

ADAPTIVE MULTI-CONSTRAINT FERRY ROUTING UNTUK DELAY TOLERANT NETWORKS

Muliansani, Waskitho Wibisono

Jurusan Teknik Informatika,

Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Kampus ITS, Jl. Raya ITS, Sukolilo – Surabaya 60111, Tel. +62 31 5913804

E-mail : muliansani@gmail.com

Abstrak

Delay Tolerant Network (DTN) merupakan jaringan yang tidak terhubung secara langsung antara node dengan node lainnya. *Delay Tolerant Networks* memiliki masa penundaan yang tinggi, waktu antrian yang panjang, sumber daya yang terbatas dan koneksi yang terputus. *Message ferry (MF)* merupakan salah satu skema dalam DTN yang dapat menyediakan efisiensi pengiriman data. Dalam skema MF, MF bergerak secara proaktif untuk menerima dan mengirim pesan sehingga dapat menurunkan penundaan. Penggunaan skema *Multi-Constraint Ferry Routing (MCFR)* untuk MF dapat memberikan hasil yang lebih optimal, namun dengan algoritma *next hop* pada skema MCFR belum dapat mengatasi masalah yang timbul apabila node tujuan pesan tidak dapat menerima pesan yang dibawa oleh MF, apabila dibiarkan akan mengganggu rute pengiriman pesan lainnya dan dapat meningkatkan *delay*. Dalam penelitian ini penulis mengusulkan skema baru untuk mengatasi masalah dari MCFR menggunakan *priority level* agar dapat mengurangi *delay* akibat dari kondisi dinamis pada node tujuan. Skema usulan kami beri nama dengan *Adaptive Multi-Constraint Ferry Routing (AMCFR)*.

Kata kunci : *Delay Tolerant Network, Message ferry, Adaptive Multi-Constraint Ferry Routing, algoritma next hop, priority level*

Abstract

Delay Tolerant Networks (DTNs) are not directly connected networks. *Delay Tolerant Networks* have high latency, long queuing time, limited resources and intermittent connectivity. In development, *Message Ferry (MF)* is one of other scheme in DTNs to provides efficient data delivery. In the MF scheme, MF move proactively to send and receive messages so can to reduce delay. Use of *Multi-Constraint Ferry Routing (MCFR)* scheme make optimization result but with *next hop* algorithm from MCFR scheme can not give troubleshoot if destination node can not receive message from MF. This case will disturb delivery route for other messages and make higher delay. In this research, the authors propose new scheme for troubleshoot from MCFR use *priority level* for reduce delay from effect dynamic conditions of destination node. Propose scheme we called *Adaptive Multi-Constraint Ferry Routing (AMCFR)*.

Keyword : *Delay Tolerant Networks, Message Ferry, Adaptive Multi-Constraint Ferry Routing, next hop algorithm, priority level.*

1. PENDAHULUAN

Delay Tolerant Network (DTN) adalah proses pengiriman data yang dapat mentoleransi waktu sampai, namun dalam kondisi seperti itu akan terdapat latensi atau penundaan. Penundaan merupakan jumlah waktu tunggu yang diperlukan oleh paket data untuk menerima sejumlah informasi dari sejumlah node yang akan menuju ke node yang lain, biasanya diukur dalam satuan waktu. DTN juga merupakan model arsitektur yang meningkatkan keamanan infrastruktur jaringan dari akses yang tidak sah [14].

System teknologi dalam DTN mengadopsi teknologi transmisi data dengan sistem *store-carry-forward*, yaitu sebuah node menyimpan pesan didalam *buffer*, membawa dalam kondisi bergerak, selanjutnya mengirim ketika memasuki jangkauan transmisi dari node yang lain sampai ke tujuan pengiriman [15]. Jadi DTN ini menawarkan solusi untuk implementasi jaringan yang dapat mengatasi *delay* yang sangat tinggi dalam proses pengiriman data.

Seiring dengan perkembangannya, terdapat banyak macam skema dan arsitektur jaringan yang dirancang untuk implementasinya. Salah satunya adalah penggunaan *Message Ferry* (MF), yaitu pengantar data atau informasi secara proaktif antara *node* yang satu ke *node* yang lain agar pengiriman menjadi lebih efisien. Pada penelitian tersebut mengusulkan penggunaan MF untuk *wireless ad hoc networks* dengan mengembangkan algoritma yang dapat mengarahkan MF melalui lintasan yang dibentuk. Jadi pesan akan ditunda sementara sampai lintasan dibentuk terlebih dahulu setelah itu baru pesan dikirimkan [9].

Merujuk pada penelitian [6], skema *message ferry* yang desain telah menunjukan hasil yang cukup signifikan dalam menurunkan waktu *delay* pengiriman paket secara keseluruhan dengan mengusulkan skema *Multi-Constraint Ferry Routing* (MCFR). Skema yang diusulkannya menggunakan algoritma penyeleksian untuk *message ferry* agar dapat berpindah dari *node* asal ke *node* tujuan dengan memprioritaskan beberapa kriteria dari skema awalnya, yang mana MF akan berpindah dari *node* satu ke *node* lainnya yang terdekat. Adapun kriteria dari algoritma penyeleksian MCFR adalah jumlah paket yang dikirimkan relatif besar; paket yang akan dikirimkan tersebut telah menunggu untuk waktu yang lama; *node* tersebut telah dekat dengan MF. Namun bagaimana jika *node* yang menjadi tujuan paket tidak berfungsi sehingga paket tidak berhasil ditranfer atau dikirim. Apabila permasalahan tersebut dibiarkan akan menjadi polemik yang dapat mengganggu proses distribusi paket. Skema MCFR pada penelitian sebelumnya memungkinkan terjadinya proses *looping* yang dapat memperpanjang waktu *delay* dari paket-paket lainnya. Oleh sebab itu pengembangan dari penelitian sebelumnya masih dirasa perlu untuk dilakukan.

Usulan dalam penelitian ini adalah dengan memodifikasi skema MCFR agar dapat bekerja pada kondisi yang dinamis yaitu menggunakan *priority level* untuk paket atau melakukan pembagian *level* paket ke dalam dua tingkat yang berbeda, hal tersebut bertujuan untuk memecahkan permasalahan dari penggunaan algoritma *next hop* yang mengakibatkan terjadinya *looping* yang dapat meningkatkan *delay* dari pengiriman paket oleh *ferry*.

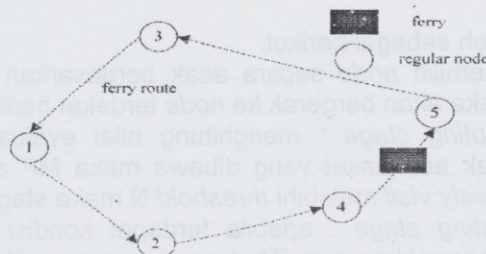
2. METODOLOGI PENELITIAN

Dari hasil penelitian sebelumnya [5] dan analisis masalah yang ditemukan maka akan dilakukan pengujian dengan metode usulan yang dapat memberikan solusi dari permasalahan yang terdapat pada metode sebelumnya sehingga dengan penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi tambahan dari penelitian sebelumnya.

2.1 Deskripsi Skema MCFR

Deskripsi dari skema MCFR dalam DTN digambarkan seperti pada Gambar 1 dengan penjelasan sebagai berikut:

- *Node* 1, 2, 3, 4 dan 5 merupakan *stationary node*.
- *Message ferry* bergerak sesuai arah pada Gambar 2.3.
- *Ferry* akan bergerak mengunjungi *node* 4 dan kemudian akan melanjutkan *node* 5.
- Jika paket yang dikirimkan oleh *node* 5 harus dikirimkan ke *node* 1 dengan kondisi tidak terdapat paket dalam *ferry*, maka *ferry* setelah mengunjungi *node* 5 akan melanjutkan untuk mengunjungi *node* 3 kemudian baru mengunjungi *node* 1 sesuai jalur dasarnya.
- Alternatif, jika *ferry* mengunjungi langsung *node* 1 maka waktu tunggu paket dalam *ferry* akan berkurang.



Gambar 1. Skema MCFR pada skenario DTN

2.2 Pemilihan Rute Ferry Dengan Algoritma Next Hop

Proses pemilihan rute MF dengan menggunakan algoritma *next hop*. Tujuan dari penentuan rute dengan algoritma *next hop* adalah untuk *node* mana yang akan menjadi tujuan selanjutnya. Pemilihan rute dapat ditunjukkan pada persamaan 1

$$V_i = \frac{(W_m \times M_i) \times (W_t \times T_i)}{W_d \times D_i} \quad (1)$$

$$\text{Dimana } M_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, T_i = \frac{t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}, \text{ dan } D_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^n d_i}$$

Keterangan:

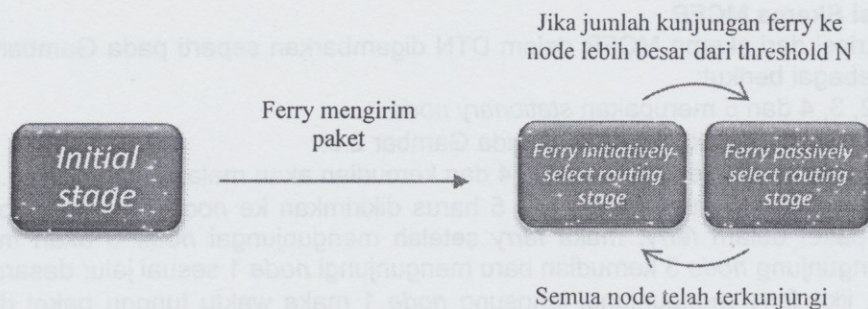
- V nilai evaluasi dari *node* i
- W_m koefisien pembobotan dari jumlah paket dalam *ferry*
- M_i jumlah paket untuk *node* i
- W_t koefisien pembobotan waktu tunggu paket dalam *ferry*
- T_i waktu tunggu paket ke *node* i
- W_d koefisien pembobotan jarak antara *ferry* dan *stationary node*
- D_i jarak antara *ferry* dengan *node* i
- n jumlah total dari *regular nodes*,
- m_i jumlah paket yang akan dikirimkan ke *node* i dalam *ferry*
- t_i total waktu tunggu paket yang akan dikirimkan ke *node* i dalam *ferry*
- d_i jarak *Euclidean* antara *ferry* dan *node* i

Kriteria *node* yang akan dipilih sebagai *hop* berikutnya apabila memenuhi kriteria sebagai berikut:

- Jumlah paket yang dikirimkan relatif besar.
- Paket yang akan dikirimkan tersebut telah menunggu untuk waktu yang lama.
- *Node* tersebut telah dekat dengan *message ferry*.

2.3 Proses Kerja Skema MCFR

Proses kerja MCFR dibagi menjadi tiga *stage*, ilustrasi dari proses kerja MCFR dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram transisi dari tiga *stage*

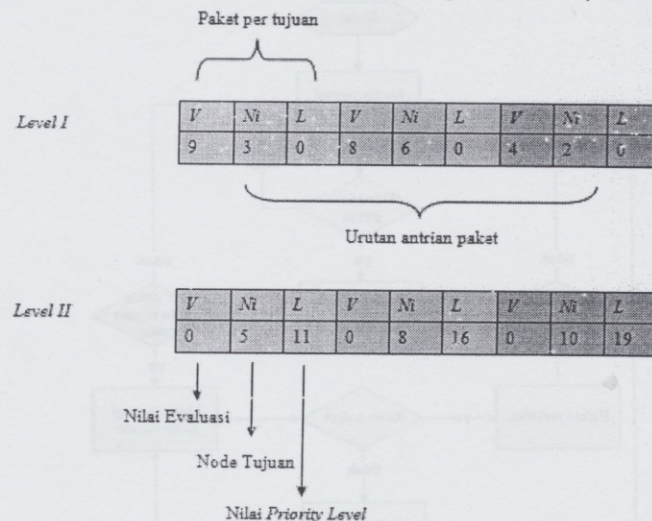
Penjelasan dari Gambar 2 adalah sebagai berikut:

- a) *Initial stage* : MF akan memilih *node* secara acak berdasarkan jangkauan komunikasi. setelah menerima paket maka akan bergerak ke *node* terdekat berikutnya.
- b) *Ferry initiatively select routing stage* : menghitung nilai evaluasi untuk menuju *node* berikutnya, namun jika tidak ada paket yang dibawa maka MF akan mengunjungi *node* terdekat. Jika terjadi *initiatively visit* melebihi *threshold N* maka stage ini berakhir.
- c) *Ferry passively select routing stage* : apabila terdapat kondisi k *node* belum pernah dikunjungi maka akan menggunakan rute T^* dengan menggunakan TSP algoritma yang mana MF akan mengunjungi semua *node* selama T^* . Penerapan MF dengan nilai evaluasi membuat salah satu *node* (k *node*) dapat tidak dikunjungi, maka di set batas *threshold*.

Skema usulan dari penelitian ini adalah dengan menggunakan *priority level* pada paket dalam MF.

2.4 Priority Level

Konsep *priority level* atau tingkat prioritas yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk membagi dua *level* paket data dalam *buffer*. *Level* satu merupakan sekumpulan paket data yang menjadi prioritas untuk diproses sebagai *next hop*, sedangkan *level* dua merupakan sekumpulan paket dengan status menunggu untuk diproses sebagai *next hop*. Paket dibagi per blok berdasarkan *node* tujuan. Di dalam blok paket terdapat nilai evaluasi dan nilai *priority level* sebagai kriteria pengurutan paket yang menjadi prioritas pengiriman ke *node* tujuan. *level* satu ditentukan dengan nilai *Priority Level* = 0. Sedangkan *level* dua ditentukan dengan Nilai Evaluasi = 0. Ilustrasi *priority level* paket dalam *buffer* digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi Dari Alokasi *Level* Paket Dalam *Buffer*

2.5 Desain Sistem

Konsep yang dirancang dalam penelitian ini adalah penambahan untuk sistem sebelumnya dan hanya berjalan pada sisi *buffer* tanpa merubah protokol *routing* dari skema *multi-constraint ferry routing* (MCFR), sehingga protokol *routing* ini dapat beradaptif dengan kondisi dinamis dalam DTN sehingga menjadi lebih baik untuk implementasinya. Skema yang diusulkan ini diberi nama *Adaptive Multi-Constraint Ferry Routing* (AMCFR) atau skema MCFR dengan protokol *routing* yang dapat beradaptif atau menyesuaikan dengan kondisi dinamis.

Desain sistem yang diusulkan dalam penelitian ini menambahkan rumus yang ditunjukkan dengan persamaan 2. untuk proses kerja skema AMCFR sebagai berikut:

- Sistem gerak kembali MF menggunakan *Initial stage* (lihat Gambar 2).
- Menggunakan konsep tingkat prioritas untuk paket dalam *buffer*.
- Paket yang gagal dikirim akan dimasukkan pada *level* dua dan diberi nilai *priority level* sebanyak jumlah *node*.
- Nilai *priority level* akan berkurang 1 setiap MF mengunjungi *node*.

$$L_{mi} = \sum_{i=1}^n -h \quad (2)$$

Keterangan:

L nilai *priority level*.

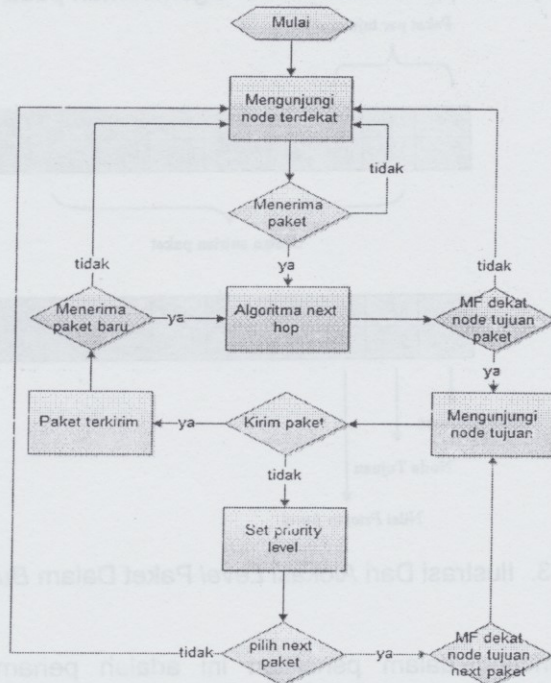
m_i paket yang akan dikirimkan ke *node* i .

n jumlah total dari *stationary nodes*.

h jumlah tiap kunjungan berikutnya.

Jika nilai *priority level* = 0 maka paket tersebut akan diikutkan kembali pada *level* pertama agar dapat dihitung nilai evaluasinya dengan algoritma *next hop* untuk ditentukan nilai prioritas pengirimannya.

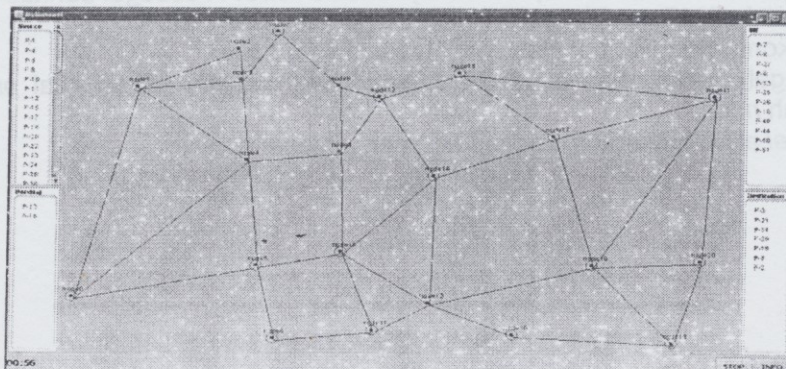
Tahapan skema awal penentuan rute MF ditentukan dengan *initial stage*, MF akan mengunjungi *node* terdekat apabila MF belum memiliki paket untuk dikirimkan. Jika MF menerima paket maka akan dilakukan perhitungan nilai evaluasi dengan algoritma *next hop* dan paket akan dikirim ke *node* tujuan bila *node* tujuan adalah tetangga dari *node* yang dikunjungi MF saat itu. Bila MF sampai ke *node* tujuan maka paket akan dikirimkan, namun bila kondisi *node* tujuan tidak dapat menerima paket maka MF akan menggunakan skema usulan agar MF dapat memilih *node* tujuan berikutnya sehingga tidak terjadi *looping* dalam jaringan. Untuk *flowchart* dari rancangan yang diusulkan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. *Flowchart* dari rancangan yang diusulkan

3. HASIL DAN ANALISIS

Skenario pengujian dibangun dengan bahasa pemrograman Java dan JDK yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Simulator uji coba

Adapun parameter dasar dalam pengujian simulator yang digunakan untuk menguji diuraikan pada Tabel 1.

Tabel .1 Parameter Uji

Keterangan	Detail
Kecepatan waktu simulator	400 ms
Durasi simulasi	60 sec
Jumlah <i>message ferry</i>	1
Kecepatan <i>message ferry</i>	1 ms
Jumlah <i>stationary node</i>	22
Jumlah <i>stationary node</i> yang mengalami <i>transmission loss</i>	0, 2, 4, 6, dan 8 <i>node</i>
Interval <i>transmission loss</i>	4000 ms, 3000 ms, 2000 ms, 1000 ms
Luas area	x = 1110, y = 630
<i>Creation interval message</i>	500 ms

Pengujian dilakukan dengan 9 kali uji coba dengan parameter berbeda. Adapun pengujian tersebut terdiri dari 1 pengujian dengan kondisi *stationary node* stabil, 4 pengujian menggunakan skema MCFR dengan kondisi *stationary node* tidak stabil dan 4 pengujian menggunakan skema AMCFR dengan kondisi *stationary node* tidak stabil.

Dari hasil keseluruhan pengujian yang dilakukan, hasilnya dirangkum dalam Tabel 2 dengan selisih dari setiap hasil dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 4.2 Hasil keseluruhan pengujian

Pengujian	1	1,2.a	2.a,2.b	1,3.a	3.a,3.b	1,4.a	4.a,4.b	1,5.a	5.a,5.b
<i>Messages received by ferry</i>	36	29	34	22	24	20	26	29	33
<i>Throughput message</i>	36	24	31	15	17	12	18	23	32
<i>Average queuing delay in node</i>	36	39	37	31	31	36	33	40	36
<i>Average queuing delay in ferry</i>	6	9	6	8	6	18	12	10	8

Tabel 4.3 Hasil selisih keseluruhan pengujian

Pengujian	1, 2a	2.a, 2.b	1, 3.a	3.a, 3.b	1, 4.a	4.a, 4.b	1, 5.a	5.a, 5.b
<i>Messages received by ferry</i>	5	-14	2	-16	6	-7	4	
<i>Throughput message</i>	-12	7	-21	2	-24	6	-13	9
<i>Average queuing delay in node</i>	-2	-5	0	0	-3	4	-4	
<i>Average queuing delay in ferry</i>	-3	2	-2	12	-6	4	-2	

Kondisi *stationary node* yang tidak stabil sangat mempengaruhi hasil pengujian pada MCFR, terlihat dari hasil yang diperoleh bahwa jumlah yang terkirim dari keseluruhan pengujian hasil *throughput message* hampir turun separuh yaitu 48.6% dari nilai ideal (Pengujian 1). Dari nilai rata-rata persentase perbandingan dari seluruh pengujian menunjukkan bahwa AMCFR dapat menurunkan nilai *average queuing delay in node* sebesar 5.9% dan *average queuing delay in ferry* sebesar 27.9% dari MCFR. Menurunnya tingkat *delay* dari pengambilan dan

pengiriman paket membuat rata-rata *messages received by ferry* meningkatkan sebesar 14.6% dan persentase rata-rata *throughput message* juga meningkatkan sebesar 24.0%. Untuk lebih jelasnya perbandingan persentase rata-rata dari seluruh pengujian dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4.4 Persentase selisih dari seluruh pengujian

Pengujian	1, 2a	2.a, 2.b	1, 3.a	3.a, 3.b	1, 4.a	4.a, 4.b	1, 5.a	5.a, 5.b
<i>Messages received by ferry</i>	19.4%	14.7%	38.9%	8.3%	44.4%	23.1%	19.4%	12.1%
<i>Throughput message</i>	33.3%	22.6%	58.3%	11.8%	66.7%	33.3%	36.1%	28.1%
<i>Average queuing delay in node</i>	7.7%	5.1%	13.9%	0.0%	0.0%	8.3%	10.0%	10.0%
<i>Average queuing delay in ferry</i>	33.3%	33.3%	25.0%	25.0%	66.7%	33.3%	40.0%	20.0%

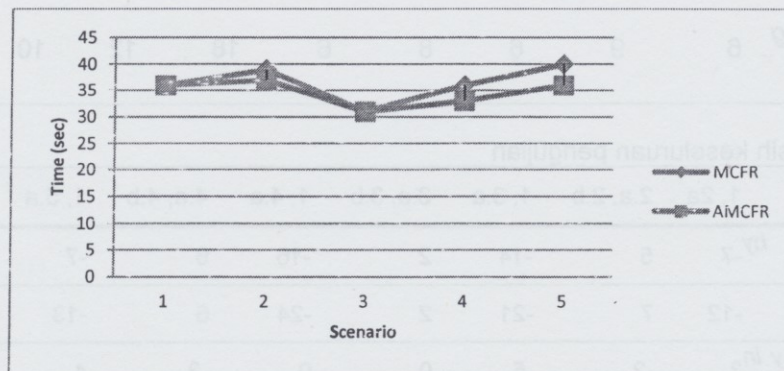
Tabel 4.5 Persentase rata-rata selisih dari seluruh pengujian

Pengujian	Pengujian 1 dan MCFR	Pengujian MCFR dan AMCFR
<i>Messages received by ferry</i>	Turun 30.6%	Naik 14.6%
<i>Throughput message</i>	Turun 48.6%	Naik 24.0%
<i>Average queuing delay in node</i>	Naik 1.0%	Turun 5.9%
<i>Average queuing delay in ferry</i>	Naik 41.3%	Turun 27.9%

Didasarkan pada serangkaian pengujian yang dirangkum dari Tabel 2 dapat disimpulkan sebagai berikut:

3.1 Skema yang diusulkan mampu mereduksi *average queuing delay in node*

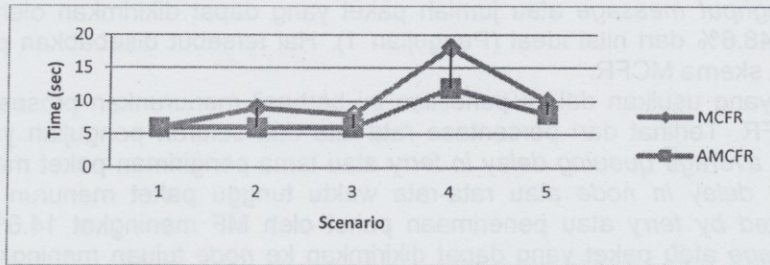
Skema AMCFR menurunkan rata-rata waktu tunggu paket dalam node, sehingga lebih efektif diperbandingkan dengan skema MCFR dalam menurunkan persentase waktu tunggu paket dalam node. Grafik hasil dari keseluruhan pengujian *average queuing delay in node* ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6. Average queuing delay in node

3.2 Skema yang diusulkan mampu mereduksi *average queuing delay in ferry*

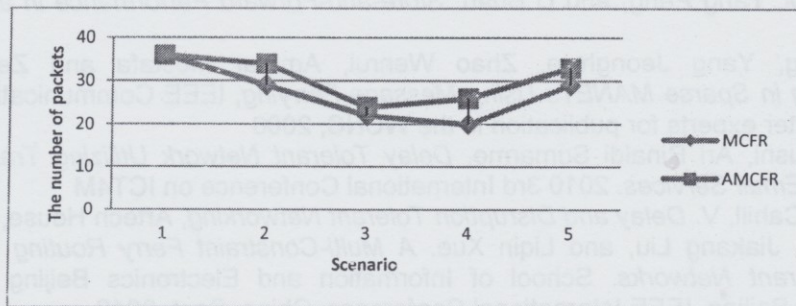
Skema AMCFR menurunkan rata-rata lama pengiriman paket dari node asal ke node tujuan. Terjadi penurunan nilai pada Pengujian 5 karena parameter pengujian menggunakan *interval* lebih cepat dari pengujian sebelumnya. Namun untuk keseluruhan pengujian AMCFR lebih efektif diperbandingkan dari MCFR dalam menurunkan persentase lama pengiriman paket. Grafik hasil dari keseluruhan pengujian untuk *average queuing delay in ferry* ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Average queuing delay in ferry

3.3 Skema yang diusulkan mampu meningkatkan jumlah *messages received by ferry*

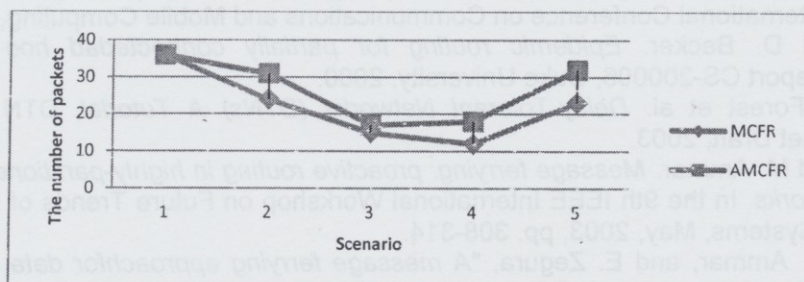
Skema AMCFR meningkatkan jumlah paket yang dapat diterima oleh MF dalam tiap pengujian. Terjadi peningkatan hasil pada Pengujian 5 pada kedua skema karena *interval transmission loss* lebih cepat dari pengujian sebelumnya. Hasil keseluruhan pengujian menunjukkan skema AMCFR lebih baik diperbandingkan dari skema MCFR dalam menurunkan persentase penerimaan paket oleh MF. Untuk grafik *messages received by ferry* ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Messages received by ferry

3.4 Skema yang diusulkan mampu meningkatkan jumlah *throughput message*

Skema AMCFR meningkatkan jumlah paket yang dapat diterima oleh MF dalam tiap pengujian. Sehingga skema AMCFR lebih baik diperbandingkan dengan skema MCFR dalam menurunkan persentase penerimaan paket oleh MF. Grafik hasil dari keseluruhan pengujian untuk *throughput message* ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Throughput message

4. KESIMPULAN

MCFR sebagai protokol *routing* pada penelitian sebelumnya sangat berpengaruh dalam *Delay Tolerant Network* jika *stationary node* memiliki kondisi transmisi dinamis atau tidak stabil. Kondisi tersebut membuat nilai dari *average queuing delay in ferry* atau nilai rata-rata lama pengiriman paket ke *node* tujuan meningkat 41.3% dan nilai *average queuing delay in node* atau nilai rata-rata waktu tunggu paket meningkat 1.0%. Sehingga berpengaruh terhadap jumlah *messages received by ferry* atau jumlah paket yang dapat diterima oleh MF menurun

30.6% dan *throughput message* atau jumlah paket yang dapat dikirimkan oleh MF ke *node* tujuan menurun 48.6% dari nilai ideal (Pengujian 1). Hal tersebut disebabkan proses *looping* yang terjadi pada skema MCFR.

AMCFR yang usulkan dalam penelitian ini berhasil menurunkan proses *looping* yang terjadi pada MCFR. Terlihat dari persentase rata-rata dari seluruh pengujian yang dilakukan menunjukkan nilai *average queuing delay in ferry* atau lama pengiriman paket menurun 27.9%, *average queuing delay in node* atau rata-rata waktu tunggu paket menurun 5.9%, jumlah *messages received by ferry* atau penerimaan paket oleh MF meningkat 14.6% dan jumlah *throughput message* atau paket yang dapat dikirimkan ke *node* tujuan meningkat 24.0% dari pengujian yang menggunakan MCFR. Hal tersebut disebabkan oleh penggunaan *priority level* dalam *buffer* MF dapat menghindari terjadinya *looping* dalam proses pengiriman paket ke *stationary node* yang mengalami *transmission loss*. Namun penempatan paket pada *level* tunda dapat menunda pengiriman paket tersebut tanpa mengetahui kapan waktu yang tepat untuk paket tersebut dikembalikan ke *level* prioritas pengiriman. Oleh sebab itu dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai waktu yang tetap atau mendekati masa transmisi *stationary node* kembali berfungsi dan juga diperlukan penerapan *multiple* MF untuk optimasi pengiriman paket.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmad, A. *Wireless and Mobile Data Networks*. 2005.
- [2] Chuah Mooi, Yang Peng, and D Brian. *Store-and-Forward Performance in a DTN*. IEEE 2006.
- [3] Chen Yang, Yang Jeonghwa, Zhao Wenrui, Ammar Mostafa and Zegura Ellen. *Multicasting in Sparse MANETs Using Message Ferrying*, IEEE Communications Society subject matter experts for publication in the WCNC, 2006
- [4] Emir M. Husni, Ari Rinaldi Sumarmo. *Delay Tolerant Network Utilizing Train for News Portal and Email Services*. 2010 3rd International Conference on ICT4M
- [5] Farrell, S., Cahill, V. *Delay and Disruption Tolerant Networking*, Artech House, 2006
- [6] Juan Peng, Jiakang Liu, and Liqin Xue. *A Multi-Constraint Ferry Routing Scheme for Delay Tolerant Networks*. School of Information and Electronics Beijing Institute of Technology Beijing, IEEE International Conference, China, Sept, 2012.
- [7] Lindgren, A. Doria, and O. Schelen,. *Probabilistic Routing in intermittently connected networks*. 2004; volume 3126, pages 239–254.
- [8] R. Viswanathan, J. Li, and M. C. Chuah. *Message Ferrying for Constrained Scenarios*. IEEE WoWMoM, 2005.
- [9] Rahul C. Shah et al. *Data MULEs: Modeling a Three-tier Architecture for Sparse Sensor Networks*. DTN Research Group Internet Draft, 2003
- [10] Taha A. Khalaf, Sang Wu Kim. *Delay Analysis in Message Ferrying System*, IEEE 2008.
- [11] Ting Wang, and Chor Ping Low. *Dynamic Message Ferry Route (dMFR) for Partitioned MANETs*. International Conference on Communications and Mobile Computing, 2010.
- [12] Vahdat and D. Becker. *Epidemic routing for partially connected ad hoc networks*. Technical Report CS-200006, Duke University, 2000.
- [13] Warthman, Forest et al. *Delay-Tolerant Networks (DTNs) A Tutorial*, DTN Research Group Internet Draft, 2003.
- [14] W. Zhao and M. Ammar. *Message ferrying: proactive routing in highly-partitioned wireless ad hoc networks*. In the 9th IEEE International Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems, May, 2003, pp. 308-314.
- [15] W. Zhao, M. Ammar, and E. Zegura, "A message ferrying approach for data delivery in sparse mobile ad hoc networks," Proceedings of the 5th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing, 2004, pp. 187-198.
- [16] W. Zhao, M. Ammar, and E. Zegura, "Controlling the mobility of multiple data transport ferries in a delay-tolerant network," INFOCOM 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, vol. 2, pp. 1407-1418
- [17] Z. Zhang and Z. Fei, "Route Design for Multiple Ferries in Delay Tolerant Network," IEEE WCNC, 2007.