

PENINGKATAN *NETWORK LIFETIME* PADA WIRELESS SENSOR NETWORK MENGUNAKAN *CLUSTERED SHORTEST GEOPATH ROUTING (C-SGP) PROTOCOL*

Listyanti Dewi Astuti¹, Waskitho Wibisono²

^{1,2}Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email: ¹listyantidewi@gmail.com, ²waswib@gmail.com

(Naskah masuk: 15 Mei 2017, diterima untuk diterbitkan: 14 Agustus 2017)

Abstrak

Jaringan sensor nirkabel atau *wireless sensor network* adalah sebuah jaringan yang terdiri dari banyak *sensor node*, yang berfungsi untuk memindai fenomena tertentu di sekitarnya. Masing-masing *sensor node* pada umumnya memiliki sumber daya energi berupa baterai, yang memiliki kapasitas terbatas, sehingga diperlukan sebuah teknik untuk meningkatkan *network lifetime* pada *wireless sensor network*. Pada penelitian ini, protokol *routing Shortest Geopath* (SGP) dikembangkan menjadi sebuah protokol *routing* berbasis *cluster*, dengan membagi jaringan menjadi beberapa *cluster* yang masing-masing memiliki *cluster head*. Pembentukan *cluster* dilakukan dengan menggunakan informasi geografis area jaringan untuk membentuk *cluster* berupa segi enam (*hexagon*). Penentuan *cluster head* dilakukan dengan mencari *node* yang memiliki posisi geografis paling dekat dengan titik tengah area *cluster*. Pengiriman data dilakukan dengan sistem adaptif, dimana data dengan prioritas rendah dikirim setelah mencapai jumlah data tertentu, dan dikirim setelah melalui proses rata-rata sehingga hanya menghasilkan satu data untuk dikirim. Data dengan prioritas tinggi, dikirim langsung menuju *sink*. Hasil simulasi menunjukkan peningkatan *network lifetime* hingga 25,68% jika dibandingkan dengan protokol *routing Shortest Geopath* yang tidak melalui proses *clustering*.

Kata kunci: *Network Lifetime, clustering, Shortest Geopath Routing, Wireless Sensor Network*

Abstract

Wireless sensor network is a type of network consisting many sensor nodes. Each sensor node has a limited battery capacity, which most of the time, cannot be recharged. Thus, researches on extending network lifetime of wireless sensor networks are indispensable. This research proposed a cluster-based routing protocol, which adds clustering phase to the Shortest Geopath Routing (SGP) protocol. Cluster formation is done by forming imaginary hexagons using geographical informations about the network. Node which is nearest to the center point of the hexagon is appointed to be cluster head. Data transmissions are controlled by an adaptive mechanism. Low priority datas are only sent after the responsible node already obtained a specified number of datas. The datas, then, are being averaged and wrapped into a single data to be sent to the sink. Very high priority datas are, however, directly sent to the sink without passing the averaging process. It reduces the number of transmissions, which eventually help extending the network lifetime together with the clustering mechanism. Simulation results showed that the proposed protocol increases network lifetime up to 25.68% compared to the original un-clustered Shortest Geopath Routing protocol.

Keywords: *Network Lifetime, clustering, Shortest Geopath Routing, Wireless Sensor Network*

1. PENDAHULUAN

Jaringan sensor nirkabel (*wireless sensor network/WSN*) adalah kumpulan dari piranti-piranti sensor nirkabel (*sensor nodes*) yang pada umumnya digunakan untuk merekam data-data mengenai fenomena tertentu dalam suatu wilayah. *Sensor nodes* memiliki kemampuan komputasi dan komunikasi yang terbatas. Pola komunikasi umum pada WSN adalah pengiriman data hasil pemindaian (*sensing*) fenomena menuju *base station* atau sejumlah *node* yang sudah ditentukan sebagai penghimpun data. *Base station* melakukan request

kepada *sensor nodes*, yang berisi *query* tentang fenomena yang akan dikoleksi, *interval sampling*, dan waktu total *sampling*. (Kaur & Amarvir, 2016)

Sensor nodes memiliki sumber daya energi yang terbatas. Pengisian ulang baterai pada umumnya tidak bisa dilakukan karena posisi *sensor nodes* yang dapat berada pada kondisi wilayah yang ekstrim, seperti lokasi bencana alam. Oleh karena itu, masa hidup WSN (*wireless sensor network life time*) perlu 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*.

Geographic routing (GR) atau penentuan rute berdasarkan posisi geografis diperkenalkan untuk mengatasi keterbatasan protokol *routing* berbasis topologi. Protokol *geographic routing* mengandalkan informasi lokasi fisik *node* dalam WSN yang diperoleh dari *location service* (misalnya: GPS). Dengan memanfaatkan informasi posisi geografis, GR tidak perlu melakukan pemeliharaan *routing table*, dan bahkan bisa berjalan tanpa *routing table* sama sekali (Maghsoudlou, St-Hilaire, & Kunz, 2011).

Dalam penelitian ini dikembangkan protokol *routing* berbasis geografis dengan menambahkan tahap *clustering* pada protokol *Shortest Geopath Routing* (SGP), sehingga menjadi protokol baru yang diberi nama *Clustered Shortest Geopath Routing Protocol* (C-SGP). Pengembangan ini diharapkan mampu meningkatkan *network lifetime* dari *Wireless Sensor Network* (WSN) sehingga kemampuan pemindaian data dapat berjalan dengan efisien, tahan lama, terhindar dari kegagalan jaringan yang disebabkan oleh habisnya sumber daya energi *node* sebelum waktunya, dan memenuhi target yang ditentukan.

2. PENELITIAN TERKAIT

Beberapa protokol *routing* berbasis geografis telah diperkenalkan sejak tahun 1980, misalnya *Greedy Routing* yang dikembangkan oleh Takagi dan Kleinrock (1980) yang menghitung semua jalur berdasarkan jarak *Euclidean* dari *sensor node* menuju *sink node*, lalu memilih jalur yang paling sesuai. Protokol-protokol terbaru pada umumnya merupakan pengembangan dari protokol *Greedy Routing*, dengan cara menambahkan modifikasi tertentu sesuai pertimbangan *delay*, *throughput*, energi, dan lain-lain.

Dari beberapa protokol *geographic routing* yang telah dikembangkan, *Shortest Geopath Routing* (SGP) merupakan salah satu protokol yang banyak diteliti pada WSN, karena menjanjikan *packet delivery ratio* yang baik dengan waktu *delay* yang rendah. Selain itu, protokol SGP tidak memerlukan komputasi yang rumit, sehingga cocok untuk diterapkan pada WSN yang memiliki kemampuan komputasi terbatas. (Ghica, et.al., 2007).

Protokol SGP dikembangkan oleh peneliti dengan menambahkan tahap *clustering* dan mengontrol pengiriman data agar *sensor node* mampu mengirim data sesuai prioritas. *Clustering* dilakukan dengan memanfaatkan informasi geografis masing-masing *sensor node*. Teknik *clustering* yang menjadi rujukan peneliti dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penelitian Terkait

Referensi	Penelitian Terkait	Keterangan
(Lee & Kao, 2016)	Teknik <i>clustering</i> menggunakan LEACH (<i>Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy</i>).	Mampu meningkatkan <i>network lifetime</i> WSN hanya pada jaringan-jaringan yang padat, karena <i>cluster head</i> dipilih secara acak bergilir yang mengakibatkan beberapa <i>node</i> terisolasi
(Jannu & Jana, 2014)	Teknik <i>routing</i> berbasis informasi geografis dengan membagi jaringan dalam beberapa <i>cluster</i> yang berbentuk persegi empat.	Bentuk <i>cluster</i> kurang sesuai dengan area transmisi <i>sensor node</i> yang berbentuk lingkaran.

2.2 Network Lifetime

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 awal yang merumuskan *network lifetime* sebagai rentang waktu sejak dimulainya transmisi data yang pertama hingga *node* terakhir mati dikemukakan oleh Tian dan Georganas (2002). 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*. Soro dan Heinzelman (2005) menyatakan bahwa *network lifetime* adalah waktu hingga *cluster head* yang pertama mati. Definisi ini menjadi tidak relevan ketika protokol *clustering* mulai mampu menangani perubahan topologi dengan mengganti *cluster head*. Pengertian lain dari *network lifetime* didefinisikan sebagai waktu jaringan mulai mengirimkan data hingga α persen dari total *sensor node* mati (Rajagopalan & Varshney, 2006). Dalam beberapa kasus pada jaringan sensor nirkabel yang sangat mengutamakan lama waktu kemampuan operasi pada salah satu *node sensor*, *lifetime* didefinisikan sebagai waktu *sensor node* yang pertama mengalami kehabisan energi untuk beroperasi. Definisi ini digunakan oleh peneliti dalam

mengevaluasi kinerja protokol CSBP, karena skenario yang dijalankan sangat mengutamakan kemampuan operasi pada setiap *sensor node*. Jika salah satu sensor node mati, maka data yang diterima oleh sink menjadi tidak lengkap karena ada wilayah yang tidak terdeteksi suhunya.

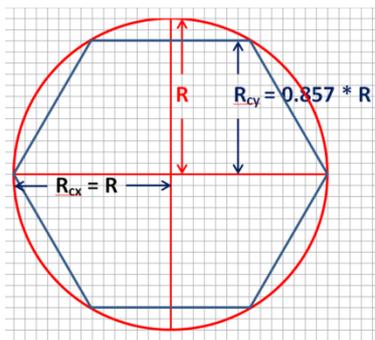
Network lifetime menjadi karakteristik utama pada saat melakukan evaluasi kinerja sebuah WSN. Bahkan ukuran *quality of service* dapat menurun dengan pertimbangan *network lifetime*. *Network lifetime* yang baik berpengaruh secara langsung dalam ketersediaan data hasil pemindaian dan penghematan biaya yang diperlukan untuk pemasangan baterai pada *sensor node* (Dietrich & Dressler, 2009).

3. METODE

Pengembangan protokol *routing* C-SGP dilakukan dengan memodifikasi protokol *routing* SGP, meliputi penambahan tahap *clustering*, mengubah jalur *routing*, dan membuat proses pengiriman adaptif.

3.1. Tahap Clustering

Masing-masing *node* memiliki area jangkauan transmisi berbentuk lingkaran dengan jari-jari R, di mana R sama dengan jangkauan sinyal terkecil dari *node*, dikurangi konstanta c. Dengan mempertimbangkan hal tersebut, maka *cluster* pada C-SGP diimplementasikan secara geografis dengan membagi wilayah menjadi sejumlah k *cluster*, dan masing-masing *cluster* berbentuk *hexagon* seperti divisualisasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk Cluster

Lingkaran berwarna merah adalah area jangkauan transmisi *node* yang sebenarnya, dengan asumsi bahwa *node* berada tepat di tengah lingkaran. Jika *node* tersebut menjadi *cluster head*, maka seluruh *node* tetangganya akan berada satu langkah dari *cluster head*. Sehingga, titik tengah lingkaran merupakan posisi yang paling ideal untuk *cluster head*.

Bangun *hexagon* berwarna biru didesain dengan luas yang lebih kecil dari luas jangkauan transmisi minimal *node* yang sebenarnya. Namun

seluruh sudut *cluster* menyentuh sisi lingkaran. Hal ini dilakukan untuk menghindari adanya *node* yang posisinya di luar jangkauan, namun ditentukan untuk menjadi anggota *cluster* tersebut. Karena luas *cluster* lebih kecil dari luas jangkauan transmisi, maka *cluster* diberi nilai Rcy (jarak dari titik tengah ke koordinat Y tertinggi dan terendah) dan Rcx (jarak dari titik tengah ke koordinat X tertinggi dan terendah).

Nilai Rcx sama dengan nilai R, karena sudut samping *cluster* bersentuhan dengan sisi samping lingkaran, sehingga jarak dari titik tengah *cluster* ke koordinat X tertinggi dan terendah adalah sama dengan panjang jari-jari lingkaran. Sedangkan nilai Rcy lebih rendah dari R, sehingga dihitung ukuran Rcy secara proporsional, yaitu 85.7% dari ukuran R. Dengan demikian, maka panjang dan lebar *cluster* adalah dua kali nilai Rcx dan Rcy.

Tata letak *cluster* pada area WSN dapat dilihat pada Gambar 2, di mana *cluster* diformasikan menjadi baris dan kolom. Penentuan jumlah baris (r) dan kolom (c) didapat dari membagi nilai panjang (p) dan lebar (l) area WSN dengan nilai Rcx dan nilai Rcy seperti pada persamaan (1) dan (2).

$$r = l / (2 \times Rcy) + 1 \dots\dots\dots(1)$$

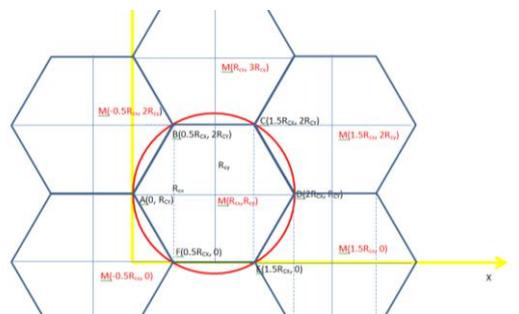
$$c = p / (2 \times Rcx) + 1 \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- r = jumlah baris
- c = jumlah kolom
- l = lebar area WSN
- p = panjang area WSN
- Rcx = separuh panjang cluster
- Rcy = separuh tinggi cluster

Dari jumlah baris dan kolom, didapat jumlah *cluster* (nk) sesuai persamaan (3).

$$nk = r * c \dots\dots\dots(3)$$



Gambar 2. Tata Letak dan Penentuan Titik Tengah Cluster

Titik tengah *cluster* merupakan koordinat yang paling strategis untuk penempatan *cluster head*. Namun jika tidak ada *node* yang berada persis di tengah *cluster*, maka *node* yang posisinya paling dekat dengan titik tengah akan dijadikan sebagai

cluster head. Penentuan koordinat titik tengah (M) untuk beberapa *cluster* pertama dapat divisualisasikan seperti pada Gambar 2.

Dari Gambar terlihat bahwa kenaikan nilai koordinat X untuk setiap titik M pada baris yang sama ada sebesar $1.5 \times R_{cx}$ dan bersifat tetap pada baris-baris berikutnya. Sehingga nilai koordinat X untuk setiap titik M dapat dihitung dengan persamaan (4).

$$M_{(current\ x)} = M_{(previous\ x + 1.5 \times R_{cx})} \dots \dots \dots (4)$$

Pada posisi kolom 0 atau genap, nilai $M(y)$ bernilai sama pada baris yang sama, dan naik sebesar $2 \times R_{cy}$ pada kolom yang sama seperti pada persamaan (5).

$$M_{(current\ y)0/genap} = M_{(previous\ y + 2 \times R_{cy})genap} \dots \dots \dots (5)$$

Pada posisi kolom ganjil, nilai $M(y)$ bernilai sama pada baris yang sama, dan naik sebesar $2 \times R_{cy}$ pada kolom yang sama, namun lebih tinggi sebesar R_{cy} jika dibandingkan dengan nilai $M(y)$ pada posisi kolom genap.

$$M_{(current\ y)ganjil} = M_{(previous\ y + 2 \times R_{cy})ganjil} \dots \dots \dots (6)$$

```

1 function estimateClusterArea
2 //tentukan lebar cluster (Ry), tinggi cluster (Rx)
3 set R to 60
4 set Rx = R
5 set Ry = 0.875 * R
6 //menghitung jumlah cluster (c)
7 set c = (fieldlength/2*Rx+1) * (fieldlength/2*Ry+1)
8 //menghitung titik tengah cluster M(x,y)
9 M(x,y) = M(previous x + 1.5*Rcx, previous y + 2*Rcy)
10 //melengkapi properties cluster dengan cluster id
11 for i=0 to i<c
12   cluster[i] id = i
    
```

Pseudocode 1. Pembentukan Cluster

3.2. Pemilihan Cluster Head

Setelah didapatkan koordinat titik tengah dari masing-masing *cluster*, maka masing-masing *sensor node* mulai melakukan pemindaian. Sebelum mengirim data, setiap *sensor node* mencari *node* yang paling dekat posisinya dengan titik M pada masing-masing *cluster*. Semakin dekat posisi *node* terhadap titik tengah *cluster*, maka semakin banyak pula *node* yang dapat dijangkau pada *cluster* tersebut. Algoritma penentuan *cluster head* dapat dilihat pada Pseudocode 2.

```

1 Function getFirstCH
2 Initialize jarak = 1000000
3 While node entry is member of cluster neighbor
4   linked list
5   If node entry cluster id = active node cluster
6     id then
7     If node entry distance to cluster center <
8       jarak then
9       jarak = node entry distance to cluster
10      center
11      next hop IP address = node entry ip
12      address
13      set node entry status = true
    
```

Pseudocode 2. Menentukan Cluster Head

3.3 Proses Pengiriman Data

Modifikasi berikutnya adalah pembuatan mekanisme penanganan pengiriman pesan yang adaptif sesuai dengan prioritas pesan. Jika data yang terdeteksi adalah data dengan prioritas tinggi (P1), maka data tersebut akan langsung dikirim menuju *sink*. Jika data yang terdeteksi adalah data dengan prioritas sedang (P2), maka *node* tersebut akan menyimpan data hingga 60 data. Setelah tercapai 60 data, maka *node* akan melakukan proses agregasi data dengan mengambil rata-rata dari keseluruhan data yang tertampung, dan mengirim hasil rata-rata data ke *sink*. Untuk data dengan prioritas rendah (P3), maka ditampung hingga 300 data. Hal ini akan mengurangi banyak data yang ditransmisikan, sehingga membantu mengurangi penggunaan sumber daya energi. Algoritma proses pengiriman data dituliskan pada Pseudocode 3.

3.4 Pembentukan Jalur Routing C-SGP

Secara garis besar, protokol routing *Shortest Geopath* menggunakan informasi geografis dari *node* untuk melakukan penentuan jalur. Dimisalkan sebuah *node A* akan melakukan transmisi data ke *node B*. Maka *node A*, memilih salah satu *node* tetangganya yang memiliki jarak geografis paling dekat dengan *node B*, lalu mengirimkan data ke *node* tetangga yang terpilih tersebut. Proses tersebut berulang hingga data sampai ke *node B*, seperti diilustrasikan pada Gambar 3.

Pada protokol *routing* yang diusulkan, jalur *routing* dirubah sehingga setiap *node* akan mengirimkan data menuju *cluster head* di dalam *cluster* yang sama, kemudian *cluster head* meneruskan data menuju *sink* dengan menggunakan protokol *routing SGP*.

```

1 if message priority = P1 then
2   if message space > 0 then
3     send message
4     clear message space
5 else if message priority = P2 then
6   if message space > 20 then
7     calculate average value
8     wrap as msgSGP
9     send msgSGP
10    clear message space
11 else if message priority = P3 then
12   if message space > 200 then
13     calculate average value
14     wrap as msgSGP
15     send msgSGP
16     clear message space
    
```

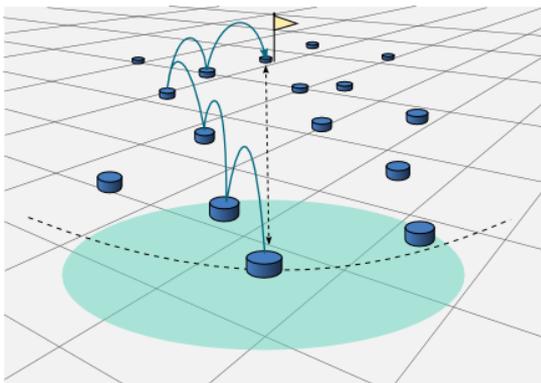
Pseudocode 3. Menentukan Mekanisme Pengiriman

3.5 Spesifikasi Sensor dan Parameter Uji

Pengujian dilakukan di lingkungan simulator *SIDnet-SWANS (Simulator and Integrated Development Platform for Sensor Networks Applications)*, yang berjalan di atas *JiST-SWANS (Java in Simulation Time – Scalable Wireless Ad Hoc Network Simulator)*. Spesifikasi *node* dan parameter uji dicantumkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi *Node* dan Parameter Uji

No	Keterangan	Detail
1	<i>Radio Bandwidth</i>	40000 Hz
2	<i>Sampling interval</i>	3 seconds
3	Penempatan <i>node</i>	Random
4	Konsumsi baterai <ul style="list-style-type: none"> - <i>Active mode</i> - <i>Sleep mode</i> - <i>Transmit mode</i> - <i>Receive mode</i> - <i>Listen mode</i> - <i>Passive mode</i> 	10 mA 0.5 mA 27 mA 10 mA 3 mA 0.01 mA
5	Kapasitas baterai <i>source node</i>	40 mAh
6	Kapasitas baterai <i>sink node</i>	100 mAh
7	Panjang garis tengah <i>cluster</i>	60
8	Tinggi <i>cluster</i>	0.987 * 60
9	Luas jaringan	300 m ²
10	Jumlah <i>node</i>	300 node



Gambar 3. SGP Dengan Teknik *Greedy Routing*. (Sarkar, 2010)

4. HASIL DAN ANALISA

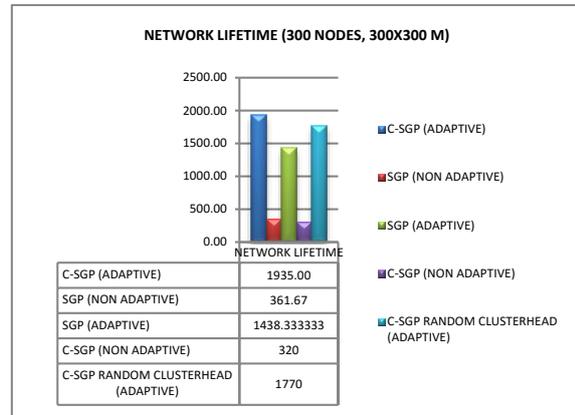
Simulasi dilakukan dengan menggunakan SIDnet SWANS *Simulator*, yang merupakan simulator khusus WSN. SIDnet SWANS dikembangkan oleh *Northwestern University*, dan berjalan di atas JiST/SWANS (*Java in Simulation Time / Scalable Wireless Ad Hoc Network Simulator*). Sistem operasi yang digunakan adalah Windows 10 dengan 6 GB RAM. Jumlah *node* yang digunakan adalah 300 *node* dengan luas jaringan 300 m², dan ditempatkan secara acak.

Hasil simulasi dibandingkan dengan protokol SGP (tanpa *clustering*, tanpa mekanisme pengiriman adaptif), SGP-*adaptive* (tanpa *clustering*, dengan pengiriman adaptif), C-SGP non-*adaptive* (dengan *clustering*, tanpa pengiriman adaptif), dan C-SGP-*random* (pemilihan *cluster head* dibuat *random*).

4.1 Hasil Perbandingan *Network Lifetime*

Hasil simulasi menunjukkan bahwa protokol C-SGP memiliki *network lifetime* tertinggi dibandingkan protokol perbandingan. Peningkatan

25,68% terjadi jika dibandingkan dengan protokol SGP *adaptive* seperti tercantum pada Gambar 4.

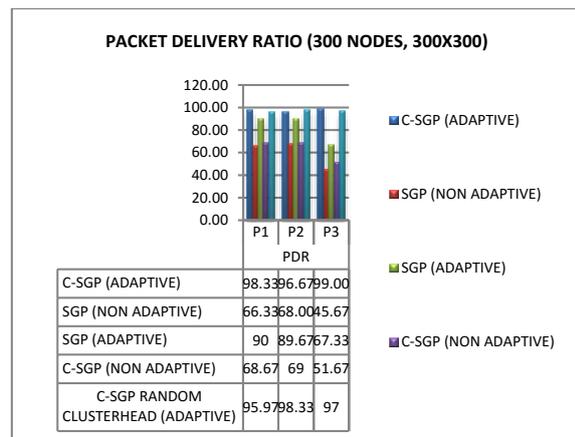


Gambar 4. Perbandingan *Network Lifetime*

Tingginya *network lifetime* adalah karena pada protokol C-SGP tidak semua *node* terlibat dalam proses *forward* data, sebab data hasil pemindaian dikirim ke *cluster head* sehingga proses transmisi data lebih terlokalisasi. Mekanisme pengiriman yang adaptif juga mengurangi jumlah transmisi secara drastis, tanpa mengabaikan data-data dengan prioritas tinggi.

4.2 Hasil Perbandingan *Packet Delivery Ratio* (PDR)

Packet Delivery Ratio adalah rasio antara jumlah data yang dikirim dengan data yang diterima oleh *sink*. Dalam protokol *routing* berbasis *cluster*, data yang dihitung sebagai data kirim adalah data yang dikirim oleh *cluster head*. Dari hasil simulasi, PDR dari protokol *routing* C-SGP, relatif tinggi jika dibandingkan dengan protokol perbandingan, seperti divisualisasikan pada Gambar 5.

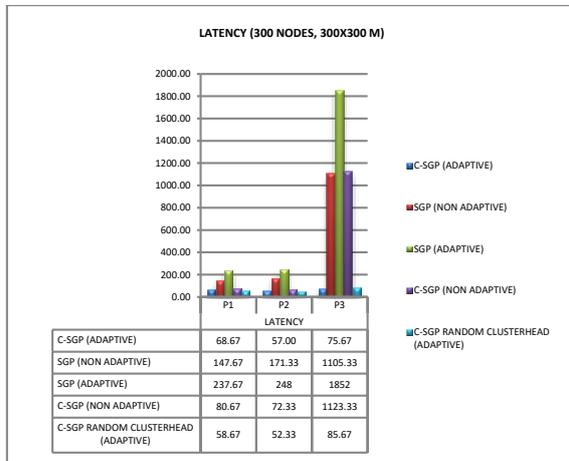


Gambar 5. Perbandingan *Packet Delivery Ratio*

4.3 Hasil Perbandingan *Latency*

Latency adalah rentang waktu yang diperlukan mulai paket dikirim hingga paket diterima oleh *sink*. Menurut hasil simulasi, *latency* protokol C-SGP relatif rendah jika dibandingkan dengan protokol perbandingan. Hal ini disebabkan oleh proses

pengiriman adaptif yang diterapkan mengurangi jumlah transmisi, yang pada akhirnya turut mengurangi kesibukan jaringan sehingga tabrakan data juga berkurang.



Gambar 5. Perbandingan Latency

5. KESIMPULAN

Pengembangan protokol *routing* C-SGP dilakukan dengan cara memodifikasi protokol *routing* SGP. Modifikasi dilakukan dengan menambahkan tahapan *clustering*, dimana jaringan dibagi menjadi beberapa *cluster* berbentuk segi enam berdasarkan informasi geografis jaringan. Pemilihan *cluster head* dilakukan dengan mencari node yang memiliki posisi paling tengah atau paling dekat dengan titik tengah geografis cluster.

Dari hasil uji coba, protokol C-SGP terbukti meningkatkan *network lifetime* dibandingkan dengan SGP (tanpa *clustering*, tanpa mekanisme pengiriman adaptif), SGP-adaptive (tanpa *clustering*, dengan pengiriman adaptif), C-SGP non-adaptive (dengan *clustering*, tanpa pengiriman adaptif), dan C-SGP-random (pemilihan *cluster head* dibuat random).

6. SARAN

Perlu dilakukan uji coba mengenai penentuan kepadatan jaringan yang optimal untuk penggunaan protokol C-SGP. Uji coba ini berkaitan dengan analisa yang lebih mendalam mengenai pengaruh rasio jumlah *node* dan luas area jaringan terhadap *network lifetime*, *packet delivery ratio*, dan *latency*.

7. DAFTAR PUSTAKA

- DIETRICH, I., & DRESSLER, F. 2009. On the Lifetime of Wireless Sensor Network. *ACM Transactions on Sensor Networks*, Vol. 5, No. 1, 1-38.
- GHICA, O., TRAJCEVSKI, G., SCHEUERMANN, P., BISCHOF, Z., & VALTCHANOV, N. 2007. *Demo Abstract: SIDnet-SWANS: A Simulator and Integrated Development Platform for Sensor Networks Application*.

- Evanston, IL, USA: Departement of EECS, Northwestern University.
- HEINZELMAN, W., CHANDRAKASAN, A., & BALAKRISHNAN, H. 2005. Energy-Efficient Communication Protocols for Wireless Microsensor Networks. *Proceedings of the 33rd Hawaiian International Conference on Systems Science (HICSS)*.
- JANNU, S., & JANA, P. K. 2014. Energy Efficient Grid Based Clustering and Routing Algorithm for Wireless Sensor Network. *Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies*. Dhanbad, India.
- KAUR, M., & AMARVIR, S. 2016. Detection and Mitigation of Sinkhole Attack in Wireless Sensor Network. *International Conference on Micro-Electronics and Telecommunication Engineering (ICMETE)*. Ghaziabad, India.
- LEE, J. S., & KAO, T. Y. 2016. An Improved Three-Layer Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy for Wireless Sensor Networks. *IEEE Internet of Things Journal*, 951-958.
- MAGHSOUDLOU, A., ST-HILAIRE, M., & KUNZ, T. 2011. *A Survey on Geographic Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks*. Technical Report SCE-11-03, Carleton University.
- RAJAGOPALAN, R., & VARSHNEY, P. K. 2006. Data Aggregatin Techniques in Wireless Sensor Network: A Survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 48-63.