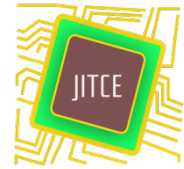


Available online at : <http://jitce.fti.unand.ac.id/>**JITCE (Journal of Information Technology and Computer Engineering)**

| ISSN (Online) 2599-1663 |



# Peningkatan Network Lifetime Menggunakan Cluster Based Pada Wireless Sensor Network

Muhammad Hibrian<sup>1</sup>, Wardi<sup>2</sup>, Agussalim<sup>3</sup>

1 Magister Sistem Komputer, STMIK Handayani, Jl. Adhyaksa Baru No. 1 Makassar, Indonesia

2 Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin, Jl Perintis Kemerdekaan, Makassar, Indonesia

3. Sistem Informasi, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Jl. Medokan Ayu No. 1, Surabaya, Indonesia

## ARTICLE INFORMATION

Received: January 26<sup>th</sup>, 2020  
Revised: March 8<sup>th</sup>, 2020  
Available online: March 30<sup>th</sup>, 2020

## KEYWORDS

WSN, Routing, Network Lifetime, LEACH

## CORRESPONDENCE

Phone: +6285696128584

E-mail: muhammadhibrian@gmail.com

## A B S T R A C T

This series of research activities are in the form of a routing simulation using the LEACH protocol as a cluster-based mechanism method that can improve Network Lifetime in the Wireless Sensor Network protocol, using the Network Simulator 2 application device that describes data transmission, remaining nodes, and energy used. Determination of the performance and power consumption of the wireless sensor network by testing scenario one to scenario five due to the influence of the cluster to be applied, such as scenario 1 using 1 cluster (C1) consumes an average of the energy of 0.155 joules and the data sent or obtained is 72,848 bytes. Barriers or disruptions to the cluster head affect the performance of LEACH, so there is a need for criteria or conditions to determine which nodes should be used as cluster head.

## PENDAHULUAN

Untuk beberapa skenario aplikasi lainnya, jaringan dan aktuator dibangun menggunakan teknologi jaringan kabel. Bagi banyak jenis aplikasi lainnya, penggunaan kawat menjadi sulit atau tidak bisa diterapkan. *Wiring/* pengkabelan mahal dan pemeliharannya juga susah, tidak bisa mobile, dan kabel dapat mencegah sensor atau aktuator menjadi dekat dengan fenomena yang diamati, padahal mereka seharusnya berfungsi untuk mengontrol. Oleh karena itu komunikasi nirkabel antara perangkat tersebut menjadi kebutuhan yang tak terelakan [1]. Contohnya seperti penerapan teknologi Wireless Sensor Network (WSN).

*Wireless sensor network* (WSN) memakai daya baterai sebagai sumber daya untuk menghidupkan perangkat node-nodenya. salah satu masalah atau tantangan dalam pengimplementasian WSN yang utama pada sensor nirkabel adalah memiliki sumber daya energi yang terbatas, sumber energi berupa daya baterai

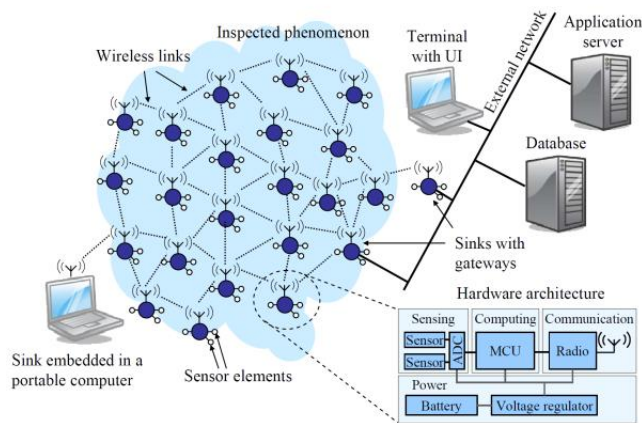
diperlukan untuk menghidupkan perangkat *wireless sensor network* (WSN) karena proses pergantian baterai atau pemasangan sumber energi lainnya tidak memungkinkan yang dipengaruhi medan atau alam yang ekstrim, sehingga masalah tersebut dapat mempengaruhi kinerja dari sensor. Sumber daya yang digunakan akan habis atau mati, dikarenakan pemakaian secara terus-menerus maka dibutuhkan sebuah penerapan algoritma atau protokol untuk mengefisienkan penggunaan baterai di dalam WSN.

Masa hidup (*lifetime*) dalam teknologi WSN perlu dipertimbangkan lagi untuk ditingkatkan agar manfaat WSN dapat dirasakan lebih lama. Penelitian terkini dalam meningkatkan masa hidup WSN cenderung dilakukan dengan mengembangkan protokol-protokol *energy aware routing* yang melibatkan agregasi data, *clustering*, dan *scheduling* yang diharapkan mampu menghemat sumber daya energi dari *sensor node* [3]

Penerapan teknik *clustering* dengan menggunakan salah satu teknik protokol yang ada pada WSN yakni dengan menerapkan protokol LEACH (*Low Energy Adaptive Cluster Hierarchy*) yang nantinya dapat menganalisis kinerja dan konsumsi daya WSN yang dapat meningkatkan atau mengoptimalkan masa hidup jaringan.

**Wireless Sensor Network**

Sensor-sensor yang menjalankan fungsi secara terintegrasi antara sensor yang satu dan sensor lainnya membentuk sebuah pola dan tujuan tertentu seperti mengirim, menerima, serta memproses data disekitarnya menuju *base station* sehingga membentuk jaringan dengan menggunakan perantara udara sebagai media transmisinya disebut Wireless Sensor Network (WSN), seperti dapat dilihat pada [2]



Gambar 1. Topologi *Wireless Sensor Network* dan Arsitektur Node [2]

WSN merupakan kesatuan perangkat sensor yang mengumpulkan data dari alam dan mengirimkan kepada administrator. Secara umum WSN terdiri dari dua komponen yaitu node sensor dan *sink*. Node sensor merupakan komponen kesatuan dari jejaring yang dapat menghasilkan informasi, biasanya merupakan sebuah sensor atau juga sebuah aktuator yang menghasilkan *feedback* pada keseluruhan operasi.

*Sink* merupakan kesatuan sensor yang dapat melakukan pengolahan informasi dari setiap *node* sensor. Keunggulan dari WSN ini adalah mempunyai daya jangkauan yang lebih luas akurat dan juga harga yang lebih murah. Ini dikarenakan kemajuan di bidang desain, konsep dan pemilihan material sehingga diperoleh sensor yang lebih murah, minimalis dan ringan. Simulasi ini dilakukan guna untuk memperoleh penjelasan, deskripsi dan prediksi suatu sistem WSN yang akan direalisasikan kedalam dunia nyata dalam skala besar guna mengurangi kegagalan dalam realisasi tersebut maka harus dilakukan simulasi terlebih dahulu [3].

**Network Lifetime**

*Network Life Time* dapat diartikan dengan masa hidup suatu jaringan sensor, tetapi seperti yang telah dijelaskan pada penelitian [3] yakni *Network Lifetime* atau masa hidup sebuah jaringan sensor memiliki berbagai definisi. Masing- masing definisi memiliki batasan dan belum ada yang bisa diterapkan pada semua kriteria jaringan. Penelitian [4] menyatakan bahwa *network lifetime* adalah waktu hingga *cluster head* (CH) yang pertama mati. Definisi ini menjadi tidak relevan ketika protokol

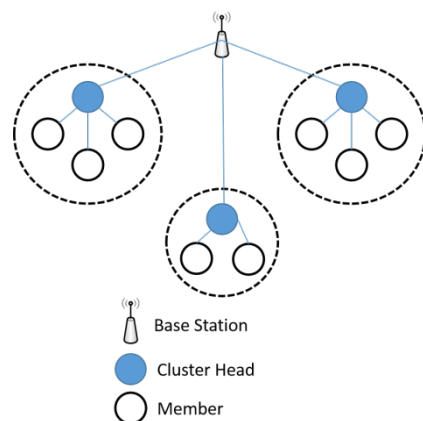
*clustering* mulai mampu menangani perubahan topologi dengan mengganti *cluster head* (CH).

*Network lifetime* atau masa hidup suatu jaringan sensor memiliki berbagai definisi. Masing-masing definisi memiliki batasan dan belum ada yang bisa diterapkan pada semua kriteria jaringan. Penelitian awal yang merumuskan *network lifetime* sebagai rentang waktu sejak dimulainya transmisi data yang pertama hingga node terakhir mati dikemukakan oleh [5]. Namun pada kenyataannya, sebuah jaringan sensor sudah tidak bisa mengirim data pemindaian, meskipun belum semua node mati. Definisi berikutnya yang lebih realistis dikemukakan seiring dengan berkembangnya metode routing berbasis *cluster* (klaster). paper [6] menyatakan bahwa *network lifetime* adalah waktu hingga *cluster head* (CH) yang pertama mati. Definisi ini menjadi tidak relevan ketika protokol *clustering* mulai mampu menangani perubahan topologi dengan mengganti CHnya. Banyaknya Definisi dari *network lifetime* peneliti kali ini mengacu pada pernyataan yang dikemukakan oleh [3] didefinisikan sebagai waktu sensor node yang pertama mengalami kehabisan energi untuk beroperasi.

**LEACH (*Low Energy Adaptive Cluster Hierarchy*)**

Teknik clustering pada WSN umumnya digunakan dengan tujuan penghematan sumber daya energy. Salah satu protokol clustering yang populer adalah LEACH. LEACH (*Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy*) adalah sebuah protokol routing yang bertujuan untuk meningkatkan konservasi energi [6]

Penelitian LEACH telah diteliti sebelumnya oleh [7] dalam penelitiannya dijelaskan LEACH merupakan protokol routing yang membentuk *cluster* (klaster) dari kumpulan node sensor berdasarkan kekuatan sinyal yang diterima. Algoritma dimulai dengan pemilihan suatu node sebagai CH lalu dengan algoritma *clustering* memilih node non-CH sebagai anggota sehingga membentuk klaster seperti yang terlihat pada Gambar 2. 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.



Gambar 2 Beberapa sensor node yang Dibagi Menjadi Beberapa *Cluster* dan Memiliki CH

Menurut paper [7] bahwa pada awalnya node-node tersebar dalam jumlah besar pada suatu area dan proses pengiriman data masih terpusat pada *Base Station*. Namun dengan adanya algoritma LEACH, *node-node* tersebut dikelompokkan dalam beberapa klaster pada satu jaringan. Masing-masing klaster memiliki sebuah CH yang bertugas untuk mengkoordinasi

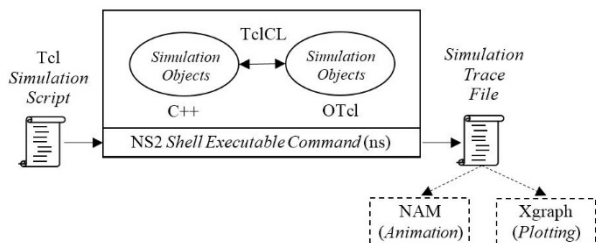
pengiriman data dari *node* sensor ke Base Station. LEACH memiliki fitur-fitur sebagai berikut :

1. *Data fusion*, yaitu penggabungan data sehingga mengurangi disipasi energi dan menambah lifetime jaringan.
2. *Adaptive*, yaitu mudah untuk menyesuaikan diri saat pembentukan formasi klaster
3. *Local compression*, yaitu mengkompresi data agar ukuran data yang dikirim ke *Base Station* lebih kecil
4. *Randomization rotation*, yaitu perputaran kedudukan CH secara acak.
5. *Self-Organizing*, yaitu tiap *node* sensor memiliki sikap pengambilan keputusan sendiri untuk menjadi CH.

**METODE**

Simulasi ini menggunakan NS-2 (*network simulator*) versi 2 sebagai media simulatonya dengan memodifikasi protokol LEACH yang meliputi penambahan luas area, penambahan jumlah *node* serta memodifikasi jumlah klaster yang telah diteliti oleh beberapa penelitian sebelumnya.

Simulator jaringan ns-2 adalah simulator jaringan berlisensi *open source* yang mendukung banyak aplikasi, protokol-protokol, dan model-model trafik jaringan yang dirancang khusus untuk penelitian komunikasi data dan jaringan. Simulator ns-2 bekerja di atas penggunaan 2 bahasa pemrograman yaitu (1) C++ yang digunakan untuk mendefinisikan mekanisme internal (*back-end*) dari objek simulasi serta menangani paket data, dan (2) bahasa *object-oriented tool command language* (OTcl) sebagai interpreter yang digunakan untuk menjalankan simulasi pada modul yang telah disediakan oleh ns-2, mengkonfigurasi berbagai parameter, melakukan penjadwalan *event* diskret, serta menjalankan *script* perintah dari pengguna. Bahasa C++ dan OTcl dihubungkan satu sama lain menggunakan TclCL. Arsitektur dasar simulator jaringan ns-2 dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3 Arsitektur simulator jaringan ns-2 [8]

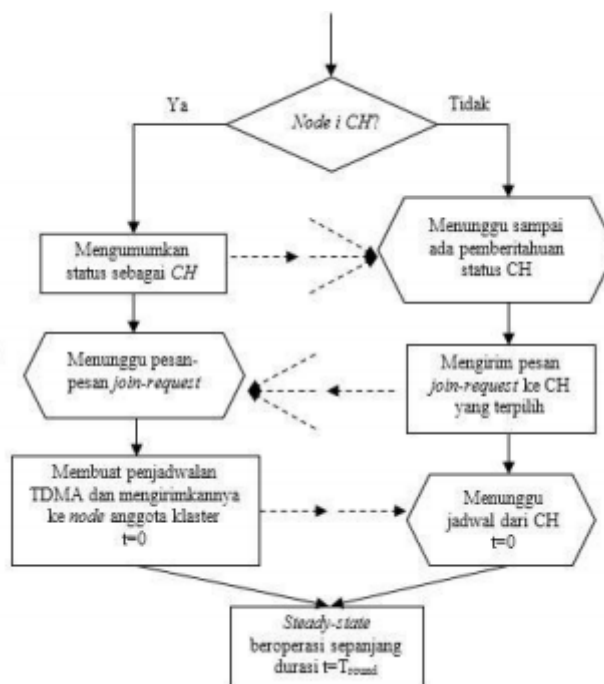
Penelitian ini merupakan perkembangan dari paper [8] yang menjelaskan bahwa LEACH berjalan dalam sepanjang jumlah *round* yang dapat ditempuh sampai dengan energi yang ditetapkan habis terpakai. Setiap kali LEACH ingin menginisiasi pembentukan klaster terdapat 2 fase aktivitas yang dilewati yaitu *set up phase* dan *steady phase*

$$T(n) = \begin{cases} \frac{CP}{1 - CP \left[ r * \text{mod} \left( \right. \right.} \\ 0, \end{cases} \tag{1}$$

*Set up phase*: Menurut [9] selama *set up phase* CH dipilih secara acak di antara *node-node* yang berada di dalam satu klaster. Pada awalnya, setiap *node* membangkitkan suatu nilai acak yang berada pada rentang 0 sampai 1. Jika nilai tersebut kurang dari *threshold* atau  $T(n)$  yang ditetapkan, maka *node* tersebut dipilih sebagai CH untuk suatu *round*. Pemilihan ini juga melibatkan *history* dari daftar *node-node* yang telah menjadi CH menurut [10].  $T(n)$  dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 [11]. *Cluster percentage* (CP) adalah presentase dari jumlah klaster di dalam jaringan,  $r$  adalah jumlah dari *round* pemilihan,  $(r \text{ mod } 1/CP)$

adalah jumlah *node* yang telah terpilih sebagai CH di dalam *round* ke- $r$ , dan  $G$  adalah sekumpulan *node* yang belum terpilih sebagai CH pada *round* ke  $r$ . Begitu para CH terpilih, para CH akan menyebarluaskan pesan *advertisement*. Berdasarkan dari kekuatan sinyal yang diterima, setiap *node* yang bukan CH akan memilih CH-nya, dalam kasus ini *node* dapat mendengar lebih dari satu pesan *broadcast* pada *round* tersebut. Setiap *node* yang bukan CH akan mengirim kembali pesan *request* untuk bergabung, berisikan ID *node* tersebut ke CH-nya yang dipilih menggunakan *carrier sense multiple access* (CSMA) yang juga berfungsi untuk menangani *collision*. Setelah tahapan *set up*, setiap CH akan mengetahui setiap anggota klaster beserta ID-nya masing-masing [12]. *Flowchart* dari algoritme pembentukan klaster pada protokol LEACH.

*Steady state phase*: Setelah klaster-klaster terbentuk, CH mengalokasikan penjadwalan TDMA-nya ke *node-node* anggota klasternya. Berdasarkan dari penjadwalan tersebut setiap anggota *node* akan mengirimkan data hasil *sensing*-nya ke CH masing-masing. Begitu CH mengumpulkan semua data dari *node-node* anggotanya, CH akan mengirimkan data yang telah terkumpul tersebut bersamaan dengan data yang dimilikinya sendiri ke BS [13]. Durasi waktu dari tahapan *steady state* lebih lama daripada tahapan *set up*. Setelah sekian waktu tertentu, jaringan kembali memasuki tahapan *set up* dari *round* berikutnya. CH akan terpilih lagi untuk membentuk klaster baru. Dengan demikian, lama waktu hidup jaringan dapat diestimasi berdasarkan jumlah *round* yang berhasil dicapai. *Time-line* operasi pada protokol *routing* LEACH yang terdiri atas fase *set up* dan *steady state*.



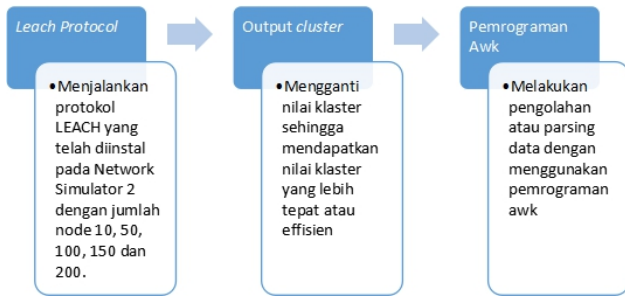
Gambar 4 Algoritma pembentukan klaster LEACH [6]

Skenario dalam penelitian ini dengan melaksanakan pengujian menggunakan skenario 1 sampai skenario 5 disertai beberapa parameter atau variable yang diubah-ubah agar mendapatkan klaster yang efisien atau optimal dengan cara menggunakan simulasi ns-2, Dalam penelitian ini telah dilakukan pengulangan sebanyak 4 kali dan memiliki hasil yang sama persis bahwa nilai yang dihasilkan pada setiap skenario mendapatkan jumlah klaster yang optimum seperti pada skenario ke-3 optimasi *network lifetime* dengan memakai CH terbaik yaitu sebanyak 5 klaster. Beberapa *node* yang tersebar luas yang didasari pada *code extentions MIT u-AMPS* dan parameter-parameternya tersebar di koordinat-koordinat sebagai berikut :

Tabel 1 Skenario banyaknya node dan kluster yang diterapkan

Node / Cluster	10 (Skenario 1)	50 (Skenario 2)	100 (Skenario 3)	150 (Skenario 4)	200 (Skenario 5)
C1	√	√	√	√	√
C2	√	√	√	√	√
C3	√	√	√	√	√
C4	√	√	√	√	√
C5	√	√	√	√	√
C6	√	√	√	√	√
C7	√	√	√	√	√
C8	√	√	√	√	√
C9	√	√	√	√	√
C10	√	√	√	√	√

Setiap Node yang diuji terdiri dari Node 10 (Skenario 1), 50 (Skenario 2), 100 (Skenario 3), 150 (Skenario 4), dan 200 (Skenario 5) yang dapat dibagi menjadi beberapa kluster dari 1 kluster sampai dengan 10 kluster yakni C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9 dan C10, setiap kluster dapat di uji pada setiap node dari skenario 1 sampai skenario 5 sehingga mendapatkan network lifetime yang optimal yaitu mencari nilai AED (*average energy dissipated*) dan ADR (*average data received*).



Gambar 4. Skema pengujian protocol LEACH

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tahap ini dilakukan simulasi sesuai skenario dan parameter yang telah dijelaskan sebelumnya yakni setiap node dan setiap klasternya dapat dihasilkan. Dalam tahapan ini peneliti mencari nilai AED (*average energy dissipated*) dan ADR (*average data received*), menurut heinzelman Hal ini dilakukan untuk melihat atau menghitung nilai rata-rata energi yang dihabiskan per satu round untuk setiap simulasi. Total energi yang dipakai seluruh jaringan di akhir simulasi dibagi dengan banyaknya round yang berhasil dicapai selama durasi simulasi menghasilkan nilai *average energy dissipated* (AED) atau nilai rata-rata energi yang dihabiskan per round sedangkan *average data received* (ADR) yaitu total data saat simulasi selesai dibagi dengan jumlah round.

#### 4.2.1 Sensor berjumlah 10 Node

Pada pengujian ini kami menguji 10 node sensor, hasil pengujian Menunjukkan bahwa AED (*average energy dissipated*) dan ADR (*average data received*) klaster yang paling hemat menggunakan energi dan data yang banyak terkirim ke base station adalah menggunakan 1 kluster (C1) saja dikarenakan rata-rata penggunaan energi adalah sebesar 0.15 *joule* serta rata-rata data yang terkirim atau peroleh sebanyak 72,84 *bytes*.

Tabel 2 Total Energi dan Total Data yang menggunakan 10 node

10 Nodes	Total Round	Total Energi	Total Data	AED per Round	ADR per Round
C1	10	1,5	72,84	0,15	72,84

<https://doi.org/10.25077/jitce.4.01.16-21.2020>

C1	129,2	20	9412	0,15	72,84
C2	110,7	19,73	2952	0,17	26,66
C3	114,4	19,49	5780	0,17	50,52
C4	109	19,39	4383	0,17	40,21
C5	81,9	19,30	2593	0,23	31,66
C6	69,3	18,29	1723	0,26	24,86
C7	50,9	18,09	492	0,35	9,66
C8	48,3	17,88	556	0,37	11,51
C9	40,3	17,46	332	0,43	8,23
C10	38,8	19,027	0	0,49	0

#### 4.2.2 Sensor berjumlah 50 Node

Pada pengujian ini kami menguji 50 node sensor, hasil pengujian menunjukkan bahwa AED (*average energy dissipated*) atau energi rata-rata yang dilewati setiap round paling optimal adalah C2 atau menggunakan 2 kluster yakni menghasilkan 0.27 *joule* yang menunjukkan ADR (*average data received*) atau data yang terkirim adalah menggunakan 2 kluster juga dengan nilai sebesar 107,41 *bytes*.

Tabel 3 Total Energi dan Total Data yang menggunakan 50 node

50 Nodes	Total Round	Total Energi	Total Data	AED per Round	ADR per Round
C1	123,4	100	11610	0,81	94,08
C2	359	99,83	38563	0,278	107,41
C3	218,4	99,45	19482	0,45	89,20
C4	262,7	98,68	19391	0,37	73,81
C5	260,7	99,22	16277	0,38	62,43
C6	222,4	99,78	16763	0,44	75,37
C7	143,3	96,77	9928	0,67	69,28
C8	135,4	96,71	9585	0,71	70,79
C9	102,1	96,39	4537	0,94	44,43
C10	96,7	99,41	2932	1,02	30,32

#### 4.2.3 Sensor berjumlah 100 Node

Pada pengujian ini kami menguji 100 node sensor, hasil pengujian menunjukkan jumlah rata-rata penggunaan energi per round yang paling hemat atau efisien adalah menggunakan 5 kluster (C5) yakni sebesar 0,37 *joule*. Pada Tabel 4 menunjukkan juga bahwa penggunaan 5 kluster (C5) dengan rata-rata data per round atau ADR (*average data received*) berjumlah 103,51 *bytes*.

Tabel 4 Total Energi dan Total Data yang menggunakan 100 node

100 Nodes	Total Round	Total Energi	Total Data	AED per Round	ADR per Round
C1	64,6	200	2698	3,09	41,76
C2	513	199,86	51400	0,38	100,19
C3	434,7	199,84	48492	0,45	111,55
C4	382,3	199,14	35480	0,52	92,80
C5	529,8	199,80	54841	0,37	103,51
C6	305,3	198,08	25963	0,64	85,04

C7	312,2	196,78	26168	0,63	83,81
C8	145,5	198,22	10105	1,36	69,45
C9	187,2	199,36	7528	1,06	40,21
C10	186,3	196,90	11715	1,05	62,88

4.2.4 Sensor berjumlah 150 Node

Pada pengujian ini kami menguji 150 node sensor, hasil pengujian menunjukkan jumlah rata-rata penggunaan energi per round yang paling hemat atau efisien adalah menggunakan 3 klaster (C3) 0,30 joule. Pada Tabel 5 menunjukan juga bahwa C3 dengan rata-rata data per round atau ADR (average data received) berjumlah 109,77 bytes.

Tabel 5 Total Energi dan Total Data yang menggunakan 150 node

150 Nodes	Round	Energi	Data	AED per Round	ADR per Round
C1	105,5	300	10950	2,84	103,79
C2	171,2	300	16091	1,75	93,98
C3	996,1	299,89	109344	0,30	109,77
C4	525,6	299,61	49055	0,57	93,33
C5	756,1	298,39	76836	0,39	101,62
C6	512,1	299,05	44337	0,58	86,57
C7	475,5	298,62	37814	0,62	79,52
C8	237,4	299,18	15761	1,26	66,39
C9	264,5	296,42	21545	1,12	81,45
C10	272,5	298,09	20355	1,09	74,69

4.2.5 Sensor berjumlah 200 Node

Pada pengujian ini kami menguji 200 node sensor, hasil pengujian menunjukkan rata-rata penggunaan energi per round yang paling hemat atau efisien adalah menggunakan 4 klaster (C4) dan menggunakan 5 klaster (C5) yakni 0,38 joule dan 0,37 joule. Pada Tabel 6 menunjukan juga bahwa C1 atau 1 klaster dengan rata-rata data per round atau ADR (average data received) berjumlah 152,62 bytes tetapi penggunaan rata-rata energi perjoule atau AED besar yakni 1,93 joule. Penggunaan energi setelah C1 atau 1 klaster adalah menggunakan 3 klaster (C3 ) sebesar 102,91 bytes. Untuk menerapkan network lifetime pada sensor berjumlah 200 node dengan menganalisis energi yang paling sedikit dan data yang terkirim paling banyak adalah dengan menerapkan C3 dan C4.

Tabel 6 Total Energi dan Total Data yang menggunakan 200 node

200 Nodes	Round	Total Energi	Tota Data	AED per Round	ADR per Round
C1	207	400	31594	1,93	152,62
C2	448,6	399,99	43859	0,89	97,76
C3	903,5	399,86	92986	0,44	102,91
C4	1042,1	399,87	100928	0,38	96,85
C5	1062,1	399,84	57005	0,37	53,67
C6	624,8	399,35	55261	0,63	88,44
C7	566,3	398,16	50452	0,70	89,09

C8	182,7	399,811	12343	2,188	67,55
C9	517,6	398,37	39313	0,76	75,95
C10	148,1	395,26	10498	2,66	70,88

KESIMPULAN

Menerapkan teknik *clustering* atau Protokol LEACH adalah meningkatkan network lifetime yang ada pada jaringan wireless sensor network dimana penentuan klaster digunakan untuk mengetahui banyaknya data lebih banyak terkirim serta dengan menggunakan rata-rata penggunaan energi per round yang terkirim ke base station adalah minim. Besarnya jumlah klaster sangat berpengaruh terhadap banyaknya node wireless sensor network tetapi semakin besar jumlah klaster tidak memperoleh network lifetime yang lebih optimal, hal ini dapat dilihat pada skenario 1 sampai skenario 5 yang telah di lakukan seperti pada skenario 2 dengan node sebanyak 50 node menunjukkan bahwa AED (average energy dissipated) atau energi rata-rata yang dilewati setiap round paling optimal adalah klaster 2 yakni 0.2781 Joule dan yang menunjukan ADR (average data received) atau data yang terkirim atau diperoleh adalah klaster 2 juga dengan 107,4178 bytes dibandingkan dengan klaster 10 yang mendapatkan rata-rata penggunaan energi sebesar 1,0280 joule dan memperoleh data yang terkirim hanya sebesar 30,3205 bytes. Untuk penelitian selanjutnya perlu mempertimbangkan hambatan atau gangguan CH mempengaruhi kinerja LEACH sehingga perlu adanya kriteria atau syarat menentukan node mana yang harus dijadikan CH.

REFERENSI

- [1] Firdaus, *Wireless Sensor Network, Teori dan Aplikasinya*. Graha Ilmu : Yogyakarta; 2014.
- [2] Laukkarinen, T. (2017). *Computer Engineering teaching*. Retrieved from TIE-52106 *Wireless Sensor Networks and Applications*: [www.tkt.cs.tut.fi](http://www.tkt.cs.tut.fi).
- [3] Listyanti Dewi Astuti, *Peningkatan Network Lifetime pada Wireless Sensor Network dengan Menggunakan Clustered Shortest Geopath Routing (C-SGP)*, Tesis; 2017.
- [4] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H, *Energy efficient communication protocol for wireless microsensor networks*. Di dalam: *Annual Hawaii International Conference; System Sciences 2000*. hlm 1-10.; 2000.
- [5] Tian, D., & Georganas, N. D. (2003). *Energy efficient routing with guaranteed delivery in wireless sensor networks*. *IEEE Wireless Communications and Networking*.
- [6] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H, *An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks*, *IEEE Transactions on Wireless Communications*. 1(4):660-670; 2002
- [7] M. Permana, *Analisa Algoritma LEACH Pada Jaringan Sensor Nirkabel*, *Proceeding Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS*; 2012.
- [8] Hikmah Diarapat, *Kinerja Dan Konsumsi Daya Protokol Routing Leach Pada Topologi Jaringan Sensor Nirkabel Berbasis Klaster*. Skripsi; 2016.
- [9] Thein MCM, Thein T, *An energy efficient cluster-head selection for wireless sensor networks*, Di dalam: *Intelligent*

*Systems, Modelling, and Simulation (ISMS)*; IEEE. hlm 287-291; 2010

- [10] Wang B, Shen C, Li J, Study and improvement on LEACH protocol in WSNs, Di dalam: *Automatic Control and Artificial Intelligence (ACAI)*; 2012 Mar 3-5; Xiamen, Cina. IEEE. hlm 1941-1943; 2012
- [11] Zhang F, Wang Q, A probability optimize clustering routing algorithm for WSNs, Di dalam: *Electronics Computer Technology (ICECT)*; IEEE. hlm 348-352; 2011
- [12] Kodali RK, Aravapalli NK, Multi-level LEACH protocol model using ns-3, Di dalam: *Advance Computing Conference (IACC)*. 2014 Feb 21-22; Gurgaon, India. IEEE International. hlm 375-380; 2014
- [13] Paul AK, Sato T, Effective data gathering and energy efficient communication protocol in wireless sensor network. Di dalam: *Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*; IEEE. hlm 1-5; 2011.