

Pengembangan Metode *Routing* Menggunakan Mekanisme *Swing Routing* dengan Penanganan *Routing Hole* Sebagai Peningkatan Kinerja *Wireless Sensor Network*

Development of a Routing Method Using a Swing routing Mechanism with Handling Routing Holes as an Improvement of Wireless Sensor Network Performance

Novi Trisman Hadi¹, Muhammad Panji Muslim², Nindy Irzavika³

^{1,2,3}Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta

E-mail: ¹novitrismanhadi@upnvj.ac.id, ²muhammadpanji@upnvj.ac.id,

³nindyirzavika@upnvj.ac.id

Abstrak

WSN menggunakan jaringan nirkabel untuk menghubungkan *node sensor* dan *sink node*. *Node sensor* bertugas mengumpulkan informasi dengan melakukan *sensing* terhadap target seperti panas, cahaya, dan suhu. Namun, *node sensor* memiliki keterbatasan dalam hal memori, sumber daya pengolahan, energi, dan masa pakai, yang dapat mempengaruhi kinerja jaringan, termasuk *network lifetime* dan *packet delivery ratio*. Oleh karena itu, diperlukan protokol yang efektif untuk meningkatkan kinerja jaringan WSN. Salah satu penelitian untuk meningkatkan kinerja jaringan adalah menggunakan *Shortest Geopath Routing* (SGP) berbasis tetangga terdekat dan lokasi. Namun, SGP memiliki permasalahan seperti seringnya terjadi kongesti yang menyebabkan *packet drop* dan kegagalan pengiriman data saat terjadi *Routing hole*. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini melakukan protokol SGP dengan mekanisme *Swing routing* untuk meningkatkan kinerja jaringan WSN. Dalam mengatasi *Routing hole*, *Swing routing Protocol* juga melakukan pencarian jalur alternatif dengan memilih *node* berdasarkan lokasi koordinat terdekat dengan *sink node*. Hasil simulasi menggunakan simulator *SIDnet-SWAN* menunjukkan bahwa penggunaan *Swing routing Protocol* dapat mengurangi *warning congestion* dalam jaringan sebesar rata-rata 10 *node*, meningkatkan *network lifetime* sebesar 5.27% (14 menit), dan meningkatkan *packet delivery ratio* sebesar 8.27% dibandingkan dengan protokol SGP. Dalam penanganan *Routing hole*, *Swing routing Protocol* mendapatkan rata-rata *packet delivery ratio* sebesar 21.77% dibandingkan dengan protokol SGP.

Kata kunci: *wireless sensor network*, *swing routing*, *Routing hole*, *SIDnet-SWANS*

Abstract

The research discussed the use of *Wireless sensor Networks (WSN)* that employ *wireless networks* to connect *sensor nodes* and *sink nodes*. *Sensor nodes* are responsible for gathering information by *sensing* various targets such as heat, light, and temperature. However, these *sensor nodes* have limitations in terms of memory, processing resources, energy, and lifespan, which can affect the network's performance, including *Network lifetime* and *packet delivery ratio*. Therefore, an effective Protocol is needed to improve the performance of the WSN. One of the proposed solutions to enhance network performance is using *Shortest Geopath Routing (SGP)* based on the nearest neighbor and location. However, SGP faces some issues, such as congestion leading to *packet drops* and *data delivery failures* during *Routing hole* occurrences. To overcome these problems, the research introduces *Swing routing*, a mechanism integrated into the SGP Protocol to enhance the performance of the WSN. To handle *Routing holes*, *Swing routing Protocol* searches for alternative paths by selecting nodes based on their coordinates' proximity to the *sink node*. The simulation results using the *SIDnet-SWAN* simulator demonstrate that the implementation of *Swing routing Protocol* can significantly reduce *congestion warnings* in the network by an average of 10 nodes, increase *Network lifetime* by 5.27% (14 minutes), and

improve packet delivery ratio by 8.27% compared to the conventional SGP Protocol. In Handling Routing holes, Swing routing Protocol achieves an average packet delivery ratio of 21.77% higher than that of the SGP Protocol.

Keywords: wireless sensor network, swing routing, Routing hole, SIDnet-SWANS

1. PENDAHULUAN

Wireless communication (Komunikasi nirkabel) adalah bentuk komunikasi antara transmitter dan receiver tanpa menggunakan kabel, dan terdapat dua jenis perangkat, yaitu perangkat lapangan sebagai pengukur nilai lingkungan dan perangkat infrastruktur sebagai pusat pengumpulan informasi [1]. Jaringan Sensor Nirkabel (*Wireless sensor Network/WSN*) ialah kumpulan sensor nirkabel yang merekod data fenomena tertentu di kawasan dengan komunikasi terbatas. Data hasil pemindaian fenomena dikirimkan kepada *Base Station* atau beberapa *node* sebagai pengumpul data [2]. Data hasil perekaman dari sensor dikirim ke *Base Station* atau biasa disebut *sink* dengan mekanisme penghantaran melalui *node* tetangga terdekat atau *hop-by-hop* [3].

Sensor *node* memiliki keterbatasan daya, komputasi, dan transmisi. Oleh karena itu, saat mentransmisikan data dari *Source node* menuju *Sink*, *node* yang berdekatan dengan *Source node* akan membentuk jalur, dan data akan ditransmisikan melalui jalur tersebut secara *hop-by-hop* [4]. Seringkali, *node* ditempatkan dekat dengan sumber kejadian dan *Sink* dalam beberapa kejadian [5]. Beberapa penerapan WSN dengan pengiriman data dalam jumlah besar dari *node* sumber ke *sink* (*Base Station*) dapat menyebabkan kongesti di dalam jaringan, yang berakibat pada paket drop dan mempercepat durasi *network lifetime* akibat transmisi ulang dan pemakaian baterai yang berlebih pada *node* [6].

Network lifetime adalah rentang waktu sejak dimulainya transmisi data pertama hingga *node* terakhir dalam jaringan mati akibat kehabisan energi [7], dan berpengaruh pada keberhasilan pengiriman data serta penghematan biaya pemasangan ulang baterai [8]. Peneliti lain mendefinisikan *network lifetime* sebagai rentang waktu jaringan mulai mengirimkan data pertama hingga sampai terdapat sensor *node* yang pertama mati akibat kehabisan energi [9]. Kehabisan baterai pada *node* dapat menyebabkan *Routing hole* pada jaringan, meningkatkan resiko *packet drop*, dan selain itu, kerusakan pada sensor *node* yang disebabkan oleh jatuh ke air, rusak oleh api, atau kejadian lain juga dapat menyebabkan terbentuknya *Routing hole* [10].

Geographic routing (GR) atau penentuan rute berdasarkan posisi geografis diperkenalkan untuk mengatasi keterbatasan protokol *routing* berbasis topologi dalam WSN, dengan mengandalkan informasi lokasi fisik *node* dari *location service* (seperti GPS), GR tidak memerlukan *maintenance routing table* dan bahkan bisa beroperasi tanpa *routing table* sama sekali [11]. Dalam menemukan rute pengiriman, *Source node* memanfaatkan informasi geografis berdasarkan informasi GPS dari seluruh tetangga *node* [12].

Protokol *Shortest Geopath Routing* (SGP) adalah salah satu protokol *Geographic Routing* yang banyak diteliti pada WSN karena memiliki *packet delivery ratio* yang baik dengan waktu delay rendah, dan cocok untuk diterapkan pada WSN yang memiliki kemampuan komputasi terbatas karena tidak memerlukan komputasi yang rumit [13]. Pada protokol SGP beberapa peneliti fokus pada strategi pengendalian data rate dari sumber untuk mengatur lalu lintas jaringan [14]. Selain itu, beberapa peneliti lain telah meneliti mengenai pengaturan kontrol sumber daya [4]. Terdapat juga penelitian yang mengkaji kombinasi kedua metode, yaitu pengendalian data rate dan kontrol sumber daya secara bersamaan [15].

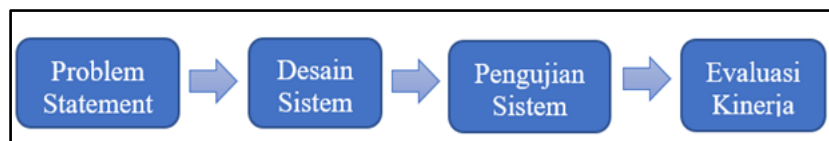
Permasalahan lain yang dapat terjadi pada protokol SGP dengan teknik greedy adalah kegagalan pengiriman paket data saat terjadi *Routing hole* [16]. *Routing hole* adalah kejadian ketika sebuah *node* tidak dapat meneruskan informasi ke *node* lain yang lebih dekat dengan *sink node* [17]. Penyebab terbentuknya wilayah *hole* meliputi penyebaran yang tidak seimbang, kehabisan baterai *node*, dan hambatan fisik seperti objek bangunan atau gunung [18]. Penanganan

Routing hole, seperti pada penelitian *Greedy Face Greedy* [19], dapat meningkatkan *Network lifetime* dan *packet delivery ratio* dengan protokol pemilihan sudut terkecil dengan *sink node*. *Hole Avoiding Routing Protocol* [20] dikembangkan untuk mengatasi masalah pemilihan jalur alternatif yang mengakibatkan padatnya lalu lintas pada area sepanjang *Routing hole*, yang akhirnya membuat area *Routing hole* menjadi lebih besar.

Berdasarkan beberapa permasalahan pada protokol SGP, maka diusulkan mekanisme *swing routing* dengan kontribusi penelitian untuk mengurangi kongesti dan penanganan *Routing hole* serta meminimalisir terjadinya *packet drop*. Kontribusi pada penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan kinerja SGP pada lingkungan jaringan sensor nirkabel.

2. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah dalam penelitian ini meliputi: Desain Sistem, Pengujian Sistem, Evaluasi Kinerja. Metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Metode Penelitian

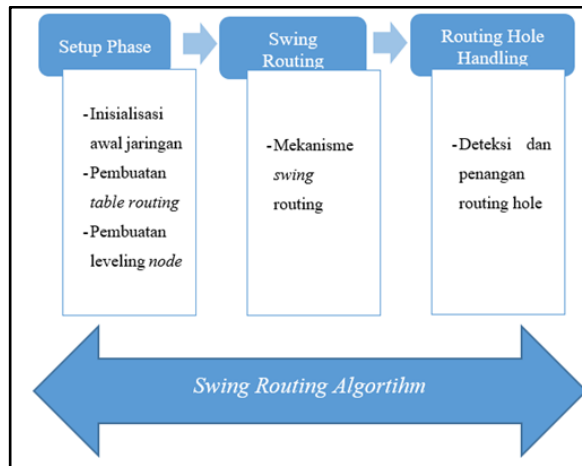
2.1 Problem Statement

Kontribusi dalam penelitian ini adalah mengusulkan mekanisme *swing routing* untuk mengurangi kongesti dan penanganan *Routing hole* untuk meminimalisir terjadinya paket drop. Metode ini dilakukan untuk meningkatkan kinerja protokol SGP pada lingkungan jaringan sensor nirkabel. Pada penelitian ini, terdapat beberapa batasan masalah yaitu:

1. Simulator yang digunakan dalam penelitian adalah *SIDnet SWANS* yang berjalan pada arsitektur *JiST/SWANS*.
2. *Sensor nodes* bersifat *stationary* (berada pada posisi yang tetap).
3. Fenomena yang direkam adalah temperatur.
4. *Sink node/Base Station* dan *Sensor nodes* memiliki kapasitas baterai yang tidak dapat diisi ulang.
5. Posisi *Sink node/ Base Station* bersifat tetap
6. Sebaran *nodes* pada wilayah yang ditentukan bersifat acak/*random*.

2.2 Desain Sistem

Swing routing dilakukan dengan cara pengiriman data secara bergantian menuju *node* yang lebih dekat dengan *sink* berdasarkan beberapa jalur alternatif. Pada tahap awal *node* akan membentuk *table routing* berdasarkan posisi *node* dan jumlah *hop* menuju *sink*. *Source node* akan mengirim data ke *forward node* yang berada lebih dekat dengan *sink*. Pengiriman data dilakukan secara bergantian melalui jalur alternatif berdasarkan *table routing*. Pada pengiriman pertama akan dipilih berdasarkan *node* terdekat, lalu pada pengiriman kedua akan dipilih *node* yang berada pada posisi terjauh dengan syarat bahwa *node* tersebut memiliki *hop* lebih kecil dan masuk dalam cover area *Source node*. Algoritma *routing* ini memungkinkan untuk mengatur jaringan agar lebih merata dan menghindari *full capacity buffer* pada *node forward*. Algoritma yang dikembangkan terdiri dari fase-fase seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

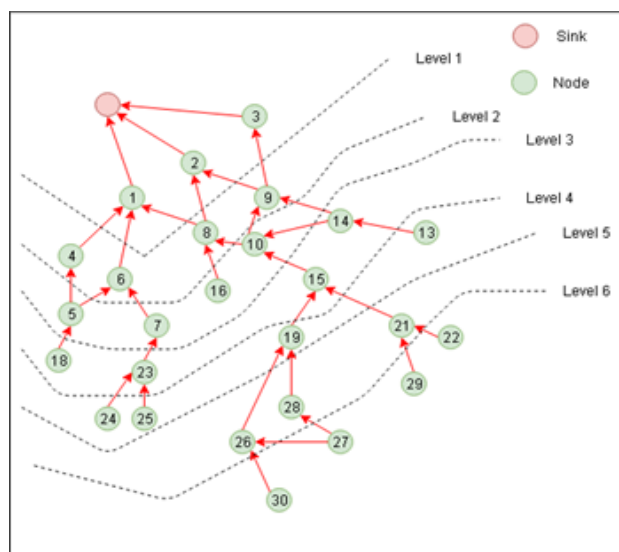


Gambar 2 Mekanisme *Swing routing Algorithm*

2.2.1 Setup Phase

Pada fase inisialisasi awal jaringan, *sink node* dan *node* sensor secara acak akan terbentuk. *Sink node* mengirimkan pesan *broadcast* ke *node* sensor terdekat dalam jangkauan radio R_i . Setiap sensor *node* yang menerima pesan akan meneruskannya ke *node* sensor lain yang berada dalam jangkauan radio yang sama. Pesan *broadcast* bertujuan untuk menemukan set *node* sensor dengan jangkauan radio $B_i = \{s \in S \mid d(s_i, s) \leq R_i\}$. Setiap sensor *node* hanya akan menerima pesan *broadcast* sekali, pesan kedua akan diabaikan. Proses *broadcast* akan berlanjut sampai semua sensor *node* menerima pesan. Contoh hasil inisialisasi awal jaringan ditunjukkan pada Gambar 3.

Setelah penyebaran pesan *broadcast* selesai, setiap sensor *node* akan memiliki informasi tentang tetangga-tetangganya. Informasi ini mencakup lokasi, koordinat, tingkat baterai, dan jarak *hop* menuju *sink*. Proses ini dimulai dari *sink* yang menyebarkan pesan "*hello*" dengan penanda level nol. Nilai level menunjukkan jarak *hop* dari *node* ke *sink*. *Node* pada level 1 akan menerima pesan "*hello*" dari *sink* secara langsung dan mengirimkan ACK sebagai tanda bahwa *node* tersebut dapat berkomunikasi langsung dengan *sink*. Proses ini berlanjut sampai semua *node* menemukan tetangga satu sama lain dan mendapatkan nilai level. Contoh hasil informasi *node* tetangga sekitar dari *node* 8 dapat dilihat pada Tabel 1. Selama fase ini berlangsung, digunakan *Protocol MAC CSMA*.



Gambar 3 Hasil Inisialisasi Komunikasi Jaringan

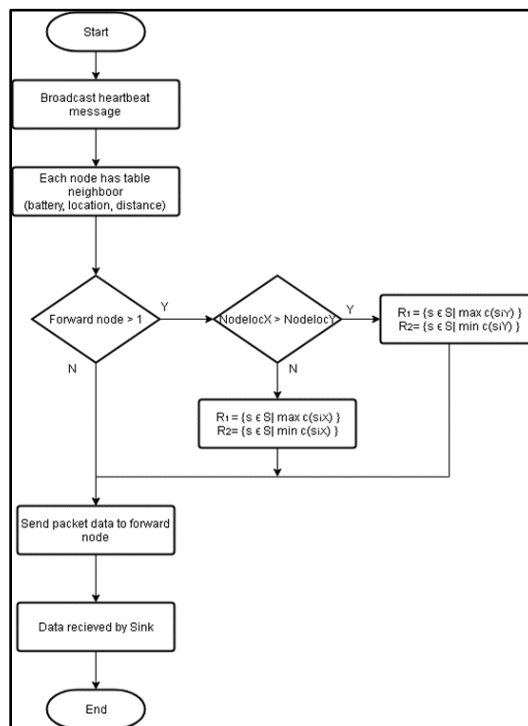
Tabel 1 Contoh tabel tetangga node 8

Node ID	Jarak node ke Sink	Remaining Power	Level	Koordinat	
				x	y
1	77.10023	100	1	33	27
2	70.49922	100	1	40	17
9	120.4300	100	2	30	53
10	153.3342	100	3	56	51
16	184.0811	100	4	71	44

2.2.2.Swing Routing

Pada *Swing routing*, hanya *node* yang lebih dekat dengan *sink* yang menjadi kandidat *forward node* Ci. *Sensor node* akan memilih tetangga sekitar berdasarkan perbandingan jarak antara *node* yang lebih dekat dengan *sink node*. *Sensor node* akan memiliki kandidat *forward node* dengan jumlah *hop* lebih pendek dari dirinya, dan leveling pada *sensor node* ditentukan oleh jumlah *hop* menuju *sink node*. Dalam tahap ini, dilakukan *routing* dinamis untuk menghindari kongesti. *Source node* menggunakan informasi lokasi koordinat pada tabel *routing* untuk memilih *forward node*. *Flowchart Swing routing* ditunjukkan pada Gambar 4. Mekanisme *Swing routing* dalam pemilihan *forward node* memiliki beberapa ketentuan, yaitu:

- Jika *Source node* memiliki 1 *forward node*, *Source node* akan langsung memilihnya sebagai *forward node*.
- Jika *Source node* memiliki lebih dari 1 *forward node*, *Source node* akan membandingkan nilai koordinat posisinya. Jika nilai koordinat y dari *Source node* lebih besar, maka untuk pembuatan *multipath routing* akan memilih tetangga dengan nilai koordinat x terbesar sebagai R1. Untuk *routing forwarding* kedua R2, akan memilih tetangga dengan nilai koordinat x terkecil.

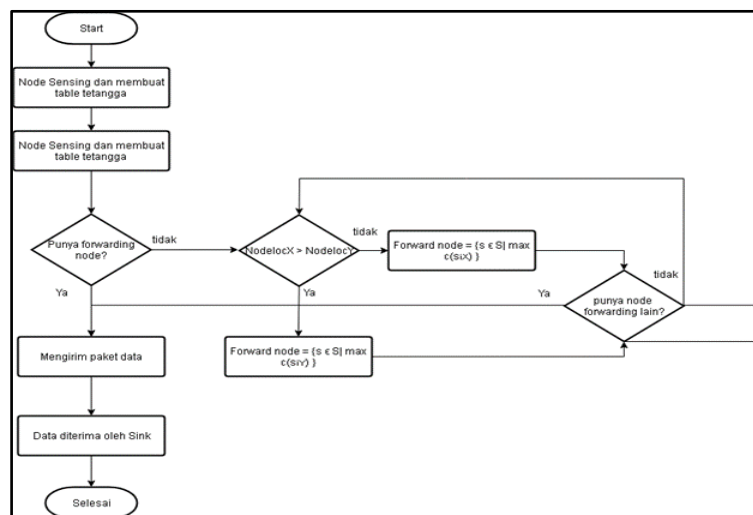


Gambar 4 Flowchart Swing routing

2.2.2. Routing hole Handling

Swing routing Algorithm merupakan algoritma dinamis yang mengontrol topologi jaringan tanpa menambah beban pada jaringan. Algoritma ini menggunakan informasi dari tabel tetangga yang telah dibuat pada tahap setup. *Node* akan mencari *node* dengan level yang lebih rendah dalam tabel tetangga untuk dijadikan *forwarding node* dan meneruskan data menuju *sink*. Algoritma ini membentuk *spanning tree* dinamis untuk menentukan rute melalui jalur terpendek. Jika setelah tahap setup terdapat *node* yang tidak memiliki *forwarding node* dalam tabel tetangga, maka *node* tersebut dikategorikan sebagai *Routing hole*.

Untuk menangani *Routing hole*, jika *node* tersebut adalah *Source node*, maka *node* tersebut akan meningkatkan power signal untuk mencapai *node* tetangga lainnya. Namun, jika *node* tersebut adalah *forwarding node*, maka *node* akan melakukan perubahan *routing path*. *Node* yang mengalami *hole* akan membandingkan titik koordinat dirinya. Jika nilai koordinat *y* lebih besar dari nilai koordinat *x*, maka *node* tersebut akan memilih *node* tetangga dengan nilai *x* terbesar sebagai *forwarding node* dan menandai paket data sebagai *Routing hole*. Jika nilai koordinat *x* lebih besar dari nilai koordinat *y*, maka *node* akan memilih *node* tetangga dengan nilai *y* terbesar sebagai *forwarding node*. Tujuan memberikan tanda *Routing hole* pada paket data adalah agar *node* yang menerimanya melakukan blacklist terhadap *node* yang mengalami *Routing hole* agar dalam proses *routing* berikutnya tidak memilih *node* tersebut sebagai *forwarding node*. *Flowchart Routing hole handling* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 *Flowchart Routing hole Handling*

2.3 Pengujian Sistem

Implementasi algoritma akan dilakukan menggunakan aplikasi netbean IDE 8.0.2 dan library *SIDnet SWANS*. Skenario yang akan digunakan adalah skenario *data generate* dengan rasio 25%, 50% dan 75%, dengan luas area kisaran 300m²-500m dan dengan kepadatan *node* mulai dari 100 *node* hingga 250 *node*. Pengujian sistem akan dilakukan menggunakan simulator *SIDnet-SWANS* yang berjalan pada arsitektur *JiST/SWANS* dengan lingkungan sebagai berikut:

- a. *Hardware*
 - CPU Intel Core i5 – RAM 8 GB
 - Graphics NVIDIA GeForce MX330
 - Harddisk Seagate 1 TB
- b. *Software*
 - *SIDnet SWANS* v1.5.6
 - JDK 1.5

2.3 Evaluasi Kinerja

Pada tahap ini akan dilakukan evaluasi kinerja jaringan WSN melalui nilai *packet delivery ratio* (PDR) dan pengukuran *Network lifetime* pada skenario kondisi jaringan yang berbeda-beda sesuai rincian berikut:

- a. Skenario perbandingan dengan protokol lain
 Pada skenario ini protokol yang dikembangkan yaitu *Swing routing Protocol* akan dibandingkan dengan protokol *Shortest Geo Path Routing* (SGP).
- b. Skenario variasi luas area
 Pada skenario ini, *data generate* ditentukan 50% dengan jumlah *node* 150 *node*. Namun luas area dalam jaringan bervariasi yaitu 400x400 m², 500x500 m², dan 600x600 m².

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Tahapan Uji Coba

Tahapan pengujian dalam penelitian ini dilakukan dengan membandingkan metode yang diajukan yaitu *Swing routing* dengan penanganan *Routing hole* dengan protokol SGP untuk mengetahui perbandingan dari kinerja masing-masing protokol. Protokol akan diujikan dengan beberapa variasi skenario untuk mengetahui titik optimal kinerja dari protokol seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Tabel Skenario Pengujian

	Skenario I	Skenario II
Data generate	25%, 50%, 75%	50%
Jumlah Node	200	150
Luas Area	400x400 m	500x500 m
Transmission Power	-12 dBm	-15 dBm
Protokol	<i>Swing routing</i> (diusulkan) dan SGP	<i>Swing routing</i> Tanpa <i>Routing hole</i> (SWNH), <i>Swing routing hole Handling</i> (SWHH), SGP Tanpa <i>Routing hole</i> (SGP), SGP <i>Hole Handling</i> (SGPHH)

3.2 Hasil dan Analisis

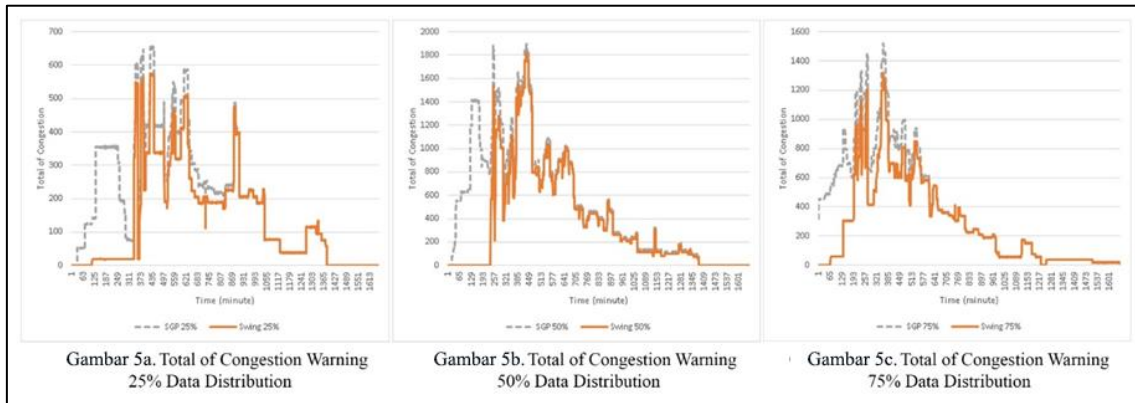
Pada skenario 1 dilakukan pengujian antara protokol yang dikembangkan dengan protokol lain, yaitu *Swing routing Protocol* dan *ShortestGeoPathRouting Protocol*. Tujuan pengujian pada skenario 1 adalah untuk membandingkan hasil *routing* dan tingkat kemacetan data. Pada skenario 1 masing-masing protokol diuji dengan jumlah *node* 200 *node*, luas area 400x400 m², dan variasi *data generate* yaitu 25%, 50%, 75%.

Hasil skenario 1, *Swing routing Protocol* mampu meningkatkan rata-rata *packet delivery ratio* (PDR) sebesar 8.27% dan mendapat peningkatan *Network lifetime* rata-rata sebesar 14 menit serta mengurangi terjadinya *congestion warning* pada jaringan sebanyak rata-rata 10 *node* dibanding dengan protokol SGP seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian Skenario 1

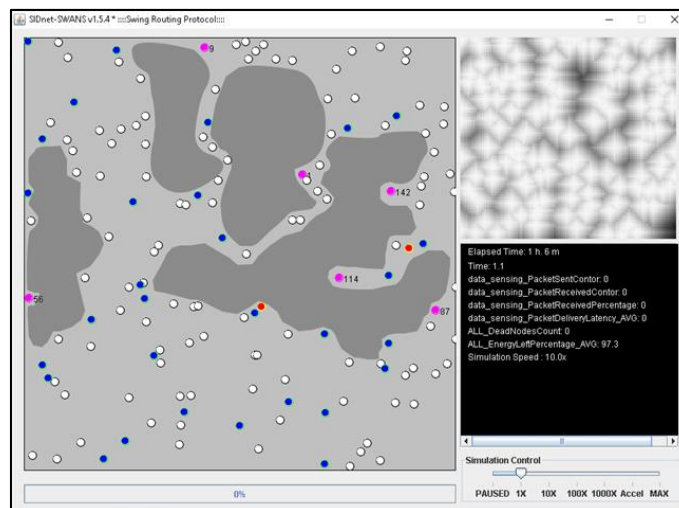
	SGP (25%)	Swing (25%)	SGP (50%)	Swing (50%)	SGP (75%)	Swing (75%)
PDR (%)	24.29	31.98	16.4	25.82	14.07	21.76
Network lifetime (menit)	324	340	242	256	216	227
Total Congestion warning per Node (Node)	21	14	29	20	49	35

Pengujian *congestion warning message* pada Gambar 6 menunjukkan bahwa metode yang diusulkan yaitu *Swing routing Protocol* mengalami rata-rata *congestion warning message* yang lebih sedikit dibandingkan metode SGP dalam berbagai variasi *data generate*. Hal ini disebabkan penerapan *multipath routing* berdasarkan lokasi koordinat tetangga pada *Swing routing Protocol* berdampak pada pengurangan lalu lintas pada jaringan dan mengurangi kapasitas buffer pada *forward node*. Dengan berkurangnya jumlah *congestion warning message* maka akan berkurang juga resiko *packet drop* pada *forward node*.



Gambar 6 Grafik Kinerja Total of Congestion warning

Pada skenario 2 dilakukan pengujian jaringan WSN dengan skenario *Routing hole* antara protokol yang dikembangkan dengan protokol lain, yaitu *Swing routing Protocol without Hole Handling (SWINGNH)*, *Swing routing Protocol with Hole Handling (SWINGHH)*, *ShortestGeoPathRouting Protocol without Hole Handling (SGPNH)* dan *ShortestGeoPathRouting Protocol with Hole Handling (SGPHH)*. Tujuan pengujian pada skenario 2 adalah untuk membandingkan dampak adanya *Routing hole* terhadap kinerja jaringan WSN. Pada skenario 2 masing-masing protokol diuji dengan jumlah *node* 150 *node*, *data generate* 50%, dan luas area 500x500 m². Contoh tampilan ujicoba *Routing hole* pada area 500x500 m² ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Tampilan Screenshot Routing hole area 500x500 m²

Pada uji coba skenario 2, dapat diperoleh hasil bahwa metode *hole Handling* yang diusulkan yaitu *Swing routing Protocol with Hole Handling (SWINGHH)* dapat menangani *Routing hole* pada jaringan WSN. Hal ini ditunjukkan dengan data peningkatan rata-rata *packet delivery ratio (PDR)* sebesar 21.77% dibanding metode lain, namun *SWINGHH* memiliki hasil

Network lifetime yang rendah yaitu 199 menit dan *dead node* lebih besar dibanding metode *routing* tanda *hole Handling* yaitu rata-rata 52 *dead node*. Hal ini disebabkan karena pada saat terjadi *Routing hole*, *SWINGHH* akan lebih sibuk dibanding metode tanpa *Hole Handling* dalam pencarian jalur alternatif untuk meneruskan data sampai ke *sink node* sehingga kepadatan pada jaringan akan bertambah. Dengan adanya peningkatan kepadatan jaringan maka penggunaan baterai semakin boros yang mengakibatkan jumlah *dead node* bertambah. Secara keseluruhan metode *hole Handling* yang diusulkan yaitu *Swing routing Protocol with Hole Handling (SWINGHH)* mendapat nilai yang lebih baik pada pengujian *packet delivery ratio (PDR)*, namun memiliki nilai yang lebih rendah pada pengujian *Network lifetime*, *total dead node*, dan rata-rata penggunaan battery seperti ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4 Hasil PDR dan *Network lifetime* pada Simulasi Skenario 2

	<i>SGPNH</i>	<i>SGPHH</i>	<i>SWINGNH</i>	<i>SWINGHH</i>
PDR (%)	11.44	16.61	14.07	21.77
<i>Network lifetime (menit)</i>	286	195	426	199

Tabel 5 Hasil *Dead Node* dan *Average Remaining Energy* pada Simulasi Skenario 2

Jam	<i>Dead Node (node)</i>				<i>Average Remaining</i>			
	<i>SGPNH</i>	<i>SGPHH</i>	<i>SWINGNH</i>	<i>SWINGHH</i>	<i>SGPNH</i>	<i>SGPHH</i>	<i>SWINGNH</i>	<i>SWINGHH</i>
0-10 Jam	2	7	1	6	72.93	64.83	73.25	66.64
11-20 Jam	25	34	19	33	34.48	28.85	38.71	30.85
21-30 Jam	48	57	55	54	14.32	11.07	19.18	12.56
31-40 Jam	111	120	119	116	1.37	0.06	3.35	0.26
Rata-Rata	47	54	48	52	30.78	26.20	33.62	27.58

4. KESIMPULAN DAN SARAN

WSN menggunakan jaringan nirkabel untuk menghubungkan *node* sensor dan *sink node*. *Node* sensor bertugas mengumpulkan informasi data dengan melakukan *sensing* terhadap kondisi sekitar seperti panas, cahaya, dan suhu. Informasi *data sensing* kemudian dikirimkan ke *sink node* melalui respon *query* dengan menggunakan *routing Protocol* tertentu. *Node* sensor memiliki keterbatasan dalam beberapa hal seperti memori, pemrosesan data, energi, dan masa pakai, yang dapat mempengaruhi kinerja jaringan sensor nirkabel pada hasil pengujian *Network lifetime* dan *packet delivery ratio*. Oleh karena itu, diperlukan protokol yang efektif untuk meningkatkan kinerja jaringan WSN. Salah satu penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan kinerja jaringan sensor nirkabel adalah menggunakan *Shortest Geopath Routing (SGP)*, yaitu sebuah *routing Protocol* berbasis tetangga terdekat dan lokasi. Protokol ini memilih jalur berdasarkan jarak terdekat antara *node* dengan tetangganya hingga mencapai *sink*. Namun, SGP memiliki permasalahan seperti seringnya terjadi kongesti yang menyebabkan *packet drop* dan kegagalan pengiriman data saat terjadi *Routing hole*. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan perbaikan protokol SGP dengan mekanisme *Swing routing* dengan penanganan *Routing hole* untuk meningkatkan kinerja jaringan WSN. Penelitian ini mengusulkan pengembangan protokol *Swing routing* dalam jaringan *wireless sensor (WSN)* untuk meningkatkan kinerja jaringan dengan mengatasi permasalahan kongesti dan *Routing hole*. Modifikasi protokol dilakukan dengan menambahkan tahapan *multipath routing* berdasarkan lokasi tetangga, dan mekanisme penanganan *Routing hole* dilakukan dengan mengirim pesan ke tetangga terjauh dari *sink node* dan menambahkan label *back message* pada pesan yang dikirim. Hasil simulasi menggunakan simulator *SIDnet-SWAN* menunjukkan bahwa penggunaan *Swing routing Protocol* dapat mengurangi *warning congestion* dalam jaringan rata-rata sebesar 10 *node*, meningkatkan *Network lifetime* sebesar 5.27% (14 menit), dan meningkatkan *packet delivery*

ratio sebesar 8.27% dibandingkan dengan protokol SGP. Dalam penanganan *Routing hole*, *Swing routing Protocol* mendapatkan rata-rata *packet delivery ratio* sebesar 21.77% dibandingkan dengan protokol SGP.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini disponsori oleh Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta. Kami mengucapkan terimakasih untuk dukungan yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. R. Mehta and Y. J. Reddy, "Wireless communication," in *Industrial Process Automation Systems*, Elsevier, 2014, pp. 417–457.
- [2] H. Frey and I. Stojmenovic, "Geographic and Energy-Aware Routing in Sensor Network," in *Handbook of Sensor Networks: Algorithms and Architectures*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005, pp. 381–415.
- [3] D. F. Jenolin Flora, V. Kavitha, and M. Muthuselvi, "A survey on congestion control techniques in Wireless Sensor Networks," in *2011 International Conference on Emerging Trends in Electrical and Computer Technology*, IEEE, Mar. 2011, pp. 1146–1149. doi: 10.1109/ICETECT.2011.5760292.
- [4] C. Sergiou, V. Vassiliou, and A. Paphitis, "Hierarchical Tree Alternative Path (HTAP) algorithm for congestion control in wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 11, no. 1, pp. 257–272, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.adhoc.2012.05.010.
- [5] S. Toumpis and L. Tassiulas, "Optimal deployment of large wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 52, no. 7, pp. 2935–2953, Jul. 2006, doi: 10.1109/TIT.2006.876256.
- [6] C. Sergiou, V. Vassiliou, and A. Paphitis, "Congestion control in Wireless Sensor Networks through dynamic alternative path selection," *Computer Networks*, vol. 75, pp. 226–238, Dec. 2014, doi: 10.1016/j.comnet.2014.10.007.
- [7] D. Tian, K. E. Avenue, and N. D. Georganas, "A Coverage-Preserving Node Scheduling Scheme for Large Wireless Sensor Networks," pp. 32–41, 2002.
- [8] I. Dietrich and F. Dressler, "On the Lifetime of Wireless Sensor Networks," vol. 5, no. 1, 2009, doi: 10.1145/1464420.1464425.
- [9] R. Rajagopalan and K. pramod Varshney, "Data-Aggregation Techniques in Sensor Network: A Survey," *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, vol. 8, pp. 48–63, 2006.
- [10] N. Ahmed, S. S. Kanhere, and S. Jha, "The holes problem in wireless sensor networks," *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 9, no. 2, pp. 4–18, Apr. 2005, doi: 10.1145/1072989.1072992.
- [11] A. Maghsoudlou, M. St-Hilaire, and T. Kunz, "A survey on geographic routing protocols for mobile ad hoc networks.," 2011.
- [12] J. C. Navas and T. Imielinski, "GeoCast---geographic addressing and routing," in *Proceedings of the 3rd annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking - MobiCom '97*, New York, New York, USA: ACM Press, 1997, pp. 66–76. doi: 10.1145/262116.262132.
- [13] O. C. Ghica, G. Trajcevski, P. Scheuermann, Z. Bischof, and N. Valtchanov, "SIDnet-SWANS: a simulator and integrated development platform for sensor networks applications," in *Proceedings of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems*, New York, NY, USA: ACM, Nov. 2008, pp. 385–386. doi: 10.1145/1460412.1460464.
- [14] C.-Y. Wan, S. B. Eisenman, and A. T. Campbell, "CODA: congestion detection and avoidance in sensor networks," in *Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems*, New York, NY, USA: ACM, Nov. 2003, pp. 266–279. doi: 10.1145/958491.958523.

- [15] L. Popa, C. Raiciu, I. Stoica, and D. Rosenblum, "Reducing Congestion Effects in Wireless Networks by Multipath Routing," in *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Network Protocols*, IEEE, Nov. 2006, pp. 96–105. doi: 10.1109/ICNP.2006.320202.
- [16] R. Sarkar, X. Y. Gu, J. Gao, F. Luo, and X. David, "Greedy routing with guaranteed delivery using Ricci flows," *2009 International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, pp. 121–132, 2009.
- [17] M. M. Lima, H. A. B. F. Oliveira, D. L. Guidoni, and A. A. F. Loureiro, "Geographic routing and hole bypass using long range sinks for wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 67, pp. 1–10, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.adhoc.2017.08.010.
- [18] C.-H. Tsai, Y.-H. Wang, and L.-Y. Lee, "A hole avoiding routing protocol using a relative neighborhood graph for wireless sensor networks," *Journal of Internet Technology*, vol. 14, no. 7, pp. 1021–1031, 2013, doi: 10.6138/JIT.2013.14.7.02.
- [19] P. Bose, P. Morin, I. Stojmenović, and J. Urrutia, "Routing with guaranteed delivery in ad hoc wireless networks," in *Proceedings of the 3rd international workshop on Discrete algorithms and methods for mobile computing and communications*, New York, NY, USA: ACM, Aug. 1999, pp. 48–55. doi: 10.1145/313239.313282.
- [20] Y. Xue, X. Chang, S. Zhong, and Y. Zhuang, "An efficient energy hole alleviating algorithm for wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 60, no. 3, pp. 347–355, Aug. 2014, doi: 10.1109/TCE.2014.6937317.