

Implementasi Algoritma *Clustering* Untuk Efisiensi Energi di *Wireless Sensor Network*

Dona Wahyudi¹, M. Udin Harun Al Rasyid², Iwan Syarif³
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS)

Jl. Raya ITS – Kampus PENS Sukolilo, Surabaya, Indonesia

Email: donawahyudi@pasca.student.pens.ac.id¹, udinharun@pens.ac.id², iwanarif@pens.ac.id³

Abstrack - Energy efficiency is a major challenge in implementing WSN, and the use of routing and clustering protocols are several ways that can maximize energy use. Energy efficiency is needed because WSN has limited energy resources from the battery and its placement in an area that is not always monitored making battery replacement difficult or cannot be done. This study uses AOMDV (Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector) to provide a delivery path from source to destination. In addition, the arrangement of a balanced number of cluster members is done for each cluster. From the results of the experiment, it was found that by regulating the number of balanced cluster members has better energy efficiency results.

Keywords - WSN; AOMDV; Clustering; Routing.

Intisari – Efisiensi energi adalah tantangan utama dalam mengimplementasikan WSN, dan penggunaan protokol *routing* dan *clustering* adalah beberapa cara yang dapat memaksimalkan penggunaan energi. Efisiensi energi diperlukan karena WSN memiliki sumber daya energi yang terbatas dari baterai dan penempatannya di area yang tidak selalu dipantau sehingga penggantian baterai menjadi sulit atau tidak dapat dilakukan. Penelitian ini menggunakan AOMDV (*Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector*) untuk menyediakan jalur pengiriman dari sumber ke tujuan. Selain itu pengaturan jumlah anggota *cluster* yang seimbang dilakukan untuk setiap *cluster*. Dari hasil percobaan, ditemukan bahwa dengan mengatur jumlah anggota *cluster* yang seimbang memiliki hasil efisiensi energi yang lebih baik.

Kata Kunci - WSN; AOMDV; Clustering; Routing.

I. PENDAHULUAN

Wireless Sensor Network (WSN) merupakan kumpulan sensor yang saling bekerja sama untuk memonitor lingkungan yang luas [1]. Setiap sensor memiliki kemampuan penginderaan (pengukuran), komputasi, dan komunikasi yang bisa digunakan oleh pengguna untuk instrumen, pengamatan, dan melakukan reaksi terhadap kejadian dan fenomena di lingkungan tersebut. Pengguna WSN biasanya dari kalangan sipil, pemerintahan, komersial, atau industri [2].

Sensor node dalam WSN dilengkapi dengan satu atau lebih sensor, prosesor yang terintegrasi dengan kemampuan yang terbatas, serta kemampuan berkomunikasi jarak dekat. Sensor-sensor ini ditenagai oleh baterai dengan kapasitas kecil dan seringkali ditempatkan pada lingkungan yang tak terawasi sehingga sulit untuk melakukan penggantian baterai. Hal ini menyebabkan penghematan energi merupakan hal terpenting dalam WSN untuk memperpanjang masa hidup sensor-sensornya [2].

Ad-hoc On-demand Multipath Distance Vector (AOMDV) [3] merupakan protokol multi-hop routing untuk mendapatkan beberapa jalur pengiriman data. Penggunaan protokol multi-path routing memiliki banyak kelebihan seperti load balancing, fault tolerance, bandwidth

aggregation, dan reducing delay[4]. Tujuan awal dibuatnya AOMDV adalah mendapatkan protokol routing untuk jaringan dinamis yang efisien dan mengurangi routing overhead [3].

Efisiensi energi dan memaksimalkan masa hidup jaringan adalah tantangan utama dalam WSN [4] sehingga banyak peneliti melakukan berbagai upaya untuk menjawab tantangan tersebut. Peneliti ada yang mengimplementasikan AOMDV dan melakukan penghematan energi dengan clustering menggunakan Fuzzy [4], LEACH [5], serta pengembangan dari LEACH [6]. Juga ada peneliti yang memperbaiki kemampuan AOMDV menggunakan Fuzzy untuk melakukan distribusi beban dalam jaringan [7] serta melakukan efisiensi multi-path routing [8]. Peneliti lain mengimplementasikan AOMDV dengan CSA (EEEMR) [9] dan clustering [10] selain itu ada yang hanya menggunakan algoritma clustering [11] maupun hanya menggunakan protokol routing [12] atau juga menggunakan fuzzy [13]. Semua yang telah dikerjakan oleh peneliti-peneliti tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu efisiensi penggunaan energi.

Pengiriman data dalam jaringan WSN membutuhkan konsumsi energi. Semakin banyak data yang dilewatkan dalam suatu jaringan berarti semakin besar pula konsumsi energi yang dibutuhkan. Dalam WSN pengiriman data dilakukan dari Sensor Node (SN) ke Sink Node (Sink). Pengiriman data bisa dilakukan secara langsung maupun melalui SN lain sebagai jembatan untuk terhubung ke Sink. Model pengiriman seperti ini menjadikan konsumsi energi setiap node tidak merata bahkan bisa menyebabkan konsumsi energi terbesar dalam pengiriman data sampai ke Sink hanya diberikan kepada beberapa node saja. Agar konsumsi energi merata ke setiap node maka diperlukan suatu cara salah satunya adalah clustering.

Clustering dilakukan dengan membagi jaringan ke dalam beberapa bagian. Pembagian ini ditujukan agar pengiriman data yang semula langsung dari SN ke Sink bisa dilakukan ke Cluster Head (CH). Pengiriman data selanjutnya dilakukan oleh CH ke Sink. CH dalam setiap cluster dilakukan penggantian secara berkala agar konsumsi energi untuk pengiriman data bisa merata ke setiap SN. Pemilihan CH dilakukan berdasarkan jumlah energi yang dimiliki. Jumlah Cluster Member (CM) setiap *cluster* diusahakan dalam jumlah yang berimbang sehingga tingkat pengiriman data yang dilakukan oleh CH bisa sama.

Metode yang diusulkan dalam penelitian ini adalah dengan mengimplementasikan *clustering* untuk diterapkan pada jaringan WSN dengan AOMDV sebagai routing protokolnya. *Clustering* yang diusulkan digunakan untuk membagi jaringan menjadi beberapa *cluster* dengan pertimbangan setiap *cluster* bisa mempunyai jumlah *cluster member* yang sama.

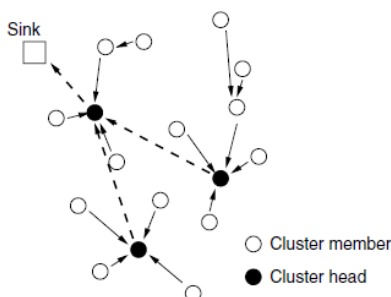
II. SIGNIFIKANSI STUDI

A. *Wireless Sensor Network*

Sensor network merupakan sebuah infrastruktur dengan kemampuan sensing (*measuring*), *computing*, dan *communication* yang dapat digunakan untuk mengobservasi dan bereaksi terhadap kejadian atau fenomena di lingkungan tertentu. Penggunaan dari wireless sensor umumnya untuk *data collection*, *monitoring*, *surveillance*, dan *medical telemetry*.

Terdapat empat komponen dasar di dalam *sensor network* yaitu: 1) sekumpulan *sensor*; 2) saling terhubung (umumnya *wireless*); 3) sebuah titik pusat informasi; 4) sekumpulan perangkat untuk komputasi yang digunakan untuk menganalisa data yang telah dikumpulkan. Jika sekumpulan sensor tersebut terhubung dengan media *wireless* maka disebut sebagai *wireless sensor network* (WSN).

Di dalam WSN terdapat suatu teknik yang disebut dengan *clustering*. *Clustering* merupakan suatu teknik untuk mengelompokkan beberapa *node* menjadi satu bagian sehingga komunikasi tidak dilakukan langsung dari *node* ke *sink node* melainkan melalui *cluster head* masing-masing. Hal ini ditujukan untuk meningkatkan *scalability* pada jaringan WSN. Gambar 1 menunjukkan topologi *cluster-based* pada jaringan WSN.



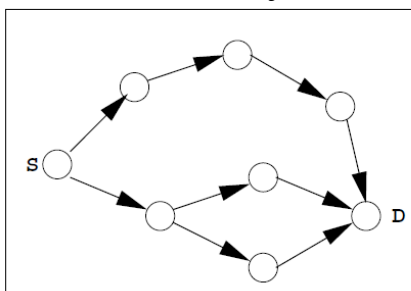
Gambar 1. Topologi *cluster-based*

B. AOMDV

Routing merupakan suatu protokol yang digunakan untuk mendapatkan rute atau jalur yang digunakan untuk mengirimkan data dari sumber ke tujuan. Protokol *routing* dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu *distance vector* dan *link-state*. *Distance vector* bertujuan untuk menentukan arah atau *vector* dan jarak ke link lain dalam suatu jaringan. Informasi yang dihasilkan dari klasifikasi *routing* ini adalah jumlah jarak/hop yang dipakai untuk mencapai tujuan dalam jaringan. Jumlah jarak/hop secara default adalah 15 hop. *Link state* bertujuan untuk menciptakan kembali topologi yang benar dalam suatu jaringan. Berbeda dengan *distance vector* yang tidak memiliki informasi spesifik tentang jarak dalam jaringan maka *link state* memperhitungkan jarak terpendek untuk mencapai tujuan.

Ad-hoc On-demand Multipath Distance Vector Routing (AOMDV) merupakan pengembangan dari protokol AODV untuk mendapatkan *loop-free path* setiap pencarian jalur. Dengan beberapa jalur yang tersedia, protokol memindahkan jalur ke jalur yang lain jika jalur lama gagal sehingga tidak diperlukan pencarian rute baru. Pencarian jalur baru akan dilakukan jika semua jalur gagal.

AOMDV pertama kali dikembangkan oleh Mahesh K Marina dan Samir R. Das pada tahun 2001 untuk mendapatkan beberapa jalur alternatif ke tujuan. Untuk mendapatkan beberapa jalur, semua permintaan jalur yang sampai ke satu node akan dilakukan pengecekan dan bisa digunakan sebagai jalur alternatif. Gambar 2 menunjukkan adanya jalur alternatif dari S ke D.



Gambar 2. Jalur dari S ke D

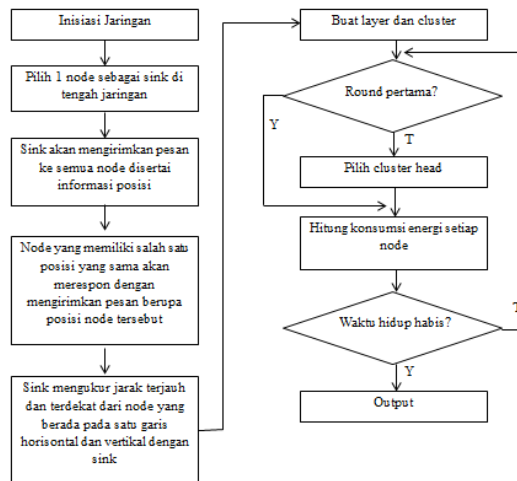
C. NS2

Proyek *Network Simulator* (NS) pada awalnya merupakan varian dari Simulator Jaringan REAL pada tahun 1989. Selanjutnya pada tahun 1995 didukung oleh Agency for Advanced Research Projects USA melalui proyek VINT, yang merupakan *joint project* dari National Laboratory Lawrence Berkeley di Palo Alto Research Center dengan University of California at Berkeley. Versi 2 dari *Network Simulator* (untuk selanjutnya dinamakan NS-2) ini menggunakan script Tcl/Tk untuk mengontrol simulasi dan C++ sebagai modul infrastruktur dari jaringan yang disimulasikan.

NS-2 adalah *free software* yang dapat di-*download* dalam bentuk ns-allinone-2.*.tar.gz pada beberapa link yang tersedia. NS-2 ini dapat dijalankan pada *operating system* Windows maupun Linux. Untuk Operating system Windows dapat menggunakan WindowsXP atau Windows 7, sedangkan untuk Linux dapat menggunakan Ubuntu 10.04 atau versi di atasnya. Karena NS-2 pada dasarnya dijalankan dengan Linux, maka untuk menjalankan NS-2 pada Windows diperlukan software tambahan yang menjadi *interpreter* antara Windows dengan Linux.

D. Arsitektur Sistem

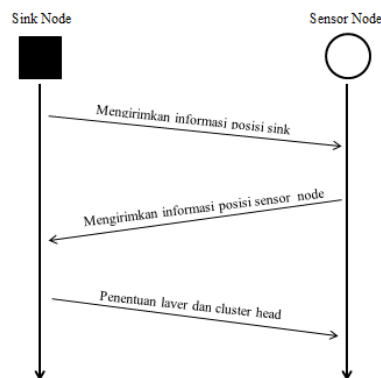
Penelitian ini dilakukan ke dalam empat tahapan yaitu 1) pembagian menjadi beberapa *cluster* yang seimbang yaitu dengan mempertimbangkan jumlah *node* sehingga didapat pola pembagian yang terbaik. 2) Penentuan jalur untuk masing-masing *node* ke *cluster head*-nya serta antar *cluster head* (CH) ke sink. 3) Penentuan calon dan pemilihan CH, dan 4) uji coba. Blok diagram dari sistem yang diusulkan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram blok sistem yang diusulkan

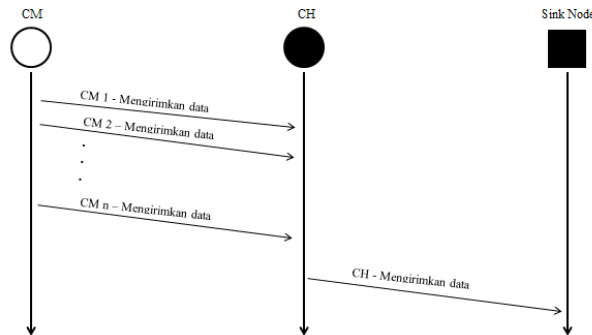
E. Model Komunikasi

Dilihat dari gambar 3, maka diagram blok protokol komunikasi dapat dibedakan menjadi dua bagian. Pada bagian pertama adalah proses komunikasi ketika pembentukan layer dan *cluster*. Di sini terjadi komunikasi antara sink node dengan semua sensor node. Diagram blok komunikasi untuk pembentukan *cluster* dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram blok komunikasi pembentukan layer dan cluster

Bagian kedua adalah proses komunikasi pengiriman data yang terjadi antara CM – CH – Sink. Pengiriman data yang dilakukan oleh CM akan dikumpulkan terlebih dahulu di CH baru kemudian dilakukan pengiriman dari CH ke Sink. Diagram blok pengiriman data dari CM – CH – Sink dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram blok komunikasi antara CM – CH – Sink

F. Pembagian Jaringan

Berdasarkan arsitektur sistem pada poin E, langkah pertama adalah membagi jaringan menjadi beberapa *cluster* dengan jumlah node yang berimbang. Langkah yang ditempuh untuk mendapatkannya adalah dengan membagi jaringan menjadi 2 layer kemudian membagi node dalam setiap layer sehingga didapat model *cluster* yang baik.

1. Membagi Jaringan Menjadi 2 Layer

Untuk membagi jaringan menjadi 2 layer dilakukan dengan membagi 2 jarak terdekat dengan jarak terjauh dari sink. Pembagian ini dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

$$L = \frac{d_i + d_{ii}}{2} \tag{1}$$

Keterangan

- d_i = jarak node terdekat dari Sink Node
- d_{ii} = jarak node terjauh dari Sink Node
- L = jarak layer dari Sink Node

2. Menentukan Jumlah Cluster dalam Setiap Layer

Untuk mendapatkan jumlah *cluster* dalam masing-masing layer dilakukan dengan menggunakan algoritma sebagai berikut:

- jika $N < 9$ maka $C = 1$
- jika $N \bmod 9 = 0$ maka $C = N / 9$
- jika $N \bmod 9 > 0$ maka $C = (N / 9) + 1$

dimana:

- N : Jumlah node dalam layer
- C : Jumlah cluster dalam layer

3. Menentukan Jumlah Cluster Member dalam Setiap Cluster

Jumlah *cluster member* yang berimbang dalam setiap *cluster* dapat dilakukan dengan mengurangi jumlah node total dalam setiap layer (N) dengan jumlah cluster setiap layer (C) kemudian dibagi dengan jumlah cluster setiap layer (C). Dari hasil perhitungan tersebut kemudian dibulatkan ke atas agar didapat jumlah *cluster member* seimbang atau dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$CM = \left\lceil \frac{(N-C)}{c} \right\rceil \quad (2)$$

G. Penentuan Jalur dan Cluster Head

Penentuan jalur komunikasi dari sumber ke tujuan dilakukan dengan memanfaatkan protokol routing AOMDV. Sedangkan pemilihan *cluster head* dilakukan secara manual dengan memperhitungkan posisi di dalam *cluster*.

H. Skenario

Uji coba dilakukan berdasarkan skenario yang disusun sebagai berikut:

| | |
|------------------------|---|
| Tipe MAC | : 802.15.4 |
| Jumlah Node | : 100 |
| Area | : 100 x 100 |
| Routing | : AOMDV |
| Lokasi node | : grid |
| Lokasi sink | : di tengah |
| Pengecekan | : energy, end to end delay, PDR, dan throughput |
| Periode simulasi | : 5000 s |
| Jumlah cluster member: | 8 – 9 node |
| Posisi CH | : tengah cluster |
| Jangkauan node | : 40 meter |
| Jumlah layer | : 2 layer |

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji coba dilakukan berdasarkan skenario yang telah dibuat dengan memanfaatkan aplikasi NS-2 sebagai simulator. Dilihat pada gambar 6 bahwa lokasi Sink berada di tengah jaringan sedangkan lokasi *cluster head* berada di sekeliling jaringan secara merata. *Cluster head* sejumlah 12 dibuat untuk mengakomodir kebutuhan komunikasi antar *cluster head* yang telah ditentukan memiliki jangkauan sejauh 40 m.

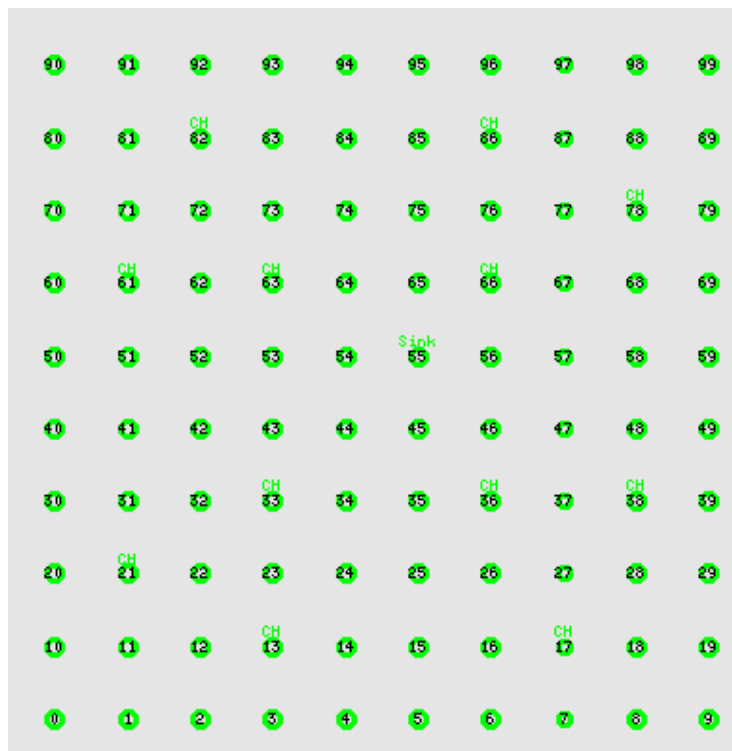
Analisa dilakukan dengan membandingkan data hasil simulasi berupa konsumsi energi, end to end delay, PDR, dan throughput dari jaringan yang hanya mengimplementasikan AOMDV dengan AOMDV dan *clustering*. Hasil yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Energi tersisa

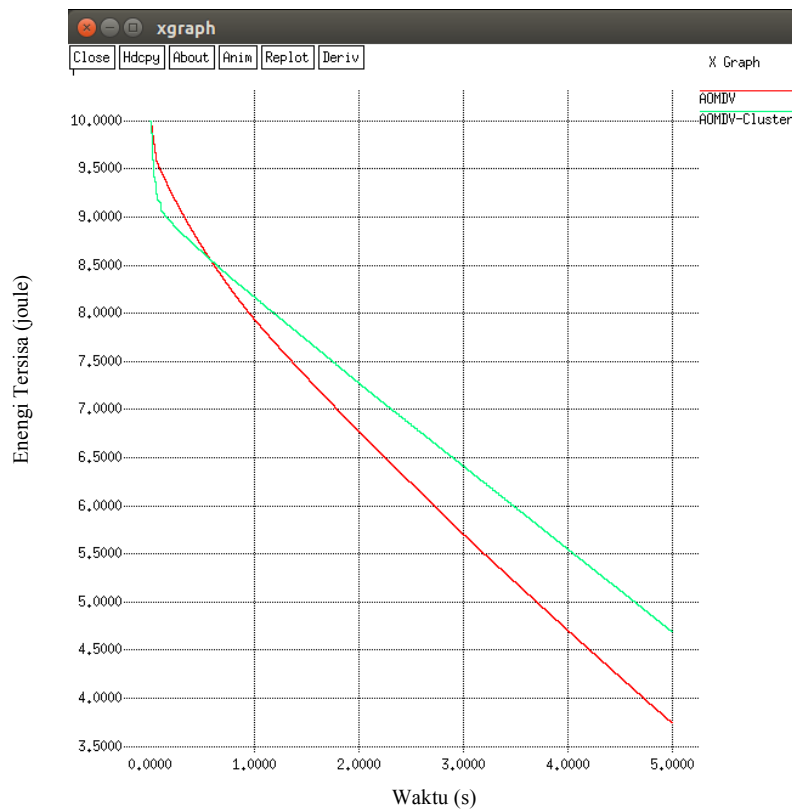
Tingkat konsumsi energi dari kedua model simulasi dapat dilakukan dengan mendapatkan energi tersisa setiap satuan waktu. Data tingkat konsumsi energi ini dapat ditemukan pada trace file ketika menjalankan file .tcl. Dalam uji coba ini pengambilan data menggunakan awk dan tampilan grafik menggunakan xgraph. Hasil dari konsumsi energi dapat dilihat pada gambar 7.

Berdasarkan gambar 7 dapat dilihat bahwa tingkat konsumsi energi antara jaringan yang menerapkan *clustering* dengan AOMDV lebih rendah dibandingkan dengan jaringan yang hanya menerapkan AOMDV saja. Di awal waktu simulasi memang konsumsi energi dari AOMDV dan *clustering* lebih banyak namun pada sekitar detik kurang dari 1000 tingkat

konsumsinya semakin berkurang. Hal ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan clustering dapat meningkatkan daya hidup jaringan dibandingkan dengan yang tidak menerapkannya.



Gambar 6. Implementasi skenario di NS-2



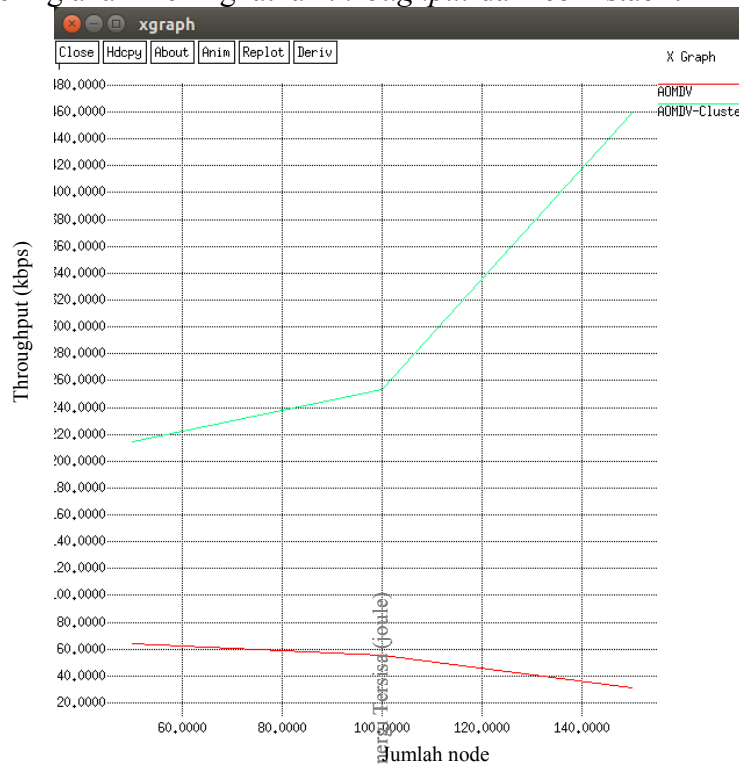
Gambar 7. Perbandingan energi tersisa

2. Throughput

Salah satu pembandingan untuk QoS adalah throughput. Seperti pada pembandingan tingkat konsumsi energi, maka *throughput* juga diambilkan dari trace file. Throughput dihitung dengan formula (3).

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Paket data diterima}}{\text{Lama pengamatan}} \tag{3}$$

Dilihat dari gambar 8 maka didapat bahwa jaringan dengan mengimplementasikan AOMDV dibandingkan dengan jaringan yang mengimplementasikan AOMDV dan *Clustering* memiliki perbedaan *Throughput* yang cukup signifikan. Hal ini dapat disimpulkan bahwa penerapan clustering akan meningkatkan *throughput* dan lebih stabil.



Gambar 8. Throughput

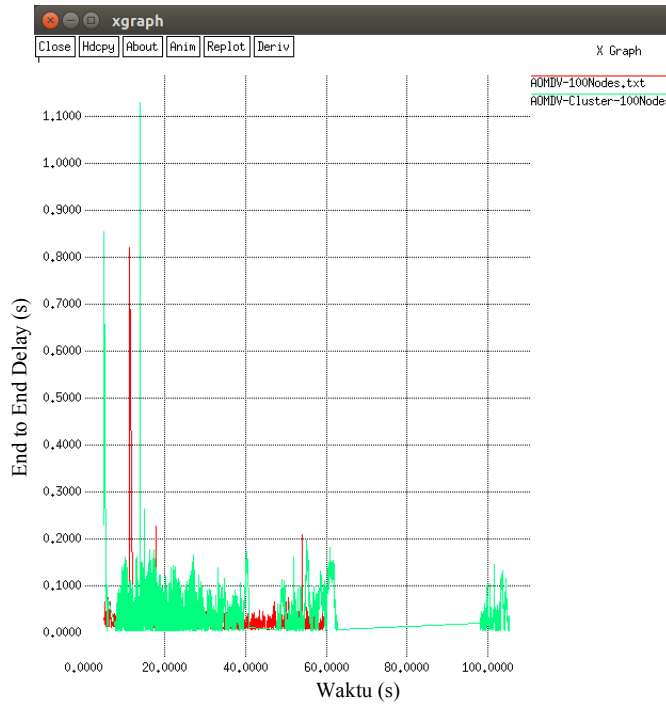
3. End to End Delay

Dapat didefinisikan sebagai rata-rata waktu yang dibutuhkan antara paket yang dikirim sampai paket diterima di tujuan. End to end delay dapat dihitung melalui persamaan (4).

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^s (r_i - s_i) \tag{4}$$

Dimana N adalah jumlah paket yang berhasil diterima, i adalah identifier paket yang unik, r_i adalah waktu paket dengan identitas i diterima, s_i waktu paket dengan identitas i dikirim dan D adalah hasil pengukuran dengan satuan ms. Hasil perhitungan end to end delay dapat dilihat pada gambar 9.

Dari gambar 9 tersebut dapat dilihat bahwa AOMDV dan clustering memiliki delay yang sedikit lebih besar dibandingkan hanya AOMDV. Hal ini disebabkan adanya perpindahan jalur pengiriman dari yang semula langsung menuju sink namun saat ini harus melalui CH terlebih dahulu.



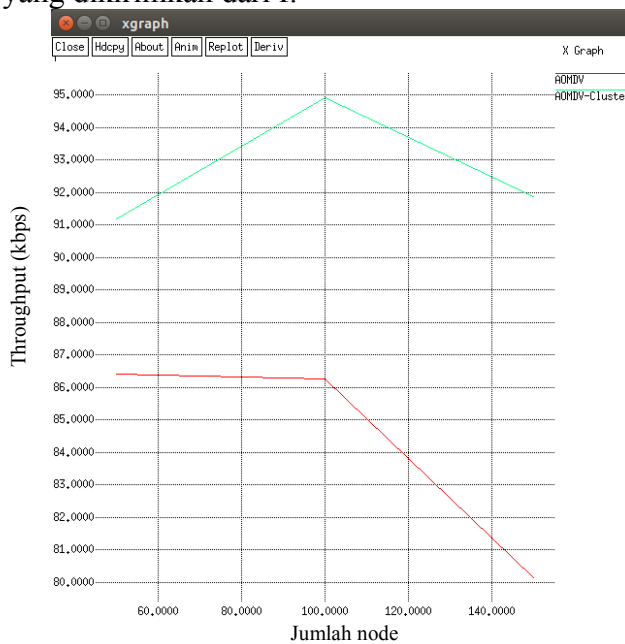
Gambar 9. End to End Delay

4. Packet Delivery Ratio (PDR)

PDR dapat didefinisikan sebagai persentase paket data terkirim ke tujuan. PDR dapat dihitung dengan persamaan (5).

$$P = \frac{1}{c} \sum_{f=1}^e \frac{R_f}{N_f} \tag{4}$$

Dimana P adalah persentase paket yang berhasil dikirimkan, c adalah jumlah pengiriman data, f adalah id unik dari pengiriman data, R_f adalah jumlah paket yang diterima dari f, dan N_f adalah jumlah paket yang dikirimkan dari f.



Gambar 10. PDR

Dilihat dari gambar 10 menyatakan bahwa PDR dari AOMDV dan Clustering lebih tinggi dibandingkan dengan yang hanya menggunakan AOMDV saja. Hal ini dapat disimpulkan clustering meningkatkan PDR sehingga lebih bisa diandalkan.

IV. KESIMPULAN

Menurut [19] definisi dari efisiensi energi adalah perbandingan antara jumlah total data yang dikirimkan dengan jumlah konsumsi energy. Semakin besar data yang dikirimkan dan semakin sedikit konsumsi energy yang dibutuhkan maka tingkat efisiensi energy semakin baik.

Berdasarkan hasil yang telah disebutkan sebelumnya dapat ditarik kesimpulan bahwa jaringan yang menerapkan AOMDV dan clustering memiliki tingkat efisiensi energi yang lebih baik. Hal ini dilihat dari energi tersisa yang lebih besar yang berarti tingkat konsumsi energy lebih sedikit, throughput yang tinggi, serta tingkat paket yang berhasil dikirimkan lebih besar. Untuk end to end delay, di antara keduanya memiliki perbedaan yang kecil dan lebih unggul jaringan yang tidak menerapkan clustering. Hal ini disebabkan pengiriman data harus melalui CH terlebih dahulu baru kemudian dikirimkan ke sink. Pada pengembangan berikutnya dilakukan pemilihan *cluster head* secara dinamis menggunakan LEACH dan membandingkannya dengan model lain.

REFERENSI

- [1] W. Dargie and C. Poellabauer, *Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2010.
- [2] K. Sohraby, D. Minoli, and T. Znati, *Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols, and Applications*. Canada: John Wiley & Sons Inc, 2007.
- [3] M.K.Marina and S.R.Das, "On-Demand multipath distance vector routing in ad hoc networks" in: *Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP)*, 2001.
- [4] V. Ramesh, "Fuzzy logic scheme for energy efficient routing in AOMDV for wireless sensor networks", *Journal of Network Communications and Emerging Technologies (JNCET)*, Volume 7, Issue 10, October 2017.
- [5] N. Ghodki, N. Singh, D. Joshi and M. Dikshit, "Energy efficient routing with MAX-LEACH protocol in WSN", *International Journal of Current Trends in Engineering & Technology*, Volume: 02, Issue: 01, JAN-FAB 2016.
- [6] A. Grover and S. Jain, "AOMDV with multi-tier multi-hop clustering in wireless sensor networks", *Advanced Engineering Technology and Application An International Journal*, No. 3, 29-33, 2014.
- [7] M. Ali, B. G. Stewart, A. Shahrabi and V. Vallavaraj, "Fuzzy based load and energy aware multipath routing for mobile ad hoc networks", *International Journal of Computer Applications*, Volume 114 - No. 16, March 2015.
- [8] G. Aldabbagh, P. A. Shah, H. B. Hasbullah, F. Aadil and K. M. Awan, "Fuzzy logic based enhanced AOMDV with link status classification for efficient multi-path routing in multi-hop wireless networks", *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, Vol. 13, 1-11, 2016.
- [9] D. A. A. Raj and P. Sumathi, "Analysis and comparison of EEEMR protocol with the flat routing protocols of wireless sensor networks", *2016 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI -2016)*, Jan. 07 - 09, 2016
- [10] Nayak, J. A., Rambabu, C. H., and Prasad, V. V. K. D. V, "Improving the network life time of wireless sensor network using EEEMR protocol with clustering algorithm", *International Journal of Sensor Networks and Data Communications*, 6:1, 2017.

- [11] M. Sedighimanesh, J. Baqeri and A. Sedighimanesh, "Increasing wireless sensor networks lifetime with new method", *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)* Vol. 8, No. 4, August 2016.
- [12] P. Meghare and P. Deskmukh, "Packet forwarding using AOMDV algorithm in WSN", *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)*, Volume 3, Issue 5, May 2014.
- [13] Sudrajat. *Dasar-dasar Fuzzy Logic*. Bandung: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Universitas Padjajaran, 2008.
- [14] R. Wulandari, "Analisis qos (quality of service) pada jaringan internet (studi kasus : upt loka uji teknik penambangan jampang kulon -lipi)", *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, Volume 2 Nomor 2 Agustus 2016.
- [15] E. P. F. da Cruz, L. E. Gottardo, F. Rossini, V. Oliveira, L. C. Pereira, "Evaluating Feasibility of Using Wireless Sensor Networks in a Coffee Crop Through Simulation of AODV, AOMDV, DSDV and Their Variants with 802.15.4 Mac Protocol", *International journal of Computer Networks & Communications*, Vol.6, 2014
- [16] W. R. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy efficient communication protocol for wireless microsensor networks." In *Proc. Of HICSS*, pp. 3005-3014, Jan.2000.
- [17] M. M. Ahmed, A. Taha, A. E. Hassanien, and E. Hassanien, "An Optimized K-Nearest Neighbor Algorithm for Extending Wireless Sensor Network Lifetime", Faculty of Computers and Information, Minia University, Faculty of Computers and Information, Cairo University, Scientific Research Group in Egypt, 2018
- [18] Gou, Haosong, Younghwan Yoo, and Hongqing Zeng. "A partition-based LEACH algorithm for wireless sensor networks." *Computer and Information Technology*, 2009. CIT'09. Ninth IEEE International Conference on. Vol. 2. IEEE, 2009.
- [19] Tifenn Rault. *Energy-efciency in wireless sensor networks*. Other [cs.OH]. Université de Technologie de Compiègne, 2015. English. <NNT : 2015COMP2228>. <tel-01470489>

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan terima kasih kepada Akademi Komunitas Negeri Putra Sang Fajar Blitar serta seluruh rekan di *EWSN Research Group* PENS atas segala bentuk bantuan dalam penelitian ini.