

**Analisis Perbandingan Performansi Protokol LEACH dan PEGASIS
pada Jaringan Sensor Nirkabel**
*Performance Analysis Comparison of LEACH and PEGASIS Protocol
in Wireless Sensor Network*

Arif Mahmudi¹, Setyorini, S.T., M.T.², Sidik Prabowo, S.T., M.T.³

Fakultas Informatika, Univesitas Telkom, Bandung

¹arifmahmudi@students.telkomuniversity.ac.id, ²setyorini@telkomuniversity.ac.id,

³pakwowo@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Wireless sensor network (WSN) merupakan sekumpulan node sensor yang dilengkapi dengan sistem komunikasi *wireless* dan ter-organisir ke dalam suatu jaringan kooperatif yang digunakan untuk menangkap informasi sesuai dengan karakteristik yang diinginkan. WSN tersusun atas node sensor berukuran kecil dalam jumlah banyak (tersebar di *sensor field*) yang bertugas untuk mendeteksi fenomena fisis, melakukan pemrosesan data, dan mengirimkan data. Oleh karenanya, konsumsi energi WSN terbagi ke dalam tiga domain utama, yaitu: *sensing*, *wireless communication*, dan *data processing*. Dari ketiga domain tersebut, *wireless communication* merupakan proses yang paling banyak mengeluarkan energi. Dikarenakan keterbatasan hardware, suplai energi node sensor hanya berupa baterai dan memiliki kapasitas terbatas. Hingga saat ini keterbatasan energi pada WSN masih menjadi suatu keniscayaan. Keterbatasan tersebut yang menjadi salah satu faktor penting dalam pemilihan protokol perutean *energy-efficient* pada WSN.

Pada penelitian tugas akhir ini akan dikaji efisiensi energi dan umur jaringan (*network lifetime*) antara dua protokol perutean *energy-efficient* berbasis hierarki WSN, yaitu: LEACH dan PEGASIS. Efisiensi energi tersebut diukur dari rasio jumlah data terkirim per unit energy. Sedangkan *network lifetime* dilihat dari durasi simulasi yang tercapai oleh masing-masing penggunaan protokol.

Dari hasil simulasi dan pengujian yang dilakukan dengan menggunakan *Network Simulator-2* (NS-2), didapatkan hasil bahwa protokol perutean PEGASIS memiliki rasio jumlah data terkirim per unit energy yang lebih besar dan durasi simulasi yang lebih lama jika dibandingkan dengan LEACH. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa protokol PEGASIS lebih efisien dalam hal penggunaan energi dan memiliki umur jaringan yang lebih lama dibandingkan dengan protokol LEACH.

Kata Kunci : WSN, protokol perutean, LEACH, PEGASIS

Abstract

Wireless sensor network is a collected of sensor nodes organized into cooperative network to detect events, perform local data processing, and transmit data. Power consumption in sensor network can be divided into three domain: *sensing*, *data processing*, and *communication*. Among these three, sensor node expends the most energy consumption for *wireless communication*.

Due to limited energy of sensor nodes, it is very challenging to establish *energy-efficient* routing protocol for WSN. Hierarchical routing protocol (HRP) is one of concept to perform *energy-efficient* routing in WSN. In this final project purposed to simulate and analyze of comparison the *energy-efficient* parameter and *network lifetime* of LEACH (cluster-based HRP) and PEGASIS (chain-based HRP).

After the simulation and testing result by using *Network Simulator-2*, it was shows that PEGASIS routing protocol perform more *energy-efficient* than LEACH protocol, and PEGASIS have longer *network lifetime* than LEACH.

Keyword : WSN, routing protocol, LEACH, PEGASIS

1. Pendahuluan

Wireless sensor network (WSN) merupakan sekumpulan node sensor yang dilengkapi dengan sistem komunikasi *wireless* dan ter-organisir ke dalam suatu jaringan kooperatif yang digunakan untuk menangkap informasi sesuai dengan karakteristik yang diinginkan. Saat ini aplikasi WSN telah banyak digunakan di berbagai bidang, diantaranya bidang militer, lingkungan, kesehatan, dan home automation. WSN biasanya tersusun atas node sensor berukuran kecil dalam jumlah banyak (tersebar di *sensor field*) yang bertugas untuk mendeteksi fenomena fisis, melakukan pemrosesan data, dan mengirimkan data. Oleh karenanya, konsumsi energi pada WSN terbagi ke dalam tiga domain utama, yaitu: *sensing*, *wireless communication*, dan *data processing*. Dari ketiga domain tersebut, proses komunikasi *wireless* merupakan proses yang paling banyak mengeluarkan energi.

WSN terdiri dari sejumlah node sensor yang mengorganisir dirinya sendiri ke dalam jaringan nirkabel dan menyampaikan data ke base station (BS) ataupun node tetangga sampai tujuan yang diinginkan tercapai. Masing-masing node sensor memiliki keterbatasan dalam hal: sumber daya, processing, kapasitas memori, dan bandwidth komunikasi. Ditambah lagi dengan masa hidup node dan jaringan sensor yang bergantung pada ketersediaan daya di unit power yang hanya disuplai dari baterai. Keterbatasan inilah yang menjadi salah satu faktor penting dalam pemilihan protokol perutean pada WSN.

Salah satu metode perutean pada WSN ialah *hierarchical-based*, yang bertujuan untuk efisiensi energi node sensor dengan menyertakan node ke dalam komunikasi multi-hop dalam cluster dan melakukan agregasi (*aggregation*) dan penyatuan (*fusion*) data untuk mengurangi jumlah pesan yang dikirim ke BS. Pada referensi [7] dikenalkan protokol perutean LEACH (*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy*) yang merupakan cikal bakal protokol *hierarchical* berbasis cluster pada WSN. Ide utamanya ialah meng-organisir node sensor ke dalam cluster berdasarkan kekuatan sinyal dan menggunakan *cluster-head* (CH) lokal sebagai penerus data ke BS.

LEACH telah menginspirasi berbagai pengembangan protokol perutean berbasis *hierarchical* pada WSN, salah satunya ialah protokol PEGASIS (*Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems*) [9]. Berbeda dengan LEACH, PEGASIS berbasis rantai (*chain-based*) dengan algoritma *greedy*, bertujuan untuk mengefisienkan energi dan mengatasi overhead energi yang disebabkan oleh pembentukan cluster dan pemilihan CH pada LEACH, yaitu melalui komunikasi multi-hop dengan cara membangun rantai node dan tidak membentuk cluster. Setiap node dapat mengirim dan menerima data dari node tetangga dan hanya satu node yang terpilih untuk mengirim data ke BS.

Pada penelitian tugas akhir ini akan dilakukan simulasi dan dikaji perbandingan efisiensi energi dan *network lifetime* dari kedua protokol *hierarchical-based* WSN, yaitu LEACH dan PEGASIS. Faktor efisiensi energi diukur berdasarkan pada beberapa parameter unjuk kerja antara lain: konsumsi energi, jumlah data dan node *alive*. Sedangkan faktor *network lifetime* diukur berdasarkan durasi lamanya simulasi hingga semua node tersisa mati atau energi dari node tersisa tidak dapat lagi digunakan untuk mengirim data.

2. Dasar Teori

2.1 Jaringan Sensor Nirkabel

Jaringan sensor nirkabel atau disebut juga wireless sensor network (WSN) merupakan sekumpulan node sensor yang dilengkapi dengan peralatan sistem komunikasi yang terhubung secara wireless (tanpa kabel) yang ter-organisir ke dalam suatu jaringan kooperatif, digunakan untuk menangkap informasi sesuai dengan karakteristik yang diinginkan. WSN terdiri dari banyak node sensor yang saling berkomunikasi dan bekerja sama untuk mengumpulkan data dari lingkungan sekitar, misalnya suhu, tekanan udara, kelembapan, dan beberapa parameter fisis lingkungan lainnya. Untuk keperluan ini suatu node dilengkapi dengan peralatan sensor yang digunakan untuk mendeteksi kondisi lingkungan dan peralatan komunikasi yang digunakan untuk berkomunikasi dengan node sensor yang lain.

Node sensor terdiri dari empat komponen utama, yaitu: Unit Sensing, biasanya terdiri dari dua sub-unit: Sensor dan *Analog to Digital Converters* (ADCs). Sinyal analog dihasilkan oleh sensor berdasarkan pada pengamatan fenomena yang dikonversi ke sinyal digital oleh ADC, kemudian dikirimkan ke unit *processing*. Unit *Processing* biasanya bersatu dengan unit memori berukuran kecil, mengatur prosedur kerjasama antar node sensor satu dengan yang lain untuk melakukan tugas sensing. Unit *Transceiver* (wireless communication module), menghubungkan node ke jaringan melalui komunikasi nirkabel. Unit Power, biasanya berupa baterai, merupakan salah satu komponen penting node sensor, yang menjadi sumber energi utama bagi node sensor. Kelangsungan hidup node sensor sangat bergantung pada ketersediaan energi di unit power. Adapun beberapa komponen tambahan node sensor disesuaikan dengan kebutuhan aplikasinya, misalkan *location finding system*, *power generator*, dan *mobilizer*.

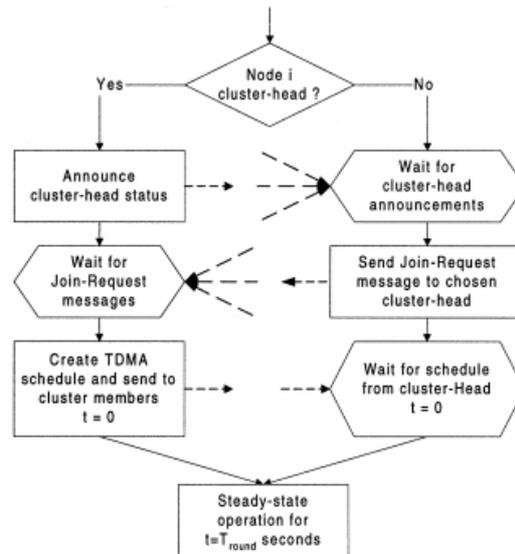
Pada saat jarak jangkauan transmisi radio dari semua node sensor cukup besar dan node sensor dapat mengirimkan datanya secara langsung ke base station, node-node dapat membentuk topologi star. Pada topologi ini, masing-masing node sensor dapat berkomunikasi secara langsung dengan base station menggunakan single-hop. Akan tetapi, jaringan sensor seringkali mencakup area geografi yang cukup luas dan daya transmisi radio harus dijaga seminimal mungkin untuk menghemat energi. Konsekuensinya, komunikasi multi-hop menjadi pilihan untuk jaringan sensor nirkabel. Pada komunikasi seperti ini, node sensor tidak hanya menangkap dan mengirimkan datanya sendiri, tetapi juga bertindak sebagai relay untuk node sensor yang lain. Oleh karena itu, node-node sensor harus berkolaborasi untuk menyampaikan data menuju base station.

2.2 LEACH (*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy*)

Protokol Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) diperkenalkan pertama kali pada referensi [7]. Operasi dari LEACH terbagi ke dalam round. Setiap round terdiri dari 2 (dua) fase, yaitu: fase set-up, saat pembentukan cluster, dan fase steady-state, saat data dari semua node diteruskan ke base station. Pada saat dimulainya fase set-up, beberapa node secara independen akan memilih dirinya sendiri sebagai CH berdasarkan pada level energi terkini-nya dan nilai threshold $T(n)$ yang dirumuskan dengan:

$$= \frac{1}{1 - P * \text{mod}^{\frac{1}{h}}}, \quad \epsilon \quad (1)$$

Dimana P adalah presentase CH yang diinginkan dan G adalah sekumpulan node yang tidak menjadi CH pada $1/P$ round terakhir. Pada penelitian [8] disebutkan bahwa untuk jumlah 100 node WSN, jumlah optimal CH adalah sekitar 5% dari total jumlah node.



Gambar-1 : pembentukan cluster pada leach[7]

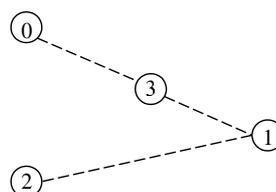
Setelah menyelesaikan fase set-up, kemudian fase steady-state dimulai. S1 membuat dan menyiarkan penjadwalan Time Division Multiple Access (TDMA) yang menentukan slot waktu transmit untuk masing-masing anggota cluster. Penjadwalan ini memungkinkan anggota cluster untuk beralih ke mode sleep dan mengaktifkan sirkuit transceiver-nya tepat sebelum slot transmit yang ditentukan. Semua node non-CH diasumsikan mempunyai data untuk ditransmisikan selama slot yang ditentukan. Cluster head menunggu sampai ia menerima data dari semua anggota cluster sebelum mengompres data ke dalam satu paket dan mengirimkannya ke BS.

Transmisi paket dari CH ke BS mungkin melibatkan jarak yang jauh dan mengkonsumsi banyak energi. Transmisi CH-BS akan dengan cepat mengurangi energi dari CH. Untuk menghindari CH mati lebih cepat dibanding node lain, maka peran CH dirotasi diantara node pada setiap round. Sekalinya node pernah menjadi CH, maka node tersebut tidak dapat dipilih lagi menjadi CH sampai $1/P$ round selanjutnya. Pendekatan ini secara efektif menghindari terjadinya satu node mengalami transmisi jarak jauh secara sering dalam periode singkat. Pendekatan ini menyeimbangkan beban energi diantara node, memperpanjang umur jaringan dan jaminan kualitas jaringan yang akan dirawat untuk jangka waktu yang lebih panjang.

2.3 PEGASIS

Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS) merupakan salah satu pengembangan dari protokol LEACH. Ide utama dari PEGASIS yaitu masing-masing node mengirim dan menerima data dari node tetangga terdekat dan bergiliran menjadi leader untuk mentransmisikan data ke BS. Pendekatan ini akan mendistribusikan beban energi yang cukup merata di antara node sensor di jaringan. Pada awalnya node secara random ditempatkan pada area sensor, dan oleh karena itu, lokasi node- i juga random. Node-node akan diorganisir untuk membentuk susunan rantai (chain), yang mana dapat diselesaikan oleh node sensor salah satunya dengan menggunakan algoritma greedy mulai dari beberapa node. Kemungkinan lain, BS dapat mengkomputasi rantai dan menyebarkannya ke semua node sensor.

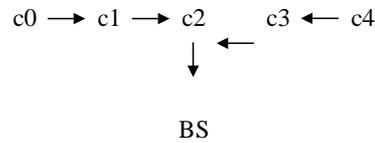
Dalam penyusunan rantai, diasumsikan bahwa semua node memiliki pengetahuan global (global knowledge) dari keseluruhan jaringan dan dengan menggunakan algoritma greedy. Loop bisa saja terjadi, akan tetapi, sulit untuk menjamin bahwa semua node memiliki tetangga dekat, mirip dengan permasalahan pada traveling salesman problem (TSP). Pendekatan greedy untuk membangun rantai bekerja secara baik dan hal ini terjadi sebelum round pertama komunikasi. Untuk membangun rantai, dimulai dengan node terjauh dari BS, dengan tujuan untuk memastikan bahwa node terjauh dari BS memiliki tetangga dekat, seperti pada algoritma greedy, jarak tetangga akan meningkat berangsur-angsur karena node yang sudah berada di rantai tidak dapat dicapai kembali. Gambar-2 menunjukkan node 0 terhubung ke node 3, node 3 terhubung ke node 1, dan node 1 terhubung ke node 2. Pada saat ada node yang mati, rantai disusun kembali dengan cara yang sama dengan mengabaikan node yang mati.



Gambar-2 : Penyusunan Rantai Menggunakan Algoritma Greedy [9]

Untuk pengumpulan (*gathering*) data pada tiap *round*. Masing-masing node menerima data dari satu tetangga, digabungkan dengan datanya, dan mengirimkannya ke tetangga yang lain di rantai node. Dengan

catatan bahwa node i akan berada pada posisi random j di rantai node. Node bergiliran mengirimkan data ke BS, dan akan menggunakan node nomor $i \bmod N$ (N menunjukkan jumlah node) untuk mengirimkan data ke BS pada round i . Dengan demikian, posisi *leader* pada tiap *round* komunikasi akan random di rantai node, yang mana penting untuk node untuk mati di lokasi yang random. Ide node yang mati di lokasi random ialah untuk membuat jaringan sensor tahan terhadap kegagalan. Pada *round* tertentu, dapat digunakan pendekatan kontrol token *passing* sederhana yang diprakarsai oleh *leader* untuk memulai transmisi data dari akhir rantai. Biaya akan sangat kecil karena ukuran token sangat kecil. Pada gambar 2, node c2 merupakan *chain leader* (CL), dan ia akan memberikan token ke node c4 dan node c4 akan mengirimkan datanya menuju node c2.



Gambar 3: pendekatan token passing

PEGASIS melakukan penyatuan (*fusion*) data pada setiap node kecuali node terakhir di rantai node. Masing-masing node akan menyatukan data tetangganya dengan datanya untuk membangkitkan paket tunggal dengan panjang yang sama dan kemudian mengirimkannya ke node tetangga yang lain (jika punya dua node tetangga). Pada contoh diatas, node c0 akan mengirimkan datanya ke node c1. Node c1 menyatukan datanya dengan data node c0 dan kemudian mengirimkannya ke CL. Setelah node c2 mengirimkan token ke node c4, node c4 mengirimkan datanya ke node c3. Node c3 menyatukan datanya dengan node c4 dan kemudian mengirimkannya ke CL. Node c2 menunggu untuk menerima data dari kedua node tetangganya dan kemudian menyatukan datanya dengan data node tetangganya. Akhirnya, node c2 mentransmisikan satu pesan ke BS.

Dengan demikian, pada PEGASIS masing-masing node akan menerima dan mentransmit satu paket pada setiap *round* dan menjadi CL sekali setiap 100 *round*. Pada penelitian di referensi [9], dikemukakan bahwa penyusunan rantai secara *greedy* berhasil dengan ukuran jaringan yang berbeda dan penempatan node secara random. Dalam membangun rantai node, memungkinkan bahwa beberapa node sensor mempunyai node tetangga dengan jarak yang relatif sepanjang rantai. Node yang demikian akan mengerluarkan energi yang lebih pada setiap *round* dibandingkan dengan node lain. Node tersebut tidak dianjurkan untuk menjadi *leader* untuk meningkatkan performansi PEGASIS. Hal tersebut diselesaikan dengan cara mengatur *threshold* pada jarak tetangga untuk menjadi *leader*. Sedikit peningkatan performansi PEGASIS lebih lanjut dapat dilakukan dengan mengaplikasikan *threshold* adaptif pada level energi tersisa di node sensor. Sewaktu-waktu node mati, rantai akan disusun ulang dan *threshold* dapat diubah untuk node mana yang dapat menjadi *leader*.

PEGASIS memperbaiki LEACH dengan menghemat energi pada beberapa langkah. Pertama, pada *local gathering*, jarak transmisi dari sebagian besar node lebih kecil dibandingkan transmisi ke CH pada LEACH. Kedua, jumlah data yang diterima *leader* ialah kebanyakan 2 pesan daripada 20 (20 node per cluster pada LEACH untuk jaringan 100 node). Terakhir, hanya satu node yang transmit ke BS pada tiap *round* komunikasi.

3. Pembahasan

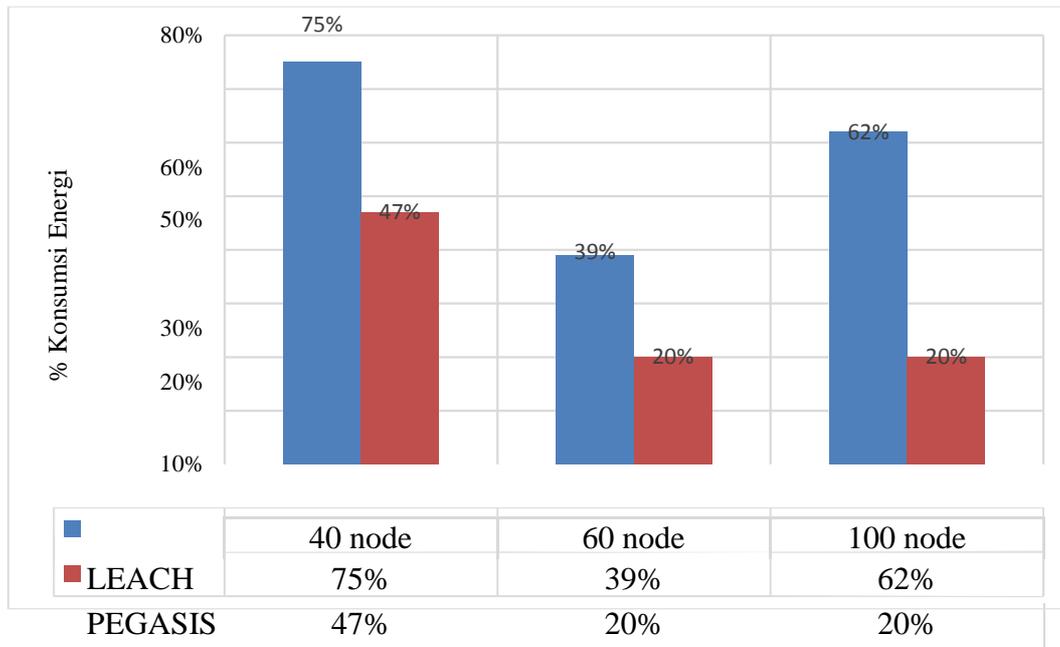
3.1 Analisis Hasil Skenario I

Pada skenario ini I, protokol LEACH dan PEGASIS akan disimulasikan dengan jumlah node sensor yang bervariasi. Skenario simulasi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kepadatan jumlah node dalam area jaringan terhadap setiap unjuk kerja dari masing-masing penggunaan protokol perutean pada jaringan sensor nirkabel. Parameter unjuk kerja tersebut nantinya akan digunakan untuk membandingkan faktor efisiensi energi dari protokol perutean LEACH dan PEGASIS. Luas area yang ditentukan yaitu 100 m x 100 m dengan letak BS pada koordinat (50,175). Adapun variasi jumlah node yang akan disimulasikan sebanyak 40, 60, dan 100 node (tidak termasuk BS) dengan persebaran node secara random dan energi inisialnya sebesar 2J untuk setiap node sensor. Durasi berakhirnya simulasi ditetapkan selama 120 s.

Simulasi yang dilakukan pada Skenario I ini bertujuan untuk mengetahui protokol perutean mana yang lebih efisien dalam penggunaan energi. Analisis bentuk efisiensi energi dari protokol LEACH dan PEGASIS diukur melalui dua skema, yaitu: pertama, dengan membandingkan rasio total data yang terkirim ke BS terhadap energi yang dikeluarkan, pada saat simulasi dengan skenario I. Rasio dari masing-masing protokol akan dibandingkan, protokol yang memiliki rasio lebih kecil maka protokol tersebut dikatakan lebih efisien dibanding dengan protokol yang lain. Skema kedua, membandingkan faktor perkalian antara total data yang terkirim ke BS dengan presentase node yang masih hidup/berfungsi, pada saat simulasi skenario I. Protokol yang memiliki faktor kali lebih besar maka protokol tersebut dikatakan lebih efisien dibanding protokol yang lainnya.

3.1.1. Konsumsi Energi

Pada gambar-4 memperlihatkan grafik perbandingan konsumsi energi protokol LEACH dan PEGASIS pada skenario I setelah dilakukan pengujian sebanyak 3 (tiga) kali dan diambil nilai rata-ratanya.



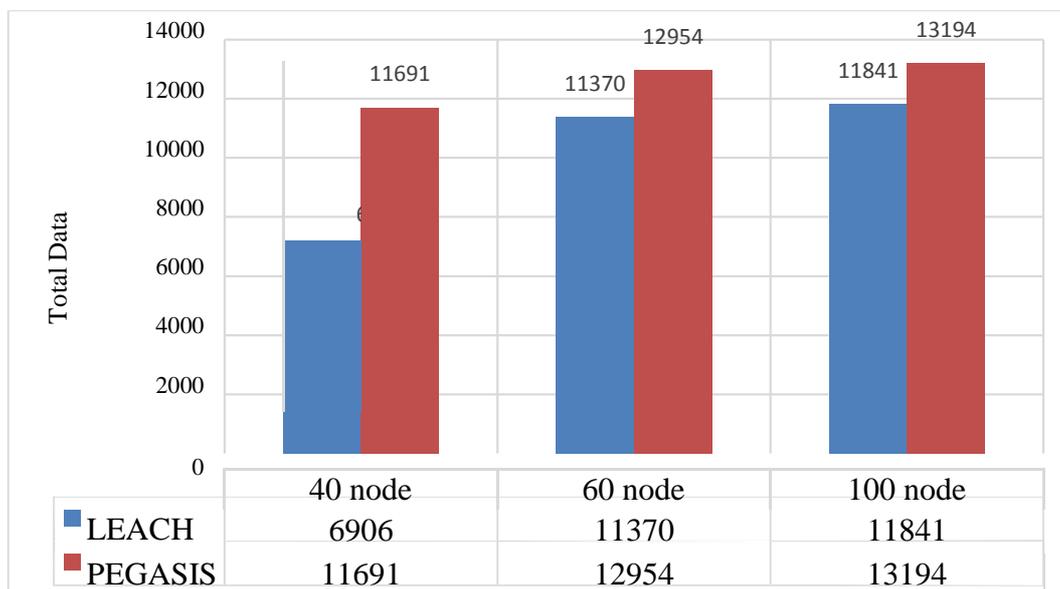
Gambar-4 : Presentase Konsumsi Energi pada Skenario I

Hasil simulasi dari ketiga variasi jumlah node menunjukkan bahwa total energi yang dikonsumsi oleh protokol LEACH selalu lebih besar dibandingkan dengan PEGASIS, oleh karena itu protokol perutean PEGASIS bisa dikatakan lebih hemat energi jika dibandingkan dengan LEACH. Hal ini disebabkan karena sifat dari protokol perutean PEGASIS yang membentuk formasi rantai diantara node sehingga dapat mengurangi jarak transmisi. Pada PEGASIS, node sensor hanya mengirimkan dan menerima data dari tetangga dalam susunan rantainya. Sedangkan pada LEACH terjadi proses pembentukan cluster yang mengeluarkan cukup energi, khususnya node yang menjadi CH yang menyebarkan pesan CH_ADV dan penjadwalan TDMA ke semua node anggotanya, yang kemudian CH nantinya bertindak sebagai penerus pesan ke BS. Akibatnya, node CH mengkonsumsi energi yang lebih besar dibanding node biasa. Setiap node anggota pun juga akan mengirimkan pesan JOIN_ACK kepada CH pada saat pembentukan cluster, yang cukup mengeluarkan energi.

Percobaan dengan jumlah 40 node pada kedua protokol perutean merupakan yang paling banyak mengkonsumsi energi, yaitu: untuk LEACH sebesar 75% dan PEGASIS sebesar 47% dari energi awal. Presentase konsumsi energi total seperti yang ditunjukkan pada gambar 4-1, baik LEACH maupun PEGASIS memiliki kecenderungan bahwa semakin banyak jumlah node maka semakin kecil total konsumsi energinya. Hal ini disebabkan karena dengan semakin banyaknya jumlah node berarti tingkat kerapatan antar node juga bertambah, sehingga jarak antar node kemungkinan besar menjadi lebih dekat. Semakin dekat jarak transmisi antar node maka semakin kecil pula energi transmisinya, sehingga bisa mengurangi energi transmisi antar node.

3.1.2. Jumlah Data Terkirim

Pada grafik gambar-6 dibawah ini menunjukkan perbandingan Total data yang berhasil terkirim ke BS melalui 3 (tiga) kali percobaan, kemudian diambil nilai rata-ratanya.



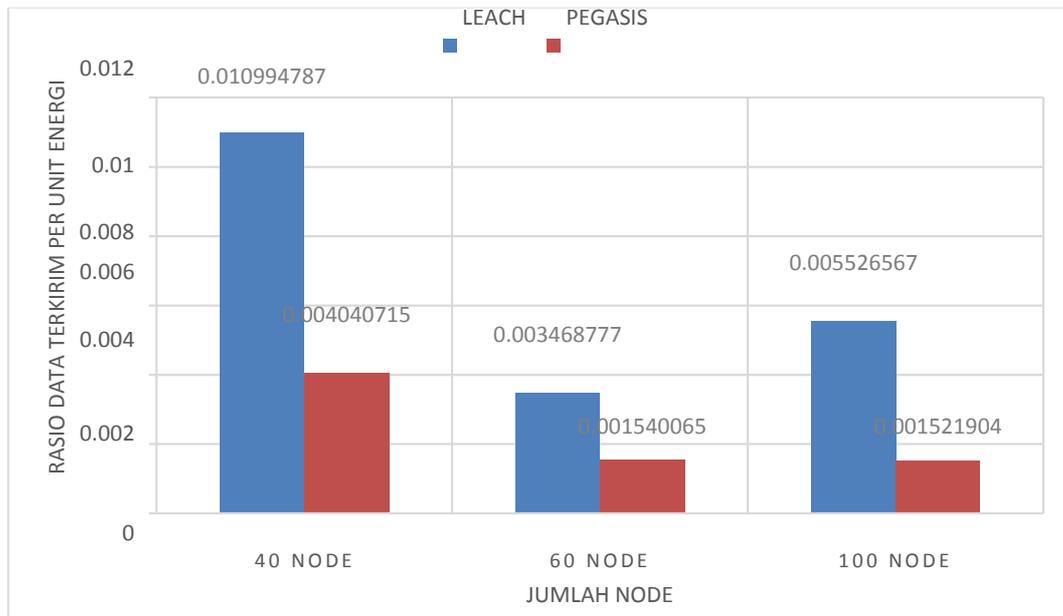
Gambar-5 : Total Data Terkirim ke BS pada Skenario I

Pada grafik diatas terlihat bahwa untuk setiap variasi jumlah node dari 40, 60, hingga 100 node, Jumlah total data yang terkirim ke BS menggunakan protokol PEGASIS selalu lebih banyak jika dibandingkan dengan protokol LEACH.

Peningkatan jumlah data yang terkirim menggunakan protokol LEACH dari skenario 40 node ke 60 node cukup besar, sedangkan peningkatan jumlah data dari skenario 60 ke 100 node tidak terlalu signifikan. Jumlah data yang terkirim dengan menggunakan protokol PEGASIS dari skenario 40 node, 60 node, hingga 100 node, peningkatannya tidak terlalu signifikan.

3.1.3. Analisis Efisiensi Energi Berdasarkan Konsumsi Energi per Data yang Terkirim

Pada gambar dibawah ini menunjukkan grafik dari rasio perbandingan konsumsi energi per data.



Gambar-6 : Rasio Energi per Sinyal Data

Analisis Rasio perbandingan tersebut menggambarkan jumlah energi rata-rata yang harus dikeluarkan untuk dapat mengirimkan satu sinyal data secara sukses ke BS. Semakin kecil rasio energi per data maka energinya semakin efisien. Begitupun jika semakin besar rasio energi per data maka semakin tidak efisien.

Berdasarkan pada grafik gambar-7, terlihat bahwa rasio energi per data dengan menggunakan protokol LEACH untuk setiap skenario 40, 60, dan 100 node, selalu lebih besar dibandingkan dengan protokol PEGASIS. Hal tersebut mengindikasikan bahwa energi rata-rata yang dikeluarkan untuk mengirimkan satu sinyal data dengan memakai protokol LEACH lebih besar dibandingkan dengan memakai protokol PEGASIS.

Dari Analisis hasil perbandingan rasio energi per data tersebut dapat dikatakan bahwa protokol perutean PEGASIS lebih efisien dibandingkan dengan protokol LEACH. Hasil Skenario 2.

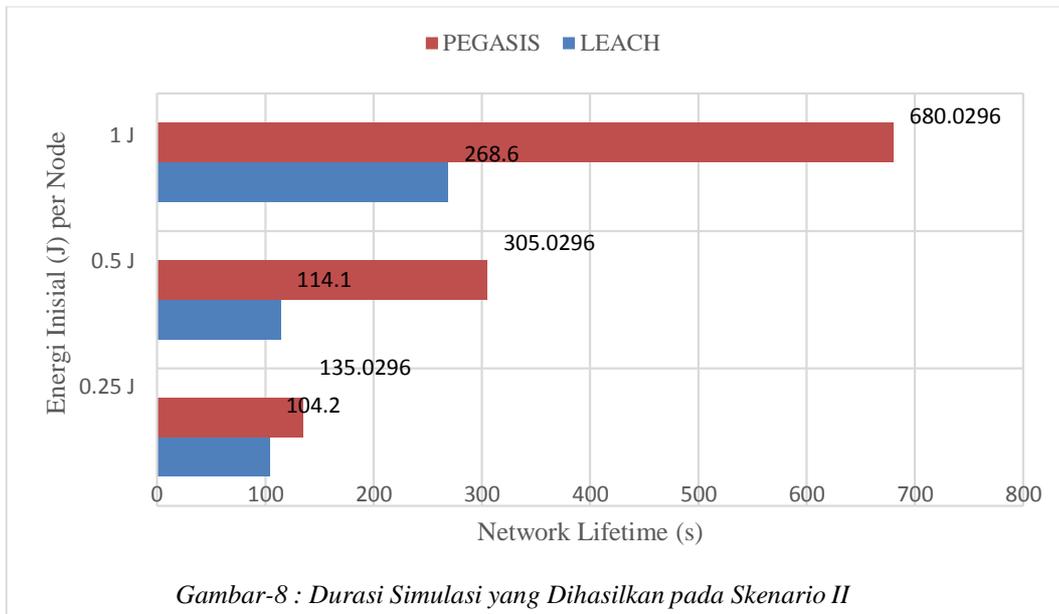
3.2 Analisis Hasil Skenario II

Pada skenario II, protokol LEACH dan PEGASIS akan disimulasikan dengan dengan mem-variasi-kan energi inisial node. Skenario simulasi ini dilakukan untuk menguji seberapa lama jaringan akan bertahan (*network lifetime*) dalam satuan waktu (detik) yang ditunjukkan oleh lamanya durasi simulasi yang dihasilkan berdasarkan pada tiap skenario energi inisial node.

Jumlah node yang akan disimulasikan yaitu sebanyak 100 node. Parameter masukan untuk luas area, letak base station, dan persebaran random 100 node, sama seperti pada skenario I. Variasi energi inisial node yaitu sebesar 0.25 J, 0.5 J, dan 1 J. Durasi simulasi diasumsikan tak hingga atau diatur sebesar mungkin, karena nantinya yang akan diukur adalah lamanya durasi simulasi yang tercapai.

Simulasi yang dilakukan pada skenario II ini bertujuan untuk mengetahui lamanya masa hidup jaringan (*network lifetime*) dengan menggunakan protokol perutean LEACH dan PEGASIS. *Network lifetime* diukur dari lamanya durasi simulasi yang dihasilkan hingga nodenode terakhir yang tersisa tidak sanggup mengirimkan data.

Pada grafik gambar-8 menunjukkan durasi maksimal yang terjadi ketika energi inisial node sebesar 0.25, 0.5, dan 1 J digunakan untuk melakukan simulasi dengan protokol perutean LEACH dan PEGASIS.



Dari ketiga percobaan variasi energi inisial node, durasi simulasi yang dihasilkan oleh protokol PEGASIS selalu lebih lama jika dibandingkan dengan protokol LEACH. Hal ini berkaitan erat dengan parameter unjuk kerja konsumsi energi yang telah dijabarkan pada sub-bab 4.1.1, yang mana konsumsi energi rata-rata per node yang dikeluarkan oleh protokol PEGASIS lebih kecil dibandingkan dengan LEACH. Konsumsi energi rata-rata per node yang kecil berdampak pada peningkatan umur keseluruhan jaringan.

Berdasarkan pada grafik gambar 4-4 dapat terlihat bahwa :

- ✚ Untuk energi inisial sebesar 0.25 J, protokol PEGASIS mampu memperpanjang network lifetime sekitar 1.3 x dibandingkan protokol LEACH.
- ✚ Untuk energi inisial sebesar 0.5 J, protokol PEGASIS mampu memperpanjang network lifetime sekitar 2.7 x dibandingkan protokol LEACH.
- ✚ Untuk energi inisial sebesar 1 J, protokol PEGASIS mampu memperpanjang network lifetime sekitar 2.5 x dibandingkan protokol LEACH.

Dari ketiga poin diatas, dapat dikatakan bahwa masa hidup jaringan sensor dengan menggunakan protokol PEGASIS lebih lama dibandingkan dengan LEACH.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan dengan skenario I dan skenario II, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain sebagai berikut:

- a. Konsumsi energi protokol PEGASIS lebih sedikit dibandingkan dengan protokol LEACH, itu artinya bahwa protokol PEGASIS lebih baik dalam hal penghematan energi.
- b. Jumlah data yang terkirim ke base station oleh protokol PEGASIS lebih banyak dibandingkan dengan protokol LEACH.
- c. Berdasarkan pada rasio jumlah data terkirim per unit energy, protokol PEGASIS memiliki rasio yang lebih besar dibandingkan dengan LEACH, hal tersebut mengindikasikan bahwa protokol PEGASIS lebih efisien dibandingkan dengan protokol LEACH.
- d. Protokol PEGASIS mencapai umur jaringan (network lifetime) yang lebih lama dan dapat menjaga kualitasnya dibandingkan dengan protokol LEACH.

4.2 saran

Berikut ini beberapa saran dari penulis untuk penelitian lebih lanjut, antara lain:

- a. Implementasi protokol perutean yang *hierarchical power-aware* dalam dunia nyata.
- b. Perbandingan lebih lanjut berbagai protokol berbasis Hierarchical WSN yang lain.

Daftar Pustaka

- [1] J. A. Stankovic, "Wireless Sensor Networks," p. 1, 19 June 2006.
- [2] A. Kurniawan, "Mengenai Wireless Sensor Network," 31 Desember 2010. [Online]. Available: <http://blog.aguskurniawan.net/post/Mengenai-Wireless-Sensor-Network.aspx>. [Diakses 10 Oktober 2014].
- [3] A. Boukerche, M. Z. Ahmad, D. Turgut dan B. Turgut, "A Taxonomy of Routing Protocols in Sensor Networks," dalam Algorithms and Protocols for Wireless Sensor Networks, Ottawa, Wiley, 2009.
- [4] F. Chen, L. Guo dan C. Chen, "A Survey on Energy Management in the Wireless Sensor Networks," dalam International Conference on Mechanical and Electronics Engineering, 2012.
- [5] V. Bains dan K. Sharma, "Ant Colony Based Routing in Wireless Sensor Networks," International Journal of Electronics and Computer Science Engineering 2516, vol. 1, p. 2516.
- [6] K. Akkaya dan M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," Ad Hoc Networks, vol. 3, pp. 325-349, 2005.
- [7] W. B. Heinzelmen, A. P. Chandrakan dan H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 1, 2002.
- [8] Z. Manap, B. M. Ali, C. K. Ng, N. K. Noordin dan A. Sali, "A Review on Hierarchical Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," Wireless Personal Communication, vol. 72, pp. 1077-1104, 2013.
- [9] S. Lindsey dan C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems," dalam Proceedings of the IEEE Aerospace Conference, 2002.
- [10] W. Dargie dan C. Poellabauer, Fundamentals of Wireless Sensor Networks : Theory and Practice, West Sussex: WILEY, 2010.
- [11] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam dan E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks : a Survey," Computer Networks, vol. 38, pp. 393-422, 2002.
- [12] I. F. Akyildiz dan M. C. Vuran, Wireless Sensor Networks, West Sussex: John Wiley and Sons Ltd., 2010.
- [13] T. Qiuling, S. Changyin, W. Huan dan L. Ye, "Cross-layer energy efficiency analysis and optimization in WSN," International Conference on Networking, Sensing, and Control, pp. 138-142, 2010.
- [14] J. A. Gutierrez, M. Naeve, E. Callaway, M. Bourgeois, V. Mitter dan B. Heile, "IEEE 802.15.4 : A Developing Standard for Low-Power Low-Cost Wireless Personal Area Networks," IEEE Network, 2001.
- [15] Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), New York: IEEE, 2006.
- [16] S. Chessa, "Sensor Network Standards," dalam Wireless Sensor Networks: A Networking Perspective, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2009.
- [17] J. L. Burbank, J. Andrusenko, J. S. Eveett dan W. T. Kasch, "Wireless Personal Area Networks," dalam Wireless Networking: Understanding Internet Networking Challenges, John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [18] T. Rault, A. Bouabdallah dan Y. Challal, "Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks: A top-down survey," Computer Networks, vol. 67, 2014.
- [19] P. Z. Zahariev dan G. V. Hristov, "Performance evaluation of data delivery approaches for wireless sensor networks," Procedia Computer Science, vol. 3, pp. 714-720, 2010.
- [20] T. Issariyakul dan E. Hossain, Introduction to Network simulator NS2, New York: Springer, 2012.
- [21] A. B. Wirawan dan E. Indarto, Mudah Membangun Simulasi dengan Network Simulator-2, Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2004.
- [22] D. Marandin, "Simulation of IEEE 802.15.4/ZigBee with Network Simulator-2 (ns-2)," [Online]. Available: <http://www.ifn.et.tu-dresden.de/~marandin/ZigBee/Systemperformance.htm>. [Diakses 22 Juni 2015].
- [23] K. Sahraby, D. Minoli dan T. Znati, Wireless Sensor Networks : Technology, Protocols, and Applications, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2007.
- [24] A. M. Zungeru, L. M. Ang dan K. P. Seng, "Classical and Swarm Intelligence Based Routing Protocols for Wireless Sensor Networks: A Survey and Comparison," Journal of Network and Computer Applications, vol. 35, pp. 1508-1536, 2012.