
Jurnal *Rekayasa Elektrika*

VOLUME 14 NOMOR 2

AGUSTUS 2018

Analisis Perbandingan Konsumsi Energi dan Masa Hidup Jaringan pada Protokol LEACH, HEED, dan PEGASIS di Wireless Sensor Network 128-135

Widya Cahyadi, Muhammad Arief Wahyudi, dan Catur Suko Sarwono

JRE	Vol. 14	No. 2	Hal 83-144	Banda Aceh, Agustus 2018	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	------------	-----------------------------	--------------------------------------

Analisis Perbandingan Konsumsi Energi dan Masa Hidup Jaringan pada Protokol LEACH, HEED, dan PEGASIS di Wireless Sensor Network

Widya Cahyadi, Muhammad Arief Wahyudi, dan Catur Suko Sarwono
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jl. Kalimantan No. 37, Sumsbersari, Jember, Indonesia 68121
e-mail: cahyadi@unej.ac.id

Abstrak—Wireless Sensor Network atau WSN adalah sekumpulan node yang berupa sensor yang membentuk sebuah jaringan secara wireless. WSN berfungsi untuk mengumpulkan data tersebar yang diperoleh dari sensor yang kemudian akan dikirimkan melalui komunikasi Ad-Hoc menuju Base Station untuk diolah lebih lanjut. Dalam pengimplementasiannya, WSN memiliki beberapa masalah yang terjadi. Salah satunya adalah konsumsi energi dan masa hidup node sensor, dimana node sensor menggunakan energi hanya dari baterai untuk operasinya. Padahal, pada pengaplikasiannya pengambilan data tidak dilakukan sekali. Sehingga, perlunya penghematan energi untuk mengurangi konsumsi energi dan jumlah energi yang cukup agar node sensor mempunyai masa hidup yang lebih lama. Salah satu solusi untuk menanggulangi masalah tersebut yaitu merancang protokol dari WSN agar node sensor dapat mengirimkan data ke Base Station dengan efektif. Dalam tugas akhir ini, dilakukan simulasi menggunakan tiga buah protokol, yaitu Low Energi Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH), Hybrid Energy Efficient Distribute (HEED), dan Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS). Protokol LEACH dan HEED menggunakan metode clustering sedangkan PEGASIS menggunakan metode rantai. Analisis yang dilakukan pada ketiga protokol yaitu konsumsi energi dan masa hidup jaringan dengan menggunakan parameter yang sama dari Zigbee Xbee Pro dan disimulasikan pada Matlab R2013a.

Kata kunci: *WSN, Ad-Hoc, LEACH, HEED, PEGASIS*

Abstract—Wireless Sensor Network or WSN is a collection of nodes in the form of sensors which establish a network wirelessly. The function of WSN is to collect scattered data that is obtained from sensors which will be transmitted via Ad-Hoc communication to Base Station for further processing. In implementing it, WSN has several problems that occur. One of the problems is the energy consumption and lifetime of the sensor node which the sensor node uses energy only from the battery for its operation. In fact, on its application, the data is not taken once. Thus, it needs energy savings to reduce energy consumption, and the amount of enough energy to make the sensor nodes has a longer lifetime. One of the solutions to overcome the problem is to design a protocol from WSN so that sensor nodes can transmit data to Base Station effectively. In this final project, the simulation was done using three protocols, namely Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH), Hybrid Energy Efficient Distribute (HEED), and Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS). The LEACH and HEED protocols used clustering method while PEGASIS used chain method. The analysis performed on these three protocols was energy consumption and network lifespan using the same parameters of Zigbee Xbee Pro and simulated on Matlab R2013a.

Keywords: *WSN, Ad-Hoc, LEACH, HEED, PEGASIS*

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Wireless Sensor Network merupakan sekumpulan *node* sensor yang diatur sedemikian rupa sehingga membentuk sebuah jaringan yang saling berkomunikasi secara nirkabel. Fungsi utama dari WSN adalah mengumpulkan data tersebar melalui jaringan sensor yang kemudian dikirimkan dengan jaringan *wireless* menuju *Base Station*

(BS) untuk diolah lebih lanjut. Salah satu masalah yang sering muncul dalam implementasi WSN yaitu tingkat konsumsi energi dan masa hidup dari jaringan tersebut. Catu daya yang hanya berasal dari baterai dapat habis dengan cepat apabila tidak digunakan secara efektif. Sehingga *node* akan mengalami kematian lebih cepat pula.

Salah satu cara yang dilakukan oleh beberapa peneliti yaitu membuat sebuah protokol agar pengiriman data dapat

dilakukan secara efektif, sehingga energi yang dikonsumsi lebih hemat. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis dari tiga buah protokol yaitu *Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy* (LEACH), *Hybrid Energy Efficient Distribute* (HEED), dan *Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems* (PEGASIS). Protokol LEACH dan HEED menggunakan teknik *clustering* sedangkan PEGASIS menggunakan teknik rantai. Dari kedua teknik tersebut akan dibandingkan, sehingga dapat diketahui teknik yang paling efektif serta dapat diketahui pula kelebihan dan kekurangan dari tiap protokol.

Dari tiga penelitian sebelumnya, terdapat kelebihan dari masing-masing penelitian tersebut. Masing-masing protokol juga memiliki kelebihan yang berbeda-beda. Sehingga, pada penelitian kali ini akan menggabungkan skenario yang dilakukan pada ketiga penelitian sebelumnya yaitu perubahan jumlah *node*, perubahan variasi energi awal, serta pengaruh posisi *base station* [1]. Dimana protokol yang digunakan adalah LEACH, HEED, dan PEGASIS. Alasan digunakan tiga protokol tersebut karena HEED merupakan pengembangan dari LEACH sehingga dapat dibandingkan [2], serta PEGASIS yang memiliki protokol yang berbeda dari keduanya sehingga dapat dibandingkan antara LEACH dengan PEGASIS serta HEED dengan PEGASIS [3], sehingga diharapkan didapat perbandingan yang terbaik antara ketiga protokol tersebut.

Penelitian akan berfokus pada analisis konsumsi energi dan masa hidup jaringan yang diuji dengan dua buah pengujian. Pengujian pertama dengan melakukan variasi jumlah *node* dan pengujian yang kedua dengan melakukan variasi energi awal. Pengujian akan dilakukan menggunakan simulasi pada *software* Matlab R2013a, dengan menggunakan *node* yang homogen dan disebar secara acak serta parameter yang digunakan sama untuk tiap protokol. Pengujian dilakukan dengan tiga tahapan, LEACH dengan HEED, LEACH dengan PEGASIS, dan HEED dengan PEGASIS, dengan algoritma program yang menjadi satu tiap *running* sehingga didapatkan hasil sebaran yang sama agar analisis dapat dilakukan dengan mudah.

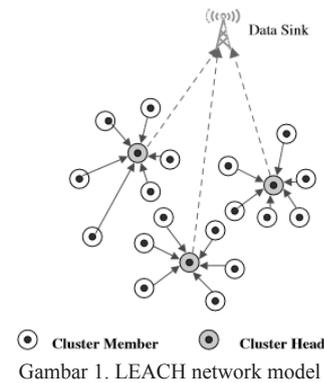
II. STUDI PUSTAKA

A. LEACH

Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) adalah algoritma *routing* yang dirancang untuk mengumpulkan dan mengirimkan data ke *sink data*, biasanya sebuah *base station*. Tujuan utama LEACH adalah [1]:

- 1) Perpanjangan masa pakai jaringan,
- 2) Mengurangi konsumsi energi oleh masing-masing *sensor node* jaringan,
- 3) Penggunaan agregasi data untuk mengurangi jumlah pesan komunikasi.

Untuk mencapai tujuan ini, LEACH mengadopsi pendekatan hierarkis untuk mengatur jaringan menjadi

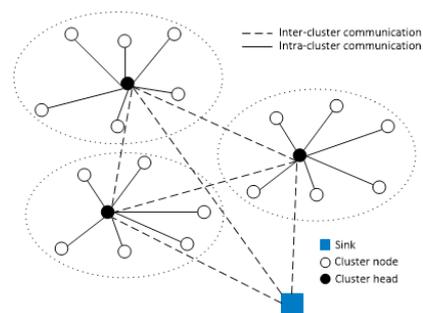


Gambar 1. LEACH network model

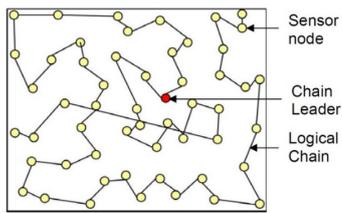
satu set *cluster*. Setiap *cluster* dikelola oleh *cluster head*. *Cluster head* bertanggung jawab untuk melakukan banyak tugas. Tugas pertama terdiri dari kumpulan data berkala dari anggota *cluster*. Setelah mengumpulkan data, *cluster head* mengumpulkannya dalam upaya menghilangkan redundansi di antara nilai yang berkorelasi. Tugas kedua dari *cluster head* adalah mentransmisikan data gabungan secara langsung ke *base station*. Transmisi data gabungan dicapai melalui *single hop*. Model jaringan yang digunakan oleh LEACH digambarkan pada Gambar 1. Tugas ketiga dari *cluster head* adalah membuat jadwal berbasis TDMA dimana masing-masing *node* dari *cluster* diberi slot waktu yang dapat digunakan untuk transmisi. *Cluster head* menginformasikan jadwal ke anggota *cluster* melalui *broadcasting*. Untuk mengurangi kemungkinan terjadinya tabrakan antar sensor di dalam dan di luar *cluster*, LEACH *node* menggunakan skema pembagian beberapa skema berbasis akses untuk komunikasi.

B. HEED

Hybrid Energy-Efficient Distributed (HEED), *hybrid*, hemat energi, menggunakan pendekatan *clustering* terdistribusi untuk *ad hoc sensor networks*. HEED mengatasi keterbatasan LEACH yang memungkinkan *cluster head* lebih dari satu *hop* dari *sink node*. Ini menjamin konektivitas *intercluster*, dan karena itu masalah skalabilitas LEACH dipecahkan dengan membangun struktur lapisan yang lebih tinggi yang mampu mengarahkan data dari *cluster* ke *cluster* sampai ke *sink*. Struktur lapisan yang lebih tinggi ini dapat memanfaatkan skema *routing*, sehingga akhirnya data mencapai *sink node* [4].



Gambar 2. HEED network model



Gambar 3. PEGASIS network model

C. PEGASIS

Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS) dan perluasannya, PEGASIS hirarkis, adalah keluarga protokol *routing* dan pengumpulan informasi untuk WSN. Tujuan utama PEGASIS ada dua. Pertama, protokol ini bertujuan untuk memperpanjang masa pakai jaringan dengan mencapai tingkat efisiensi energi yang tinggi dan konsumsi energi yang seragam di semua *node* jaringan. Kedua, protokol ini berusaha untuk mengurangi penundaan data yang masuk dalam perjalanan ke *sink*.

Model jaringan yang dipertimbangkan oleh PEGASIS mengasumsikan kumpulan *node* homogen yang ditempatkan di wilayah geografis. *Node* diasumsikan memiliki pengetahuan global tentang posisi sensor lainnya. Selanjutnya, mereka memiliki kemampuan untuk mengendalikan kekuatan mereka untuk menutupi rentang *arbitrary*. Tanggung jawab *node* adalah mengumpulkan dan mengirimkan data ke *sink*, biasanya sebuah *base station* nirkabel. Tujuannya adalah untuk mengembangkan struktur *routing* dan skema pengumpulan untuk

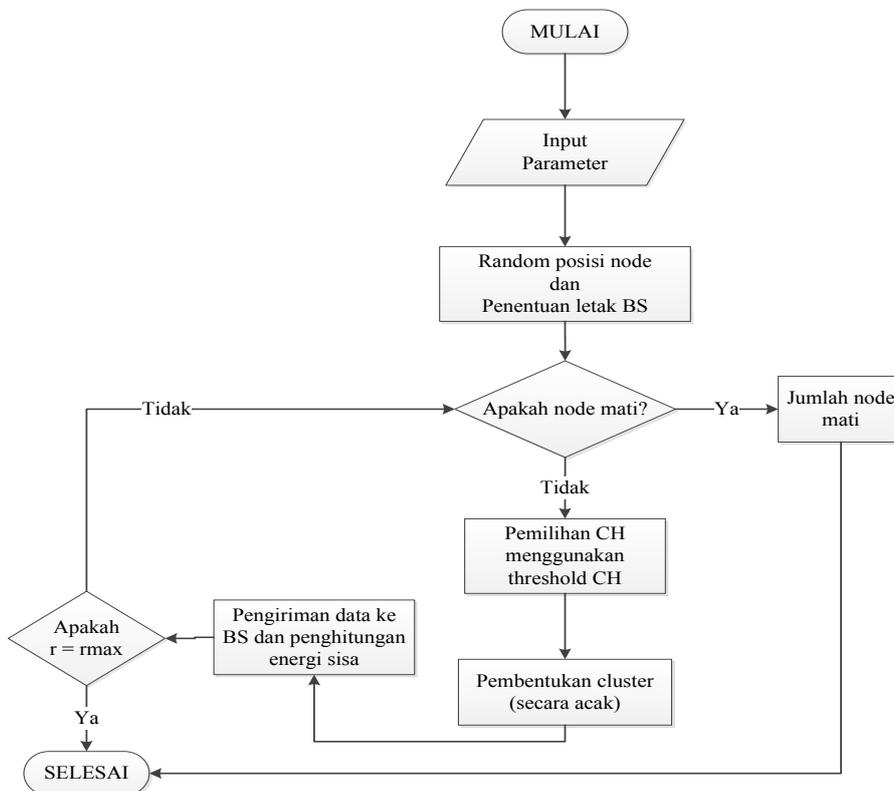
mengurangi konsumsi energi dan memberikan data agregat ke *base station* dengan penundaan minimal sambil menyeimbangkan konsumsi energi di antara *sensor node*. Berlawanan dengan protokol lain, yang bergantung pada struktur pohon atau organisasi hirarkis *cluster* berbasis jaringan untuk pengumpulan dan penyebaran data, PEGASIS menggunakan struktur rantai [5].

III. METODE

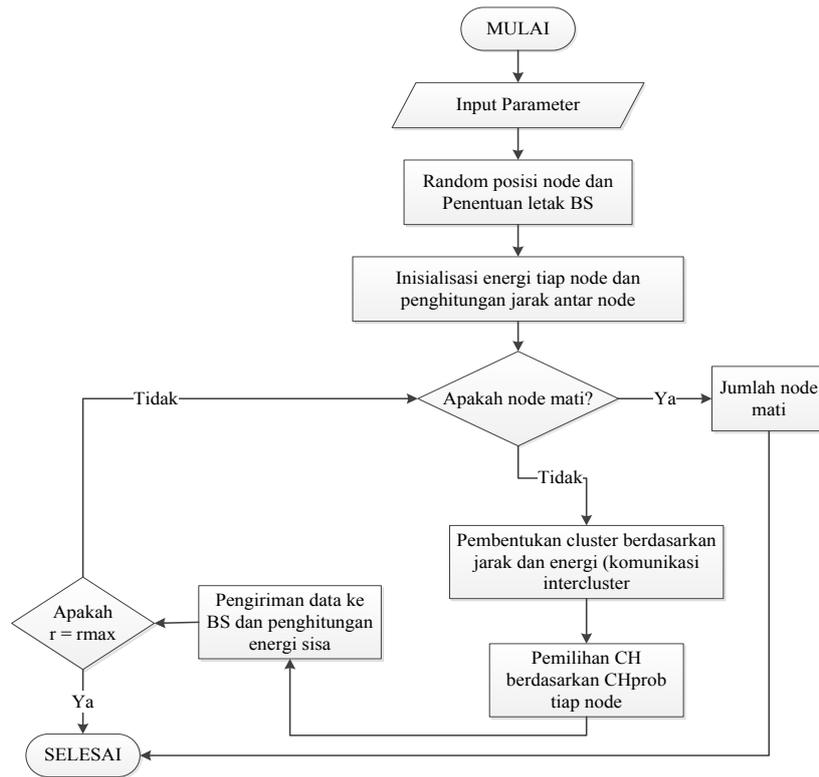
A. Metodologi Pengumpulan Data

Penyusunan laporan pada penelitian ini dilakukan beberapa tahap untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan. Tahapannya yaitu perancangan dan simulasi, dimulai dengan penentuan parameter yang digunakan pada simulasi. Parameter yang digunakan terbagi menjadi parameter tetap dan tidak tetap. Parameter tetap didapat dari hasil perhitungan yang akan digunakan untuk membangun jaringan. Parameter tidak tetap diubah sesuai dengan skenario pengujian dan digunakan sebagai pembanding dalam menganalisis hasil simulasi. Untuk mempermudah simulasi, maka disusun diagram alir algoritma simulasi.

Berdasarkan tahapan di atas, simulasi ini akan dimulai dengan menentukan *cluster* dan *cluster head* yang diinginkan dan masa aktif *node* selama menjadi *cluster head*. Setiap *node* memutuskan menjadi *cluster head* atau tidak selama sesi tersebut berlangsung. Pengambilan keputusan dilakukan oleh *node n* yang memilih angka acak di antara 0 sampai 1. Apabila angka tersebut kurang dari batas *threshold*, maka *node* akan menjadi *cluster*



Gambar 4. Algoritma protokol LEACH

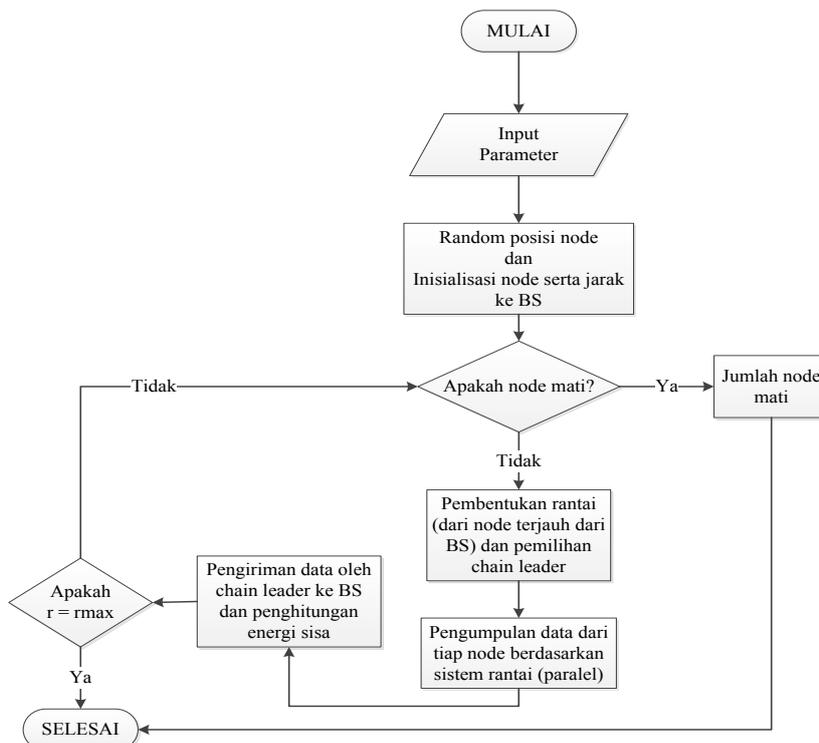


Gambar 5. Algoritma protokol HEED

head selama sesi tersebut. Kemudian, anggota cluster ditentukan berdasarkan jarak dari setiap cluster head, dan akan bergabung dengan cluster head yang memiliki jarak paling minimum.

Berdasarkan tahapan pada diagram alir, dimulai dengan menetapkan persentase awal cluster head antara semua sensor. Nilai persentase ini, CH_{prob} , digunakan untuk

broadcast cluster head awal ke sensor lainnya. CH_{prob} tidak boleh kurang dari $threshold P_{min}$, yang berbanding terbalik dengan E_{max} . Bagian utama dari algoritma terdiri dari sejumlah iterasi (konstan). Setiap sensor node melewati iterasi ini sampai menemukan cluster head yang dapat sensor node tersebut kirimkan dengan daya transmisi paling rendah. Apabila sensor node ini mendengar dari



Gambar 6. Algoritma protokol PEGASIS

Tabel 1. Parameter simulasi

Parameter	Nilai
Luas Wilayah	100 x 100 m ²
Letak Sink Node	(50, 50)
Energi Awal	0,25 Joule
Frekuensi	2,4 Ghz
Sensitifitas	-100 dBm
Bit Rate	250 Kbps
Arus Pancar	250 mA
Arus Terima	55 mA
Tegangan	3,3 V
Gain	2 dBi
Tinggi Antena	0,5 m

non-cluster head, *sensor node* memilih dirinya untuk menjadi *cluster head* dan kemudian mengirimkan pesan *broadcast* ke tetangganya untuk menginformasikan perubahan status. Akhirnya, setiap sensor menggandakan nilai CH_{prob} dan menuju ke tahap iterasi berikutnya. Hal ini berhenti ketika CH_{prob} mencapai nilai 1.

Berdasarkan tahapan di atas, pemimpin rantai berada di urutan hirarki paling atas. Data dikirimkan dari *node* paling ujung ke tetangga hilirnya berdasarkan aturan *node i mod N*. Kemudian apabila telah mencapai pemimpin rantai data dikirimkan ke *Base Station*.

B. Parameter Simulasi

Simulasi WSN ini akan menggunakan *node* sensor yang homogen, dimana *node* tersebut dirancang dalam keadaan statis. Setiap *node* memiliki energi awal yang sama. Seluruh *node* akan disebar secara acak di dalam area berbentuk segi empat dengan luas 100 x 100 m². Kemudian dimasukkan nilai E_{tx} , E_{rx} yang didapatkan dari parameter sensor pada Tabel 1 didapat dari *datasheet* Xbee Pro S1.

- *Electronic Energy* (E_{elec})

$$E_{elec\ Transmit} = \frac{3,3 \times 250 \times 10^{-3}}{250 \times 10^3} = 3,3 \mu J / bit \quad (1)$$

$$E_{elec\ Receive} = \frac{3,3 \times 55 \times 10^{-3}}{250 \times 10^3} = 0,7 \mu J / bit \quad (2)$$

- *Amplify Energy* (E_{amp})

$$\epsilon_{fs} = \frac{0,1 \times 10^{-12} \times (4\pi)^2}{250 \times 10^3 \times 1,6 \times 1,6 \times 0,125^2} = 1,5 \times 10^{-3} pJ / bit / m^2 \quad (3)$$

$$\epsilon_{mp} = \frac{0,1 \times 10^{-12}}{250 \times 10^3 \times 1,6 \times 1,6 \times 0,5^2 \times 0,5^2} = 2,5 \times 10^{-6} pJ / bit / m^4 \quad (4)$$

Untuk membedakan penggunaan ϵ_{fs} dan ϵ_{mp} pada simulasi, digunakan perhitungan jarak dengan rumus:

Tabel 2. Skenario pengubahan jumlah node

Parameter	Nilai
Luas Area	100 x 100 m ²
Letak Base Station	(50,50)
Energi Awal	0,25 Joule
Probabilitas	0,1
Jumlah Node	10 node
	30 node
	50 node
	70 node
	100 node

Tabel 3. Skenario pengubahan energi awal

Parameter	Nilai
Luas Area	100 x 100 m ²
Letak Base Station	(50, 50)
Energi Awal	0,1 Joule
	0,3 Joule
	0,5 Joule
	0,7 Joule
	0,9 Joule
Probabilitas	0,1
Jumlah Node	node

$$d_c = \sqrt{\frac{1,5 \times 10^{-15}}{2,5 \times 10^{-18}}} = 10\sqrt{6} \quad (5)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab hasil dan pembahasan akan dijelaskan bagaimana analisis perbandingan masa hidup dan konsumsi energi LEACH dengan HEED, analisis perbandingan masa hidup dan konsumsi energi LEACH dengan PEGASIS, serta analisis perbandingan masa hidup dan konsumsi energi HEED dengan PEGASIS. Data yang didapatkan berdasarkan simulasi yang dijalankan pada *software* MATLAB menggunakan parameter yang telah ditentukan dengan dua macam pengujian, pengubahan jumlah *node* dan pengubahan energi awal.

A. Analisis Perbandingan LEACH dengan HEED

Protokol LEACH dan HEED memiliki karakteristik dan tujuan masing-masing. Meskipun sama-sama menggunakan teknik *clustering*, protokol HEED memiliki sedikit perbedaan yaitu mendukung komunikasi *intercluster*. Pada protokol HEED, pemilihan *cluster head* didasarkan pada energi sisa (residu) yang dimiliki *node*, berbeda dengan LEACH yang dipilih menggunakan seleksi *threshold*. Oleh sebab itu dilakukan simulasi untuk menentukan protokol yang lebih baik antara LEACH dengan HEED.

Tabel 4. Skenario perubahan jumlah *node*

Jumlah <i>Node</i>	Protokol	Energi Awal (joule)	Pertama mati (round)	Total <i>Node</i> mati	Rata-rata Energi sisa (joule)	Konsumsi Energi (%)
10	LEACH	0,25	298	1	0,0809	67,64
	HEED	0,25	186	1	0,0910	63,6
30	LEACH	0,25	132	15	0,0253	89,88
	HEED	0,25	101	6	0,0895	64,2
50	LEACH	0,25	79	48	0,0052	97,92
	HEED	0,25	50	18	0,0784	68,64
70	LEACH	0,25	58	69	0,0035	98,6
	HEED	0,25	50	27	0,0736	70,56
100	LEACH	0,25	51	99	0,0025	99
	HEED	0,25	50	43	0,0705	71,8

Tabel 5. Skenario perubahan energi awal

Energi Awal (joule)	Protokol	Energi Awal (joule)	Pertama mati (round)	Total <i>node</i> mati	Rata-rata Energi sisa (joule)	Konsumsi Energi (%)
0,1	LEACH	0,1	20	100	0	100
	HEED	0,1	19	100	0	100
0,3	LEACH	0,3	64	99	0,0029	99
	HEED	0,3	61	36	0,1141	61,97
0,5	LEACH	0,5	98	32	0,0424	91,52
	HEED	0,5	90	17	0,2966	40,68
0,7	LEACH	0,7	210	15	0,2090	70,14
	HEED	0,7	152	9	0,4889	30,16
0,9	LEACH	0,9	162	5	0,3976	55,82
	HEED	0,9	164	7	0,6875	23,61

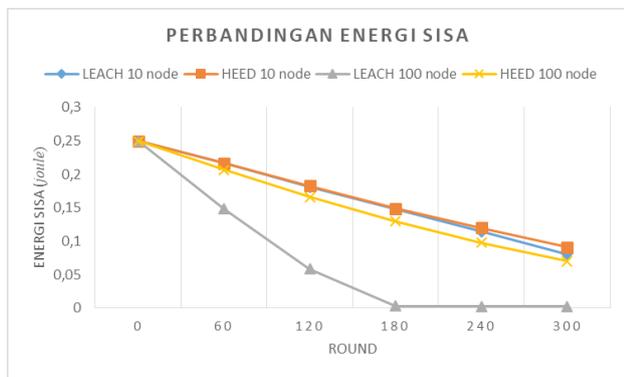
Berdasarkan data yang telah dijelaskan di atas, dapat disimpulkan bahwa protokol HEED lebih cepat mengalami kematian *node* daripada protokol LEACH. Namun pada protokol LEACH lebih banyak mengalami kematian *node* pada akhir simulasi. Protokol HEED lebih cepat mengalami kematian *node* dikarenakan *cluster head* yang digunakan pada saat simulasi tetap. Sehingga, *node* yang menjadi *cluster head* yang akan mengalami kematian, karena *cluster head* menggunakan energi yang lebih banyak untuk mengirimkan data. Protokol LEACH tetap lebih buruk daripada protokol HEED karena pada akhir simulasi lebih banyak *node* yang mengalami kematian. Hal ini dapat disebabkan karena *cluster head* yang selalu berganti dan anggota *cluster* yang terkadang jaraknya jauh

yang menyebabkan energi yang terpakai lebih banyak. Jadi, dapat disimpulkan dari dua macam pengujian yaitu variasi jumlah *node* maupun energi awal bahwa protokol HEED lebih unggul jika dibandingkan dengan protokol LEACH. Hal ini dapat dibuktikan dari konsumsi energi yang dibutuhkan lebih sedikit dan masa hidup jaringannya lebih lama, seperti yang telah dijelaskan pada pemaparan sebelumnya.

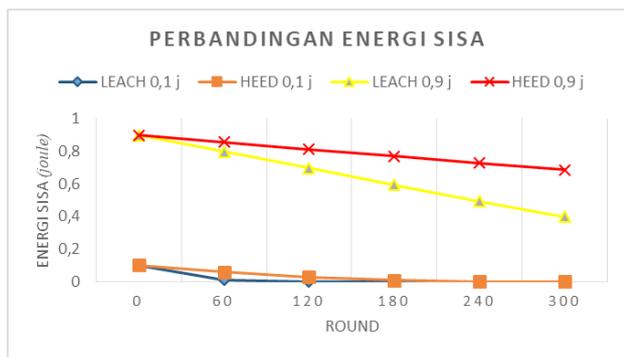
B. Analisis Perbandingan LEACH dengan PEGASIS

Protokol LEACH dan PEGASIS memiliki karakteristik dan tujuan masing-masing. Meskipun protokol LEACH menggunakan teknik *clustering*, sedangkan protokol PEGASIS menggunakan teknik *chain-based*. Oleh sebab itu dilakukan simulasi untuk menentukan protokol yang lebih baik antara LEACH dengan PEGASIS.

Berdasarkan data yang telah dijelaskan di atas, dapat disimpulkan bahwa protokol PEGASIS lebih hemat daripada protokol LEACH, karena energi sisa pada tiap *node* lebih banyak. Protokol LEACH lebih banyak mengalami kematian *node* pada akhir simulasi. Hal ini dikarenakan jarak anggota *cluster* yang tidak diatur, sehingga *node* yang jauh bisa saja menjadi anggotanya. Protokol PEGASIS lebih cepat mengalami kematian *node*



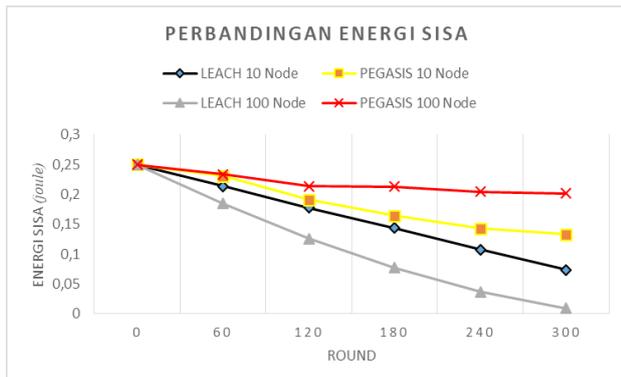
Gambar 7. Grafik perbandingan rata-rata energi sisa skenario 10 dan 100 *node*



Gambar 8. Grafik perbandingan rata-rata energi sisa skenario 0,1 dan 0,9 joule

Tabel 6. Skenario Perubahan Jumlah *Node*

Jumlah <i>Node</i>	Protokol	Energi Awal (joule)	Pertama mati (round)	Total <i>Node</i> mati	Rata-rata Energi sisa (joule)	Konsumsi Energi (%)
10	LEACH	0,25	-	0	0,0736	70,56
	PEGASIS	0,25	-	0	0,1331	46,76
30	LEACH	0,25	167	9	0,0397	84,12
	PEGASIS	0,25	-	0	0,1841	26,36
50	LEACH	0,25	167	22	0,0309	87,64
	PEGASIS	0,25	-	0	0,1965	21,4
70	LEACH	0,25	80	38	0,0222	91,12
	PEGASIS	0,25	-	0	0,2004	19,84
100	LEACH	0,25	51	66	0,0097	96,12
	PEGASIS	0,25	-	0	0,2060	17,6



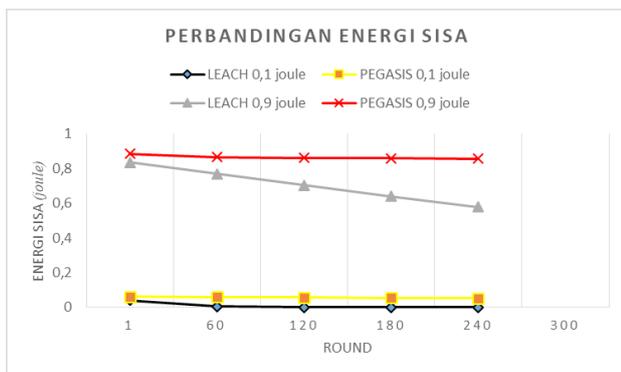
Gambar 9. Grafik perbandingan rata-rata energi sisa skenario 10 dan 100 node

dikarenakan pemimpin rantai bekerja terus menerus pada tiap *round* untuk mengirim data ke BS. Namun, *node* yang mati hanya satu pada beberapa skenario, sehingga bisa dikatakan protokol PEGASIS sangat unggul dari protokol LEACH.

Berdasarkan data di atas, saat menggunakan energi awal sebesar 0,1 *joule*, semua *node* mati pada protokol LEACH. Sedangkan pada protokol PEGASIS hanya delapan *node* yang mati, namun lebih cepat mengalami kematian. Sedangkan pada skenario selanjutnya protokol PEGASIS tidak mengalami kematian *node*. Pada protokol LEACH tetap mengalami kematian *node* meskipun terdapat penambahan energi awal pada setiap skenarionya. Hal ini dapat terjadi karena jumlah *node* yang digunakan yaitu

Tabel 7. Skenario perubahan energi awal

Energi Awal (joule)	Protokol	Energi Awal (joule)	Pertama mati (round)	Total Node mati	Rata-rata Energi sisa (joule)	Konsumsi Energi (%)
0,1	LEACH	0,1	26	100	0	100
	PEGASIS	0,1	18	98	0,0530	47
0,3	LEACH	0,3	77	48	0,0381	87,3
	PEGASIS	0,3	-	0	0,2550	15
0,5	LEACH	0,5	111	20	0,1982	60,36
	PEGASIS	0,5	-	0	0,4575	8,5
0,7	LEACH	0,7	160	11	0,3849	45,01
	PEGASIS	0,7	-	0	0,6573	6,1
0,9	LEACH	0,9	219	6	0,5781	35,76
	PEGASIS	0,9	-	0	0,8556	4,93



Gambar 10. Perbandingan rata-rata energi sisa skenario 0,1 dan 0,9 joule

tetap sebanyak 100 *node*, hanya diganti energi awalnya saja. Pada protokol PEGASIS, semakin banyak *node* yang terdapat pada jaringan tersebut, maka semakin hemat pula energi yang dikeluarkan. Terlebih apabila jarak antar *node* semakin rapat, maka energi yang dikeluarkan semakin hemat lagi. Karena pada protokol PEGASIS menggunakan satu jaringan rantai berdasarkan algoritma *Greedy* yang menghitung jarak seminimal mungkin antara *node* satu dengan yang lain.

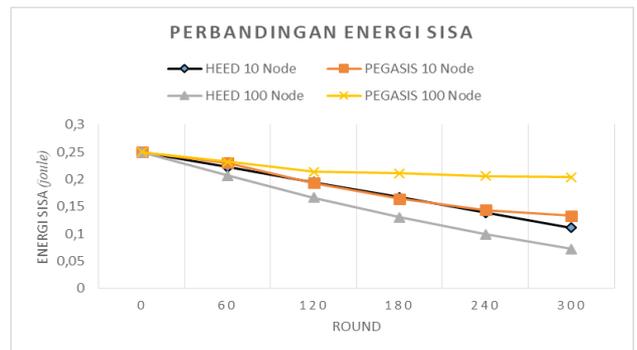
C. Analisis Perbandingan HEED dengan PEGASIS

Protokol HEED dan PEGASIS memiliki karakteristik dan tujuan masing-masing. Meskipun protokol HEED menggunakan teknik *clustering*, sedangkan protokol PEGASIS menggunakan teknik *chain-based*. Pada pembahasan sebelumnya, protokol HEED lebih baik daripada protokol LEACH. Protokol PEGASIS juga lebih unggul dari protokol LEACH. Oleh sebab itu dilakukan simulasi untuk menentukan protokol yang lebih baik antara HEED dengan PEGASIS.

Berdasarkan data yang telah dijelaskan di atas, dapat disimpulkan bahwa protokol PEGASIS lebih hemat daripada protokol HEED, karena energi sisa pada tiap *node* lebih banyak. Protokol HEED lebih banyak mengalami kematian *node* pada akhir simulasi. Hal ini dikarenakan jarak anggota *cluster* yang tidak diatur,

Tabel 8. Skenario perubahan jumlah *node*

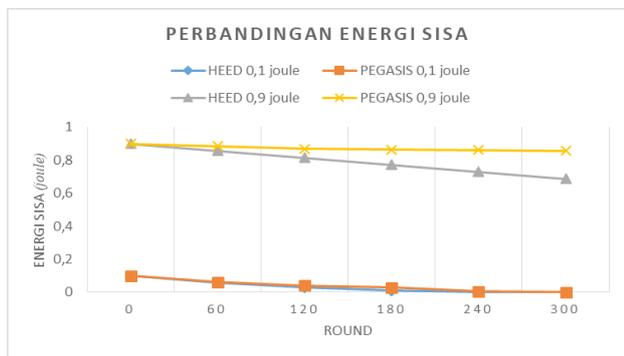
Jumlah Node	Protokol	Energi Awal (joule)	Pertama mati (round)	Total Node mati	Rata-rata Energi sisa (joule)	Konsumsi Energi (%)
10	HEED	0,25	-	0	0,1114	55,44
	PEGASIS	0,25	-	0	0,1331	46,76
30	HEED	0,25	85	7	0,0885	64,6
	PEGASIS	0,25	-	0	0,1941	22,36
50	HEED	0,25	88	14	0,0776	68,96
	PEGASIS	0,25	-	0	0,1965	21,4
70	HEED	0,25	56	26	0,0716	71,36
	PEGASIS	0,25	-	0	0,2004	19,84
100	HEED	0,25	59	44	0,0725	71
	PEGASIS	0,25	-	0	0,2040	18,4



Gambar 11. Grafik perbandingan rata-rata energi sisa skenario 10 dan 100 node

Tabel 9. Skenario pengubahan energi awal

Energi Awal (joule)	Protokol	Energi Awal (joule)	Pertama mati (round)	Total Node mati	Rata-rata Energi sisa (joule)	Konsumsi Energi (%)
0,1	HEED	0,1	23	100	0	100
	PEGASIS	0,1	18	99	0,0011	98,9
0,3	HEED	0,3	71	34	0,1115	62,83
	PEGASIS	0,3	-	0	0,2560	14,67
0,5	HEED	0,5	99	14	0,2943	41,14
	PEGASIS	0,5	-	0	0,4585	8,3
0,7	HEED	0,7	110	10	0,4892	30,11
	PEGASIS	0,7	-	0	0,6583	5,96
0,9	HEED	0,9	208	4	0,6869	23,68
	PEGASIS	0,9	-	0	0,8566	4,82



Gambar 12. Grafik Perbandingan rata-rata energi sisa skenario 0,1 dan 0,9 joule

sehingga *node* yang jauh bisa saja menjadi anggotanya. Protokol PEGASIS lebih cepat mengalami kematian *node* dikarenakan pemimpin rantai bekerja terus menerus pada tiap *round* untuk mengirim data ke BS. Namun, *node* yang mati hanya satu pada beberapa skenario, sehingga bisa dikatakan protokol PEGASIS sangat unggul dari protokol HEED.

Jadi, dapat disimpulkan dari dua macam pengujian yaitu variasi jumlah *node* maupun energi awal bahwa protokol PEGASIS lebih unggul jika dibandingkan dengan protokol HEED. Hal ini dapat dibuktikan dari konsumsi

energi yang dibutuhkan lebih sedikit dan masa hidup jaringannya lebih lama, seperti yang telah dijelaskan pada pemaparan sebelumnya. Sehingga, dari tiga buah protokol yang dibahas pada penelitian ini, maka protokol yang terbaik adalah PEGASIS. Namun, protokol HEED masih tetap bisa digunakan karena masih terbilang hemat untuk jumlah *node* yang sedikit dan energi awal yang besar.

V. KESIMPULAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa efisiensi energi dari tiga buah protokol yang paling baik adalah PEGASIS. Pada saat dilakukan pengujian dengan variasi jumlah *node* dan variasi energi awal mendapatkan hasil konsumsi energi yang lebih hemat jika dibandingkan dengan protokol LEACH maupun HEED. Sehingga dapat disimpulkan bahwa teknik rantai lebih baik daripada teknik *clustering*. Oleh sebab itu, penelitian selanjutnya diharapkan membandingkan dengan protokol yang berbeda yang menggunakan teknik rantai juga dalam hal konsumsi energi dan masa hidup jaringan.

REFERENSI

- [1] A. Darbi, Y. Rahayu, and L. O. Sari, "Analisa Efisiensi Energi Algoritma Routing Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) Pada Wireless Sensor Network (WSN) Menggunakan MATLAB," J. Online Mhs. Fak. Tek. Univ. Riau, vol. 1, no. 2, pp. 1–9, 2014.
- [2] V. M. Galshetwar and A. Jeyakumar, "Energy efficient and reliable clustering algorithms HEED and ADCP of wireless sensor networks: A comparative study," in Communications and Signal Processing (ICCSP), 2014 International Conference on, 2014, pp. 1979–1983.
- [3] P. Bansal, P. Kundu, and P. Kaur, "Comparison of LEACH and PEGASIS hierarchical routing protocols in wireless sensor networks," Int. J. Recent Trends Eng. Technol., vol. 11, no. 1, p. 139, 2014.
- [4] M. A. Labrador and P. M. Wightman, Topology Control in Wireless Sensor Networks: with a companion simulation tool for teaching and research. Springer Science & Business Media, 2009.
- [5] K. Sohraby, D. Minoli, and T. Znati, Wireless sensor networks: technology, protocols, and applications. John Wiley & Sons, 2007.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

