

Perancangan Sistem Routing Pada Jaringan Sensor Nirkabel Menggunakan Algoritma SAW-DIJKSTRA

Hamzah Habibi^{1*}, Galang Persada Nurani Hakim¹

¹Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana

*41418110175@mercubuana.ac.id

Abstrak— Penentuan jalur adalah hal yang penting dalam proses transportasi dan pertukaran informasi pada sebuah jaringan WSN (Wireless Sensor Network). Perpindahan data dari node asal menuju node tujuan harus dilakukan dengan mempertimbangkan nilai dari kriteria-kriteria yang ada pada setiap node selama perjalanan, agar data dapat dikirim dengan optimal dan efisien. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengidentifikasi jalur terbaik berdasarkan beberapa kriteria. Metode SAW (Simple Additive Weighting) merupakan algoritma MCDM (Multi Criteria Decision Making) sedangkan Dijkstra merupakan algoritma shortestpath yang hanya dapat mempertimbangkan satu kriteria saja. Untuk mencapai tujuan utama, yaitu, menentukan jalur terbaik, diterapkan algoritma SAW-Dijkstra. Pada penelitian ini, algoritma gabungan SAW-Dijkstra ditinjau dan diperbandingkan dengan algoritma SAW tanpa Dijkstra dalam sebuah skema jaringan dengan nilai kriteria yang sama menggunakan simulasi pada sebuah aplikasi web yang telah dirancang sedemikian rupa. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma SAW-Dijkstra mendapatkan kinerja yang lebih baik, dimana pada jaringan 4x3, SAW memperoleh nilai rata-rata delay dan loss sebesar 51.8 dan 20.5, sedangkan SAW-Dijkstra memperoleh nilai rata-rata sebesar 33.5 dan 13.4, sehingga SAW-Dijkstra lebih optimal 35.33% (delay) dan 34.63% (loss) dibandingkan dengan SAW, begitu pula pada jaringan 5x5, SAW memperoleh nilai rata-rata delay, loss, throughput dan jitter sebesar 76.2, 41.1, 4930.6, dan 104.1 sedangkan SAW-Dijkstra memperoleh nilai rata-rata sebesar 47.8, 22.2, 2836.3 dan 67, sehingga SAW-Dijkstra lebih optimal 37.27% (delay), 45.99% (loss), 42.48% (throughput), dan 35.64% (jitter) dibandingkan dengan SAW. Algoritma SAW-Dijkstra dapat diterapkan pada berbagai macam topologi jaringan dengan berbagai macam skala dan juga dapat diterapkan tidak hanya khusus pada jaringan WSN, melainkan pada jaringan-jaringan yang lainnya.

Kata Kunci—Dijkstra, jaringan, routing, SAW, WSN.

DOI: 10.22441/jte.2024.v15i3.007

I. PENDAHULUAN

Wireless Sensor Network (WSN) merupakan salah satu teknologi telekomunikasi yang bertujuan untuk mempermudah sekaligus mengurangi biaya infrastruktur pengiriman informasi dengan cara komunikasi antar node yang tersebar secara luas dan bekerja secara mandiri untuk setiap node nya. Namun, dengan kondisi sedemikian rupa, terdapat masalah ketika proses pengumpulan atau pengiriman data dari semua node, dimana data harus terkirim dengan error seminimal mungkin. Tentunya setiap node memiliki kriteria masalah dengan nilai yang berbeda-beda.

Untuk meminimalisir error atau bisa dikatakan untuk mendapatkan data yang optimal dari setiap node, diperlukan sebuah algoritma yang dapat memetakan rute paling optimal. Beberapa algoritma sudah dilakukan studi seperti algoritma yang umum digunakan untuk penentuan rute terpendek seperti contoh, algoritma Dijkstra [1], akan tetapi algoritma shortest path seperti ini hanya dapat digunakan untuk satu kriteria atau pembobotan. Sedangkan pada WSN ini terdapat lebih dari satu kriteria. Selanjutnya, salah satu studi menggunakan algoritma Fuzzy TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarities to Ideal Solution) sebagai routing algorithm pada WSN [2], dimana algoritma ini sudah mengakomodir untuk multi kriteria dan juga bersifat dinamis, akan tetapi masih belum cukup jika hanya mengandalkan satu algoritma saja.

Pada penelitian ini digunakan algoritma Simple Additive Weighting (SAW). Algoritma SAW ini juga akan dikombinasikan dengan algoritma Dijkstra, dimana algoritma SAW akan berfungsi sebagai multi criteria decision making (MCDM) untuk mendapatkan nilai paling optimal dari beberapa kriteria masalah. Sedangkan algoritma Dijkstra akan berfungsi sebagai penentu rute optimal berdasarkan nilai yang dihasilkan oleh algoritma SAW [3].

II. PENELITIAN TERKAIT

Dalam membuat laporan Penelitian ini penulis melakukan studi literatur mengenai hal-hal atau teori-teori dari jurnal dan sumber lain yang berkaitan dengan ruang lingkup pembahasan sebagai landasan dalam pembuatan laporan ini. Berikut adalah beberapa referensi jurnal tersebut:

Pada penelitian [4] yang dilakukan oleh Galang P. N. Hakim (2019). Performa kualitas routing pada WSN merupakan hal yang penting, dengan kriteria masalah pada setiap node yaitu packet loss, delay, dan hop, penulis menggunakan algoritma TOPSIS sebagai multi criteria decision making untuk penentuan rute selanjutnya pada setiap node berdasarkan beberapa kriterianya yang telah diberi bobot menggunakan teorema Shannon Entropy. Hasil dari routing tersebut lalu dibandingkan dengan algoritma yang lain yaitu algoritma shortest path, dimana pada penelitian ini algoritma TOPSIS lebih efisien dan optimal untuk satu kasus rute.

Pada penelitian [5] Yessy D. Rosita (2019). Pada penelitian ini, penulis menggunakan normalisasi dari MCDM pada beberapa kriteria masalah, yaitu, jarak tempuh, biaya, dan resiko. Lalu, nilai hasil dari normalisasi tersebut digunakan sebagai acuan untuk menentukan rute oleh algoritma Dijkstra. Dari penelitian ini, dihasilkan rute paling optimal untuk pendistribusian barang berdasarkan kriteria masalah yang ada.

Pada penelitian [3] Ting Kien & Noraini Abdullah (2019). Pada penelitian ini, penulis menggambarkan sebuah jaringan berisikan node yang saling terhubung, dimana setiap node nya memiliki kriteria masalah yaitu, cost, distance, dan time travel. Kriteria-kriteria ini dinormalisasikan untuk didapat bobot nilainya, lalu digunakan oleh algoritma Dijkstra untuk menentukan rute terbaik. Hasil dari penelitian ini yaitu, sebuah rute terbaik antara node awal dan node tujuan dengan pertimbangan kriteria masalah yang ada.

Pada penelitian [6] Bekir Sahin (2019). Pada penelitian ini penulis meneliti dalam ruang lingkup maritim, yaitu, penentuan jalur kapal laut, dengan kriteria masalah yaitu, route length, traffic congestion, weather and sea conditions, regulation and restrictions, sea depth, environmental constrains, dan charges. Dari penelitian ini, dihasilkan rute paling optimal untuk perjalanan kapal laut berdasarkan kriteria masalah yang ada.

Pada penelitian [2] E. Roghanian & Z. Shakeri Kebria (2016). Pada penelitian ini penulis mencoba mengekstensi algoritma Dijkstra dengan algoritma TOPSIS agar dapat menggunakan algoritma Dijkstra dengan atribut atau kriteria lebih dari satu. Penulis menggunakan algoritma TOPSIS untuk memperoleh nilai tunggal dari nilai-nilai yang ada pada kriteria, agar dapat digunakan oleh algoritma Dijkstra untuk menentukan rute terbaik. Hasil dari penelitian ini yaitu, sebuah rute terbaik antara node awal dan node tujuan dengan pertimbangan kriteria masalah yang ada

III. METODOLOGI PENELITIAN

Secara umum penelitian ini dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

- Pertama, melakukan proses routing menggunakan algoritma SAW.
- Kedua, melakukan proses routing menggunakan SAW-Dijkstra.
- Ketiga, melakukan simulasi routing dan membandingkan kinerja antara algoritma SAW dan SAW-Dijkstra, ditambah algoritma TOPSIS dari penelitian sebelumnya yang menjadi referensi dari penelitian ini.

A. Blok Diagram

Diagram blok penelitian ini dibagi menjadi beberapa bagian seperti pada Gambar 1, dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Blok Kriteria

Pada blok ini berisikan kriteria-kriteria masalah yang ada pada node.

2. Blok AHP

Pada blok ini kriteria-kriteria tersebut diproses dan dinormalisasi nilainya berdasarkan derajat kepentingan, sehingga didapat bobot dari masing-masing kriteria.

3. Blok SAW

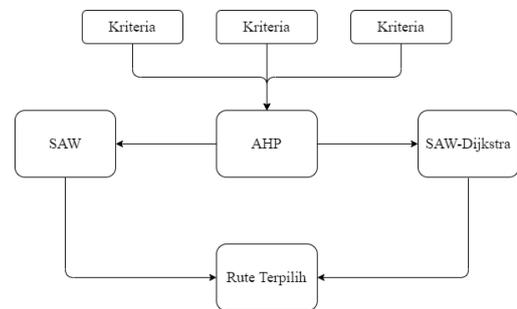
Pada blok ini dilakukan proses pencarian rute pada jaringan node dilakukan menggunakan algoritma SAW berdasarkan bobot dari kriteria-kriteria yang telah ditentukan oleh AHP.

4. Blok SAW-Dijkstra

Pada blok ini dilakukan proses pencarian rute pada jaringan node dilakukan menggunakan algoritma SAW dan Dijkstra berdasarkan bobot dari kriteria-kriteria yang telah ditentukan oleh AHP.

5. Blok Rute Terpilih

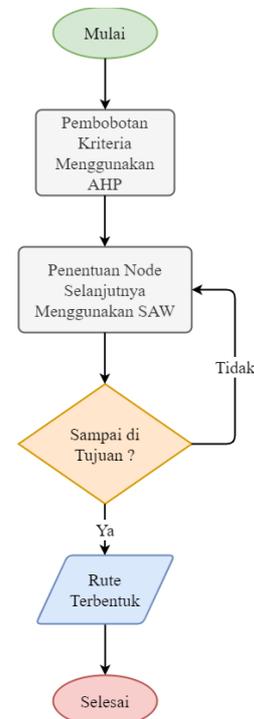
Pada blok ini merupakan hasil akhir berupa rute yang dihasilkan dari proses sebelumnya dengan metode SAW atau SAW-Dijkstra.



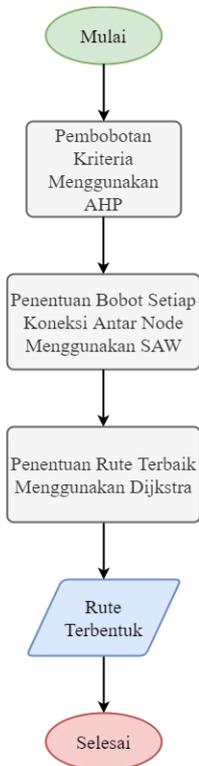
Gambar 1. Diagram Blok Penelitian

B. Flowchart

Prinsip flowchart pada perancangan sistem ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3 berikut.



Gambar 2. Diagram alir routing dengan SAW

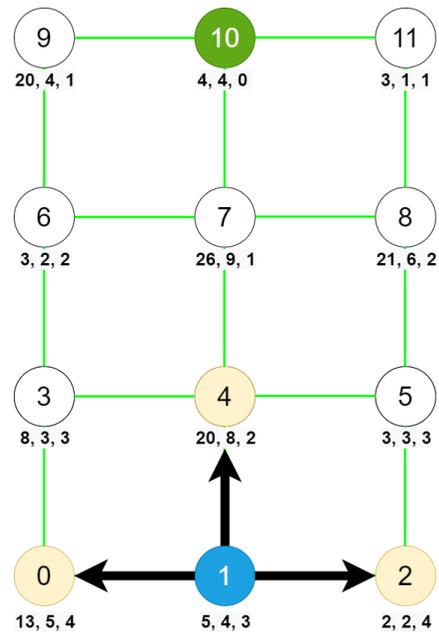


Gambar 3. Diagram alir routing dengan Dijkstra-SAW

Tabel 1. Nilai bobot dan tipe kriteria

Kriteria	Bobot	Tipe
Delay	0.68	Cost
Loss	0.251	Cost
Hop	0.069	Cost

Dimulai dari titik keberangkatan pertama yang berada di node 1 dengan kandidat untuk penentuan rute selanjutnya, yaitu node 0, node 2, dan node 4, seperti pada Gambar 5.



Gambar 6. Kandidat dari node 1

Dari setiap kandidat dihitung nilai normalisasi bobot kriteria menggunakan Persamaan 1 sebagai berikut:

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}}, & j \in \text{benefit} \\ \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}}, & j \in \text{cost} \end{cases} \quad (1)$$

Sehingga menghasilkan nilai normalisasi pada setiap kriterianya seperti pada Tabel 2.

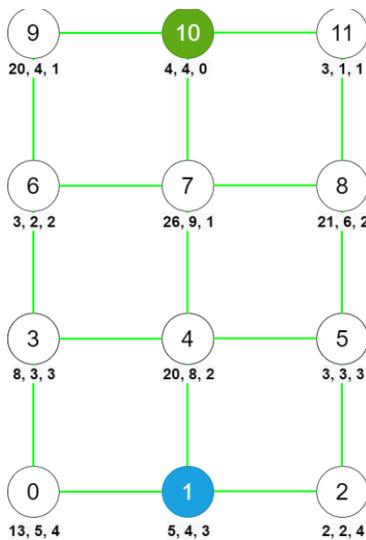
Tabel 2. Hasil Normalisasi Bobot

Kandidat	Delay	Loss	Hop
Node 0	0.153846154	0.4	0.5
Node 2	1	1	0.5
Node 4	0.1	0.25	0.1

Setelah didapat nilai normalisasi, lalu dihitung nilai preferensi menggunakan Persamaan 2 berikut:

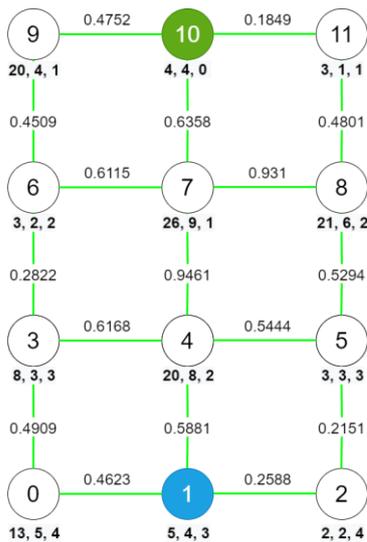
C. Penerapan Metode SAW

Pada metode ini memakai contoh jaringan WSN dengan topologi mesh 3x4 seperti pada Gambar 4 dengan setiap node nya diberikan nilai kriteria berurutan yaitu delay, loss, dan hop secara acak, serta skema untuk kasus rute, yaitu, dari node 1 (awal) ke node 10 (tujuan).



Gambar 4. Jaringan WSN 3x4

Proses perhitungan dilakukan berdasarkan bobot kriteria seperti pada Tabel 1.



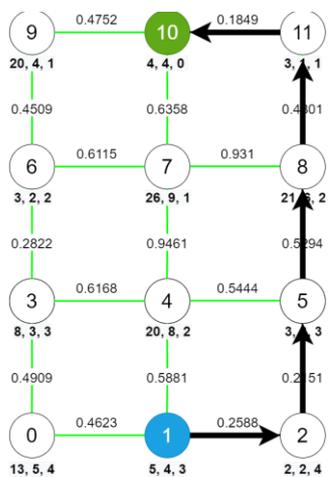
Gambar 9. Penggambaran bobot setiap edge

Hasil dari normalisasi di setiap edge, dimasukkan ke dalam proses iterasi algoritma Dijkstra seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Iterasi node dengan algoritma Dijkstra

Current	1	0	2	4	3	5	7	6	8	9	11	10
1	(0, -, 0)	(∞, -, 0)	(∞, -, 0)	(∞, -, 0)	(∞, -, 0)	(∞, -, 0)	(∞, -, 0)	(∞, -, 0)	(∞, -, 0)	(∞, -, 0)	(∞, -, 0)	(∞, -, 0)
0		(0.4623, 1)	(0.288, 1)	(0.5881, 1)	(∞, 1, 1)	(∞, 1, 1)	(∞, 1, 1)	(∞, 1, 1)	(∞, 1, 1)	(∞, 1, 1)	(∞, 1, 1)	(∞, 1, 1)
2			(0.288, 1)	(0.5881, 1)	(0.9532, 0.2)	(∞, 0, 2)	(∞, 0, 2)	(∞, 0, 2)	(∞, 0, 2)	(∞, 0, 2)	(∞, 0, 2)	(∞, 0, 2)
4				(0.5881, 1)	(0.9532, 0.2)	(0.4739, 2)	(1.5342, 0.4)	(∞, 2, 3)	(∞, 2, 3)	(∞, 2, 3)	(∞, 2, 3)	(∞, 2, 3)
3					(0.9532, 0.2)	(0.4739, 2)	(1.5342, 0.4)	(∞, 4, 4)	(∞, 4, 4)	(∞, 4, 4)	(∞, 4, 4)	(∞, 4, 4)
5						(0.4739, 2)	(1.5342, 0.4)	(1.2554, 3)	(∞, 3, 5)	(∞, 3, 5)	(∞, 3, 5)	(∞, 3, 5)
7							(1.5342, 0.4)	(1.2554, 3)	(1.0035, 5)	(∞, 5, 6)	(∞, 5, 6)	(∞, 5, 6)
6								(1.2554, 3)	(1.0035, 5)	(∞, 7, 7)	(∞, 7, 7)	(∞, 7, 7)
8									(1.0035, 5)	(1.0035, 6)	(∞, 6, 8)	(∞, 6, 8)
9										(1.0035, 6)	(1.4834, 8)	(∞, 8, 9)
11											(1.4834, 8)	(1.9586, 9)
10												(1.0035, 1)

Dari Tabel 6, diketahui pada akhir kolom setiap node merupakan hasil akhir yang berisikan data, yaitu, ([total jarak tempuh], [node sebelumnya])[iterasi ke-n]. Sehingga, jika dilihat hasil pada node 10 (destinasi) akan didapatkan rute dari node awal sampai node destinasi, yaitu, node 2, node 5, node 8, node 11, dan node 10, seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Rute yang terbentuk

Dari proses ini, total nilai dari setiap kriteria setelah sampai ke node tujuan, yaitu, Delay sebesar 33, Loss sebesar 16, dan melalui 5 kali Hop.

IV. HASIL DAN ANALISA

Pengujian dilakukan menggunakan simulasi pada sebuah aplikasi web yang dibuat khusus untuk penelitian ini [17]. Skema pertama dilakukan pada jaringan 4x3 dan skema jaringan kedua dilakukan pada jaringan 5x5.

Pengujian Pada Jaringan 4x3

Kriteria yang digunakan pada pengujian ini, yaitu, delay dan packet loss dengan spesifikasi bobot kriterianya seperti pada Tabel 7 dan spesifikasi setiap node nya diberikan nilai acak pada masing-masing kriteria seperti pada Tabel 8.

Tabel 7. Spesifikasi bobot kriteria

Kriteria	Bobot	Tipe
Delay	0.68	Cost
Loss	0.32	Cost

Tabel 8. Spesifikasi node

Node	Delay	Loss
0	13	5
1	5	4
2	2	2
3	8	3
4	20	8
5	3	3
6	3	2
7	26	9
8	21	6
9	20	4
10	4	4
11	3	1

Dari spesifikasi pada Tabel 8 dilakukan pengujian routing dengan algoritma TOPSIS, SAW, dan SAW-Dijkstra untuk rute yang bermacam-macam yang dipilih secara acak. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil pengujian pada jaringan 4x3

Node Awal	Node Tujuan	Hasil Total (delay, loss)		
		TOPSIS	SAW	SAW Dijkstra
1	10	(33, 16)	(33, 16)	(33, 16)
1	11	(29, 12)	(29, 12)	(29, 12)
1	9	(53, 20)	(53, 20)	(44, 14)
1	6	(56, 22)	(56, 22)	(24, 10)
0	9	(58, 24)	(58, 24)	(31, 9)
0	7	(57, 24)	(57, 24)	(37, 14)
2	9	(51, 18)	(51, 18)	(49, 18)
2	3	(62, 23)	(62, 23)	(26, 12)
2	0	(75, 28)	(75, 28)	(18, 9)
11	0	(44, 18)	(44, 18)	(44, 20)
Hasil rata-rata		(51.8, 20.5)	(51.8, 20.5)	(33.5, 13.4)

Pengujian Pada Jaringan 5x5

kriteria yang digunakan pada pengujian ini adalah delay, packet loss, throughput, dan jitter dengan spesifikasi bobot kriterianya pada Tabel 10 dan spesifikasi setiap node nya diberikan nilai acak pada masing-masing kriteria seperti pada Tabel 11.

Tabel 10. Spesifikasi bobot kriteria

Kriteria	Bobot	Tipe
Delay	0.648671	Cost
Loss	0.084705	Cost
Throughput	0.137824	Benefit
Jitter	0.1288	Cost

Tabel 11. Spesifikasi node

Node	Delay	Loss	Throughput	Jitter
0	5	3	521	13
1	12	9	680	12
2	25	9	811	7
3	4	6	612	1
4	14	2	865	2
5	16	4	36	3
6	1	4	532	20
7	4	5	305	14
8	16	5	792	13

9	16	9	514	10
10	11	4	49	19
11	2	6	755	11
12	16	1	418	11
13	22	6	520	15
14	5	4	343	16
15	21	4	280	17
16	13	1	806	18
17	18	8	269	5
18	8	1	563	12
19	2	6	873	17
20	27	6	305	11
21	18	10	657	18
22	21	1	37	19
23	9	5	753	19
24	8	10	764	8

Dari spesifikasi pada Tabel 11 dilakukan pengujian routing dengan algoritma TOPSIS, SAW, dan SAW-Dijkstra untuk rute yang bermacam-macam yang dipilih secara acak. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil pengujian pada jaringan mesh 5x5

Node Awal	Node Tujuan	Hasil Total (delay, loss, throughput, jitter)		
		TOPSIS	SAW	SAW Dijkstra
0	24	(64, 45, 5242, 103)	(64, 45, 5242, 103)	(64, 45, 5242, 103)
2	12	(100, 52, 5974, 101)	(100, 52, 5974, 101)	(20, 6, 723, 25)
3	16	(93, 46, 5750, 107)	(93, 46, 5750, 107)	(36, 21, 3190, 76)
10	14	(56, 35, 4058, 106)	(56, 35, 4058, 106)	(45, 17, 2036, 53)
24	12	(77, 38, 4722, 84)	(77, 38, 4722, 84)	(44, 16, 2123, 45)
21	8	(36, 21, 3190, 76)	(36, 21, 3190, 76)	(36, 21, 3190, 76)
2	22	(79, 43, 4761, 92)	(79, 43, 4761, 92)	(59, 15, 1029, 49)
10	14	(56, 35, 4058, 106)	(56, 35, 4058, 106)	(45, 17, 2036, 53)
9	15	(84, 39, 4651, 112)	(84, 39, 4651, 112)	(57, 25, 3470, 93)
20	4	(117, 57, 6900, 154)	(117, 57, 6900, 154)	(72, 39, 5324, 97)
Hasil rata-rata		(76.2, 41.1, 4930.6, 104.1)	(76.2, 41.1, 4930.6, 104.1)	(47.8, 22.2, 2836.3, 67)

Analisa

Pada jaringan mesh 4x3 maupun jaringan mesh 5x5 terlihat bahwa untuk algoritma TOPSIS dan algoritma SAW mendapatkan hasil yang sama pada setiap pengujian. Hal tersebut terjadi karena memang kedua algoritma tersebut merupakan algoritma MCDM (multi criteria decision making) yang menerapkan proses normalisasi matriks keputusan ke suatu skala yang dapat diperbandingkan dan juga mempertimbangkan aspek cost atau benefit.

Terlihat pula bahwa hasil dari beberapa simulasi, algoritma gabungan dari SAW dan Dijkstra cenderung lebih kecil atau minimal memperoleh hasil yang sama dengan algoritma yang lain, sehingga metode ini merupakan metode yang paling optimal dibandingkan dengan dua metode lainnya, berdasarkan hasil rata-rata dari setiap pengujian, yaitu, pada jaringan 4x3 TOPSIS dan SAW memperoleh nilai rata-rata delay dan loss

sebesar 51.8 dan 20.5, sedangkan SAW-Dijkstra memperoleh nilai rata-rata sebesar 33.5 dan 13.4, sehingga SAW-Dijkstra lebih optimal 35.33% (delay) dan 34.63% (loss) dibandingkan dengan TOPSIS dan SAW, begitu pula pada jaringan 5x5 TOPSIS dan SAW memperoleh nilai rata-rata delay, loss, throughput dan jitter sebesar 76.2, 41.1, 4930.6, dan 104.1 sedangkan SAW-Dijkstra memperoleh nilai rata-rata sebesar 47.8, 22.2, 2836.3 dan 67, sehingga SAW-Dijkstra lebih optimal 37.27% (delay), 45.99% (loss), 42.48% (throughput), dan 35.64% (jitter) dibandingkan dengan TOPSIS dan SAW.

Menggabungkan algoritma MCDM dengan algoritma shortestpath merupakan suatu hal yang bagus dalam penentuan rute antar node pada jaringan, karena, jika hanya mengandalkan algoritma MCDM, rute yang didapat bisa saja merupakan rute yang optimal, namun hanya pada rute-rute tertentu dan selebihnya bisa merupakan rute yang tidak optimal atau bahkan sangat tidak efisien. Hal ini terjadi karena pada MCDM, ketika menentukan rute dari setiap node ke node selanjutnya hanya mempertimbangkan node tetangga atau node yang berhubungan dengan node awal atau node keberangkatan tanpa melihat node yang lain, sehingga node lain yang mungkin rute akan optimal jika melalui node tersebut akan tidak disentuh atau tidak dipertimbangkan.

Selanjutnya, jika hanya mengandalkan algoritma shortestpath tidak akan bisa melakukan routing, karena algoritma shortestpath hanya bisa menerima satu nilai untuk setiap koneksi antara node satu dengan node, sedangkan, pada penelitian ini setiap node memiliki beberapa kriteria yang harus dipertimbangkan, untuk itu, kriteria-kriteria tersebut dikalkulasikan atau dilakukan normalisasi menggunakan algoritma MCDM sehingga menghasilkan satu nilai yang bisa digunakan oleh algoritma shortestpath untuk menentukan rute paling optimal, karena, algoritma shortestpath pada prosesnya akan melakukan iterasi dan mempertimbangkan setiap node yang ada.

Dengan demikian, hasil yang didapat pada penelitian ini menunjukkan bahwa menggabungkan algoritma MCDM dan shortestpath, dalam hal ini yaitu, algoritma SAW dan Dijkstra cenderung lebih optimal untuk melakukan routing dibandingkan dengan hanya menggunakan algoritma MCDM saja, dalam hal ini yaitu, algoritma SAW dan algoritma TOPSIS.

V. KESIMPULAN

Kombinasi algoritma SAW (MCDM) dan Dijkstra (shortestpath) menghasilkan rute yang paling optimal saat digunakan untuk melakukan routing, dimana pada jaringan 4x3 SAW-Dijkstra lebih optimal 35.33% (delay) dan 34.63% (loss) dibandingkan dengan TOPSIS dan SAW, begitu pula pada jaringan 5x5 SAW-Dijkstra lebih optimal 37.27% (delay), 45.99% (loss), 42.48% (throughput), dan 35.64% (jitter) dibandingkan dengan TOPSIS dan SAW.

Untuk kedepannya dapat dilakukan pengujian serupa dengan kombinasi algoritma MCDM yang lainnya dan algoritma shortest path yang lainnya, misalnya, algoritma Bellman-ford ataupun algoritma A-start dan juga pengujian dapat dilakukan pada jaringan yang lebih kompleks.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang membantu sehingga Penelitian ini bisa terselesaikan dengan baik. Dan juga penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Mercu Buana dan prodi Teknik Elektro yang telah memberikan fasilitas untuk menunjang proses pengerjaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Broumi, A. Bakal, M. Talea, F. Smarandache, and L. Vladareanu, "Applying Dijkstra algorithm for solving neutrosophic shortest path problem," in *International Conference on Advanced Mechatronic Systems, ICAMechS*, 2016.
- [2] E. Roghanian and Z. S. Kebria, "The combination of TOPSIS method and Dijkstra's algorithm in multi-attribute routing," *Sci. Iran.*, vol. 24, no. 5, pp. 2540–2549, 2017.
- [3] T. Kien Hua and N. Abdullah, "Weighted Sum-Dijkstra's Algorithm in Best Path Identification based on Multiple Criteria," *J. Comput. Sci. Comput. Math.*, vol. 8, no. 3, 2018.
- [4] G. P. N. Hakim, A. Firdausi, and M. Hafidz, "Wireless Sensor Network Routing Using Fuzzy Topsis Algorithm to Provide Best Path Quality of Service," *Technol. Reports Kansai Univ.*, vol. 62, no. 5, 2020.
- [5] Y. D. Rosita, E. E. Rosyida, and M. A. Rudiyanto, "Implementation of dijkstra algorithm and multi-criteria decision-making for optimal route distribution," in *Procedia Computer Science*, 2019.
- [6] B. Şahin, "Route Prioritization by Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process Extended Dijkstra Algorithm," *J. Eta Marit. Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 3–15, 2019.