

Analisis Perbandingan Konsumsi Daya dan Masa Hidup Jaringan pada Protokol Routing LEACH dan HEED di *Wireless Sensor Network*

Farida Fitri Kusumastuti¹, Ida Wahidah², dan Ratna Mayasari³
 Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
 Email : faridafitrik@gmail.com

Abstract— Jaringan Sensor Nirkabel atau yang dikenal dengan sebutan WSN (*Wireless Sensor Network*) adalah suatu kumpulan *node* berupa sensor yang digunakan untuk mengumpulkan data melalui komunikasi Ad-Hoc . Salah satu masalah utama dalam implementasi WSN adalah konsumsi energi dan masa hidup *node* sensor. Untuk mengatasi masalah tersebut , salah satu solusinya adalah merancang WSN dengan metode hirarki, yaitu dengan cara menyertakan *node* ke dalam komunikasi *cluster* .

Dalam penelitian ini, dilakukan simulasi dua protokol routing jenis hirarki yaitu LEACH dan HEED . Perbedaan antara LEACH dan HEED adalah LEACH menggunakan metode acak untuk menentukan *Cluster Head*, sedangkan HEED menentukan *Cluster Head* berdasarkan dua parameter yaitu *residual energy* dan *intra-cluster communication* .

Analisis perbandingan yang dilakukan antara kedua protokol yang meliputi konsumsi energi dan masa hidup jaringan menunjukkan hasil bahwa HEED mempunyai performansi yang lebih baik daripada LEACH untuk kedua parameter tersebut. Protokol HEED membutuhkan konsumsi energi dengan *range* 0,048-0,069 *joule* , lebih sedikit dan stabil daripada Protokol LEACH yang mempunyai *range* 0,037-0,0158 *joule* . Rata-rata masa hidup Protokol HEED lebih tinggi daripada Protokol LEACH karena jumlah kematian *node* lebih lama.

Keywords—WSN; routing; protokol; LEACH; HEED;

I. PENDAHULUAN

Jaringan Sensor Nirkabel atau yang dikenal dengan sebutan *Wireless Sensor Network* (WSN) adalah suatu kumpulan *node* yang terhubung melalui jaringan *wireless*. Fungsi utama WSN adalah untuk mengumpulkan data melalui sensor yang kemudian akan dikirimkan dengan jaringan *wireless* menuju *Base Station* untuk diolah lebih lanjut.

Dalam WSN, sensor memegang peranan penting karena data diperoleh dan dikirimkan menggunakan *node* ini. Masing-masing *node* sensor mempunyai keterbatasan dalam beberapa hal salah satunya adalah energi untuk mempertahankan *lifetime*. Karena itu, banyak penelitian

terkait WSN dilakukan salah satunya difokuskan untuk mengatasi kekurangan energi dan meningkatkan masa hidup .

Salah satu metode *routing* yang bertujuan untuk efisiensi energi pada *node* sensor WSN adalah *hierarchical-based*, yaitu dengan cara menyertakan *node* ke dalam komunikasi *cluster* . Pengelompokan *node-node* sensor ke dalam suatu *cluster* telah digunakan oleh banyak komunitas peneliti untuk mengurangi konsumsi energi dan memperpanjang masa hidup jaringan pada lingkungan WSN skala besar .

Salah satu *clustering* protocol yang pertama kali ditemukan dan sangat populer adalah LEACH (*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy*).LEACH membentuk *cluster* dengan algoritma distribusi dimana setiap *node* mempunyai kesempatan yang sama untuk menjadi *Cluster Head* tanpa kendali terpusat [1] . LEACH telah menginspirasi berbagai pengembangan protokol *routing* berbasis *hierarchical* pada WSN , salah satunya adalah HEED (*Hybrid Energy Efficient Distribute*) *protocol* . HEED merupakan pengembangan dari LEACH. Perbedaan antara LEACH dan HEED adalah LEACH menggunakan metode acak untuk menentukan *Cluster Head*, sedangkan HEED menentukan *Cluster Head* berdasarkan dua parameter yaitu *residual energy* dan *cost* komunikasi *intracluster* [1].

Pada penelitian ini, akan dikaji perbandingan efisiensi energi dan masa hidup jaringan dari kedua *clustering protocol* tersebut menggunakan *simulator* Matlab. Parameter untuk melihat banyaknya konsumsi energi adalah pengukuran konsumsi energi berdasarkan jumlah data yang dikirimkan. Untuk masa hidup jaringan, parameternya berasal dari pengukuran durasi lama *node* hidup.

II. DASAR TEORI

A. Topologi WSN

, Berikut ini adalah struktur - struktur jaringan sensor nirkabel :

1) Flat-based

Dalam jaringan, semua *node* memainkan peran yang sama dan tidak ada sama sekali hirarki. *Flat routing protocol* mendistribusikan informasi yang diperlukan untuk setiap *node* sensor yang terjangkau dalam jaringan sensor . Tidak ada upaya dilakukan untuk mengatur jaringan atau trafik, hanya untuk menemukan rute terbaik dengan lompatan-lompatan (*hop*) ke tujuan dengan jalan manapun [2].

2) Hierarchical-based

Kelas ini menetapkan *routing* protokol untuk mencoba menghemat energi dengan mengatur *node* dalam *cluster*. *Node -node* dalam *cluster* mengirimkan data ke *Cluster Head*, dan *Cluster Head* inilah yang meneruskan data ke *Base Station*. *Clustering* yang baik memainkan peran penting dalam skalabilitas jaringan serta penghematan energi[2].

3) Location-based

Sebagian besar protokol *routing* untuk jaringan sensor memerlukan informasi lokasi untuk *node* sensor. Dalam kebanyakan kasus, informasi lokasi yang dibutuhkan untuk menghitung jarak antara dua *node* tertentu sehingga konsumsi energi dapat diperkirakan. Karena tidak ada skema pengalaman untuk jaringan sensor seperti alamat IP[2].

B. LEACH

LEACH merupakan protokol *routing* jenis hirarki yang pertama ditemukan. Algoritma dimulai dengan pemilihan suatu *node* sebagai *Cluster-Head* (CH) lalu dengan algoritma *clustering* memilih *node non-CH* sebagai anggota sehingga membentuk *cluster*. Mekanisme ini menghemat energi karena hanya CH yang melakukan transmisi data ke *Base Station*, sedangkan tiap *node* sensor cukup mengirim data ke CH masing-masing. Akibatnya, konsumsi energi berkurang. sehingga *lifetime* jaringan sensor menjadi maksimal [3].

Operasi LEACH terbagi ke dalam beberapa sesi, tergantung dari jumlah CH yang diinginkan dan masa observasi. LEACH memastikan tiap *node* akan menjadi CH untuk satu sesi. Akibatnya, kedudukan CH menjadi tidak tetap atau bergantian sehingga suatu *cluster* memiliki formasi yang dinamis atau berubah ubah setiap sesi. Algoritma LEACH dibagi menjadi 2 fase yaitu fase *setup* dan fase *steady state*.

Proses algoritma LEACH dapat dijelaskan sebagai berikut [4] :

1) Fase setup

Pada fase *setup* terjadi penentuan CH dan proses pembentukan *cluster* atau sering disebut juga dengan algoritma *clustering*. Berikut adalah proses yang terjadi :

a) Penentuan CH

Algoritma dimulai dengan memutuskan terlebih dahulu *cluster* beserta persentase CH yang diinginkan dan masa aktif *node* tersebut selama menjadi CH. Setelah itu, tiap *node* memutuskan apakah menjadi CH atau tidak selama sesi tersebut berdasarkan level energi yg tersisa .Pengambilan keputusan dilakukan oleh *node n* yang memilih angka acak di antara 0 dan 1. Jika angka tersebut kurang dari batas *threshold*, maka *node* tersebut menjadi CH untuk sesi tersebut.

Batas *threshold* dirumuskan sebagai berikut [4] :

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P * \left(r * \text{mod} \frac{1}{P}\right)} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

Dimana :

- P = persentase *clusterhead* yang diinginkan
- r = sesi saat ini
- G = jumlah *node* yang belum pernah menjadi CH s selama $1/P$ sesi terakhir

Dengan menggunakan batas *threshold* ini, maka tiap *node* sensor akan menjadi CH dari sekumpulan *node* dalam $1/P$ sesi.

b) Pembentukan cluster

Setelah *node* bertindak menjadi CH, *node* tersebut akan mengumumkan pesan kepada *node non-CH* lain yg tersisa. *Node non-CH* menerima pesan dan akan memberitahu kepada CH untuk menggabungkan diri sebagai anggota dalam *cluster* tersebut. Kriteria pemilihan anggota *cluster* dapat berdasarkan kekuatan sinyal yang diterima *node non-CH* maupun banyak faktor lainnya. Setelah menerima informasi penggabungan diri ,maka CH membentuk *TDMA schedule* dan menyebarkan ke seluruh *node*. *TDMA schedule* membagi waktu ke dalam beberapa slot, dimana jumlah slot sama dengan jumlah *node* dalam *cluster*.

2) Fase Steady State

Pada fase *steady state* terjadi proses transfer data antar *node* yang melibatkan aktivitas transmisi dan observasi. Proses *steady state* memakan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan proses *setup*, karena transfer data terjadi melalui transmisi radio secara intensif.

C. HEED

HEED (*Hybrid Energy Efficient Distributed Clustering*) adalah protokol routing lain yang termasuk dalam metode hirarki. Pada *routing* ini, *Node* CH dipilih berdasarkan dua parameter dasar yaitu *residual energy* dan *intra-cluster communication* [5]. *Residual energy* dari setiap *node* digunakan untuk memilih inisial set dari CH. Di sisi lain, *intra-cluster communication* mencerminkan kedekatan *node* ke tetangga dan digunakan oleh *node* dalam memutuskan untuk bergabung dalam cluster atau tidak. Dengan demikian, tidak seperti LEACH, dalam HEED, *node* CH tidak dipilih secara acak. Hanya sensor yang memiliki *residual energy* yang tinggi yang diperbolehkan menjadi *node* CH. Tidak seperti LEACH, ini berarti bahwa *node* CH didistribusikan dengan baik dalam jaringan. Selain itu, ketika memilih sebuah cluster, sebuah *node* akan berkomunikasi dengan CH yang menghasilkan *intra-cluster communication* terendah [1].

Algoritma ini dibagi menjadi tiga tahap. Pada awalnya, algoritma menetapkan persentase awal CH antara semua sensor (*Cprob*). Lalu dimulai eksekusi HEED sebagai berikut [5]:

1) Tahap Inisialisasi

Pada tahap ini, setiap *node* akan mencari *node* tetangganya yang berada dalam cakupan *cluster*. Kemudian, *node* akan membroadcast *cost* untuk semua *node* tetangganya. Lalu setiap sensor menetapkan probabilitasnya untuk menjadi CH dengan rumus sebagai berikut sebagai berikut :

$$CHprob = Cprob * Eresidual / Emax \quad (2)$$

Dimana :

$E_{residual}$ = energi saat ini di sensor

E_{max} = energi maksimum, yang sesuai dengan baterai yang terisi penuh.

CHprob tidak diperbolehkan jatuh di bawah *threshold* tertentu P_{min} .

2) Tahap Utama

Bagian utama dari algoritma terdiri dari sejumlah iterasi. Setiap *node* akan menerima banyak pesan dari CH yang telah ada, kemudian *node* akan memilih 1 CH dengan *cost* paling rendah. Jika *node* tidak mendapat CH, maka dia memilih dirinya sendiri untuk menjadi CH kemudian mengirimkan pesan pengumuman ke tetangganya yang menginformasikan mereka tentang perubahan status.

Akhirnya, setiap *node* menggandakan nilai CHprob dan menuju ke fasa iterasi berikutnya. Iterasi akan berakhir bila CHprob mencapai 1. Oleh karena itu, ada dua jenis status CH yang sensor bisa mengumumkan kepada tetangganya [1]:

- Sensor menjadi 'tentatif' CH jika CHprob adalah kurang dari 1 (dapat berubah status menjadi *node* biasa di iterasi selanjutnya jika menemukan CH yang lain).
- Sensor "permanen" menjadi CH jika CHprob telah mencapai 1.

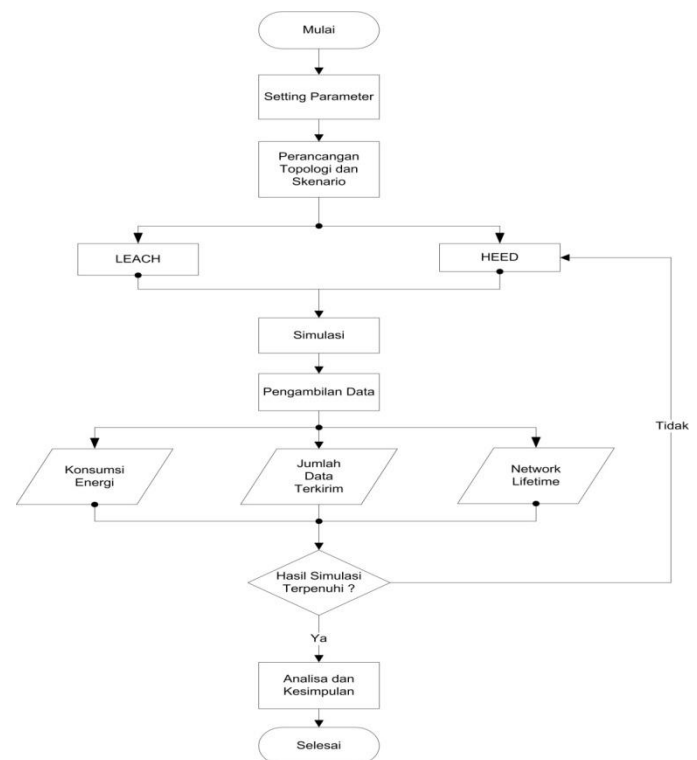
3) Tahap Akhir

Pada akhirnya, masing-masing sensor membuat keputusan akhir tentang statusnya, baik mengambil nilai CH dengan *cost* paling sedikit atau mengumumkan dirinya sebagai CH.

III. PERANCANGAN DAN HASIL

A. Alur Penelitian

Penelitian kali ini akan menggunakan *software* Matlab R2014a sebagai alat bantu simulasi. Pertama kali akan dilakukan setting parameter untuk *routing* protokol LEACH dan HEED. Selanjutnya dilakukan simulasi dan pengambilan data sesuai dengan skenario yang diinginkan. Gambaran detail mengenai alur penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar. 3.1 Diagram Alir Penelitian

B. Parameter Simulasi

TABEL III.1 Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
Luas Wilayah	100*100 m ²
Letak Sink Node	50*50 m ²
Energi Awal	0.25 joule
Frekuensi	2.4 GHS
Sensitivitas	-100 dBm
Volume Data	100 bytes
Arus Pancar	250 mA
Arus Terima	55 mA
Gain	2 dBi
Tinggi Antena	0.5 m

Simulasi jaringan sensor ini menggunakan *node* sensor yang homogen dengan *node* yang dirancang dalam keadaan tidak bergerak atau statis. Setiap *node* memiliki energi awal yang sama. Seluruh *node* akan disebar secara acak di dalam area berbentuk segi empat dengan luas 100x100 m². Kemudian dimasukkan nilai E_{Tx}, E_{Rx}, EDA (*Data Aggregation Energi*) yang di dapatkan dari parameter pada TABEL III.1.

- *Electronic Energy (E_{elec})*

Energi yang digunakan untuk mengoperasikan *circuit* elektronik pada sisi pengirim maupun penerima dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3).

$$E_{elec} = \frac{V \times I}{Rb} \quad (3)$$

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

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

Jika jarak pengirim dan penerima d dan panjang paket data l , maka energi yang digunakan untuk mengirim data dapat dihitung dengan persamaan berikut [Heinzelman dkk, 2000]:

$$E_{TX}(d) = (E_{elec} \times l) + (\epsilon_{amp} \times l \times d^2) \quad (5)$$

$$E_{RX} = E_{elec} \times l \quad (6)$$

- *Amplify Energy (E_{amp})*

Gelombang elektromagnetik dapat dipropagasikan dengan 2 cara pada medium udara yaitu, secara *free space loss* dan *multipath*.

Kondisi LOS (*Line of Sight*) terjadi bila diantara pengirim dan penerima tidak terdapat penghalang.

$$\epsilon_{fs} = \frac{S \times (4\pi)^2}{R_{bx}G_{tx}G_{rx}\lambda^2} \quad (7)$$

Maka nilai ϵ_{fs} pada penelitian ini adalah :

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

$$\epsilon_{fs} = 1,5 \times 10^{-3} \text{ pJ/bit/m}^2$$

Sedangkan bila ada penghalang, maka pola yang digunakan adalah *multipath*.

$$\epsilon_{mp} = \frac{S}{R_{bx}G_{tx}G_{rx}h^2 \times hr^2} \quad (8)$$

Setelah dihitung menggunakan parameter seperti pada tabel III.1, hasilnya adalah :

$$\epsilon_{mp} = \frac{0,1 \times 10^{-12}}{250 \times 10^3 \times 1,6 \times 1,6 \times 0,5^2 \times 0,5^2}$$

$$\epsilon_{mp} = 2,5 \times 10^{-6} \text{ pJ/bit/m}^4$$

Untuk membedakan penggunaan ϵ_{fs} atau ϵ_{mp} pada simulasi, digunakan perhitungan jarak :

$$d_c = \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} \quad (9)$$

$$d_c = \sqrt{\frac{1,5 \times 10^{-3}}{2,5 \times 10^{-6}}} = 10\sqrt{6}$$

Jika jarak pengirim dan penerima lebih kecil atau sama dengan d_c ($d \leq d_c$) sinyal dipropagasikan *free space loss*, sebaliknya dipropagasikan secara *multipath* ($d > d_c$).

C. HASIL SIMULASI

Skenario yang digunakan akan mengetahui pengaruh kepadatan jumlah *node* dalam wilayah jaringan sensor terhadap unjuk kerja konsumsi energi dan masa hidup jaringan. Simulasi dilakukan dengan skenario perubahan jumlah *node* yang ditunjukkan pada tabel III.2.

TABEL III.2 Skenario Simulasi

Parameter	Nilai
Waktu simulasi	300 round
Probabilitas	0,1
Jumlah Node	10 node
	30 node
	50 node
	70 node
	90 node

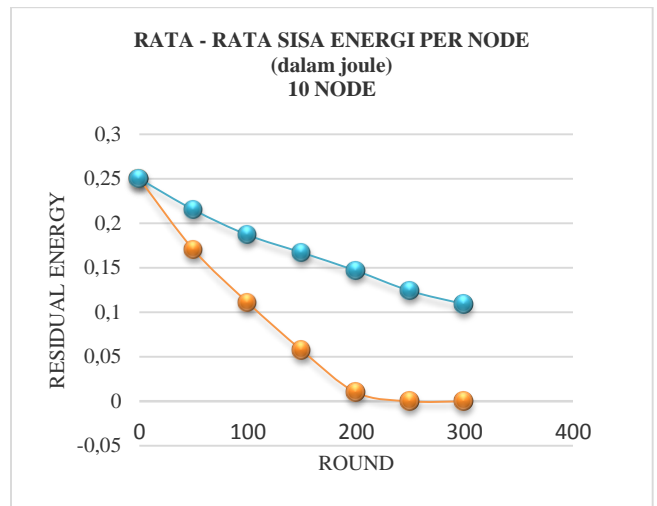
• Konsumsi Energi

Simulasi untuk pengujian konsumsi energi dilakukan selama 300 round untuk kedua protokol. Setelah simulasi berakhir, total energi sisa pada tiap roundnya dibagi dengan jumlah node yang masih hidup sehingga didapatkan sisa energi rata-rata tiap node hidup pada round.

Hasil simulasi yang ditunjukkan tabel III.3 menunjukkan bahwa node-node pada protokol HEED mempunyai lebih banyak energi dibandingkan node-node pada protokol LEACH. Sisa energi node dari round satu ke round berikutnya pada protokol LEACH mempunyai rentang yang tidak stabil, berbeda dengan HEED yang mempunyai selisih energi yang stabil di tiap pergantian round. Sisa energi node pada round yang sama di protokol HEED mempunyai nilai yang hanya berselisih kecil walaupun terdapat perubahan jumlah node di sana.

TABEL III.3 Energi Sisa Per Node (dalam joule)

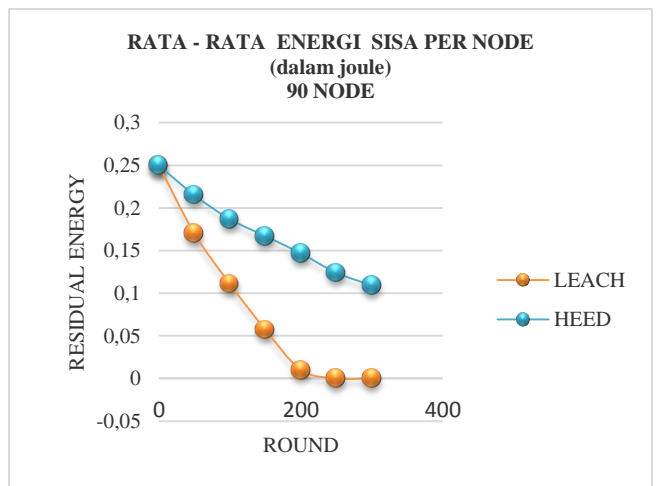
ENERGI SISA PER NODE (dalam joule)				
Jumlah Node	Protokol	Round		
		100	200	300
10	LEACH	0.18673	0.12152	0.0578
	HEED	0.20209	0.15406	0.10603
30	LEACH	0.15411	0.08055	0.02753
	HEED	0.19446	0.15677	0.11156
50	LEACH	0.138	0.06213	0.00486
	HEED	0.18995	0.16076	0.10777
70	LEACH	0.12551	0.03498	0
	HEED	0.18623	0.14525	0.10498
90	LEACH	0.11096	0.01008	0
	HEED	0.18689	0.14671	0.10909



Gambar. 3.2 Grafik Rata-Rata Energi Sisa Per Node Skenario 10 Node

Untuk lebih mengetahui perbandingan energi sisa pada kedua protokol ini, hasil disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 3.2 dan 3.3. Pada jumlah node yang sedikit seperti skenario 10 node pada gambar selisih 3.2, antara Protokol LEACH dan HEED tidak terpaut jauh. Selisih mulai terlihat ketika simulasi sudah memasuki round yang banyak.

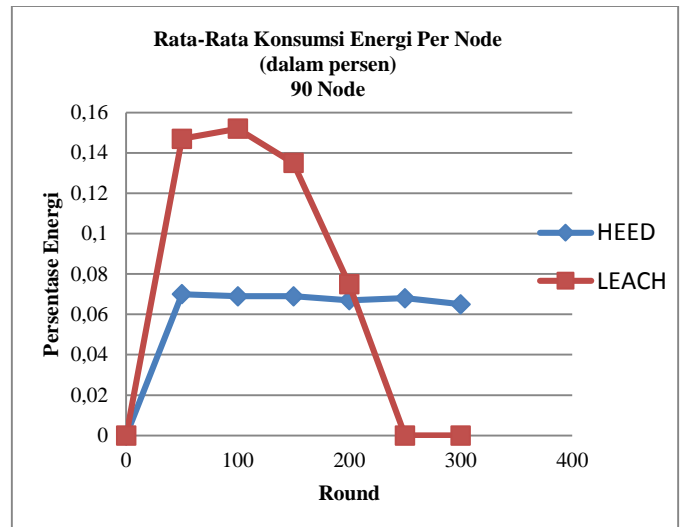
Sedangkan hasil energi sisa pada jumlah node tertinggi, yaitu skenario 90 node, rata-rata energi sisa antara LEACH dan HEED terpaut jauh. Pada awal round, total energi sisa masih berselisih sedikit, tapi mencapai round ke 100 hingga 300, perbandingan semakin tajam. Selain itu, Protokol LEACH pada round ke 300 telah mencapai energi sisa 0 joule yang artinya pada round tersebut semua node telah mati.



Gambar. 3.3. Grafik Rata-Rata Energi Sisa Per Node Skenario 90 Node

TABEL III.4 Rata-Rata Konsumsi Energi Per Node (persen)

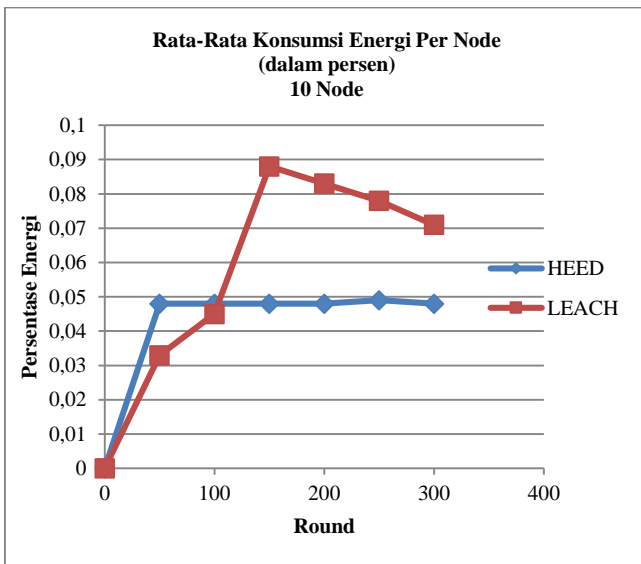
RATA-RATA KONSUMSI ENERGI PER NODE (dalam persen)				
Jumlah Node	Protokol	Round		
		100	200	300
10	LEACH	0.045	0.083	0.071
	HEED	0.048	0.048	0.048
30	LEACH	0.053	0.074	0.129
	HEED	0.055	0.051	0.051
50	LEACH	0.095	0.037	0.028
	HEED	0.060	0.057	0.054
70	LEACH	0.158	0.156	-
	HEED	0.066	0.075	0.062
90	LEACH	0.152	0.075	-
	HEED	0.069	0.067	0.065



Gambar. 3.5 Grafik Rata-Rata Konsumsi Energi Per Node Skenario 90 Node

Rata-rata konsumsi energi tiap *node* dapat dilihat pada tabel III.4 Konsumsi energi terendah pada Protokol LEACH adalah 0,00028 *joule* , nilai ini lebih rendah daripada Protokol HEED yang mengeluarkan energi paling sedikit 0,00048 dalam pengiriman data. Meskipun begitu , nilai pengeluaran energi tertinggi justru ada pada Protokol LEACH yang mempunyai nilai 0,00159 *joule*. Protokol HEED hanya menghabiskan energi maksimal 0,00065 *joule* untuk sekali proses pengiriman datanya.

Gambar 3.5 menunjukkan menunjukkan bahwa Protokol HEED mempunyai konsumsi energi yang sangat stabil . Perbedaan antara *round* satu dengan *round* lain sangat kecil sehingga nyaris tidak terlihat adanya perbedaan antar *round*. Di sisi lain, Protokol LEACH mengkonsumsi energi dengan jumlah yang naik turun dan cenderung tidak stabil.



Gambar. 3.4 Grafik Rata-Rata Konsumsi Energi Per Node Skenario 10 Node

Kasus yang sama terjadi pula pada skenario 90 node yang ditunjukkan gambar 3.6 . Protokol LEACH mengalami konsumsi energi yang naik tajam hingga 0,15% kemudian menurun tajam hingga berhenti pada *round* 250. *Round* 250 sampai berikutnya yang berada pada konsumsi energi 0% menunjukkan bahwa semua *node* pada saat itu telah mengalami kematian total.

Untuk setiap perubahan *round*, HEED membutuhkan konsumsi energi yang hampir sama . Sedangkan dalam perubahan jumlah *node*, selisih konsumsi energi pada HEED tidak terlalu besar dan masih tergolong kecil , berbeda dengan LEACH yang konsumsinya kurang stabil dan mempunyai rentang yang berbeda-beda untuk setiap perubahan *round* dan perubahan jumlah *node*.

Hal ini terjadi karena pada HEED, sebelum memulai proses pengiriman data, *radius cluster* pada tiap *node* telah diatur memiliki nilai yang sama sehingga tidak ada *node* yang mempunyai CH dengan jarak yang jauh dari *node* tersebut. Selain itu, adanya *radius cluster* juga menyebabkan jumlah CH yang tetap di setiap *round* pada simulasi tersebut. *Radius cluster* ini berperan sebagai salah satu parameter penting pada Protokol HEED yaitu *cost intracluster*.

Di sisi lain , algoritma dari Protokol LEACH yang menggunakan proses acak dalam pencarian *Cluster Head* –nya menyebabkan *Cluster Head* pada tiap *round* selalu berubah

dengan jumlah yang tidak tetap. Setiap *node* yang ingin menjadi anggota dari CH tertentu harus mengeluarkan energi yang banyak bila CH yang ada pada saat *round* tertentu berjarak cukup jauh dari *node* tersebut. Hal inilah yang menyebabkan konsumsi energi pada LEACH mengalami ketidakstabilan .

- Masa Hidup Jaringan

Pengujian masa hidup jaringan dapat dilakukan dengan melihat total *node* yang mati pada rentang tertentu. Dalam simulasi ini, pengujian dan analisis dilakukan dengan melihat awal pertama *node* mati pada jaringan (*First Dead*) dan saat dimana *node* yang mati pada jaringan telah mencapai 50% dari total *node* keseluruhan (*50% node death time*) [7].

Pengujian masa hidup jaringan dilakukan dengan menggunakan skenario konsumsi energi yang mempunyai 300 *round*. Kemudian bila *node* belum menunjukkan adanya *first dead node* dan *50% node death time* , maka pengujian akan dilakukan ulang dengan menggunakan penambahan *round* hingga mendapatkan *first dead node* dan *50% node death time* untuk kedua Protokol dan semua skenario.

Dalam simulasi, hampir pada semua skenario Protokol HEED membutuhkan penambahan *round* untuk *50% node death timenya*, sedangkan Protokol LEACH hanya membutuhkan penambahan pada simulasi dengan skenario *node* paling sedikit.

Dari hasil pengujian seperti yang ditunjukkan tabel III.5, untuk *first dead node*, baik Protokol LEACH lebih cepat mengalami kematian *node* pertamanya sebelum *node* pertama pada Protokol HEED mati. Baik Protokol LEACH maupun HEED mengalami percepatan kematian *node*.

TABEL III.5 *First Dead Node* dan *50% node death time* (dalam *Round*)

Jumlah Node	Protokol	First Dead	50% node death time
10	LEACH	335	391
	HEED	143	759
30	LEACH	131	278
	HEED	152	585
50	LEACH	93	227
	HEED	112	446
70	LEACH	74	203
	HEED	133	397
90	LEACH	54	177
	HEED	71	370

Untuk matinya setengah dari total *node* atau *50% node death time*, Protokol HEED jauh lebih baik dibanding Protokol LEACH. Kisaran *50% node death time* dari skenario 10 *node* hingga 90 *node* hanya berselisih sedikit disebabkan karena konsumsi energi yang tidak terpaut jauh untuk semua skenario penambahan *node*.

- Total Data Terkirim

Total data terkirim dan data hilang pada simulasi ini ditunjukkan pada tabel III.6 . Yang dimaksud dengan data terkirim pada tabel III.6 adalah data yang telah diterima CH lalu dikirimkan menuju *Base Station* oleh CH tersebut. Sedangkan data hilang merujuk pada data yang telah diterima CH tetapi tidak sampai kepada *Base Station*.

Pada simulasi dengan 10 *node*, kedua Protokol tidak mempunyai data yang hilang dikarenakan semua CH hanya mempunyai anggota yang sedikit sehingga energi untuk mengirimkan masih tersedia. Setelah itu, ketika terjadi perubahan jumlah *node*, jumlah data yang hilang mulai terlihat dan mengalami peningkatan seiring bertambahnya jumlah *node* yang disimulasikan. Hal ini terjadi dikarenakan jumlah *node* yang ingin mengirimkan data lebih banyak sehingga terdapat kemungkinan terjadinya data hilang dikarenakan CH tidak mempunyai cukup energi untuk mengirimkan semua data yang dia terima ke *Base Station*.

Untuk data yang hilang selama pengiriman dari CH ke BS, LEACH mempunyai jumlah yang lebih banyak dari pada HEED. Jumlah data hilang terendah dari LEACH adalah 13800 selisih banyak daripada HEED yang hanya kehilangan 600 *bytes*. Perolehan data hilang pada LEACH terus naik dalam jumlah yang banyak hingga mencapai angka 153700 *bytes*. Sedangkan nilai maksimal HEED hanya 8900 *bytes*, terpaut sangat jauh dari LEACH.

TABEL III.6 *Data Sent* dan *Data Loss* (dalam *bytes*)

Jumlah Node	Protokol	Data Sent	Data Loss
10	LEACH	300000	0
	HEED	300000	0
30	LEACH	749300	13800
	HEED	852500	600
50	LEACH	1036000	55200
	HEED	1385900	2300
70	LEACH	1198100	109900
	HEED	1878500	3700
90	LEACH	1313000	153700
	HEED	2355800	8900

Hal ini bisa terjadi dikarenakan CH yang bertugas mengirimkan data menuju BS mempunyai energi yang tidak cukup untuk mengirimkan data sehingga data hilang saat pengiriman. Permasalahan ini paling banyak terjadi pada Protokol LEACH dikarenakan jumlah *Cluster Head* yang sangat tidak stabil akibat adanya nilai *random* pada algoritma ini. Pada beberapa *round* Protokol LEACH, *Cluster Head* hanya tersedia sedikit sehingga tiap *Cluster Head* mempunyai banyak anggota yang akan mengirimkan data menuju *Base Station*. Energi yang tidak cukup ditambah banyaknya data yang harus dikirimkan membuat CH lebih cepat kehilangan energi hingga akhirnya mati sementara masih banyak data yang belum dikirimkan.

Protokol HEED lebih stabil dan dapat mengirimkan lebih banyak data yang dibuktikan dengan rendahnya *bytes-bytes* data yang hilang saat pengiriman. Penyebab utama lebih stabilnya Protokol ini disebabkan , jumlah *Cluster Head* sangat cukup dan selalu sama pada tiap *roundnya*. Hal ini menyebabkan konsumsi energi lebih stabil dan CH mempunyai cukup energi untuk mengirimkan data ke *Base Station*.

IV. KESIMPULAN

Pada LEACH , ketika suatu *node* memutuskan untuk menjadi CH, dia harus mengirimkan *broadcast message* ke semua *node* yang ada , sedangkan pada HEED *node* yang berada di area tetangga *node* CH saja yang mendapat *broadcast message*. Maka semakin banyak jumlah *node* yang ada, CH pada LEACH akan menghabiskan banyak energi hanya untuk mengumumkan ke semua *node* bahwa dia bertindak sebagai CH.

Jumlah CH pada HEED selalu tetap dari *round* pertama. Hal ini terjadi karena adanya parameter *cost intracluster* pada HEED yang mengakibatkan *node-node* pada HEED telah membentuk area berdasarkan *radius cluster*. Sedangkan pada LEACH, CH setiap *roundnya* tidak tetap, hal ini mengakibatkan pengiriman menjadi tidak efisien karena CH yang terlalu terbebani dengan banyaknya anggota *cluster*.

Protokol HEED lebih membutuhkan konsumsi energi yang lebih sedikit daripada Protokol LEACH sehingga masa hidup jaringan lebih tinggi dan berdampak pada jumlah data terkirim lebih maksimal.

Protokol LEACH lebih baik digunakan untuk jaringan yang mempunyai skala kecil, sedangkan Protokol HEED cocok untuk digunakan pada jaringan dengan skala yang lebih besar karena kestabilannya dalam konsumsi energi dan pengiriman data.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mamalis, Basilis , Dkk. RFID and Sensor Networ , E-book.
- [2] Rijal,Achmad Bagus Khoiril ,SIMULASI KOMUNIKASI MULTIHOP PADA JARINGAN SENSOR NIRKABEL MENGGUNAKAN ALGORITMA HLEACH , Surabaya : ITS, 2009.
- [3] Pradipta, Setefanus Enggar , ANALISA ALGORITMA LEACH PADA JARINGAN SENSOR NIRKABEL, Bandung : IT Telkom.
- [4] Permana, Muhammad Ali, Analisa Algoritma LEACH Pada Jaringan Sensor Nirkabel, Surabaya : ITS.
- [5] Ossama Younis, Sonia Fahmy, "HEED: A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad Hoc Sensor Networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 03, no. 4, pp. 366-379, Oct., 2004.
- [6] Hussain, Sajid. Energy Efficient Hierarchical Cluster-Based Routing for Wireless Sensor Networks. Canada : Jodrey School of Computer Science. 2005.
- [7] Vipin Pal, Girdhari Singh, and R. P. Yadav Analyzing the Effect of Variable Round Time for Clustering Approach in Wireless Sensor Networks .Lecture Notes on Software Engineering, Vol. 1, No. 1, February ,2013.
- [8] Kazerooni, dkk.. LEACH AND HEED CLUSTERING ALGORITHMS IN WIRELESS SENSOR NETWORKS :A QUALITATIVE STUDY. Iran: Islamic Azad University. 2015.
- [9] Prabowo, Sidik. Enhanced Simplified Hybrid Energy-Efficient Distributed Clustering for Wireless Sensor Network. Bandung : Telkom University. 2014.