmission* dan

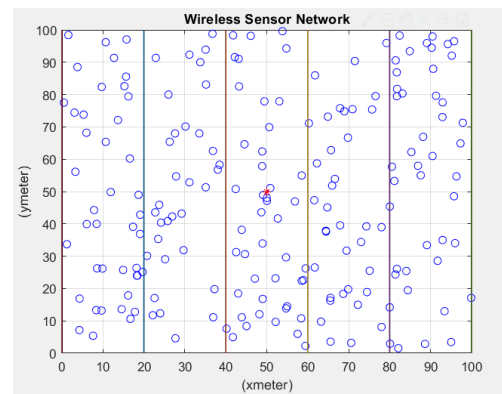
dibandingkan dengan evaluasi kinerja pada protokol PEGASIS. Detail dari parameter evaluasi sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Tabel Parameter Uji Coba

Parameter	Kapasitas
Area Simulasi	100*100
Jumlah Grid	5
Jumlah node	200 node
Energi awal <i>Node</i> (E_{init})	2 J
Pemancar Energi (E_{elec})	50 nJ/bit
<i>Base Station</i> (BS)	50*50

Tabel 2. Tabel Evaluasi Uji Coba

Parameter	Penjelasan
Persentase Hidup <i>Node</i> (<i>Alive Node in Network</i>)	Rentang waktu dari sensor <i>node</i> pertama kali disebarkan hingga semua sensor <i>node</i> mati
Average consumption Energy per Transmission	Rata-rata energi transmisi setiap <i>round</i> dari sensor <i>node</i> pertama kali disebarkan hingga sensor <i>node</i> pertama mati



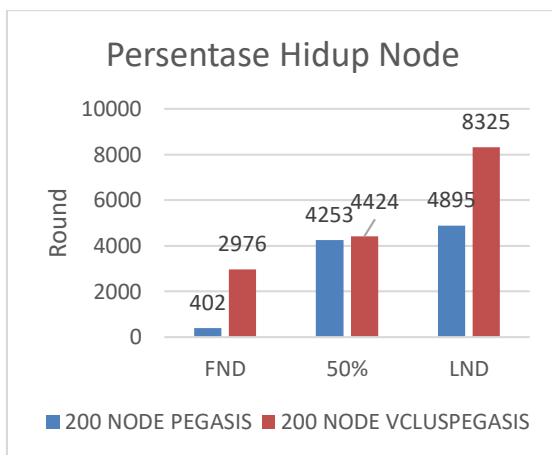
Gambar 9. Area Simulasi 200 *node*

3.1. Persentase Hidup *Node*

Persentase hidup *node* sendiri merupakan rentang waktu antara *node* pertama disebarkan hingga *node* terakhir mati. Dalam analisa tentang persentase hidup *node* diukur berdasarkan beberapa kriteria utama yaitu berapa *round* yang dibutuhkan dalam area simulasi tersebut ketika *node* pertama mati (*First Node Die*), lalu pada *round* berapa 50% *node* mati (*Half Node Die*), dan terakhir pada *round* berapa seluruh *node* mati (Marhoon, Mahmuddin & Nor, 2016). Hasil uji coba sendiri ditunjukkan pada Gambar 10.

Terlihat pada Gambar 10, protokol VCLUS-PEGASIS memiliki jumlah persentase hidup *node* yang lebih baik daripada PEGASIS baik dari kerapatan 100 *node* maupun pada kerapatan 200 *node*. VCLUS-PEGASIS memiliki jumlah *node* hidup yang lebih lama dari pada PEGASIS. Berdasarkan hasil uji coba, selisih perbandingan dari persentase hidup *node* pada VCLUS-PEGASIS dan PEGASIS ditampilkan pada Tabel 3.

FND pada VCLUS-PEGASIS mendapatkan selisih transmisi sebanyak 86,49% lebih baik dari pada PEGASIS asli. HND pada VCLUS-PEGASIS juga mendapatkan hasil selisih lebih baik dari pada PEGASIS asli dimana terlihat *node* mampu bertahan 3,87% *round* lebih lama dari PEGASIS asli dan terakhir pada LND terlihat jika VCLUS-PEGASIS mampu untuk bertahan 41,2% lebih baik dari pada PEGASIS asli. Hasil ini memperlihatkan jika teknik teknik pembagian area dan pembentukan *chain* secara adaptif pada protokol VCLUS-PEGASIS dapat meningkatkan persentase hidup *node* lebih banyak dari pada protokol PEGASIS.



Gambar 10. Persentase Hidup Node

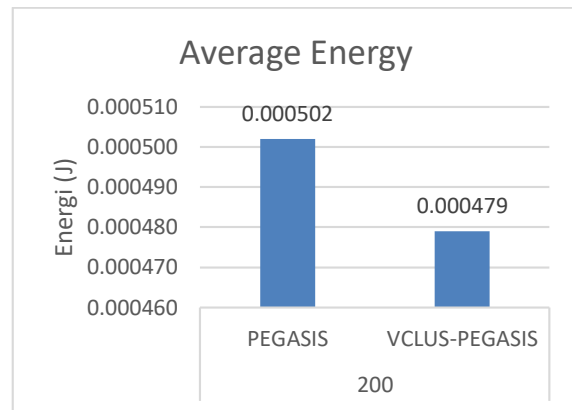
Tabel 3. Tabel Persentase Hidup Node

Persentase Hidup Node	PEGASIS	VCLUS-PEGASIS	Selisih
FND	402	2976	2574
HND	4253	4424	171
LND	4895	8325	3430

3.2. Average Energy Consumed by A Node

Dalam WSN, selain dari pentingnya persentase hidup *node* sebagai evaluasi pertama dalam pengukuran kinerja dari WSN, diperlukan juga pengukuran rata-rata energi yang diperlukan *node* dalam melakukan transmisi ke *base station* hingga *node* pertama mati (*Average Energy Consumed by A Node*)(Marhoon, Mahmuddin & Nor, 2016). Hasil uji coba sendiri ditunjukkan pada Gambar 11.

Dapat dilihat pada Tabel 3 perbandingan rata-rata energi yang diperlukan *node* pada PEGASIS dan VCLUS-PEGASIS didapat jika VCLUS-PEGASIS memiliki transmisi dengan rata-rata energi yang lebih rendah dari pada PEGASIS asli. Terlihat pada Tabel 4 jika selisih pada kedua teknik ini adalah 0,0000023 *joule* yang berarti VCLUS-PEGASIS mentransmisikan 4,58% energi yang lebih rendah dari pada PEGASIS asli.



Gambar 11. Average Energy Consumed by A Node

Walaupun dapat disimpulkan jika VCLUS-PEGASIS memiliki nilai rata-rata energi yang lebih rendah dari pada PEGASIS namun selisihnya tidak terlalu jauh. Nilai yang tidak terlalu jauh berbeda ini disebabkan karena pengaruh *grid* yang lebih jauh dari BS dimana semakin jauh *grid* dari BS menyebabkan energi yang dikeluarkan akan semakin besar.

Tabel 4. Average Energy Consumed by A Node

Persentase Hidup Node	PEGASIS	VCLUS-PEGASIS	Selisih
Energi	0.000502	0.000479	0.000023

4. KESIMPULAN

Protokol VCLUS-PEGASIS merupakan modifikasi dari PEGASIS dengan cara melakukan pembagian area WSN menjadi beberapa *grid* dalam bentuk vertikal dengan luas area *sensing* yang sama dan melakukan pembentukan *chain* baru pada setiap *grid* dengan menggunakan algoritma K-Means jika ada *node* di dalam *chain* yang mempunyai jarak yang melebihi nilai *threshold*. Berdasarkan uji coba yang dilakukan, protokol VCLUS-PEGASIS mampu meningkatkan persentase hidup *node* hingga 41,2% dan mampu untuk menghemat energi sebanyak 4,58% daripada PEGASIS asli. Sehingga dapat disimpulkan jika VCLUS-PEGASIS mampu untuk mempertahankan masa hidup *node* dan menurunkan transmisi energi daripada PEGASIS.

DAFTAR PUSTAKA

- ARIOUA, M. ET AL. (2016) 'Multi-hop cluster based routing approach for wireless sensor networks', *Procedia - Procedia Computer Science*. Elsevier Masson SAS, 83(Ant), pp. 584–591. doi: 10.1016/j.procs.2016.04.277.
- ASTUTI, L. D. & WIBISONO, W. (2017) 'Peningkatan Network Lifetime Pada Wireless Sensor Network Menggunakan Clustered Shortest Geopath Routing (C-SGP) Protocol', *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 4(3), pp. 148–153.
- CHEN, Y. & LIN, J. (2012) 'Energy efficiency analysis of a chain-based scheme via intra-

- grid for wireless sensor networks', *Computer Communications*. Elsevier B.V., 35(4), pp. 507–516. doi: 10.1016/j.comcom.2011.12.002.
- FALLO, K., WIBISONO, W. & KUN NURSYAFUL PRIYO PAMUNGKAS (2019) 'Pengembangan mekanisme grid based clustering untuk peningkatan kinerja LEACH pada lingkungan Wireless Sensor Network Development of a grid-based clustering mechanism to improve LEACH performance in the Wireless Sensor Network environment', *Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*, 5(34), pp. 152–161.
- HUANG, Y., YAN, L.-C. & LIN, J. (2012) 'An Efficient Energy Data Gathering Based on Grid-Chain for Wireless Sensor Networks', in *4th International Conference on Awareness Science and Technology*. Seoul, pp. 78–82. doi: 10.1109/iCAwST.2012.6469593.
- KHAN, A. R. ET AL. (2015) 'Comparative Study of WSN Protocols', in *2015 Third International Conference on Image Information Processing Comparative*. Wagnaghat: IEEE, pp. 422–427. doi: 10.1109/ICIIP.2015.7414810.
- LI, L. (2016) 'Data Aggregation in Wireless Sensor Networks', *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, 12(11), pp. 28–33. Available at: <https://doi.org/10.3991/ijoe.v12i11.6233>.
- LINDSEY, S. & RAGHAVENDRA, C. S. (2002) 'PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems', in *IEEE Aerospace Conference Proceedings*. Big Sky, pp. 1125–1130. doi: 10.1109/AERO.2002.1035242.
- MARHOON, H. A., MAHMUDDIN, M. & NOR, S. A. (2016) 'DCBRP: a deterministic chain-based routing protocol for wireless sensor networks', *SpringerPlus*. Springer International Publishing, pp. 1–21. doi: 10.1186/s40064-016-3704-1.
- MISHRA, A. K. & SAMANTARA, M. K. (2016) 'A Dynamic Energy-Efficient Chain Formation Scheme for PEGASIS in Wireless Sensor Networks', in *2016 International Conference on Computational Intelligence and Networks*. Bhubaneswar: IEEE, pp. 41–46. doi: 10.1109/CINE.2016.15.
- PRAJAPAT, M. & BARWAR, N. C. (2018) 'Performance Analysis of Energy Dissipation in WSNs Using Multi-Chain Performance Analysis of Energy Dissipation in WSNs Using Multi-Chain PEGASIS', *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5(4), pp. 8033–8036.
- RAMLUCKUN, N. & BASSOO, V. (2018) 'Energy-efficient chain-cluster based intelligent routing technique for Wireless Sensor Networks Applied Computing and Informatics Energy-efficient chain-cluster based intelligent routing technique for Wireless Sensor Networks', *Applied Computing and Informatics*. King Saud University, (April). doi: 10.1016/j.aci.2018.02.004.
- RANA, J., VHATKAR, S. & MOHOMMAD ATIQUE (2015) 'Comparative Study of PEGASIS and PDCH Protocols in Wireless Sensor Network', in *International Conference and Workshop on Emerging Trends in Technology (ICWET)*, pp. 13–18.
- RIZALDI, R., KURNIAWATI, A. & ANGKOSO, C. V. (2018) 'Implementasi Metode Euclidean Distance untuk Rekomendasi Ukuran Pakaian pada Aplikasi Ruang Ganti Virtual', *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 5(2), p. 129. doi: 10.25126/jtiik.201852592.
- SEN, F., BING, Q. & LIANGRUI, T. (2011) 'An Improved Energy-Efficient PEGASIS-Based Protocol in Wireless Sensor Networks', in *2011 Eighth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*. Shanghai: IEEE, pp. 2230–2233. doi: 10.1109/FSKD.2011.6020058.
- SOMAUROO, A. & BASSOO, V. (2019) 'Energy-efficient genetic algorithm variants of PEGASIS for 3D Wireless Sensor Networks', *Applied Computing and Informatics*. King Saud University. doi: 10.1016/j.aci.2019.07.002.
- SUNIL KUMAR SINGH, KUMAR, P. & JYOTI PRAKASH SINGH (2017) 'A Survey on Successors of LEACH Protocol', *IEEE Access*, 5, pp. 4298–4328. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2666082.
- VHATKAR, S., SHAIKH, S. & ATIQUE, M. (2017) 'Performance Analysis of Equalized and Double Cluster Head Selection Method in Wireless Sensor Network', in *2017 Fourteenth International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN)*. Mumbai: IEEE, pp. 1–5. doi: 10.1109/WOCN.2017.8065854.
- WANG, J. ET AL. (2018) 'An Enhanced PEGASIS Algorithm with Mobile Sink Support for Wireless Sensor Networks', *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018, pp. 1–9. Available at: <https://doi.org/10.1155/2018/9472075>.

- WARRIER, M. M. & KUMAR, A. (2016) 'An energy efficient approach for routing in wireless sensor networks', in *Global Colloquium in Recent Advancement and Effectual Researches in Engineering, Science and Technology (RAEREST)*. The Author(s), pp. 520–527. doi: 10.1016/j.protcy.2016.08.140.