

ANALISIS UNJUK KERJA ALGORITMA ROUTING SIMBET DI JARINGAN OPPORTUNISTIK

Bambang Soelistijanto¹, Elisabeth Kusuma Adi Permatasari²

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma
Kampus III Paingan, Maguwohardjo, Depok, Sleman, Yogyakarta
E-mail: b.soelistijanto@usd.ac.id, permatasari.erma24@gmail.com

ABSTRAKS

Jaringan *opportunistic* (*OppNets*) adalah bentuk khusus dari jaringan *MANET* dimana kontak antar node bersifat stokastik, menyebabkan tunda pengiriman pesan tinggi. Tantangan utama routing pada *OppNet* adalah menemukan jalur komunikasi yang dapat mengoptimalkan performa jaringan dalam pengiriman pesan. Trend saat ini perangkat komunikasi bergerak umumnya berupa perangkat yang dibawa oleh manusia, seperti telepon pintar, gadget, atau laptop; oleh karenanya karakter pergerakan manusia dalam lingkup sosialnya dapat dieksploitasi sebagai metrik routing di *OppNet*. Dalam paper ini dibahas unjuk kerja algoritma routing *SimBet* yang menggunakan 2 parameter dari jaringan sosial, yaitu: *similarity* dan *betweenness centrality*. *Similarity* mengukur derajat kesamaan antara 2 aktor di dalam jaringan sosial. Sedangkan *betweenness centrality* menentukan seberapa penting peran seseorang dalam menjembatani komunikasi antar manusia dalam jaringan. Dengan menggunakan simulasi komputer dan data kontak manusia yang nyata, unjuk kerja *SimBet* di *OppNets* dianalisis berdasarkan 4 metrik unjuk kerja: rasio pesan terkirim, biaya pengiriman, tunda pengiriman, dan sentralitas trafik pengiriman pesan.

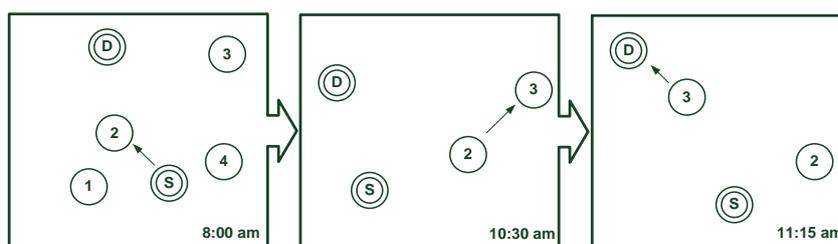
Kata Kunci: jaringan *opportunistic*, routing berbasis sosial, *similarity*, *betweenness centrality*

1. PENDAHULUAN

1.1 Jaringan Opportunistik

Jaringan *MANET* (*Mobile Ad-Hoc Network*) adalah jaringan komunikasi dimana infrastruktur komunikasi tidak diperlukan dalam proses pengiriman informasi (Conti & Giordano, 2007). Pada *MANET*, semua nodenya dapat bergerak bebas: node tidak lagi hanya berfungsi hanya sebagai terminal (*end-device*) namun bisa juga digunakan sebagai media komunikasi (misal sebagai *router*). Pada *MANET* komunikasi antara 2 node (node asal dan tujuan pesan) dapat terjadi bila terdapat jalur diantara kedua node tersebut. Namun, ketersediaan jalur komunikasi dari node asal ke tujuan sepanjang waktu yang dibutuhkan sangat sulit tepenuhi karena seluruh node di jaringan bebas bergerak. Oleh karena itu pada *MANET* sering terjadi kegagalan pengiriman pesan karena topologi yang selalu berubah dalam waktu.

Jaringan oportunistik (*opportunistic networks*, *OppNets*) (Pietilainen & Diot, 2009) kemudian dimunculkan untuk mengatasi kelemahan *MANET*. Jaringan ini merupakan bentuk khusus dari *MANET*, dimana komunikasi antara node asal dan tujuan dapat dimungkinkan tanpa harus tersedianya jalur antara keduanya pada suatu waktu tertentu. Pengiriman pesan hanya bertumpu pada kontak antar node yang tidak terprediksi (*opportunistic*), dan pengiriman pesan dalam jaringan ini menggunakan paradigma *store-carry-forward*, berakibat pada rata-rata tunda pengiriman bernilai tinggi dan rasio keberhasilan pengiriman rendah. Pada gambar 1 ditampilkan ilustrasi pengiriman pesan dari node S (sumber) ke node D (tujuan) melalui beberapa kontak node yang lain sebagai pembawa pesan (*carrier*), yaitu node 2 dan 3. Dengan berkembangnya teknologi perangkat bergerak yang dapat dibawa manusia, seperti telepon pintar, gadget, dan laptop, maka pola kontak node yang ada di *OppNets* dapat dipelajari dengan melakukan studi tentang karakteristik pergerakan manusia.



Gambar 1. Paradigma *store-carry-forward* pada pengiriman pesan di *OppNets*

Berbagai studi tentang pergerakan manusia akhir-akhir ini menyatakan bahwa asumsi yang selama ini dipakai dalam studi *OppNets* yaitu manusia bergerak mengikuti pola acak (*random*) adalah tidak tepat (Hossmann et al., 2011). Menurut analisis jaringan sosial (*social network analysis*, *SNA*), manusia bergerak

untuk memenuhi kebutuhan sosialnya dan dalam kaitannya dengan interaksi sosial dengan manusia lain. Relasi antar manusia ini biasa digambarkan dalam bentuk jaringan sosial, dimana node merepresentasikan manusia (atau aktor) dan link mewakili relasi sosial antara 2 manusia. Didasarkan pada fakta ini, maka beberapa peneliti mengusulkan penggunaan properti yang ada di jaringan sosial untuk dipakai sebagai metrik routing di OppNets (Borrel et al., 2009). Salah satu algoritma routing yang berbasis sosial untuk OppNets yang cukup populer di literatur adalah routing SimBet (Daly & Haahr, 2009). SimBet menggunakan 2 properti dari jaringan sosial sebagai metrik routing, yaitu *similarity* dan *betweenness centrality*. *Similarity* mengukur tingkat kesamaan (similaritas) antara 2 node, sedangkan *betweenness centrality* mengukur peran sebuah node dalam menjembatani komunikasi antar node yang lain dalam sebuah jaringan.

1.2 Routing SimBet

Algoritma routing SimBet menggunakan 2 properti dari jaringan sosial, *similarity* dan *betweenness centrality*, untuk memilih pembawa pesan (*carrier*) terbaik di OppNets. Berikut dijelaskan bagaimana kedua metrik routing tersebut dihitung.

(a) Betweenness centrality

Centrality, dalam teori graf dan analisis jaringan sosial, merupakan parameter untuk menentukan seberapa populer (penting) sebuah node (atau *vertex*) di jaringan (atau graf). Nilai *centrality* pada sebuah jaringan digunakan untuk mengidentifikasi node mana yang dapat menjadi jembatan penghubung dari satu node ke node yang lain. Node yang memiliki nilai *centrality* paling tinggi dianggap sebagai node yang paling penting (sentral). Semakin besar nilai *centrality* yang dimiliki sebuah node maka semakin besar pula peranan sebuah node dalam menghubungkan node-node di jaringan. Ada banyak cara untuk menghitung nilai *centrality* sebuah node. Cara yang paling sering digunakan adalah metode penghitungan *centrality* oleh Freeman (Freeman, 1979), yaitu *degree centrality*, *closeness centrality*, dan *betweenness centrality*. *Degree centrality* dari sebuah node dapat dihitung dari jumlah node yang terhubung langsung dengan node tersebut. Node akan dianggap penting (populer) ketika memiliki banyak node tetangga yang terhubung langsung dengannya. Sedangkan *closeness centrality* dari sebuah node dapat diketahui dari menghitung nilai resiprokal dari rata-rata jarak terpendek antara node tersebut ke semua node yang dapat dijangkau di jaringan. Di sisi lain, *betweenness centrality* merupakan metode penghitungan yang digunakan untuk mengetahui seberapa penting sebuah node dalam berperan menjadi penghubung komunikasi antar node di jaringan. Nilai *betweenness centrality* merepresentasikan seberapa pentingnya node dalam mengatur aliran informasi pada sebuah jaringan. Semakin tinggi nilai *betweenness centrality* maka sebuah node akan dianggap node yang paling populer dan mampu memfasilitasi interaksi antar node-node yang terhubung dengannya.

Penghitungan *centrality* dari Freeman, khususnya *betweenness centrality* dan *closeness centrality*, membutuhkan seluruh informasi jaringan; hal ini biasa disebut dengan jaringan *sociocentric*. Sedangkan, pada jaringan oportunistik sangatlah sulit mengumpulkan informasi dari seluruh node yang ada di jaringan pada waktu tertentu karena tunda pengiriman data yang sangat tinggi. Oleh karena itu, pada SimBet akan digunakan konsep “*ego network*”. *Ego network* adalah jaringan yang terdiri dari sebuah node (*ego node*) beserta node-node yang terhubung dengannya secara langsung (*neighbourhood networking*). *Ego network* memiliki struktur yang sederhana dan terbatas, sehingga penggunaan *ego network* dapat mengurangi banyaknya informasi yang harus dikumpulkan, dibanding jika harus mengumpulkan informasi dari seluruh node di jaringan. Informasi tentang seluruh node yang ada di jaringan dapat diestimasi dari informasi lokal disekitar *ego node*.

SimBet menggunakan *betweenness centrality* yang dihitung menggunakan pendekatan *ego network* (disebut kemudian *ego-betweenness*) dengan langkah sebagai berikut: secara matematis, node-node yang sudah ditemui oleh *ego node* dapat direpresentasikan dalam bentuk matriks *adjacency*, A . Matrik A yang terbentuk adalah matriks simetris yang memiliki orde $n \times n$, n merupakan jumlah node yang sudah ditemui oleh *ego node*, dan elemen dari matrik ini menyatakan relasi node i dan j dapat bernilai:

$$A_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika node } i \text{ dan } j \text{ pernah bertemu} \\ 0, & \text{sebaliknya} \end{cases}$$

dan kemudian ego-betweenness dihitung dengan formula berikut:

$$EBC(A) = \sum \frac{1}{A^2[1-A]_{i,j}} \quad (1)$$

Karena matrik A yang terbentuk adalah matrik simetris (contoh terlihat di gambar 2), maka hanya nilai di atas diagonal dan tidak bernilai 0 yang perlu diperhatikan dalam perhitungan. Ketika *ego node* bertemu dengan node baru yang belum termasuk dalam daftar node-node yang ditemuinya, *ego node* akan melakukan pembaharuan

pada daftar node dan orde matriks *adjacency*. Pada *ego network*, node yang diperhitungkan adalah node yang ditemui *ego node* secara langsung dan tetangga dari node tersebut yang kemudian akan dimasukkan ke dalam matrik *adjacency*.

$$w8 = \begin{matrix} & \begin{matrix} w8 & w6 & w7 & w9 & s4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} w8 \\ w6 \\ w7 \\ w9 \\ s4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Gambar 2. Matrik *adjacency* dari node W8 yang bersifat simetris

(b) Similarity

Jaringan sosial menunjukkan adanya derajat *transitivity* yang sangat tinggi. *Transitivity* adalah relasi antara 3 node; jika ada relasi antara node 1 dan node 2, dan relasi node 2 dan node 3, maka secara tidak langsung node 1 dan node 3 juga memiliki hubungan. Semakin tinggi nilai *transitivity* antara node 1 dan node 3 maka probabilitas untuk bertemu akan meningkat. Hal ini biasa disebut dengan pengelompokan (*clustering*). Dalam sebuah jaringan, semakin banyak teman yang sama yang dimiliki oleh dua buah node yang tidak saling terhubung maka semakin tinggi probabilitas kedua node ini saling terhubung. Probabilitas dari penghitungan di rumus (2) dapat menggambarkan adanya ‘*node similarity*’ dari node *x* dan *y* pada sebuah topologi jaringan. Semakin banyak kesamaan anggota dari himpunan node tetangga antara node *x* dan *y*, maka semakin tinggi probabilitas kedua buah node untuk saling bertemu:

$$P(x, y) = |N(x) \cap N(y)| \tag{2}$$

dimana $P(x,y)$ adalah peluang node *x* dan *y* bertemu, sedangkan $N(x)$ dan $N(y)$ adalah himpunan node tetangga dari node *x* dan *y*.

(c) Pemilihan pembawa pesan terbaik

Bila node *m* yang sedang membawa pesan untuk node *d* bertemu dengan node *n*, maka routing SimBet akan mengukur nilai SimBet utilitas dari node *n* untuk membawa pesan ke node *d* ($SimBetUtil_n(d)$). Nilai utilitas ini dihitung berdasarkan jumlah dari nilai utilitas *similarity* node *n* dan node *d* ($SimUtil_n(d)$) dan nilai utilitas *betweeness centrality* dari node *n* ($BetUtil_n$) dengan bobot perhitungan ditentukan oleh nilai α (persamaan 3). Nilai utilitas *similarity* node *n* dan node *d* ($SimUtil_n(d)$) dihitung sebagai rasio nilai similaritas node *n* dan *d* terhadap similaritas node *m* terhadap *d* (persamaan 4). Sedangkan nilai utilitas *betweeness* node *n* dihitung sebagai rasio nilai *betweeness* node *n* terhadap nilai *betweeness* node *m* (persamaan 5).

$$SimBetUtil_n(d) = \alpha SimUtil_n(d) + (1 - \alpha) BetUtil_n \tag{3}$$

dimana

$$SimUtil_n(d) = \frac{Sim_n(d)}{Sim_n(d) + Sim_m(d)} \tag{4}$$

$$BetUtil_n = \frac{Bet_n}{Bet_n + Bet_m} \tag{5}$$

Setelah diketahui nilai SimBet utilitas dari node *n* untuk membawa pesan ke node tujuan *d* ($SimBetUtil_n(d)$), maka node *m* membandingkan nilai SimBet utilitas node *n* terhadap dirinya: jika $SimBetUtil_n(d) > SimBetUtil_m(d)$, maka node *m* akan memberikan pesan yang dibawanya ke node *n*, jika tidak terpenuhi kondisi ini maka node *m* tetap menyimpan pesan tersebut di penampung (*buffer*) -nya. Pada gambar 3 dibawah ini ditampilkan *pseudo-code* dari algoritma routing SimBet.

```

while  $n$  is in contact with  $m$  do
    send neighboursNode( $n$ )
    receive neighboursNode( $m$ )
    update betweenness centrality( $n$ )
    update node_similarity( $n$ )

    while  $\exists$  message  $\in$  buffer( $n$ ) do
        my_SimBetUtil = count SimBet_Util( $n$ )
        peer_SimBetUtil = count SimBet_Util( $m$ )
        if (peer_SimBetUtil > my_SimBetUtil OR
             $m = destination$ )
            then forward(message,  $m$ )
        end if
    end while
end while
    
```

Gambar 3. Algoritma routing SimBet

1.3 Metodologi Penelitian

Analisis unjuk kerja routing SimBet dilakukan secara empiris dengan menggunakan *the ONE simulator*, simulator untuk jaringan OppNets berbasis *discrete-event* menggunakan platform pemrograman bahasa Java (Keranen et al., 2009). Untuk skenario pergerakan node di dalam simulasi digunakan data kontak manusia dari pengamatan nyata, yaitu Hagggle-3 (Scott et al., 2009) dan Reality (Eagle & Pentland, 2006). Data kontak dari Hagggle-3 diperoleh dari pergerakan partisipan pada konferensi IEEE Infocom di Miami. Setiap partisipan diberi perangkat *iMotes* yang digunakan untuk mencatat data kontak antar partisipan. Dari 50 partisipan yang dipilih, perangkat yang menghasilkan data yang valid dan dapat digunakan untuk melakukan penelitian sebanyak 41. Durasi pengamatan adalah 254.150 detik (sekitar 2,94 hari). Sedangkan, data kontak yang ada di Reality diperoleh dari data kontak antar mahasiswa dari 2 fakultas di Universitas MIT di amerika. Jumlah partisipan yang digunakan dalam simulasi ini sebanyak 75 pelajar fakultas *Media Laboratory* dan 25 pelajar dari fakultas *Business*. Durasi pengumpulan data adalah 1 tahun akademik (sekitar 10 bulan). Dari 100 partisipan yang dipilih, perangkat yang menghasilkan data yang valid dan dapat digunakan untuk melakukan penelitian sebanyak 97.

Untuk parameter penting yang digunakan dalam simulasi untuk kedua skenario pergerakan node diringkas dalam tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Parameter utama simulasi

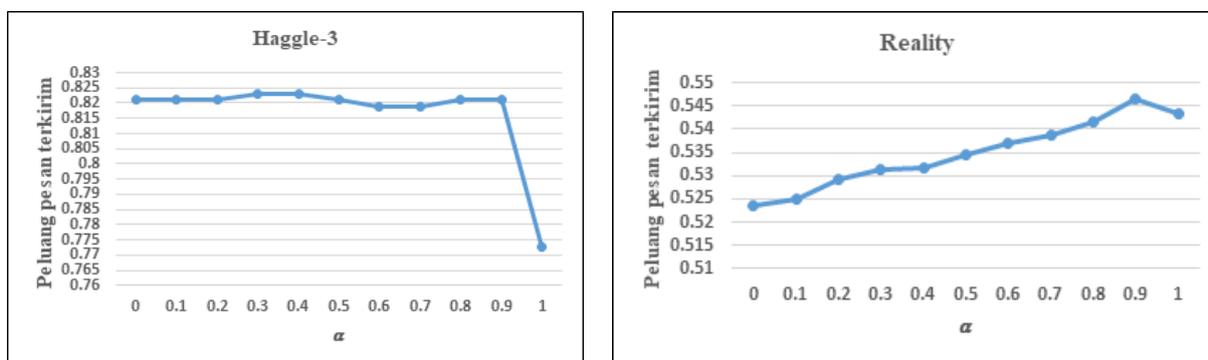
Parameter Utama Simulasi		
Skenario pergerakan node	Hagggle-3	Reality
Jumlah node	41	97
Waktu simulasi	2,94 hari	196 hari
Interval pesan dibuat	~ 6 pesan/jam	~ 12 pesan/jam
Ukuran buffer node	20 MB	20 MB
Umur pesan	1 hari	7 hari
Ukuran pesan	10 kB	10 kB

Untuk parameter yang digunakan dalam analisis unjuk kerja routing SimBet adalah:

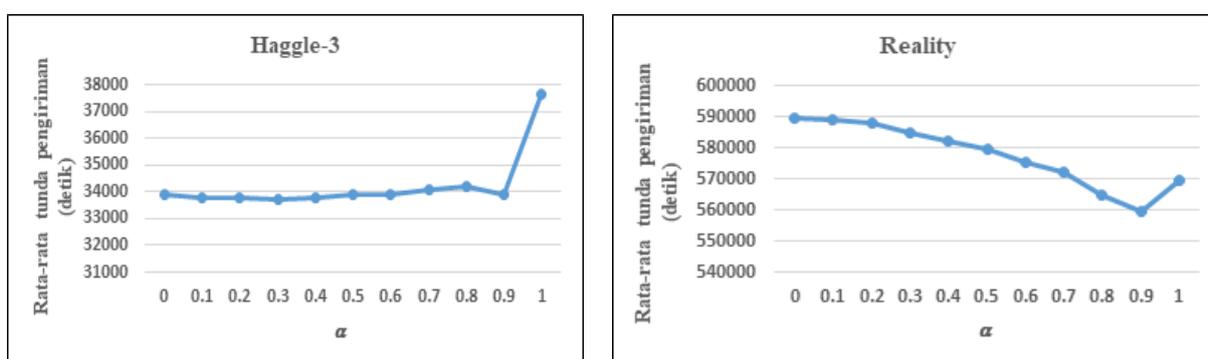
- (i) Peluang pesan terkirim (*delivery probability*): rasio antara jumlah pesan yang sukses terkirim terhadap total pesan yang dibuat selama simulasi.
- (ii) Rata-rata tunda pengiriman pesan (*average latency*): jumlah rata-rata waktu yang dibutuhkan sebuah pesan untuk mencapai node tujuan sejak pesan dibuat.
- (iii) Rasio biaya pengiriman pesan (*overhead ratio*): perbandingan antara total duplikat (*copy*) pesan yang dibuat selama simulasi terhadap jumlah pesan yang sukses diterima node tujuan.
- (iv) Sentralitas trafik pengiriman pesan pada node (*node delivery centrality*): jumlah trafik pesan dari sembarang node asal ke sembarang node tujuan yang melewati suatu node perantara (*relay node*).

2. PEMBAHASAN

Dalam bagian ini akan dibahas analisis unjuk kerja routing SimBet berdasarkan parameter unjuk kerja yang telah disebutkan diatas untuk dua skenario pergerakan node, yaitu Hagggle-3 dan Reality. Pada gambar 4 ditunjukkan unjuk kerja SimBet untuk parameter peluang pesan terkirim untuk kedua skenario pergerakan manusia. Dari gambar 4 (kiri) terlihat bahwa routing SimBet pada Hagggle-3 menghasilkan nilai peluang pesan terkirim tertinggi saat α diantara 0,3 dan 0,4. Artinya, properti sosial *betweenness centrality* pada pergerakan node ini cenderung dominan dalam pengambilan keputusan routing. Semakin tinggi nilai α maka nilai peluang pesan terkirim memiliki kecenderungan menurun setelah mencapai nilai maksimum. Pergerakan node di Hagggle-3 ini cenderung tidak membentuk kelompok (kluster) sehingga penggunaan pengaruh properti *similarity* yang terlalu kuat pada SimBet tidak cocok untuk diterapkan pada skenario ini. Pada skenario ini, ruang gerak node (manusia) sangat terbatas hanya di sekitar tempat konferensi saja. Hal ini menyebabkan probabilitas pertemuan antara satu node dengan node relatif terdistribusi merata sehingga peran metrik routing *betweenness centrality* lebih penting daripada *similarity*. Sedangkan dari gambar 4 (kanan) terlihat bahwa di Reality routing SimBet dapat menghasilkan nilai peluang pesan terkirim tertinggi pada $\alpha = 0,9$; artinya properti *similarity* lebih dominan untuk menghasilkan nilai peluang pesan terkirim lebih besar. Pada grafik terlihat bahwa semakin kuat pengaruh metrik *similarity* pada SimBet, peluang pesan terkirim semakin meningkat juga. Namun ketika $\alpha = 1$, artinya hanya *similarity* saja yang dipakai dalam routing, unjuk kerja SimBet sedikit menurun. Pergerakan manusia biasanya membentuk kelompok-kelompok tertentu, oleh karenanya dibutuhkan manusia perantara (atau *hub node*) yang berfungsi menghubungkan manusia pada kelompok yang berbeda.



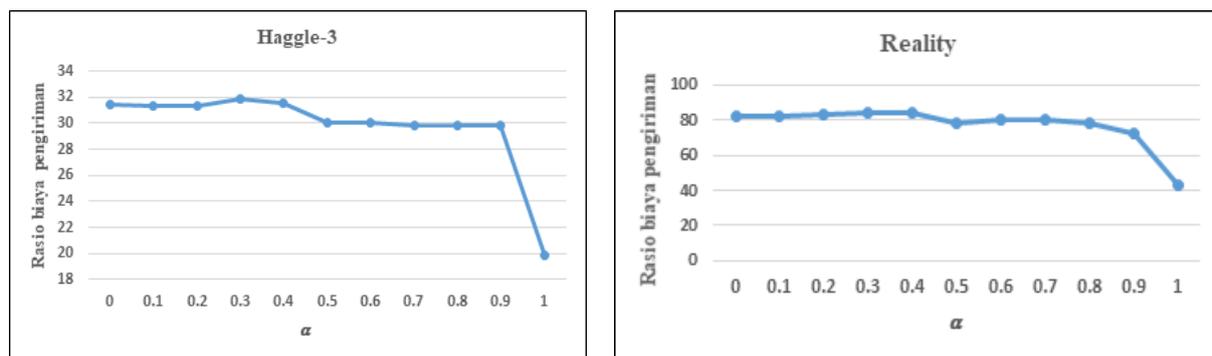
Gambar 4. Unjuk kerja SimBet: peluang pesan terkirim



Gambar 5. Unjuk kerja SimBet: rata-rata tunda pengiriman pesan

Pada gambar 5 ditunjukkan unjuk kerja SimBet untuk parameter rata-rata tunda pengiriman pesan untuk skenario pergerakan Hagggle-3 dan Reality. Untuk Hagggle-3, pada gambar 5 (kiri) terlihat bahwa secara umum peningkatan nilai α hanya membawa dampak kurang signifikan pada nilai rata-rata tunda pengiriman. Namun, untuk pemilihan pembawa pesan (*carrier*) yang menggunakan bobot metrik *betweenness centrality* lebih tinggi (atau nilai α kecil) akan memiliki nilai tunda pengiriman pesan yang lebih kecil dibandingkan dengan bila bobot *similarity* lebih ditonjolkan (nilai α besar). Pada pergerakan yang cenderung tidak mengelompok seperti pada Hagggle-3, penggunaan pengaruh metrik routing *similarity* yang terlalu kuat akan meningkatkan nilai tunda pengiriman pesan. Di sisi lain, pada gambar 5 (kanan) untuk skenario Reality terlihat bahwa pengurangan bobot α cenderung akan meningkatkan rata-rata tunda pengiriman pesan; atau dengan kata lain, pemilihan node pembawa pesan yang condong pada metrik *betweenness centrality* akan membuat tunda pengiriman pesan membesar di skenario Reality. Hal ini terjadi karena pergerakan manusia di Reality cenderung membentuk

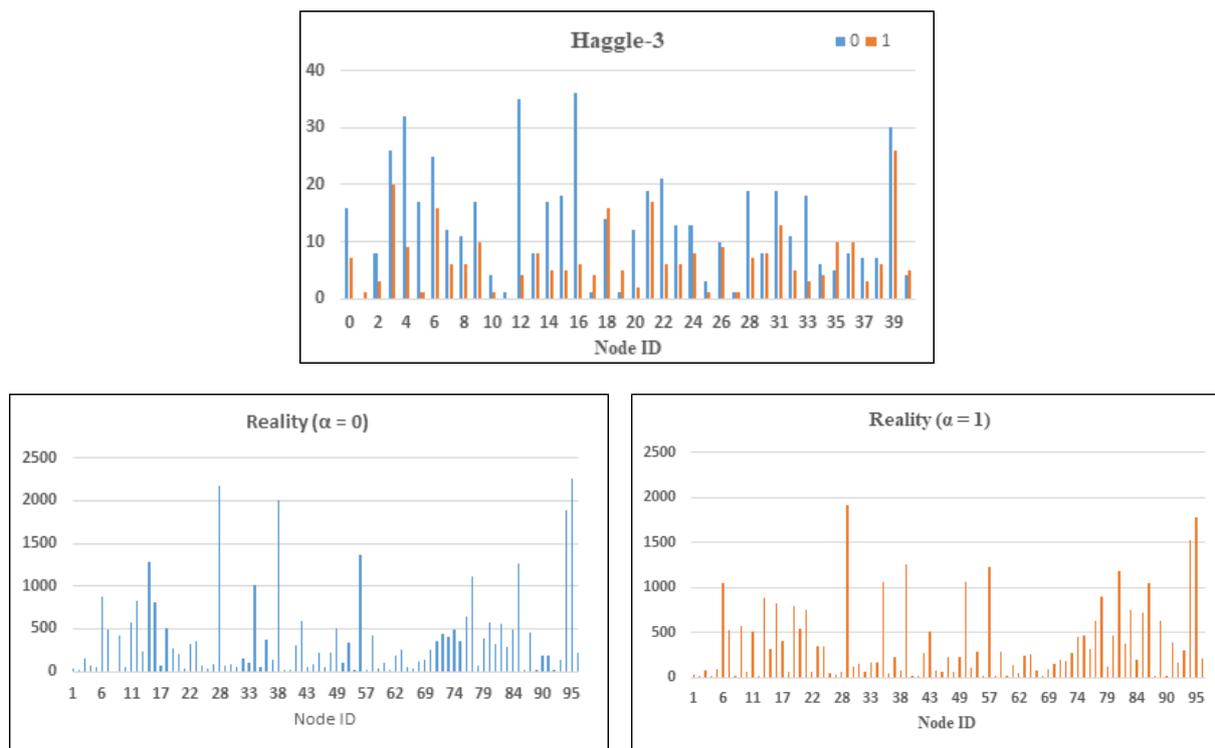
kluster (kelompok), sehingga penggunaan metrik *similarity* akan lebih efektif untuk menurunkan tunda pengiriman pesan.



Gambar 6. Unjuk kerja SimBet: biaya pengiriman pesan

Metrik unjuk kerja ketiga yang akan dibahas adalah biaya pengiriman pesan yang merepresentasikan rasio antara banyak duplikat pesan yang dibuat terhadap jumlah pesan yang sukses diterima di node tujuan. Jumlah duplikat pesan dianggap sebagai beban/biaya yang harus ditanggung jaringan untuk meningkatkan peluang pesan dapat diterima di node tujuan; semakin besar rasio biaya pengiriman maka semakin besar pula sumber daya (*resources*) jaringan yang dibutuhkan untuk mengirimkan sebuah pesan. Gambar 6 menampilkan unjuk kerja SimBet yang diukur pada biaya pengiriman pesan. Pada gambar 6 (kiri), terlihat bahwa pada skenario Hagggle-3 biaya pengiriman pesan akan bernilai relatif tinggi ketika pengaruh *betweenness centrality* lebih dominan pada pengambilan keputusan SimBet. Hal ini terjadi karena node akan terus menitipkan pesan ke setiap node yang ditemuinya yang memiliki nilai *betweenness centrality* lebih tinggi. Pesan tetap akan dititipkan ke node yang memiliki nilai utilitas SimBet yang lebih tinggi meskipun node yang ditemui itu belum pernah bertemu dengan node tujuan pesan maupun terhubung secara tidak langsung dengan node tujuan. Di sisi lain, pemilihan pembawa pesan berdasarkan atas dominasi *similarity* akan menyebabkan biaya pengiriman pesan akan lebih rendah. Hal ini terjadi karena pesan hanya dititipkan ke node yang memiliki derajat keterkaitan yang lebih tinggi dengan node tujuan, yang berujung pada pengurangan jumlah duplikat pesan yang ada di jaringan. Hal yang sama juga terjadi di skenario Reality (gambar 6 (kanan)), dimana peningkatan nilai α (meningkatnya pengaruh *similarity* pada keputusan routing SimBet) cenderung akan menurunkan biaya pengiriman pesan.

Metrik unjuk kerja terakhir yang dianalisis adalah sentralitas trafik pengiriman pesan pada node (*node delivery centrality*) yang merepresentasikan jumlah seluruh trafik pesan dari sembarang node asal ke sembarang node tujuan yang ada di jaringan yang melewati sebuah node perantara (*relay node*). Parameter ini kemudian menunjukkan seberapa penting sebuah node dapat menjembatani komunikasi antar node ke node yang lain di jaringan. Gambar 7 menunjukkan *delivery centrality* dari node yang ada di skenario Hagggle-3 dan Reality, dan untuk masing-masing skenario dibandingkan nilai *delivery centrality* untuk tiap node untuk $\alpha = 0$ (warna biru) dan $\alpha = 1$ (warna oranye). Untuk skenario Hagggle-3 (gambar 7-atas) terlihat bahwa untuk $\alpha = 0$ (keputusan routing didominasi oleh *betweenness centrality*) pengiriman pesan yang ada di jaringan hanya bergantung pada sejumlah kecil node (yaitu node dengan sentralitas/popularitas yang tinggi), sedangkan untuk $\alpha = 1$ (keputusan routing didominasi *similarity*) sebaran rute pesan lebih merata di sejumlah node di jaringan. Situasi yang sama juga terlihat di skenario Reality (gambar 7-bawah): dengan meningkatnya nilai α maka ketergantungan pengiriman pesan melewati node-node yang populer berkurang. Untuk jaringan komunikasi bergerak, seperti MANETs dan OppNets, dimana node adalah perangkat bergerak (telepon pintar atau gadget) yang memiliki sumber daya yang terbatas (yaitu daya/batere dan penyimpanan/memori), mengurangi beban di node yang paling sentral dalam memproses pesan menjadi penting dan telah menjadi bagian riset tersendiri di masa sekarang, (soelistijanto & Howarth, 2014). Rute pengiriman pesan akan dibuat terdistribusi lebih merata ke seluruh node yang ada di jaringan yang berujung pada meningkatkan kehandalan (*reliability*) dan keberlangsungan (*sustainability*) proses pengiriman pesan di OppNets.



Gambar 7. Unjuk kerja SimBet: sentralitas trafik pengiriman pesan pada node di jaringan

3. KESIMPULAN

Analisis unjuk kerja routing SimBet di jaringan OppNets secara empiris telah dilakukan dengan menggunakan simulasi komputer dan pergerakan manusia yang nyata, yaitu Huggle-3 dan Reality, dengan mengacu pada 4 parameter unjuk kerja yang telah disebutkan diatas dan menghasilkan 2 kesimpulan sebagai berikut:

Pertama, pada skenario pergerakan node yang memiliki kecenderungan manusia tidak berkelompok (*unclustered*) seperti pada Huggle-3, metrik routing *betweenness centrality* lebih cocok digunakan untuk mendominasi keputusan routing. Pembawa pesan (*carrier*) yang terpilih adalah node yang lebih populer (sentral) yang dapat menjembatani komunikasi antar node di jaringan. Pada keadaan ini pesan akan sering di-duplikasi sehingga peluang pesan terkirim akan meningkat dan tunda pengiriman akan menurun. Namun, nilai biaya pengiriman pesan akan meningkat karena akan banyak duplikasi pesan yang berjalan di jaringan. Untuk penyebaran trafik, terlihat bahwa dominasi *betweenness centrality* dalam routing SimBet akan menyebabkan trafik terdistribusi tidak merata dan condong ke node yang populer (*hub node*).

Kedua, pada skenario pergerakan manusia yang cenderung membentuk kelompok (*clustered*) seperti pada Reality, metrik routing *similarity* memberikan dampak yang lebih signifikan pada performa pengiriman pesan dibanding *betweenness centrality*. Pembawa pesan yang akan terpilih sebagian besar adalah node-node yang memiliki keterkaitan (relasi) yang lebih tinggi dengan node tujuan. Pada situasi ini, penggunaan metrik *similarity* akan mengurangi jumlah duplikasi pesan, dan pola sebaran pesan di jaringan lebih merata tidak hanya ke node yang populer saja tetapi kepada node yang memiliki nilai relasi yang kuat ke node tujuan. Namun, sebaliknya nilai tunda pengiriman akan meningkat dan nilai peluang pesan terkirim akan menurun.

PUSTAKA

- Borrel, V., Legendre, F., Amorim, M., & Fdida, S. 2009. SIMPS: Using Sociology for Personal Mobility. *IEEE/ACM Transactions Networks*. 17(3):831-842.
- Conti, M. & Giordano, S. 2007. Multihop Ad Hoc Networking: the Reality. *IEEE Communication Magazine*, 45(4):88-95.
- Daly, E.M. & Haahr. 2009. Social Network Analysis for Information Flow in Disconnected Delay-Tolerant MANETs. *IEEE Transactions on Mobile Computing*. 8(5):606-621.
- Eagle, N & Pentland, A. 2006. Reality Mining: Sensing Complex Social Systems. *Personal and Ubiquitous Computing*. 10(4):255-268.
- Freeman, L.C. 1979. Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification. *Social Networks*. 1(3):215-239.

Hossmann, T., Spyropoulos, T., & Legendre, F. 2011. *A Complex Network Analysis of Human Mobility*. Proceedings of Infocom Workshop, 2011.

Keranen, A., Ott, J., & Karkkainen. 2009. *The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation*. Proceedings of SIMULTolls. 2009.

Pietilainen, A.K. & Diot, C. 2009. *Social Pocket Switched Networks*. Proceedings of Infocom Workshop, 2009.

Scott, J., Gass, R., Crowcroft, J., Hui, P., Diot, C., & Chaintreau, A. 2009. CRAWDAD Dataset Cambridge/Haggle, (Online), (<http://crawdad.cs.dartmouth.edu/cambridge/haggle/imote/cambridge>).

Soelistijanto, B. & Howarth, M.P. 2014. Transfer Reliability and Congestion Control Strategies in Opportunistic Networks: A Survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*. 16(1):538-555.