

ANALISIS SIMULASI ROUTING PROTOCOL HIERARKIAL LEACH DAN PEGASIS PADA WIRELESS SENSOR NETWORK

SIMULATION ANALYSIS OF LEACH AND PEGASIS HIERARCHICAL ROUTING PROTOCOL IN WIRELESS SENSOR NETWORK

Menachem Bayazid Aufar¹, Dr. Ir. Rendy Munadi, MT.², Ir. Tjahjo Adiprabowo R. MEng.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹bayazidaufar@telkomunivers ity.com ²rendymunadi@sttelkom.ac.id ³tjahjoadiprabowo@telkomunivers ity.ac.id

Abstrak

Wireless Sensor Network adalah salah satu teknologi jaringan nirkabel yang bisa memberikan banyak manfaat bagi kehidupan sehari-hari. Jaringan WSN terdiri dari sejumlah node yang diatur sedemikian rupa sehingga menjadi sebuah jaringan yang antar node nya bisa bekerja sama satu sama lain. Setiap node memiliki kemampuan *processing*, memiliki *transceiver* RF, memiliki sumber daya, serta mengakomodasi berbagai sensor dan aktuator. Node bekerja secara nirkabel dan bisa mengorganisir diri sendiri dalam *ad-hoc fashion*. Sistem tersebut dapat merevolusi cara kita hidup dan bekerja karena bisa diimplementasikan secara luas.

Jaringan, baik kabel maupun nirkabel, tanpa *routing protocol* akan menjadi tidak berguna. *Routing protocol* berperan penting karena *routing protocol* menentukan bagaimana paket akan dikirim. *Routing protocol* pada *Wireless Sensor Network* sendiri bermacam-macam. Salah satunya adalah *routing protocol* hierarkial. Tujuan utama routing secara hierarkial adalah untuk memanfaatkan konsumsi energi node semaksimal mungkin dengan cara melibatkan tiap node dalam sebuah komunikasi multi-hop. LEACH dan PEGASIS adalah salah satu teknik perutean yang bekerja secara hierarkial yang digunakan pada WSN. Dalam penelitian ini, penulis akan mencoba mensimulasikan sebuah jaringan sensor nirkabel yang menggunakan LEACH dan PEGASIS di dalamnya dan menganalisa hasil simulasi tersebut. Simulasi akan menggunakan Software NS2.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa *routing protocol* PEGASIS lebih baik dalam pemanfaatan node, konsumsi energy, dan pengiriman data dibandingkan *routing protocol* LEACH.

Kata kunci : *Wireless Sensor Network*, NS2, LEACH, dan PEGASIS

Abstract

Wireless Sensor Network is one example of wireless technology which can give many advantages in our daily activities. Wireless Sensor Network consists of a group of nodes which arranged so that its nodes can communicate with each other. Each node has processing ability, an RF transceiver, initial energy, and can accommodate sensors and actuators. Nodes work wirelessly and can organize itself in ad-hoc fashion. This could revolutionize our way of life and work because it is easy to implement.

Network, whether its wired or wireless, need a routing protocol. Without routing protocol, network couldn't decide how a package should be delivered from one nodes to another. There are many kinds of routing protocol in Wireless Sensor Network. One of them is Hierarchical Routing Protocol. Its main goal is to maximize the energy consumption of each node. LEACH and PEGASIS are the example of Hierarchical Routing Protocol in Wireless Sensor Network. In this experiment, the writer will try to simulate a Wireless Sensor Network using LEACH and PEGASIS and analyze the output. The whole process is using Network Simulator 2.

The simulation result shows that PEGASIS routing protocol shows a better result in node utilization, energy consumption, and total number data sent compared to the LEACH routing protocol.

Keywords : *Wireless Sensor Network*, NS2, LEACH, and PEGASIS

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Perkembangan jaringan *wireless* ini sudah tidak asing lagi bagi kita. Kemudahan yang bisa digunakan oleh jaringan *wireless* dibandingkan dengan *wired* membuat aplikasi dan perkembangan jaringan *wireless*

menjadi sangat pesat. Teknologi WSN (Wireless Sensor Network) adalah salah satu teknologi *wireless* yang cukup banyak dikembangkan dewasa ini. Konvergensi internet, komunikasi, dan teknologi informasi menggunakan teknologi baru yang memanfaatkan *sensor* dan *actuator* adalah gambaran dunia teknologi di masa depan.

WSN terdiri dari banyak *sensor nodes* berukuran kecil, yang mana *nodes* tersebut berfungsi sebagai baik sebagai *generator* data maupun *network relay*. Melalui *microprocessor* yang tertanam didalamnya, *sensor nodes* bisa dirancang untuk memenuhi tugas-tugas yang sesuai kebutuhan, bukan hanya untuk men-transmisikan data yang berhasil ia amati saja. *Sensor nodes* secara umum berposisi stasioner dan dibekali dengan daya yang terbatas. Sehingga, walaupun secara posisi stasioner, topologi akan berubah secara dinamis akibat dari aktivitas manajemen daya pada *sensor nodes*. Untuk menghemat daya, *sensor nodes* secepat mungkin mematikan *transceiver* ketika *nodes* sudah tidak melakukan tugas yang dibutuhkan, sehingga memutuskan *sensor* tersebut dari jaringan

Jaringan, baik kabel maupun nirkabel, tanpa *routing protocol* akan menjadi tidak berguna. *Routing protocol* berperan penting karena *routing protocol* menentukan bagaimana paket akan dikirim. Pemilihan *routing protocol* pun harus disesuaikan dengan kebutuhan sistem.

2. Dasar Teori

2.1 Wireless Sensor Network

WSN terdiri dari banyak *sensor nodes* berukuran kecil, yang mana *nodes* tersebut berfungsi sebagai baik sebagai *generator* data maupun *network relay*. Tiap *nodes* terdiri dari *sensor*, *microprocessor*, dan *transceiver*. Melalui *microprocessor* yang tertanam didalamnya, *sensor nodes* bisa dirancang untuk memenuhi tugas-tugas yang sesuai kebutuhan, bukan hanya untuk men-transmisikan data yang berhasil ia amati saja. *Sensor nodes* secara umum berposisi stasioner dan dibekali dengan daya yang terbatas. Sehingga, walaupun secara posisi stasioner, topologi akan berubah secara dinamis akibat dari aktivitas manajemen daya pada *sensor nodes*. Untuk menghemat daya, *sensor nodes* secepat mungkin mematikan *transceiver* ketika *nodes* sudah tidak melakukan tugas yang dibutuhkan, sehingga memutuskan *sensor* tersebut dari jaringan.

Secara luas, WSN terdiri dari beberapa bagian, yang secara dominan terdiri dari node-node yang dapat membentuk sebuah topologi. Berikut ini adalah komponen-komponen yang membentuk WSN:

- *Sensor nodes*
- *Sink nodes*
- Internet/database
- *User*

Topologi pada WSN berubah-ubah adalah salah satu tantangan yang harus dihadapi ketika ingin membangun sebuah jaringan menggunakan WSN. Ratusan atau bahkan ribuan node tersebar dalam sebuah field, yang mana jarak antar node adalah berdekatan. Ketika ada sebuah node yang tidak melakukan aktivitas *sensing*, maka secara otomatis hal ini akan mengubah sebuah topologi WSN. Untuk melakukan *maintenance* dari segi topologi, berikut ini adalah tahapan yang dilalui:

- Fase *Pre-deployment* dan Fase *Deployment*
- Fase *Post-deployment*
- Fase *Re-deployment*

2.2 Wireless

Pengertian jaringan nirkabel adalah komunikasi informasi antara dua buah node atau lebih tanpa tersambung oleh sebuah konduktor elektrik. Jaringan nirkabel menggunakan transmisi radio untuk berkomunikasi dengan node. Alasan digunakannya jaringan nirkabel untuk *Wireless Sensor Network* diantaranya adalah:

1. Menggunakan protokol dengan power yang rendah (*Low Rate Power*)
2. Performansi yang optimal
3. Jarak maksimum sejauh $\pm 100\text{m}$ (2.4 GHz)

Secara luas, WSN terdiri dari beberapa bagian, yang secara dominan terdiri dari node-node yang dapat membentuk sebuah topologi. Berikut ini adalah komponen-komponen yang membentuk WSN:

- *Sensor nodes*
- *Sink nodes*
- Internet/database

- User

802.15 adalah spesifikasi komunikasi yang dikeluarkan pada awal tahun 2002 oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Association (IEEE-SA)* untuk *Wireless Personal Area Network (WPAN)*. Ada 10 area dalam spesifikasi ini, yang mana tidak semuanya berstatus aktif. IEEE 802.15.4 digunakan karena optimal dalam menjalankan interferensi menggunakan CSMA-CA (*Carrier Sense Multiple Access-Collision Avoidance*) dan tenaga yang digunakan kecil (*Low power*)

2.3 Network Simulator 2

Network Simulator 2 (NS2) adalah simulator kejadian diskrit yang ditargetkan pada jaringan penelitian. NS memberikan dukungan substansial untuk simulasi TCP, routing, dan protokol *multicast* melalui jaringan kabel dan nirkabel (lokal dan satelit).

NS bermula sebagai variasi dari REAL network simulator pada tahun 1989 dan telah berevolusi secara signifikan seiring dengan berjalannya waktu. Pada tahun 1995, pengembangan NS didukung oleh DARPA melalui proyek VINT di LBL, Xerox PARC, UCB, dan USC/ISI. Saat ini pengembangan NS didukung melalui DARPA dengan SAMAN dan melalui NSF dengan CONSER, keduanya berkolaborasi dengan peneliti lainnya termasuk ACIRI.

NS dibangun menggunakan metoda object oriented dengan bahasa C++ dan OTcl (variant object oriented dari Tcl). NS-2 menginterpretasikan script simulasi yang ditulis dengan OTcl. Seorang user harus mengeset komponen-komponen (seperti objek penjadwalan event, library komponen jaringan, dan library modul setup) pada lingkungan simulasi.

2.4 Routing Protokol Hierarkial pada WSN

Routing protocol hierarkial pada WSN adalah protocol komunikasi yang efisien dari segi konsumsi energy. Tujuan utama dari protocol ini adalah membatasi konsumsi energy dari tiap node yang digunakan dengan cara saling menghubungkan node tersebut dalam sebuah komunikasi multi-hop. Setelah saling terhubung, node-node tersebut akan saling mengagregasikan data satu sama lain untuk kemudian ditransmisikan menuju *Base Station*.

Routing protocol yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah:

- LEACH

Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) protocol adalah sebuah protocol MAC yang berbasis TDMA. Tujuan utama dari protocol ini adalah meningkatkan masa hidup jaringan dengan cara meminimalisir konsumsi energy melalui sebuah system yang menggunakan *cluster* sebagai pondasi utamanya. LEACH akan memilih sebuah node untuk menjadi *cluster head* dari tiap-tiap *cluster* yang berhasil dibentuk untuk melakukan agregasi data dari tiap node yang berada di dalam *cluster* tersebut. Kemudian, *cluster head* akan berkomunikasi secara langsung dengan *Base Station* untuk meneruskan data yang telah di-agregasikan oleh node anggotanya.

LEACH juga bisa mengganti *cluster head* secara dinamis sehingga tiap node yang berada di dalam *cluster* memiliki peluang yang sama untuk menjadi *cluster head*. Operasi LEACH sendiri terdiri dari dua fase, yaitu fase *Set-up* dan fase *Steady*. Pada fase *Setup*, tujuan utamanya adalah untuk menciptakan sekumpulan *cluster* dan memilih *cluster head* untuk tiap-tiap *cluster* yang sudah berhasil dibentuk. Pada fase *Steady*, *cluster* akan melakukan agregasi data untuk dikirimkan menuju *cluster head* untuk kemudian dikirimkan menuju *base station*.

Selain skema acak seperti yang dijelaskan diatas, pemilihan *cluster-head* juga bisa dilakukan melalui beberapa skema, diantaranya adalah skema deterministik, skema *Base Station Assisted Adaptive*, skema *Fixed Parameter Probabilistic*, skema *Resource Adaptive Probabilistic*, dan skema pemilihan *cluster head* secara hybrid. Skema-skema ini dilakukan untuk mengetahui kriteria pemilihan *cluster head* dari segi parameter yang digunakan, kebutuhan untuk pembentukan *cluster* kembali, dan distribusi *cluster* secara adil.

Pada skema deterministik, untuk setiap *round*, semua sensor melakukan *broadcast* pesan kepada node tetangganya dan pada node yang paling banyak menerima pesan *broadcast* tersebut, maka node tersebutlah yang akan terpilih menjadi *cluster head* dan mengirimkan pesan *broadcast setup* kepada node tetangganya. Node sensor yang menerima pesan *broadcast setup* kemudian akan mengirim pesan *join request* pada *cluster head* yang telah terpilih. *Cluster head* kemudian membagikan *time scheduling* kepada anggota *cluster* yang ia bawahi.

Pada skema *Base Station Assisted Adaptive*, pemilihan *cluster head* dilakukan oleh *Base Station* atau dipilih secara mandiri oleh sensor node. Semua sensor node nantinya akan

memberikan informasi letak dan tingkat energy yang ia miliki kepada *Base Station* dan menyediakan informasi yang dibutuhkan untuk perhitungan rata-rata energy pada node. Node sensor yang memiliki tingkat energy lebih rendah dari nilai yang ditentukan nantinya tidak akan bisa menjadi *cluster head*.

Pada skema *Fixed Parameter Probabilistic*, penentuan *cluster head* mempertimbangkan beberapa parameter seperti kebutuhan secara probabilitas, dan penentuan jumlah tetap untuk *cluster head* dan jumlah *round*. Peran *cluster head* akan dilakukan secara bergantian oleh setiap node dengan cara melakukan system *re-clustering* setelah sebuah siklus pengambilan data yang disebut *round*. Pada tiap *round*, suatu nilai persentase tetap dari jumlah node akan dipilih menjadi *cluster head* yang kemudian memulai formasi pembentukan *cluster* dengan cara melakukan *advertisement*.

Pada skema *Resource Adaptive Probabilistic*, pemilihan *cluster head* dilakukan dengan cara memanfaatkan informasi yang tersedia pada node. Informasi yang tersedia tersebut akan diolah bersamaan dengan pemilihan *cluster head* untuk *round* selanjutnya.

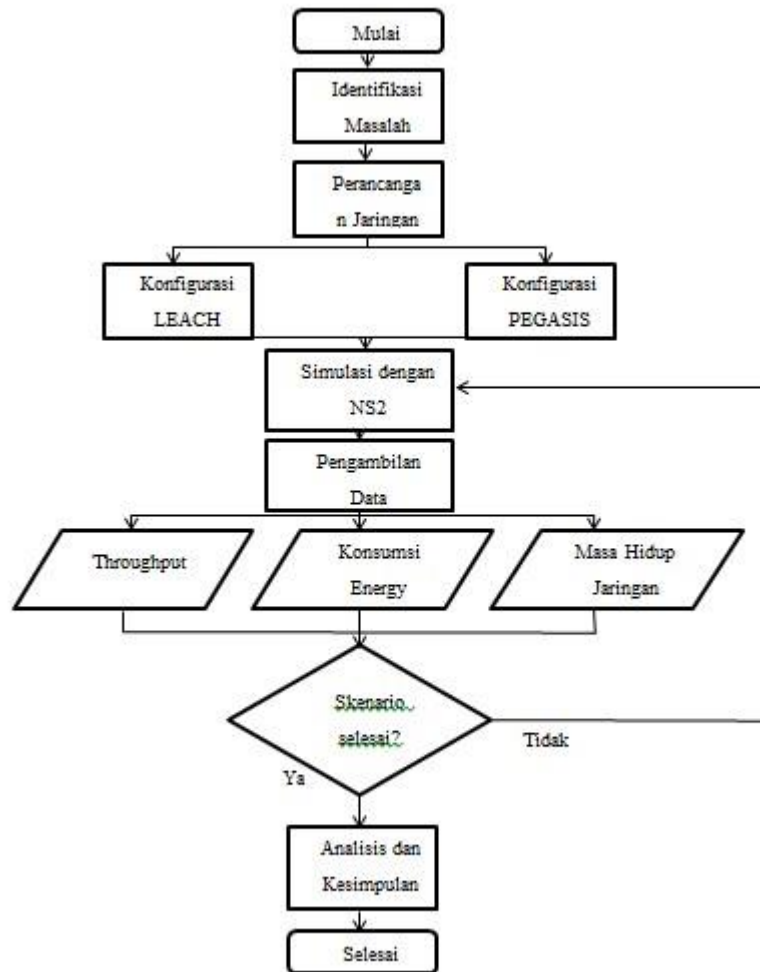
Selain keempat skema diatas, beberapa pendekatan pemilihan *cluster head* secara *hybrid* juga dilakukan. Pendekatan ini dilakukan dengan cara mengkombinasikan satu atau lebih arsitektur pada LEACH.

- PEGASIS

PEGASIS (*Power Efficient Gathering in Sensor Information System*) adalah protokol berbasis rantai yang efisien dalam penggunaan daya. PEGASIS dibuat untuk mengatasi isu *overhead* yang terjadi ketika *routing* protocol yang digunakan adalah LEACH dengan cara lebih memilih membangun sebuah node berantai dibandingkan secara *cluster* seperti pada LEACH. Pembuatan rantai digunakan dengan memanfaatkan Algoritma Greedy, dimana node memilih node terdekatnya sebagai hop berikutnya dalam rantai. Diasumsikan bahwa node tersebut memiliki informasi lengkap tentang jaringan tersebut dan pembangunan rantai dimulai dari node dengan letak terjauh dari *sink node*. Sebagai akibat dari operasi berantai tersebut, node tidak perlu membangun sebuah formasi *cluster* dan keanggotaan *cluster*. Node hanya cukup mengetahui node hop sebelum dan sesudahnya saja.

2.5 Perancangan Sistem

Secara garis besar, simulasi *routing protocol* LEACH dan PEGASIS ini akan dilakukan setelah terlebih dahulu mengkonfigurasi kedua *routing protocol* pada NS2. Gambar 1 menunjukkan diagram kerja sistem



Gambar 1 Diagram Blok Sistem

Perangkat Simulasi yang akan digunakan dalam penelitian ini bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel.1 Perangkat simulasi

Komponen	Informasi	
Hardware	Processor	Intel® Core™ i3-2350M 2,30 GHz
	RAM	4 GB
	Hard drive	500 GB
Software	Operation System	Windows 10 Professional 64 bit
	Virtual Machine	Oracle VM VirtualBox 5.1.8
	Virtual OS	Ubuntu 12.04 LTS 32-bit
	Simulator	Network Simulator Allinone 2.34 dengan compiler GCC 4.4 dan patch Exidus-Leach-Pegasis

Sedangkan untuk parameter yang akan digunakan untuk simulasi bisa dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter yang digunakan pada simulasi

Parameter	Value
Tipe Kanal	<i>WirelessChannel</i>
Model Propagasi Radio	<i>TwoRayGround</i>
Tipe <i>interface</i> jaringan	<i>WirelessPhy</i>
Interface queue	Queue/Droptail
Link layer	LL
Model antenna	Antenna/Omniantenna
Dimensi ruang simulasi	1000x1000
Protocol routing	LEACH, PEGASIS
RXThresh	3.652e-10
CSThresh	1.55e-11

Sebelum menganalisa hasil keluaran dari simulasi *routing protocol* LEACH dan PEGASIS, akan dilakukan beberapa scenario terlebih dahulu untuk mengetahui bagaimana parameter dan *environment* yang cocok untuk mensimulasikan kedua *routing protocol* tersebut. Untuk lebih jelasnya, s cenario akan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu scenario 1, scenario 2, dan scenario 3.

- Skenario 1

Pada scenario 1, protocol LEACH akan disimulasikan untuk mencari jumlah *cluster* terbaik untuk menjalankan protocol LEACH. Skenario simulasi ini dilakukan untuk mengetahui persentase *cluster* yang memiliki masa hidup jaringan, *throughput*, dan konsumsi energy terbaik untuk jumlah node sebanyak 100 node.

Luas area pada simulasi adalah 100 m x 100 m. Dengan letak *Base Station* default uAMPS yaitu pada (50,175). Jumlah node yang digunakan adalah sebanyak 100 node. Persebaran node adalah tersebar secara random, dengan energy awal tiap node adalah 2 J.

- Skenario 2

Pada scenario 2, kedua *routing protocol* akan disimulasikan dengan kondisi *environment* yang sama. Tujuan dari scenario 2 ini adalah untuk mengetahui pengaruh letak *base station* terhadap performansi dari masing-masing *routing protocol*. Simulasi pertama akan dilakukan dengan meletakkan *Base Station* pada tiga wilayah pada *field* simulasi. Wilayah pertama adalah di perbatasan *field*. Simulasi pertama akan dilakukan dengan menggunakan *base station* yang terletak di perbatasan *field* yaitu pada koordinat (50,0). Wilayah kedua adalah tepat di tengah-tengah *field*. Simulasi kedua akan dilakukan dengan menggunakan *base station* yang terletak tepat di tengah-tengah *field* yaitu pada koordinat (50,50). Wilayah ketiga adalah di ujung *field*. Simulasi ketiga akan dilakukan dengan menggunakan *base station* yang terletak di ujung *field* yaitu pada koordinat (100,100).

- Skenario 3

Pada scenario 3, kedua *routing protocol* akan dibandingkan secara *head-to-head*. Tujuan dari scenario 3 adalah untuk mengetahui masa hidup jaringan, *throughput*, dan konsumsi energy dari masing-masing protocol berdasarkan jumlah node yang mati. Parameter-parameter tersebut nantinya akan diamati pada saat jumlah node yang sudah mati ketika simulasi sedang berjalan berjumlah 1%, 20%, 50%, dan 80% dari jumlah keseluruhan node. Simulasi pada s cenario 3 ini nantinya akan menggunakan hasil analisis dari scenario 1 dan 2 agar mendapatkan *output* simulasi yang optimal.

3. Pengujian Sistem

3.1 Analisis Skenario 1

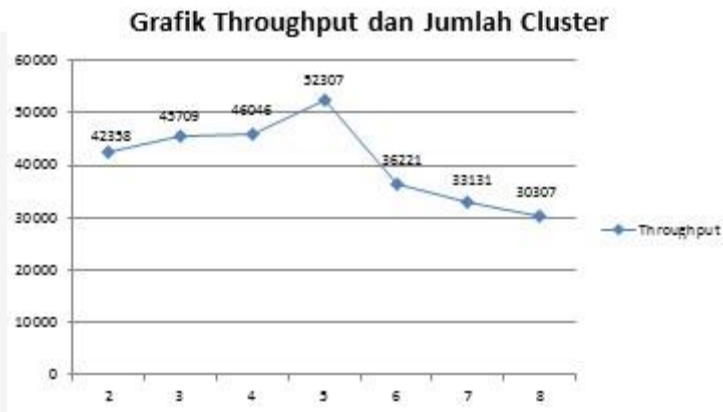
Simulasi scenario 1 ini dilakukan untuk mengetahui persentase *cluster* LEACH yang memiliki masa hidup jaringan, *throughput*, dan konsumsi energy terbaik untuk jumlah node sebanyak 100 node. Nantinya hasil simulasi pada scenario 1 ini akan digunakan pada scenario 2 dan 3.



Gambar 2. Perbandingan durasi simulasi dan Jumlah cluster

Dari gambar 2, bisa dilihat bahwa jumlah *cluster* yang sangat mempengaruhi lamanya durasi simulasi adalah *cluster* yang berjumlah sebesar 0,05% dari total jumlah node yang digunakan pada saat simulasi.

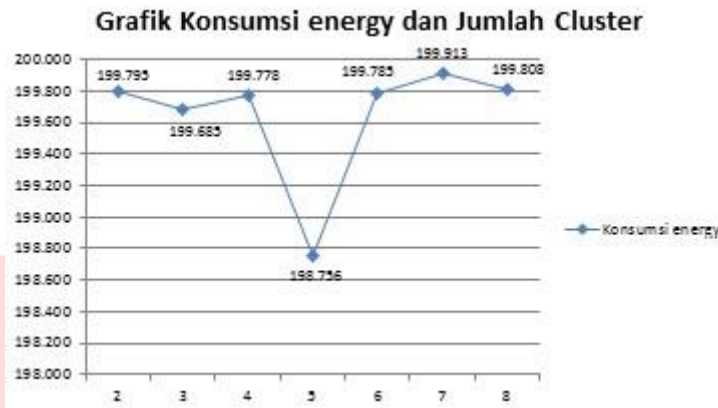
Grafik dibawah ini menunjukkan perbandingan banyaknya data yang berhasil dikirim oleh *routing protocol* LEACH pada saat simulasi untuk jumlah *cluster* sebesar 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.05%, 0.06%, 0.07%, dan 0.08% dari jumlah total node yang digunakan untuk simulasi



Gambar 3. Perbandingan throughput dengan jumlah cluster

Dari gambar 3, bisa dilihat bahwa jumlah *cluster* yang sangat mempengaruhi jumlah data yang berhasil dikirim oleh *routing protocol* LEACH pada saat simulasi adalah *cluster* yang berjumlah sebesar 0,05% dari total jumlah node yang digunakan pada saat simulasi.

Grafik dibawah ini menunjukkan perbandingan banyaknya energy yang digunakan oleh *routing protocol* LEACH pada saat simulasi untuk jumlah *cluster* sebesar 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.05%, 0.06%, 0.07%, dan 0.08% dari jumlah total node yang digunakan untuk simulasi



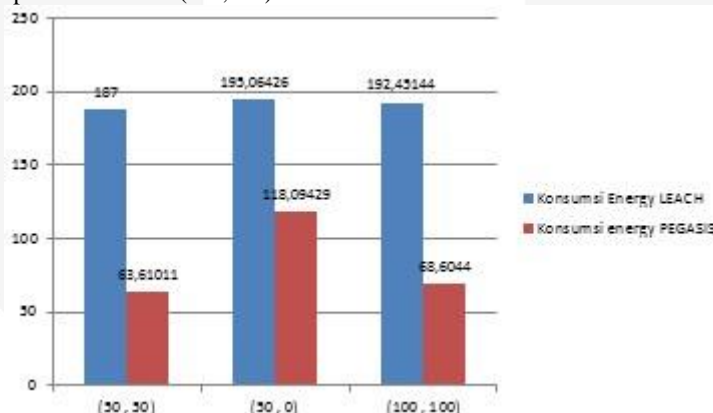
Cambar 4. Perbandingan konsumsi energy dengan jumlah cluster

Dari gambar 4, bisa dilihat bahwa jumlah *cluster* yang sangat mempengaruhi besarnya energy yang dibutuhkan oleh *routing protocol* LEACH pada saat simulasi adalah *cluster* yang berjumlah sebesar 0,05% dari total jumlah node yang digunakan pada saat simulasi.

Dari tujuh percobaan diatas, bisa dipastikan bahwa jumlah *cluster* yang optimal untuk LEACH adalah sebanyak 5 *cluster*. Dengan jumlah node sebanyak 100, masa hidup jaringan, *throughput*, dan konsumsi energy pada LEACH mencapai hasil yang optimal pada saat jumlah *cluster* adalah sebesar 0,05% dari jumlah total node.

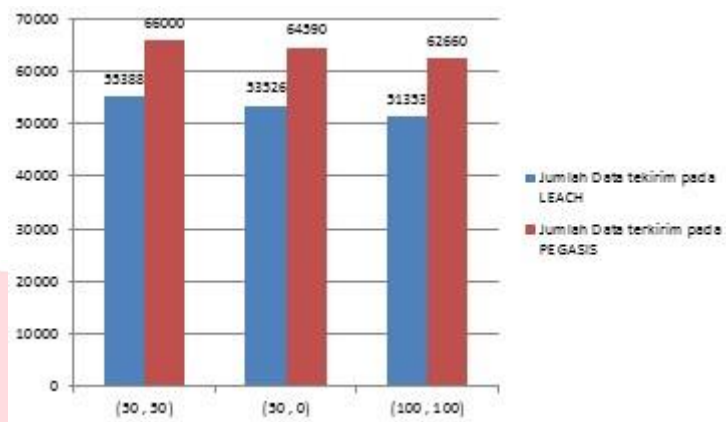
3.2 Analisis Skenario 2

Tujuan dari *scenario 2* ini adalah untuk mengetahui pengaruh letak *base station* terhadap performansi dari masing-masing *routing protocol*. Simulasi pertama akan dilakukan dengan meletakkan *Base Station* pada tiga wilayah pada *field* simulasi. Wilayah pertama adalah di perbatasan *field*. Simulasi pertama akan dilakukan dengan menggunakan *base station* yang terletak di perbatasan *field* yaitu pada koordinat (50,0). Wilayah kedua adalah tepat di tengah-tengah *field*. Simulasi kedua akan dilakukan dengan menggunakan *base station* yang terletak tepat di tengah-tengah *field* yaitu pada koordinat (50,50). Wilayah ketiga adalah di ujung *field*. Simulasi ketiga akan dilakukan dengan menggunakan *base station* yang terletak di ujung *field* yaitu pada koordinat (100,100).



Gambar 5. Perbandingan konsumsi energy terhadap letak base station

Dari gambar 5, bisa dilihat bahwa konsumsi energy yang dibutuhkan oleh *routing protocol* LEACH pada saat simulasi menunjukkan nilai yang paling optimal ketika letak *base station* berada pada koordinat (50,50). Dengan kata lain, konsumsi energy *routing protocol* LEACH pada saat simulasi akan lebih optimal ketika berada pada wilayah tengah-tengah *field*.



Gambar 6. Perbandingan jumlah data terkirim pada posisi base station

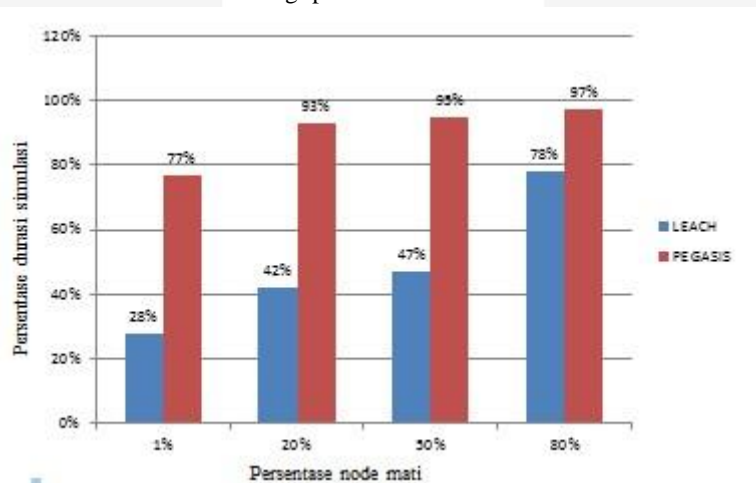
Dari grafik diatas, bisa dilihat bahwa jumlah data yang berhasil dikirim oleh *routing protocol* LEACH pada saat simulasi menunjukkan nilai yang paling optimal ketika letak *base station* berada pada koordinat (50,50). Dengan kata lain, jumlah data yang berhasil dikirim oleh *routing protocol* LEACH pada saat simulasi akan lebih optimal ketika berada pada wilayah tengah-tengah *field*.

3.3 Analisis Skenario 3

Tujuan dari scenario 3 adalah untuk mengetahui masa hidup jaringan, *throughput*, dan konsumsi energy dari masing-masing protocol berdasarkan jumlah node yang mati. Parameter-parameter tersebut nantinya akan diamati pada saat jumlah node yang sudah mati ketika simulasi sedang berjalan berjumlah 1%, 20%, 50%, dan 80% dari jumlah keseluruhan node. Simulasi pada scenario 3 ini nantinya akan menggunakan hasil analisis dari scenario 1 dan 2 agar mendapatkan *output* simulasi yang optimal.

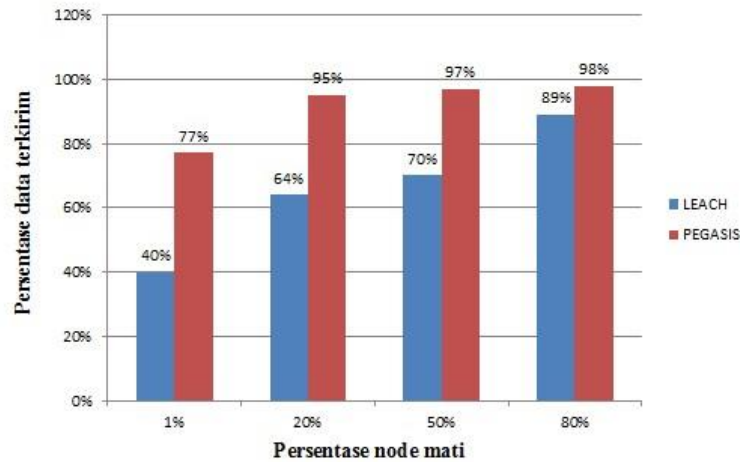
Output dari simulasi menunjukkan hasil seperti berikut:

- LEACH:
 - Durasi simulasi: 625,3 s
 - Konsumsi energy keseluruhan: 199,936 J
 - Throughput: 36312
- PEGASIS:
 - Durasi simulasi: 1940,0296 s
 - Konsumsi energy keseluruhan: 199,032
 - Throughput: 207696



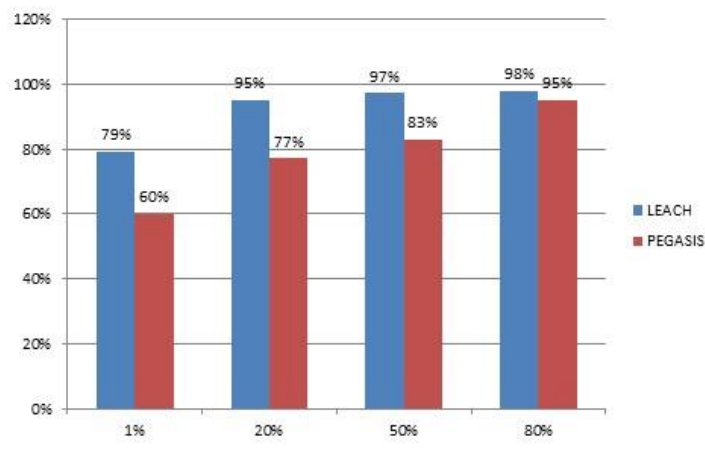
Gambar 7. Perbandingan persentase durasi simulasi dengan persentase node mati

Berdasarkan gambar 7, *routing protocol* PEGASIS lebih efisien dibandingkan *routing protocol* LEACH dalam pemanfaatan node ketika jumlah node yang mati dalam jaringan berjumlah 1%, 20%, 50%, dan 80% dari total jumlah node. Isu yang juga dihadapi oleh *routing protocol* LEACH adalah banyaknya node yang mati pada awal dan pertengahan simulasi. Hal ini disebabkan oleh sifat dari *routing protocol* LEACH yang tidak memperhatikan jarak ketika memilih *cluster head* saat fase *setup*.



Gambar 8. Perbandingan persentase data terkirim terhadap persentase durasi simulasi

Secara keseluruhan, *routing protocol* PEGASIS unggul terhadap *routing protocol* LEACH dalam hal pengiriman data pada saat node mati berjumlah 1%, 20%, 50%, dan 80% dari jumlah total node. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan sifat pengiriman data yang digunakan oleh masing-masing *routing protocol*. Pada *routing protocol* LEACH, tiap node akan terlebih dahulu mengirimkan data menuju *cluster head*, dan *cluster head* baru mengagregasikan data yang dikirim oleh tiap node menuju *base station* ketika tiap node sudah mengirimkan data yang mereka kumpulkan. Hal ini tentu saja berbeda dengan *routing protocol* PEGASIS yang tidak menggunakan *system cluster*. Tiap node pada *routing protocol* PEGASIS cukup mengagregasikan tiap data yang berhasil mereka kumpulkan kepada *leader*. Sistem berantai inilah yang menyebabkan *routing protocol* PEGASIS lebih unggul dibandingkan dengan *routing protocol* LEACH dalam segi pengiriman data.



Gambar 9. Perbandingan persentase konsumsi energy terhadap persentase node mati

Berdasarkan grafik diatas, bisa dilihat bahwa *routing protocol* PEGASIS baru mengonsumsi energy sebanyak 60% pada saat node pertama mati, dibandingkan dengan *routing protocol* LEACH yang telah mengonsumsi 79% dari total energinya ketika node pertama mati. Begitu pula ketika jumlah node mati milik masing-masing *routing protocol* berjumlah 50% dari total node. Konsumsi energy milik *routing protocol* LEACH lebih boros apabila dibandingkan dengan *routing protocol* PEGASIS, yaitu 95% dibanding 83%. Secara keseluruhan, *routing protocol* PEGASIS lebih unggul dibandingkan *routing protocol* LEACH dari segi konsumsi energy ketika jumlah node mati pada saat simulasi sebesar 1%, 20%, 50%, 80%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dari simulasi scenario 1, 2, dan 3 yang dilakukan, maka bisa ditarik beberapa kesimpulan:

- Jumlah *cluster* yang mampu memberikan hasil simulasi yang optimal untuk *routing protocol* LEACH adalah sebanyak 0,05% dari jumlah node yang digunakan.
- Lokasi *base station* yang mampu memberikan hasil simulasi yang optimal untuk masing-masing *routing protocol* adalah di tengah-tengah *field*.
- *Routing protocol* PEGASIS lebih efisien dalam pemanfaatan node apabila dibandingkan dengan *routing protocol* LEACH
- *Routing protocol* PEGASIS lebih efisien dalam pengiriman data apabila dibandingkan dengan *routing protocol* LEACH
- *Routing protocol* PEGASIS lebih efisien dalam penggunaan energy apabila dibandingkan dengan *routing protocol* LEACH

Daftar Pustaka

Akyildiz, I. F., & Can Vuran, M. (2010). *Wireless Sensor Network*. Chichester: John Wiley & Sons.

Hani, R. M., & Ijeh, A. (2013). A Survey on LEACH-Based Energy Aware Protocol for Wireless Sensor Network. *Journal of Communication Vol.8 no.3*.

Krishan, P. (2013). A Study on Dynamic and Static Clustering Based Routing Schemes for Wireless Sensor Network. *International Journal of Modern Engineering Reasearch*.

Lindsey, S., & Raghavendra, C. (n.d.). PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems.