

# Skalabilitas Protokol MAC pada *Mobile Ad-Hoc Network* (MANET) Untuk Komunikasi Taktis

Siti Agustini

agustini.siti@yahoo.com

Jurusan Sistem Komputer,  
Institut Teknologi Adhi Tama  
Surabaya (ITATS)

## Abstrak

Komunikasi taktis menuntut keamanan jaringan yang kuat, skalabilitas yang tinggi, dan dapat menangani pergerakan node yang dinamis. Jaringan taktis memiliki karakteristik jumlah node dan ukuran area yang berbeda-beda, serta model pergerakan node. Operasi militer bisa berada pada tempat yang tidak memiliki infrastruktur, namun komunikasi harus tetap berlangsung. Sehingga, diperlukan evaluasi kinerja pada komunikasi taktis. Penelitian ini berfokus pada skalabilitas *Mobile Ad-Hoc Network* (MANET) dalam komunikasi taktis dengan menerapkan protokol MAC Aloha dan CSMA/CA, jumlah node dan luas topologi area, dan formasi node yang berbeda-beda. Nilai skalabilitas didapatkan dari parameter waktu pembentukan jaringan dan throughput. Hasil penelitian menunjukkan bahwa protokol MAC CSMA/CA memiliki skalabilitas yang lebih baik dari protokol MAC Aloha berdasarkan perubahan jumlah node, luas topologi area, dan formasi node.

**Kata Kunci** — Aloha, CSMA/CA, protokol MAC, skalabilitas, komunikasi taktis.

## Abstract

Tactical communications demand robust networking, effortless scalability, and agility to move with dynamic operations. Tactical network are characterized by varying amount of nodes, patterns mobility, and the size of area. In military operation when there is no infrastructure available, there is a need for communication. Thus, the performance of tactical communication has to be evaluated. This paper focus on scalability of *Mobile Ad-Hoc Network* (MANET) in tactical communication with applying MAC protocol Aloha and CSMA/CA, varying amount of nodes, size area and topologies. This research observes scalability from time for network establishment and throughput. Simulation results show that CSMA/CA has better scalability in any amount of nodes, size area network, and topologies.

**Keywords** — Aloha, CSMA/CA, MAC protocol, scalability, tactical communication

## I. PENDAHULUAN

Komunikasi taktis menuntut suatu sistem keamanan jaringan yang kuat, tingkat skalabilitas yang tinggi, dan memungkinkan pergerakan yang dinamis dalam suatu operasi militer. Operasi militer biasanya berada pada tempat yang tidak memiliki infrastruktur namun komunikasi antar anggota harus tetap dapat berlangsung. Pergerakan anggota yang tinggi dalam suatu jaringan menyebabkan topologi yang berubah-ubah. *Mobile Ad-Hoc Network* (MANET) memiliki

karakteristik *infrastructure-less*, *self-forming*, dan *self-healing* [1] sehingga MANET merupakan jaringan yang sesuai untuk diterapkan pada komunikasi taktis.

Komunikasi dalam suatu operasi militer dalam komunikasi taktis harus berjalan lancar, dimana setiap pesan yang dikirim harus tersampaikan ke penerima. Karena itu, komunikasi taktis membutuhkan skalabilitas yang tinggi. Skalabilitas adalah kemampuan suatu jaringan untuk menangani perubahan suatu jaringan seperti jumlah node dan topologi area yang semakin luas [2]. Komunikasi taktis juga menuntut jaringan yang *scalable* yaitu dapat diterapkan untuk topologi area yang kecil atau luas sesuai dengan kebutuhan.

Saat ini, telah banyak penelitian mengenai *routing protocol* pada jaringan nirkabel [3] dan infrastruktur dinamis pada jaringan [4-5]. R. Ramanathan dkk [6] telah melakukan penelitian mengenai pergerakan sebuah grup node dalam jaringan dan hasilnya adalah skalabilitas jaringan menurun secara signifikan dan *bottleneck* yang terjadi dipengaruhi oleh protocol routing yang digunakan. Penelitian lainnya dilakukan oleh S. Thakkar [7] yang berfokus pada skalabilitas jaringan nirkabel (*base-station-oriented network & peer-to-peer wireless broadcasting*). Namun, masih sedikit yang membahas mengenai skalabilitas terutama pada lapisan MAC. Penelitian ini membandingkan tingkat skalabilitas yang dihasilkan dari protokol MAC Aloha dan CSMA/CA berdasarkan jumlah node, luas topologi area, dan pergerakan node. Tingkat skalabilitas diukur berdasarkan waktu pembentukan jaringan dan throughput. Simulasi penelitian ini dilakukan menggunakan Network Simulator 2 (NS-2).

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan protocol MAC yang dapat diterapkan untuk jaringan *Mobile Ad-Hoc Network* seperti protocol MAC Aloha dan CSMA/CA.

### A. Protokol MAC Aloha

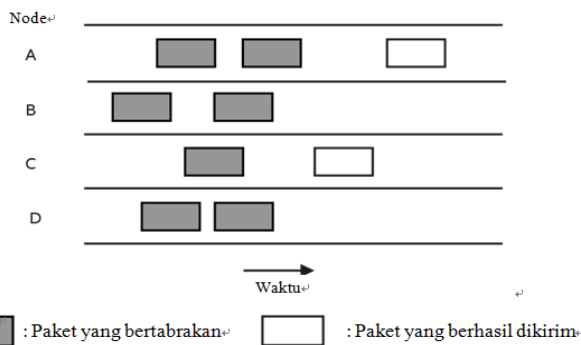
Protokol MAC Aloha merupakan salah satu protokol *random access* yang dapat digunakan dalam jaringan Ad-Hoc. Protokol MAC Aloha dengan akses jamak acak telah banyak digunakan dalam jaringan seluler dan pengiriman data karena protokol ini cukup sederhana. Sebuah node yang menggunakan protokol MAC Aloha dapat langsung mengirim paket tanpa harus mengetahui kondisi kanal atau tanpa sinkronisasi waktu kanal [8]. Dalam protokol Aloha, sebuah node dapat mengakses kanal lagi sesegera mungkin untuk pengiriman paket berikutnya apabila node tersebut sudah siap.

Mekanisme dari protokol Aloha adalah node akan mengakses kanal jika sudah siap untuk pengiriman paket, penerima akan mengirim ACK yang menandakan bahwa paket yang dikirim sudah diterima. Jika ada lebih dari satu node mengirimkan paket pada saat yang sama maka akan terjadi tabrakan seperti Gbr. 1. Deteksi tabrakan dilakukan dengan menghitung lamanya ACK sampai di penerima. Jika dalam waktu tertentu, ACK belum sampai di pengirim maka dideteksi adanya tabrakan. Untuk menanggulangi paket yang rusak akibat tabrakan dengan paket lain, maka paket dikirim kembali setelah *random delay* tertentu [9].

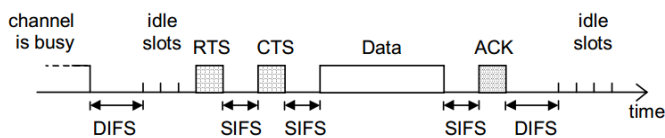
**B. Protokol MAC CSMA/CA**

Protokol CSMA merupakan pengembangan dari protokol Aloha untuk meningkatkan *throughput* dan mengurangi kemungkinan paket yang bertabrakan dengan menggunakan sistem transmisi paket yang lebih baik yaitu *carrier sense* [10]. *Carrier sense* merupakan kemampuan untuk mengetahui kondisi kanal apakah sedang sibuk atau kosong. Sehingga CSMA/CA adalah protokol pada jaringan yang bisa melakukan analisa kondisi kanal untuk menghindari tabrakan paket.

Gbr. 2 merupakan mekanisme protokol MAC CSMA/CA yaitu sebelum mengirimkan paket ke tujuan, node tersebut mencari informasi tentang kondisi kanal, jika kanal sibuk maka node harus menunggu sampai kanal kosong. Namun, ketika kanal kembali kosong, ada kemungkinan beberapa node mengirim paket secara bersama dan akan terjadi tabrakan. Untuk menghindari hal itu maka tiap node harus memilih *random backoff interval*. Pertukaran RTS/CTS dilakukan sebagai proses *handshaking* antara pengirim dan penerima sebelum melakukan pengiriman paket data [11]. Node pengirim dan penerima melakukan pertukaran control frame (request to send (RTS) and clear to send (CTS) frames) setelah memastikan bahwa kanal sedang kosong, setelah penundaan pengiriman atau backoff untuk pengiriman data.



Gbr. 1 Mekanisme Protokol MAC Aloha



Gbr. 2 Mekanisme Protokol MAC CSMA/CA [12]

**1). Virtual Carrier Sensing**

Pertukaran RTS dan CTS frame merupakan mekanisme virtual carrier-sense untuk informasi reservasi kanal yang akan digunakan. RTS dan CTS frame berisi *Duration/ID field* yang mendefinisikan periode waktu reservasi kanal untuk pengiriman data yang sebenarnya dan ACK frame. Pertukaran frame dilakukan dengan pengirim mentransmisikan RTS frame dan penerima mengirim CTS frame. Pengirim dan penerima harus saling mengetahui tentang reservasi kanal. Pertukaran RTS/CTS juga melakukan pengecekan transmisi lintasan. Jika pengirim tidak mendapatkan balasan CTS frame maka pengirim mentransmisikan RTS lagi. Jika data utama telah berhasil dikirim, maka penerima akan mengirimkan ACK frame ke pengirim.

**2) Mekanisme Backoff**

Prosedur Backoff akan dilakukan ketika suatu node akan mengirim data ketika mekanisme virtual carrier-sense mengindikasikan kanal sedang sibuk. Prosedur backoff juga digunakan saat disimpulkan adanya data yang gagal terkirim. Mekanisme backoff akan berlangsung setelah periode DIFS dan selama kanal telah ditentukan kosong. DIFS adalah DCF interframe yang mengizinkan untuk transmisi carrier sense.

Prosedur backoff harus dilakukan sesegera mungkin setelah setiap transmisi berakhir. Pada saat pengiriman ACK berhasil, prosedur backoff harus dimulai di akhir ACK frame saat diterima. Kemudian nilai CW beralih ke CWmin sebelum memilih interval random backoff. Jika transmisi ACK gagal maka prosedur backoff harus dimulai di akhir interval ACK *timeout*. Sebuah node akan mendapatkan waktu interval backoff terkecil berdasarkan fungsi random backoff seperti ditunjukkan pada Gbr 3.

**C. Skalabilitas**

Skalabilitas adalah kemampuan sebuah sistem untuk menangani perubahan dalam jaringan seperti jumlah node dan luas area yang semakin besar. Dalam hal ini akan diuji kemampuan suatu jaringan ketika jumlah anggota bertambah banyak dengan topologi area yang semakin luas. Persamaan untuk menghitung skalabilitas adalah [14]:

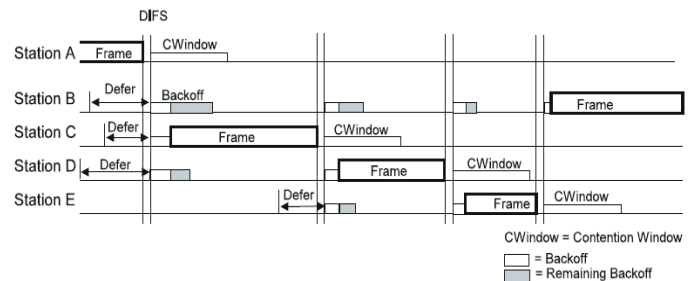
$$U_x = \sum_{n=1,2,\dots} \lambda_n \cdot f_n \tag{1}$$

dimana :

$U_x$  = skalabilitas

$\lambda_n$  = bobot parameter ke- $n$

$f_n$  = nilai parameter ke- $n$



Gbr. 3 Prosedur Backoff [13]

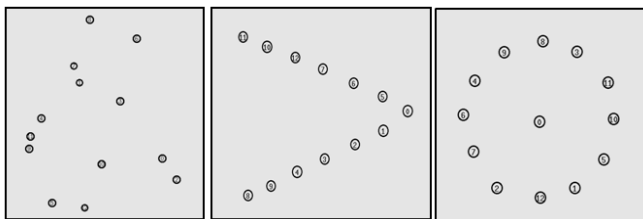
Nilai dari  $f_n$  adalah rasio dari parameter yang dimiliki 2 jumlah node yang berbeda yaitu 5&8, 13&21, dan 5&21. Parameter yang digunakan ada 2 yaitu waktu pembentukan jaringan ( $f_1$ ) dan throughput ( $f_2$ ). Kedua parameter tersebut memiliki peran yang sama-sama penting dalam proses pembentukan jaringan dimana semakin besar throughput maka semakin singkat waktu yang dibutuhkan dalam pembentukan jaringan sehingga bobot kedua parameter ( $\lambda_1$  dan  $\lambda_2$ ) tersebut adalah 0.5.

**D. Topologi Node**

Pada rancangan topologi ini akan ditetapkan luasan daerah dan posisi node yang akan digunakan. Luasan daerah yang digunakan adalah 500m x 500m, 1300m x 1300m, dan 2100m x 2100m. Sedangkan posisi node ditentukan sesuai formasi seperti pada Gbr. 4. Topologi jaringan ini akan digunakan pada setiap skema simulasi.

**E. Parameter Simulasi**

Pada rancangan model skema ini disimulasikan 5 node, 13 node, dan 21 node yang digunakan pada setiap pembuatan skema. Setiap node akan ditentukan posisi, kecepatan yang bervariasi, dan fungsinya sesuai kebutuhan dalam simulasi yang dilakukan. Formasi yang digunakan ada 3 macam yaitu random, burung, dan star. Tabel I dan II merupakan parameter yang digunakan di dalam setiap simulasi.



Gbr. 4 Formasi node (a) random (b) burung (c) star

TABEL I  
PARAMETER JARINGAN

Parameter	Nilai
Frekuensi	VHF
Antena	Omni directional
Routing Protokol	AODV
Model Propagasi	Two Ray
MAC	Aloha, CSMA/CA
Sumber Trafik	CBR

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

**A. Skenario Simulasi**

Pengukuran skalabilitas dilakukan dengan membandingkan 3 topologi yang berbeda dan dua protokol MAC yang berbeda. Topologi pertama adalah suatu jaringan terdiri dari 5 node. Topologi ke-2, jaringan terdiri dari 13 node sedangkan topologi ke-3 jaringan terdiri dari 21 node. Simulasi dijalankan mulai dari pembentukan jaringan sampai memulai pengiriman data. Sehingga didapat lamanya waktu pembentukan jaringan dan throughput yang dihasilkan. Kemudian, kedua variabel tersebut digunakan untuk mengetahui tingkat skalabilitas dari protokol MAC tersebut.

**B. Hasil Simulasi dan Pembahasan**

Perhitungan skalabilitas menggunakan persamaan (1) dimana parameter yang digunakan adalah total waktu pembentukan jaringan ( $f_1$ ) dan throughput ( $f_2$ ). Nilai dari kedua parameter tersebut didapatkan dari hasil simulasi yang dapat dilihat pada tabel III dan IV. Parameter yang dibandingkan tidak hanya melalui jenis protokol MAC yang digunakan tetapi berdasarkan formasi jaringannya juga. Dari kedua parameter tersebut, kemudian dihitung rasionya dari selisih nilai parameter dari kedua jumlah node dibagi dengan nilai parameter yang terbesar dari ketiga jumlah node dalam setiap formasi tertentu. Hasil perhitungan rasio ditunjukkan pada tabel V. Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai skalabilitas dengan persamaan (1). Masing-masing parameter dikalikan dengan bobot senilai 0.5 dan kemudian dijumlahkan.

Nilai skalabilitas dari kedua protokol dapat dilihat pada Gbr. 5, Gbr. 6, dan Gbr.7. Gbr. 5 adalah perbandingan skalabilitas pada formasi random yang menunjukkan bahwa protokol MAC CSMA/CA memiliki skalabilitas yang lebih tinggi dari setiap peningkatan jumlah node. Perbedaan nilai skalabilitas sangat terlihat pada saat 5&13 node dan 5&21 node. Selisih nilai skalabilitas pada 5 node dan 13 node adalah 0.201. Pada 5 node dan 21 node, selisih skalabilitasnya sebesar 0.2016. Sedangkan pada 13&21 node perbedaan skalabilitasnya sangat kecil atau hampir sama yaitu 0.2664 dan 0.267. Maka protokol MAC Aloha dan CSMA/CA memiliki kemampuan (skalabilitas) yang sama terhadap bertambahnya jumlah node dan luas topologi area pada formasi random.

TABEL II  
PARAMETER SIMULASI

Kecepatan node	14.44 m/s
Jumlah Node	5, 13, 21 Node
Ukuran Area	
5 node :	500m x 500m
13 node :	1300m x 1300m
21 node :	2100m x 2100m
Formasi	Random, burung, dan star
Waktu Simulasi	150 detik

TABEL IIIII  
TOTAL WAKTU PEMBENTUKAN JARINGAN (DETIK)

Protokol MAC	Formasi Random		
	Jumlah node		
	5	13	21
Aloha	0.7605	0.8484	0.9933
CSMA/CA	0.1517	0.1904	0.309
Protokol MAC	Formasi Burung		
	Jumlah node		
	5	13	21
Aloha	0.6134	0.7505	0.8272
CSMA/CA	0.1498	0.1841	0.2281
Protokol MAC	Formasi Star		
	Jumlah node		
	5	13	21
Aloha	0.7609	0.8269	0.9141
CSMA/CA	0.1517	0.1841	0.2281

TABEL IVV  
THROUGHPUT (KBPS)

Protokol MAC	Formasi Random		
	Jumlah node		
	5 node	13 node	21 node
Aloha	99.5	71.014	32.502
CSMA/CA	239.068	83.293	47.406
Protokol MAC	Formasi Burung		
	Jumlah node		
	5 node	13 node	21 node
Aloha	53.99	40.58	34.62
CSMA/CA	228.85	155.51	116.85
Protokol MAC	Formasi Star		
	Jumlah node		
	5 node	13 node	21 node
Aloha	59.38	52.21	35.11
CSMA/CA	229.11	180.2	65.49

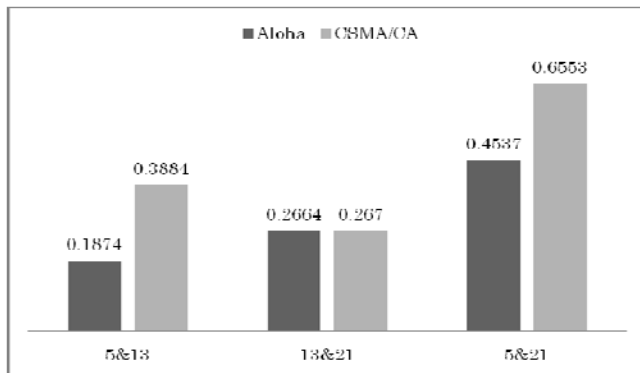
TABEL V  
RASIO SETIAP PARAMETER

Protokol MAC	Formasi Random			Formasi Burung			Formasi Star		
	Jumlah node			Jumlah node			Jumlah node		
	5&13	13&21	5&21	5&13	13&21	5&21	5&13	13&21	5&21
	Total waktu pembentukan jaringan ( $f_1$ )								
Aloha	0.0885	0.1459	0.2342	0.1657	0.0927	0.2585	0.0722	0.0954	0.1676
CSMA/CA	0.1252	0.3838	0.509	0.153	0.1929	0.3433	0.142	0.1929	0.3349
	Throughput ( $f_2$ )								
Aloha	0.2863	0.387	0.6733	0.2484	0.1104	0.3588	0.1207	0.2878	0.4087
CSMA/CA	0.6516	0.1501	0.8017	0.3205	0.1689	0.4894	0.2135	0.5006	0.7141

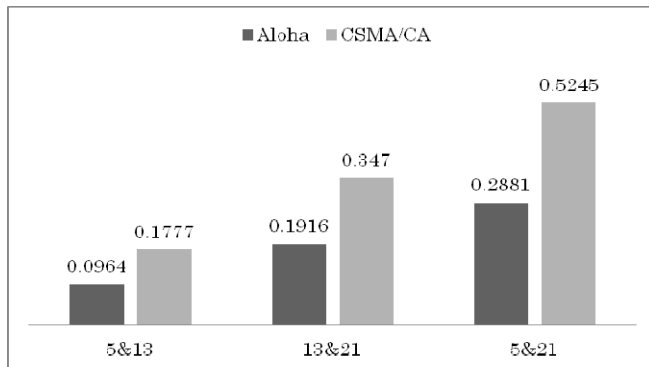
Gbr. 6 adalah grafik yang menunjukkan perbandingan nilai skalabilitas pada formasi burung dengan protokol MAC Aloha dan CSMA/CA. Dari gambar tersebut terlihat bahwa selisih skalabilitas tertinggi terjadi pada 5 node dan 21 node. Gbr. 6 juga menunjukkan nilai skalabilitas yang dicapai protokol MAC CSMA/CA lebih tinggi pada setiap perbandingan jumlah node yang berbeda yaitu 5&13 node, 13&21 node, dan 5&21 node. Perbedaan skalabilitas pada formasi burung terlihat lebih jelas daripada saat formasi yang digunakan adalah formasi random pada setiap perbandingan jumlah node yang digunakan, tidak seperti pada formasi random yang memiliki nilai skalabilitas yang sama antara 13&21 node.

Gbr. 7 adalah perbandingan skalabilitas protokol MAC Aloha dan CSMA/CA pada formasi star. Selisih perbandingan skalabilitas pada 5&13 node tidak terlalu jauh yaitu sekitar 0.03 sehingga kinerja protokol MAC Aloha dan CSMA/CA memiliki kemampuan yang sama ketika jumlah node meningkat dari 5 node menjadi 13 node. Pada formasi ini, protokol MAC CSMA/CA juga memiliki nilai skalabilitas yang lebih tinggi dari protokol MAC Aloha. Pada 13&21 node, selisih skalabilitasnya semakin besar dari 5&13 node yaitu 0.0794 tetapi protokol CSMA/CA tetap memiliki nilai skalabilitas yang tinggi dari protokol MAC Aloha. Sedangkan pada 5&21 node, perbedaan nilai skalabilitas semakin jelas terlihat bahwa protokol CSMA/CA mampu menangani peningkatan jumlah node dan area yang semakin luas.

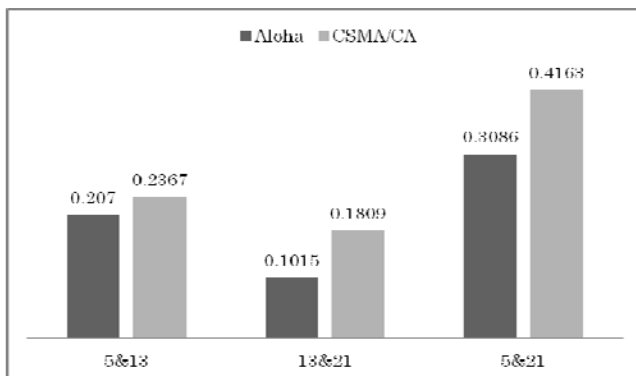
Dari Gbr. 5, Gbr. 6, dan Gbr.7 menunjukkan bahwa protokol MAC CSMA/CA memiliki skalabilitas yang lebih tinggi dari protokol MAC Aloha pada semua formasi. Sehingga kemampuan protokol MAC CSMA/CA lebih baik ketika jumlah node dalam jaringan semakin banyak dan topologi area yang semakin luas



Gbr. 5 Perbandingan Skalabilitas pada Formasi Random



Gbr. 6 Perbandingan Skalabilitas pada Formasi Burung



Gbr. 7 Perbandingan Skalabilitas pada Formasi Star

#### IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan evaluasi skalabilitas protokol MAC Aloha dan CSMA/CA dengan parameter waktu pembentukan jaringan dan throughput berdasarkan jumlah node yang bervariasi, luasan topologi area yang berbeda untuk setiap jumlah node, dan 3 macam topologi node. Dari hasil simulasi dapat diamati bahwa protokol MAC CSMA/CA menghasilkan skalabilitas yang lebih baik dari protokol MAC Aloha baik dari segi perubahan jumlah node, luas topologi area, dan formasi node. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan protokol MAC tertentu dalam jaringan Ad-Hoc dapat mempengaruhi skalabilitas yang dihasilkan sehingga berdampak pada performa jaringan Ad-Hoc.

Semakin tinggi skalabilitas yang dihasilkan maka semakin baik performa yang dihasilkan jaringan tersebut.

Penelitian ini telah menunjukkan perbandingan skalabilitas protokol MAC Aloha dan CSMA/CA. Untuk penelitian selanjutnya akan dilakukan evaluasi skalabilitas dengan protokol MAC yang lain untuk jaringan Ad-Hoc.

#### REFERENSI

- [1] J. R. Cha, K. C. Go, J. H. Kim, dan W. C. Park, "TDMA-based Multi-hop Resource Reservation Protocol for Real-time Application in Tactical Mobile Ad hoc Network", IEEE MILCOM, 2010.
- [2] N. Aschenbruck, E. Gerhards-Padilla, dan P. Martini, "A Survey on Mobility Models for Performance Analysis in Tactical Mobile Networks", Journal of Telecommunication and Information Technology, 2008.
- [3] C. Perkins, ed, "Ad Hoc Networking", Boston: Addison Wesley, 2001
- [4] "Final Report for On Board Switch," BBN Technologies and TRW Tactical Systems, prepared for DARPA and AFRL, 22 January 2000.
- [5] E. L. Althouse, "Extending the Littoral Battlespace Advanced Concept Technology Demonstration," NATO Information Systems Technology Panel Symposium on Tactical Mobile Communications, June 1999.
- [6] E. N. Ciftcioglu, R. Ramanathan, T. F. La Porta, "Technical Report : Scalability Analysis of Tactical Mobility Patterns", BBN Technologies, Cambridge, 02138.
- [7] S. D. Milner, J. E. Wieselthier, R. R. Iyer, K. Chandrashekar, S. Thakkar, dan G. D. Nguyen, "Scalability of Dinamic Wireless Tactical Networks", Military Communications Conference, MILCOM 2001. Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force. IEEE, vol. 2, pp. 865-872, 2001.
- [8] M. E. Rivero-Angeles, D. Lara-Rodriguez, dan F. A. Cruz-Perez, "Optimal Retransmission Probability for S-ALOHA Under the Infinite Population Model", Wireless Communication and Networking Conference, 2007.
- [9] F. Bacellidan, B. Błaszczyszyn, dan P. Muhlethaler, "An Aloha Protocol for Multihop Mobile Wireless Networks", IEEE Transaction on Information Theory, Vol. 52, No. 2, Februari 2006.
- [10] IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirement. Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Std. 802.11-1999, IEEE, New York, 1999.
- [11] T. Ho dan K. Chen, "Performance Analysis of IEEE 802.11 CSMA/CA Medium Access Control Protocol", Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications, PIMRC'96, Seventh IEEE International Symposium, Vol.2, pp.407,411, 1996.
- [12] C. H. Foh, "Performance Analysis and Enhancement of MAC Protocols", Tesis Ph.D., University of Melbourne, Australia, Nopember, 2002.
- [13] L. Georgiadis, "Carrier-Sense Multiple Access (CSMA) Protocols", John Wiley&Sons, Inc., New York, 2003.
- [14] Duboc dan Letia, "A Framework for the Characterization and Analysis of Software System Scalability", ESEC/FSE'07, Cavtat nea Dubrovnik, Croatia, September 3-7, 2007.



