

## Pemodelan dan Verifikasi Formal Pengaruh *Mobility pattern* Terhadap *Handoff Latency* pada Jaringan WiMAX

I Nym Saputra Wahyu Wijaya\*<sup>1</sup>, Reza M.I. Pulungan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi S2 Ilmu Komputer, FMIPA UGM, Yogyakarta

<sup>2</sup>Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta

e-mail: \*[inym.wahyu@gmail.com](mailto:inym.wahyu@gmail.com), [pulungan@ugm.ac.id](mailto:pulungan@ugm.ac.id)

### Abstrak

Untuk mengurangi *handoff latency* dan meningkatkan keberhasilan dari skema HHO konvensional, dilakukan pengembangan skema *handover* pada standard protokol WiMAX IEEE 802.16e dengan menambahkan *mobility pattern*. Keunggulan skema *handover* dengan *mobility pattern* adalah mengurangi *handoff latency* hingga 50%, sedangkan kelemahannya sering terjadi kesalahan dalam penentuan Target base station. Verifikasi formal dilakukan untuk mengetahui kelemahan tersebut.

Skema *handover* dimodelkan dengan *continuous-time Markov chain (CTMC)*. Model difokuskan untuk memperkirakan pengaruh algoritma *mobility pattern* terhadap *handoff latency* dari mekanisme Hard Handover WiMAX. Langkah-langkah untuk membangun model sebagai berikut: Merepresentasikan *state space*, memberikan penomoran pada semua, menggenerasikan *rate transisi matriks (infinitesimal generator)*. Kemudian model yang dibentuk dituangkan pada tool PRISM, untuk dilakukan verifikasi formal.

Probabilistic model checking pada penelitian melakukan pendekatan kuantitatif (*quantitative properties*) dan kualitatif (*qualitative properties*). Verifikasi formal terhadap properti-properti yang berkaitan dengan *handover* pada jaringan WiMAX menunjukkan bahwa 70% dari MS yang melakukan *scanning* dengan *mobility pattern* sukses melakukan *handover*, 24 % diantaranya melakukan *scanning* konvensional akibat kesalahan dalam penentuan TBS sehingga *handoff latency* yang dihasilkan lebih besar jika dibandingkan dengan sistem yang hanya menggunakan metode *scanning* konvensional.

**Kata kunci**— WiMAX, *handover*, *mobility pattern*, CTMC, PRISM, *handoff latency*

### Abstract

In order to decrease *handoff latency* and increase the successful of HHO conventional scheme, a development of *handover* scheme is done in standard protocol WiMAX IEEE 802.16e by adding *mobility pattern*. The superiority of *handover* scheme with *mobility pattern* can reduce *handoff latency* up to 50%, mean while the weakness of this scheme is a wrong act in determining target base station are often happen. Simulation can not showing the cause of that error. So, we do formal verification in to hard *handover* model with *mobility pattern*.

In this research, behaviour system is modeled with *continuous-time Markov chain (CTMC)*. The model is focussed to approximating the influence of *mobility pattern* in to *handoff latency* from WiMAX hard *handover* mechanism. In order to set up a series markov chain models *handover* system can follow steps, such as: represents the *state space*, give a number in all transitions, generate the *rate transition matrix (infinitesimal generator)*.

Probabilistic model checking in the research are using quantitative properties and qualitative properties. Formal verification concerning properties has relation with *handover* in WiMAX network showing that 70% from mobile station which doing *scanning* with *mobility pattern* are success doing *handover*. 24% of them doing *scanning* conventional as a result of wrongness in act determining target base station, so *handoff latency* which is pictured will bigger than a system that is only use conventional *scanning* method.

**Keywords**— WiMAX, *handover*, *mobility pattern*, CTMC, PRISM, *handoff latency*

## 1. PENDAHULUAN

Dalam suatu jaringan yang mendukung mobilitas, aspek penting yang perlu diperhatikan adalah *handover*, yaitu proses perpindahan dari sebuah sel *base station* (BS) ke *base station* lainnya dengan menjamin adanya keberlangsungan komunikasi. Walaupun *handover* bertujuan untuk menjaga keberlangsungan komunikasi, namun mekanisme tersebut menimbulkan *handoff latency* yang dapat mengganggu kualitas layanan. Salah satu teknologi jaringan *wireless* yang mendukung mobilitas adalah WiMAX. Mekanisme *handover* pada standard WiMAX yang mendukung mobilitas, IEEE 802.16m diklasifikasikan menjadi dua tipe, yaitu *hard handover* (HHO) dan *soft handover* (SHO). HHO merupakan mekanisme *default* yang dimiliki oleh protokol IEEE 802.16m, sedangkan SHO merupakan mekanisme opsional dengan biaya dan kompleksitas yang lebih besar [1]. Untuk mengurangi *handoff latency* dan meningkatkan keberhasilan dari skema HHO konvensional pengembangan skema *handover* dilakukan pada standard protokol WiMAX IEEE 802.16e dengan menambahkan *mobility pattern* [2]. Keunggulan skema *handover* dengan *mobility pattern* diperkuat dengan penelitian yang membandingkan lima metode untuk mengurangi *handoff latency* [3]. Penelitian tersebut menyatakan bahwa *mobility pattern* merupakan metode terbaik untuk mengurangi *handoff latency* hingga 50% dibandingkan dengan empat metode lainnya.

*Probabilistic Model Checking* varian dari *model checking* adalah sebuah prosedur otomatis untuk suatu kemunculan jika suatu properti yang diinginkan berada pada sebuah model sistem probabilistic [4]. Penelitian yang menggunakan metode formal untuk melakukan analisis skema *handover* sudah banyak dilakukan. Chowdhury menyatakan, perilaku proses *handover* mengalami perubahan dalam domain waktu yang kontinyu terhadap kemunculan suatu event. Untuk model jaringan dengan perubahan yang terjadi dalam domain kontinyu, analisis performa secara akurat hanya mungkin dilakukan jika sistem dimodelkan dengan CTMC [5]. Penelitian yang dilakukan adalah membuat sebuah algoritma untuk meminimalkan konsumsi energi dan memodelkan skema *handover* tersebut dengan CTMC, namun penelitian tersebut tidak memperhatikan *handoff latency*.

Evaluasi performa dilakukan pada proses *soft handoff* dari jaringan seluler CDMA menggunakan pemodelan proses *birth death* yang merupakan varian dari CTMC [6]. Begitu juga dengan penelitian yang dilakukan yang menunjukkan bahwa proses *birth death* bisa digunakan untuk memodelkan proses HHO dari protokol jaringan *wireless cellular* untuk mengevaluasi performa dengan memperhatikan *blocking probability* dan *dropping probability*[7].

## 2. METODE PENELITIAN

Untuk membangun Model CTMC skema *handover* jaringan mobile WiMAX hal yang harus diperhatikan adalah representasi *state*, penentuan *state* inisial, transisi yang terjadi pada setiap *state* dan probabilitasnya.

### 2.1 Representasi state space

Sesuai dengan deskripsi model, terdapat dua buah model CTMC pada penelitian ini. Model yang dibangun adalah model untuk perilaku *mobile station* dan model untuk perilaku *channel* dari sebuah *target base station*. Masing-masing model memiliki *state space* yang berbeda. *State space* yang dimiliki oleh setiap model tergantung dari proses stokastik yang terjadi, dan untuk proses stokastik melibatkan variabel acak yang mengalami perubahan dalam waktu tertentu.

### 2.1.1 State space model mobile station

*State space* dalam sebuah model CTMC akan saling berhubungan sesuai perubahan yang terjadi dalam setiap waktu. Hubungan tersebut dinyatakan dalam sebuah laju transisi. Laju transisi mewakili perubahan dari kondisi *mobile station* dengan observasi waktu saat ini hingga interval waktu tertentu dengan probabilitas dari pemilihan kondisi selanjutnya. Berikut adalah *state space* dari model CTMC *mobile station*:

1. *State {no scan}*, *state* tersebut merupakan pengkapsulasian dari proses pengumpulan neighbor base station maupun permintaan *handoff*. Setelah *mobile station* melakukan permintaan *handoff* maka *mobile station* akan mengalami perubahan kondisi menjadi kondisi *scanning*. *State* ini diberikan penomoran sebagai *state 0*.
2. *State {scan mobility pattern}*, *state scan mobility pattern* suatu saat dapat tercapai apabila kondisi dari *mobile station* berada pada *state no scan* dan terdapat pola pergerakan yang sukses pada tabel *mobility pattern*. Jika keseluruhan *target base station* yang diseleksi tidak dapat menerima *mobile station*, maka proses yang terjadi selanjutnya adalah menuju kondisi kegagalan *state fail* atau menuju kondisi *scan* konvensional. Sebaliknya jika *target base station* dapat menerima permintaan *handoff* dari *mobile station* maka kondisi selanjutnya akan mencapai *cell switch* dan tabel *mobility pattern* diupdate berdasarkan pola kesuksesan *handover*. *State* ini diberikan penomoran sebagai *state 1*.

*State {scan konvensional}*, metode *scanning* konvensional memiliki proses yang lebih banyak dibandingkan dengan *scanning mobility pattern*. Pemilihan *target base station* kemudian dilakukan pada daftar *neighbor base station* yang ada pada pesan *mobile scanning report*. *Neighbor base station* diurutkan berdasarkan kualitas sinyal yang paling tinggi. Setelah itu dipilih *target base station* dengan kualitas sinyal terbaik. Tahap berikutnya adalah sinkronisasi dari *target base station* yang terdiri dari proses penerimaan informasi *physical layer channel*, *contention resolution*, dan permintaan *ranging*. *State* ini diberikan penomoran sebagai *state 2*.

3. *State {cell switch}*, Pada *state cell switch* ini terdapat beberapa proses yang dilakukan oleh *mobile station* yaitu network entry, mengakhiri konteks *mobile station*, dan konektivitas IP. *State cell switch* berarti *mobile station* sudah dapat menggunakan jaringan pada *target base station* tujuan *handoff*. Sehingga transisi yang terjadi hanya menuju *state no scan*. *State* ini diberikan penomoran sebagai *state 3*.
4. *State {fail}*, *state fail* menunjukkan kegagalan yang terjadi pada proses *handover*. Kondisi ini dapat tercapai dari semua *state* yang terjadi pada perilaku *mobile station*, kecuali *state cell switch*. Pada penelitian ini, ketika proses *handover* mengalami kegagalan, *mobile station* diasumsikan tidak diperhatikan lagi. *state* ini dinyatakan sebagai *absorbing state*, yaitu suatu *state* yang tidak memiliki transisi keluar. *State* ini diberikan penomoran sebagai *state 4*.

### 2.1.2 State space model CTMC dari perilaku channel target base station

Perubahan jumlah dari *channel* pada *target base station* ini diperhatikan berdasarkan laju *birth* atau bertambahnya jumlah *channel* yang digunakan dan laju *death* atau berkurangnya jumlah *channel* yang digunakan. *State space* dari perilaku *channel* ini bersifat diskrit yang terdiri dari  $0, 1, 2, \dots, N$  yang artinya berjumlah  $N + 1$  dari  $N$  buah *channel* yang dimiliki. Transisi yang dimungkinkan hanya menuju *channel*  $n + 1$  maupun  $n - 1$ . Misalnya, jika kondisi *channel* berada *state 10* (jumlah *channel* yang digunakan 10 buah) maka transisi dari *state* ini hanya menuju *state 11* atau *state 9*. Transisi tersebut tidak berlaku pada *state 0* dan *state N*. Untuk *state 0* transisi yang mungkin hanya menuju *state 1*, hal tersebut dikarenakan *state 0* menandakan bahwa tidak ada *channel* yang digunakan oleh *mobile station*. Sedangkan untuk *state N* transisi yang dimungkinkan hanya transisi yang menuju *state N - 1*, karena ketika

keseluruhan *channel* telah digunakan maka *mobile station* yang melakukan *handover* menuju *channel* tersebut akan ditolak.

### 2.1.3 State space model CTMC handover pada jaringan WiMAX

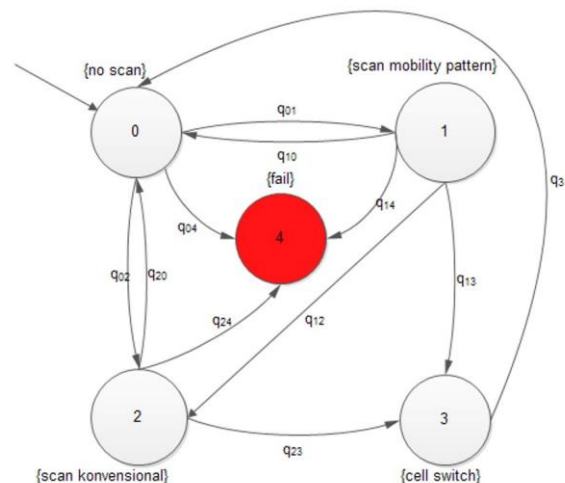
*State space* dari model CTMC skema *handover* merupakan kombinasi dari model CTMC perilaku *mobile station* dan model CTMC dari *channel target base station*. Sebagai contohnya ketika proses *handover* dimulai dalam unit waktu 0 *state* model CTMC skema *handover* berada pada kondisi *mobile station* tidak melakukan *scanning* (*state no scan*) dan *channel* pada *target base station* belum ada yang digunakan (*state 0*). Dalam waktu tertentu akan terjadi transisi dari model CTMC skema *handover*, baik karena perubahan *state* dari *mobile station* atau *channel* pada *target base station*. Perubahan yang dialami *mobile station* maupun *channel* akan mengalami *race condition* (yang lebih cepat melakukan transisi) sesuai dengan laju transisi yang dimiliki setiap *state*.

### 2.2 Transisi state

*State space* dari representasi *state* memiliki keterkaitan satu sama lain. Perubahan kondisi dari sebuah *state* menuju *state* lainnya dihubungkan dengan transisi. Transisi memiliki waktu dan probabilitas yang disebut dengan laju transisi. Waktu yang diperlukan untuk melakukan transisi ditinggalkan pada sebuah *state* sebelum melakukan transisi menuju *state* lain terdistribusi secara eksponensial dan ketika proses meninggalkan *state i* untuk menuju ke *state j* memerlukan probabilitas  $p_{ij}$  [8]. Penentuan probabilitas ( $p_{ij}$ ) untuk produk CTMC perilaku *mobile station* akan mengikuti distribusi multinomial karena setiap pemilihan *state* bergantung kemunculan dari *target base station* hasil seleksi pada tabel *mobility pattern*.

#### 2.2.1 Transisi model CTMC perilaku mobile station

Ilustrasi model CTMC perilaku yang dilakukan oleh *mobile station* dapat diperhatikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Model CTMC perilaku *mobile station*

Dari tiap-tiap *state* yang ditunjukkan akan memiliki transisi yang ditentukan sebagai berikut:

1. *State no scan*, laju transisi dari proses yang akan terjadi setelah berada pada proses *no scan* terdiri dari laju transisi *state* {no scan} menuju *state* {scan mobility pattern} ( $q_{01}$ ), laju transisi *state* {no scan} menuju *state* {scan konvensional} ( $q_{02}$ ), laju transisi *state* {no scan} menuju *state* {fail} ( $q_{04}$ ).

2. *State scan mobility pattern*, laju transisi yang dimiliki oleh *state scan mobility pattern* terdiri dari transisi *state {scan mobility pattern}* menuju *state {scan konvensional}* ( $q_{12}$ ), laju transisi *state {scan mobility pattern}* menuju *state {cell switch}* ( $q_{13}$ ), laju transisi *state {scan mobility pattern}* menuju *state {fail}* ( $q_{14}$ ).
3. *State scan konvensional*, laju transisi yang dimiliki oleh *state scan konvensional* terdiri dari laju transisi *state {scan konvensional}* menuju *state {no scan}* ( $q_{20}$ ), laju transisi *state {scan konvensional}* menuju *state {cell switch}* ( $q_{23}$ ), laju transisi *state {scan konvensional}* menuju *state {fail}* ( $q_{24}$ ).
4. *State cell switch*, laju transisi yang dimiliki oleh *state cell switch* hanya terdiri dari transisi dari *state {cell switch}* menuju *state {no scan}* ( $q_{30}$ )
5. *State fail* tidak memiliki transisi karena merupakan *absorbing state*.

Nilai laju transisi dari model CTMC dari *mobile station* merupakan perkalian dari sojourn time pada *state* tersebut dikalikan dengan probabilitas transisi menuju *state* tujuan. Contoh salah satu penentuan laju transisi model CTMC *mobile station* dari *state* 0 menuju *state* 1:

$$\begin{aligned}
 q_{01} &= v_i \times p_{ij} \\
 &= \lambda_1 \times p_{01} \\
 &= 1/522855 \times 0.75 \\
 &= 1.4344321e - 6
 \end{aligned}$$

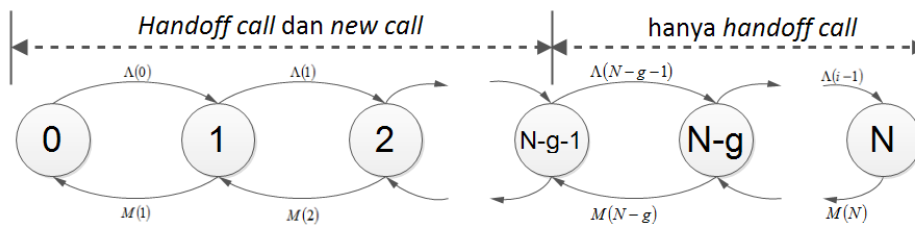
Untuk nilai laju transisi dari model CTMC perilaku *mobile station* diberikan pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1 Laju transisi model CTMC perilaku *mobile station*

No	Transisi	Laju transisi ( $q_{ij}$ )	No	Transisi	Laju transisi ( $q_{ij}$ )
1	{0,1}	1.4344321e-6	11	{2,3}	0.011574419
2	{0,2}	4.0967770e-7	12	{2,4}	0.011213953
3	{0,3}	0	13	{3,0}	0.0333333
4	{0,4}	6.8278968e-8	14	{3,1}	0
5	{1,0}	6.0606061e-4	15	{3,2}	0
6	{1,2}	0.0055091	16	{3,4}	0
7	{1,3}	0.0150818	17	{4,0}	0
8	{1,4}	0.003651	18	{4,1}	0
9	{2,0}	4.6511628e-4	19	{4,2}	0
10	{2,1}	0	20	{4,3}	0

### 2.2.2 Transisi model CTMC channel sebuah target base station

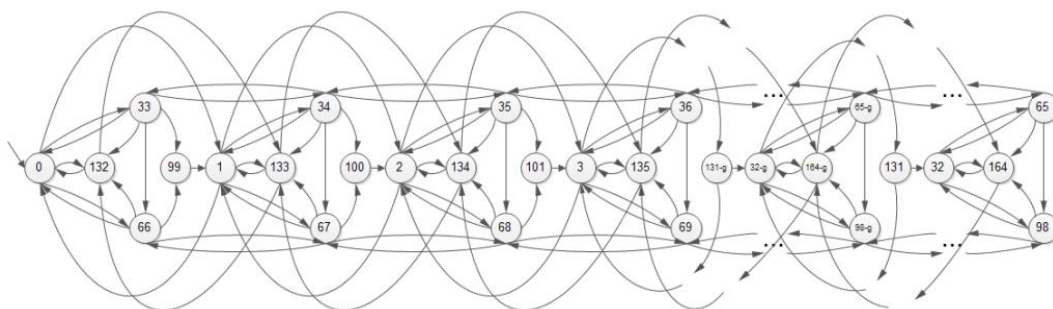
Perubahan kondisi *channel* mengikuti ciri-ciri proses *birth-death* yang merupakan varian dari Continuous-Time Markov Chain (CTMC). Jumlah *channel* yang berubah dalam suatu interval waktu "t" yang sangat kecil hanya dapat bertambah atau berkurang satu. Tidak dimungkinkan dalam sebuah interval waktu t yang singkat *channel* yang digunakan bertambah maupun berkurang dua atau lebih secara bersamaan. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Untuk jumlah *channel* yang tersedia pada *target base station* [9], tentang perilaku perubahan *channel* dalam skema soft *handoff* dari CDMA selular, transisi yang keluar dari suatu *state* n menuju *state* n+1 terdistribusi secara eksponensial [6]. Hal ini didatangkan dari suatu asumsi kedatangan yang bersifat *memoryless property* yaitu jumlah kedatangan yang akan datang hanya akan dipengaruhi oleh keadaan saat ini dan tidak dipengaruhi oleh keadaan sebelumnya.



Gambar 2 Model CTMC channel target base station

Jumlah dari kedatangan tersebut setiap interval waktu akan berubah-ubah, tidak dapat kita ketahui. Untuk kedatangan pada *channel* diasumsikan terdapat dua jenis kedatangan yang berbeda dengan waktu laju kedatangan yang berbeda pula, yaitu kedatangan *handoff* dengan laju  $\lambda_h$  dan kedatangan yang merupakan suatu panggilan baru dengan laju  $\lambda_c$ . Laju kedatangan dari *new call* akan dibatasi sesuai dengan *guard* yang diberikan sesuai dengan prioritas yang ditentukan [10]. Waktu yang dibutuhkan untuk meninggalkan suatu *state* akan terdistribusi secara eksponensial dengan rate  $\mu_n$ .

2.2.3 Transisi model CTMC skema handover pada jaringan WiMAX



Gambar 3 Diagram state transisi model CTMC skema handover pada jaringan WiMAX

Model CTMC dari skema *handover* jaringan WiMAX merupakan kombinasi dari model CTMC perilaku *mobile station* dan model CTMC perilaku *channel* seperti yang telah dipaparkan pada representasi *state space*. Transisi yang terjadi pada model CTMC skema *handover* pada jaringan WiMAX ini juga merupakan kombinasi dari dua buah model tersebut. Dalam model CTMC skema *handover* yang dibangun ini *state* awalnya adalah kombinasi *state no scan* pada model CTMC dengan *state 0* pada model CTMC *channel*. Pada model CTMC dari skema *handover state* inisial ini diberi penomoran sebagai *state 0*. Jika dalam observasi waktu tertentu terjadi perubahan jumlah *channel* dari 0 menjadi 1 maka *state* pada model CTMC *handover* jaringan WiMAX akan bertransisi menuju *state 1*. Ilustrasi dari transisi yang terjadi pada model CTMC skema *handover* pada jaringan WiMAX ditunjukkan pada Gambar 3.

Penamaan untuk setiap *state* pada Gambar 3 adalah nomor diskrit. Penamaan tersebut dilakukan agar model yang dibangun terlihat lebih sederhana. Pada penomoran tersebut terbentuk suatu pola, jika dalam model CTMC skema *handover* jaringan WiMAX yang mengalami perubahan kondisi adalah *mobile station* maka transisi selanjutnya adalah *state n* dari model CTMC *mobile station* dikalikan dengan jumlah total *state* pada model CTMC perilaku *channel*.

2.3 Verifikasi Properti Kualitatif dan Kuantitatif

Verifikasi dari sistem yang menunjukkan probabilitas dapat difokuskan pada properti kualitatif, kuantitatif, atau keduanya [4] Properti kualitatif menunjukkan bahwa suatu kondisi yang baik akan terjadi atau kondisi yang buruk tidak akan pernah terjadi. Verifikasi properti

kualitatif yang dilakukan pada penelitian ini adalah verifikasi mengenai reachability dari setiap perubahan kondisi dari perilaku *mobile station* pada model CTMC skema *handover* jaringan WiMAX. Properti kuantitatif menunjukkan bahwa sistem memiliki probabilitas mencapai kondisi tertentu dalam batas waktu  $T$  yang ditentukan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Properti Kualitatif

Model CTMC skema *handover* harus menjamin tercapainya suatu transisi menuju kondisi *scan mobility pattern*, *scan konvensional cell switch*, dan *fail* yang dialami oleh *mobile station*. Kondisi tersebut harus dicapai dari kondisi *no scan* yang merupakan kondisi awal *mobile station* dalam melakukan *handover*. Untuk itu verifikasi terhadap properti *reachability* tiap-tiap *state* perlu dilakukan. Verifikasi dilakukan dengan mengubah spesifikasi properti *reachability* dalam bentuk CTL menjadi bahasa PRISM.

Berdasarkan verifikasi yang dilakukan, terbukti bahwa model yang dibangun memenuhi properti *reachability* pada keseluruhan kondisi yang dialami oleh *mobile station*. Properti yang terpenuhi tersebut menunjukkan bahwa model yang dibangun dengan produk CTMC dapat berperilaku sesuai perilaku *handover* dengan *mobility pattern* pada jaringan WiMAX dalam penelitian [2]. Hasil verifikasi dari spesifikasi properti tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.

#### 3.2 Properti Kuantitatif

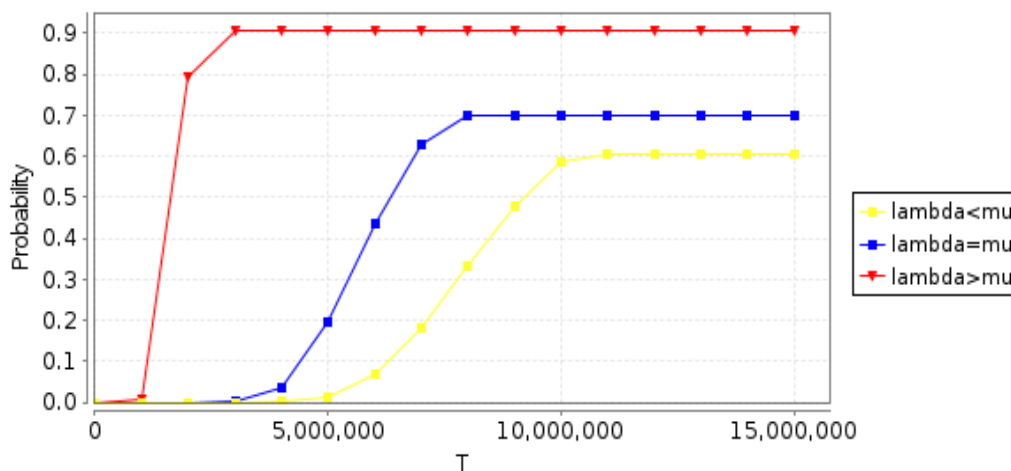
Pendekatan properti kuantitatif yang dilakukan dalam penelitian ini memperhatikan beberapa hal yaitu verifikasi probabilitas blocking terhadap permintaan *handoff* (kapasitas *channel* mencapai batas maksimal), verifikasi probabilitas pemilihan metode *scanning*, dan verifikasi probabilitas keberhasilan metode *scanning*.

##### 3.2.1 Verifikasi probabilitas blocking terhadap permintaan *handoff* (Kapasitas *channel* mencapai batas maksimal)

Dalam verifikasi properti ini yang diperhatikan adalah bagaimana probabilitas *channel* yang digunakan mencapai jumlah maksimal dari *channel* yang tersedia. Kondisi *channel* ini dipengaruhi oleh laju kedatangan dan laju sebuah *mobile station* meninggalkan *target base station*. Laju kedatangan *mobile station* pada *target base station* diuji dengan tiga kondisi. Laju kedatangan yang lebih besar dari laju *mobile station* meninggalkan *target base station*, laju kedatangan yang besarnya sama dengan laju *mobile station* meninggalkan *target base station*, dan laju kedatangan yang lebih kecil dari laju *mobile station* meninggalkan *target base station*.

Probabilitas penggunaan *channel* mencapai batas maksimal diperhatikan berdasarkan jumlah *channel* yang ditentukan pada analisis model yaitu sebesar 32. Pada PRISM untuk mengetahui probabilitas *channel* mencapai kapasitas maksimal dalam setiap interval waktu diverifikasi berdasarkan penerjemahan dari spesifikasi *property* dalam bentuk CSL menjadi bahasa PRISM yaitu " $P = ?[F[T; T]]$ "full". Hasil verifikasi dari spesifikasi properti tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.

Ketiga buah kurva yang diperlihatkan memiliki perbedaan nilai laju kedatangan dan laju meninggalkan *channel target base station*. Dalam keterangan yang tertera pada Gambar 4 penandaan setiap kurva diberikan pelabelan berdasarkan laju kedatangan ( $\lambda$ ) dan laju meninggalkan *target base station* ( $\mu$ ). Sesuai dengan kondisi tersebut, penggunaan *channel* hingga mencapai batas maksimal diobservasi berdasarkan tiga buah kondisi. Kondisi yang pertama adalah dengan penentuan laju kedatangan lebih tinggi dari laju meninggalkan *target base station* ( $\lambda > \mu$ ). Kondisi yang kedua adalah dengan laju kedatangan yang nilainya sama dengan laju meninggalkan *target base station* ( $\lambda = \mu$ ). Kondisi yang terakhir adalah dengan laju kedatangan yang nilainya lebih kecil dari laju meninggalkan *target base station* ( $\lambda < \mu$ ).



Gambar 4 Probabilitas dari sebuah *channel* untuk mencapai kapasitas maksimal

### 3.2.2 Probabilitas pemilihan metode *scanning*

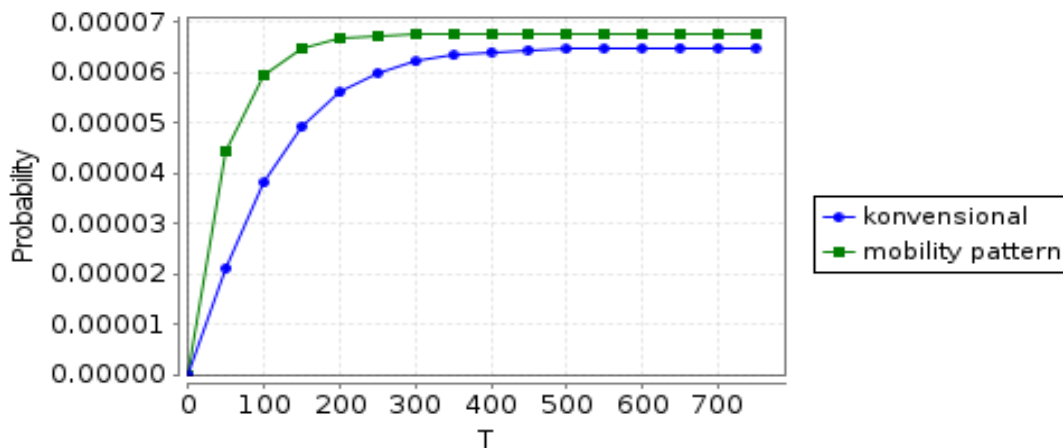
Spesifikasi properti untuk pemilihan metode *scanning* dibagi menjadi dua kasus. Kasus yang pertama adalah spesifikasi properti untuk pemilihan metode *scanning target base station* yang menggunakan *mobility pattern*. Kasus yang kedua adalah spesifikasi properti pemilihan metode *scanning* yang konvensional.

Verifikasi dilakukan terhadap properti " $P=? [F[T,T] \text{ "mob"}]$ " untuk memperhatikan probabilitas terpilihnya *scan mobility pattern*. Properti tersebut memiliki semantik "berapa probabilitas dari pemilihan metode *scanning* yang menggunakan *mobility pattern* dalam interval waktu  $T,T$ ".  $P=?$  memiliki makna "berapa nilai probabilitas". " $F[T,T]$ " eventually/future atau suatu saat dalam interval  $T,T$ . "*mob*" merupakan fungsi pelabelan untuk *state* yang menunjukkan *mobile station* berada dalam kondisi *scan mobility pattern*. Verifikasi dilakukan dalam tiap 50 unit waktu dengan interval 0 sampai dengan 750 unit waktu. Verifikasi spesifikasi properti " $P=? [F[T,T] \text{ "konv"}]$ " dilakukan untuk metode *scanning* konvensional. Perbedaan dengan spesifikasi properti dari pemilihan metode *scanning* yang menggunakan *mobility pattern* hanya terletak pada fungsi pelabelan. Hasil verifikasi dari properti pemilihan metode *scanning* ditunjukkan dengan Gambar 5.

Nilai probabilitas yang ditunjukkan pada Gambar 5 sangat kecil, hal ini terjadi karena transisi yang terjadi ketika model CTMC skema *handover* berada pada *state* yang menunjukkan kondisi *no scan* dari *mobile station* terdapat transisi keluar yang tidak menuju kondisi *scanning*. Misalkan pada *state* 0 transisi keluar dapat menuju ke *state* 1 yang artinya bertambahnya jumlah *channel* yang digunakan. Nilai probabilitas dari pemilihan metode *scanning* yang menggunakan *mobility pattern* meningkat hingga 0.0000675 pada waktu observasi ke-300. Setelah 300 unit waktu nilai probabilitas tidak berubah yang menunjukkan probabilitas *steady state* dari pemilihan metode *scanning* yang menggunakan *mobility pattern*.

Perubahan nilai probabilitas dalam setiap waktunya ditunjukkan dengan kurva yang berwarna biru. Nilai probabilitas dari pemilihan metode *scanning* mengalami peningkatan dalam tiap waktu. Namun setelah 500 unit waktu pengamatan nilai probabilitas properti tersebut tidak mengalami peningkatan yang menunjukkan probabilitas *steady-state*. Nilai probabilitas *steady statenya* adalah 0.0000648.





Gambar 5 Probabilitas pemilihan metode *scanning*

### 3.2.3 Probabilitas keberhasilan dari *scanning*

Untuk mengetahui keberhasilan suatu metode *handover* yang digunakan verifikasi dilakukan untuk mengetahui probabilitas mencapai *state cell switch* untuk mengetahui keberhasilan metode *handover*. Pada percobaan kali ini yang dilakukan adalah membandingkan probabilitas yang ditunjukkan oleh keberhasilan *state scan mobility pattern* maupun *state scan konvensional* untuk mencapai *state cell switch*, *scan konvensional*, maupun *fail*.

#### *Scanning Mobility pattern*

Untuk mengetahui nilai probabilitas keberhasilan tersebut dilakukan verifikasi terhadap spesifikasi properti "berapa probabilitas eventually/future atau suatu saat mencapai kondisi *cell switch* dalam interval waktu T,T". Dalam bahasa PRISM dinyatakan dengan "P=? ["mob" U<sup>T</sup> "switch"]". Selain memperhatikan keberhasilan, verifikasi juga dilakukan untuk perubahan kondisi dari *scan mobility pattern* menjadi *scan konvensional*, gagal atau kondisi *fail*, dan batal melakukan *handover* (transisi menuju *no scan*). Verifikasi yang dilakukan pada perubahan kondisi menjadi *scan konvensional* ditunjukkan dengan spesifikasi properti " P=? ["mob" U<sup>T</sup> "konv"]". Sedangkan spesifikasi properti untuk kondisi *fail* dan *no scan* secara berturut-turut ditunjukkan dengan " P=? ["mob" U<sup>T</sup> "fail"]" dan " P=? ["mob" U<sup>T</sup> "noscan"]".

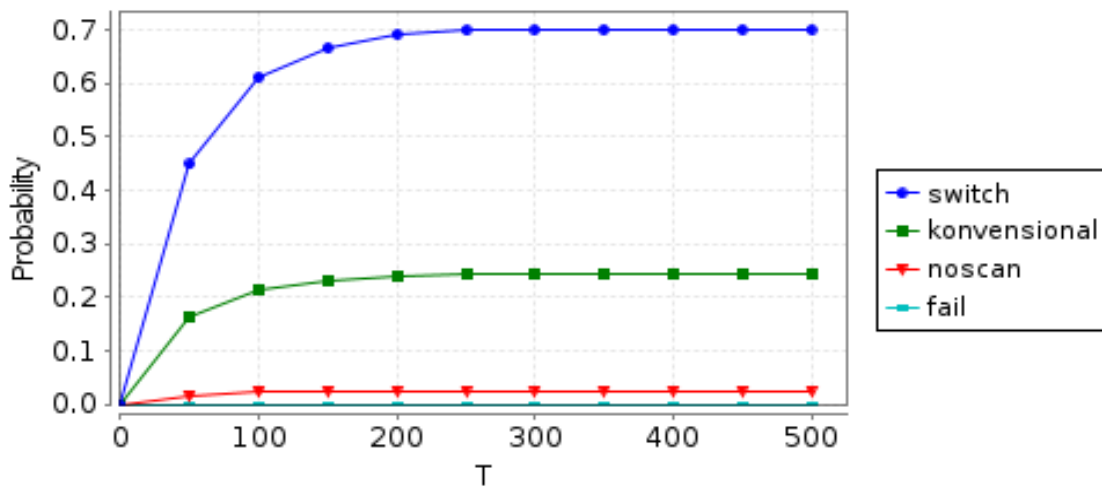
Berdasarkan verifikasi yang dilakukan, terlihat pada Gambar 6 bahwa *state scan mobility pattern* lebih dominan melakukan transisi menuju *state cell switch*. Nilai probabilitas keberhasilan penggunaan metode *mobility pattern* tidak mengalami perubahan setelah 300 unit waktu sebesar 70%. Namun pada grafik tersebut juga terdapat kurva yang menunjukkan kegagalan metode *mobility pattern* untuk melakukan *handover* kemudian memilih metode konvensional dengan distribusi probabilitas yang tidak berubah sebesar 24%.

#### *Metode scanning konvensional*

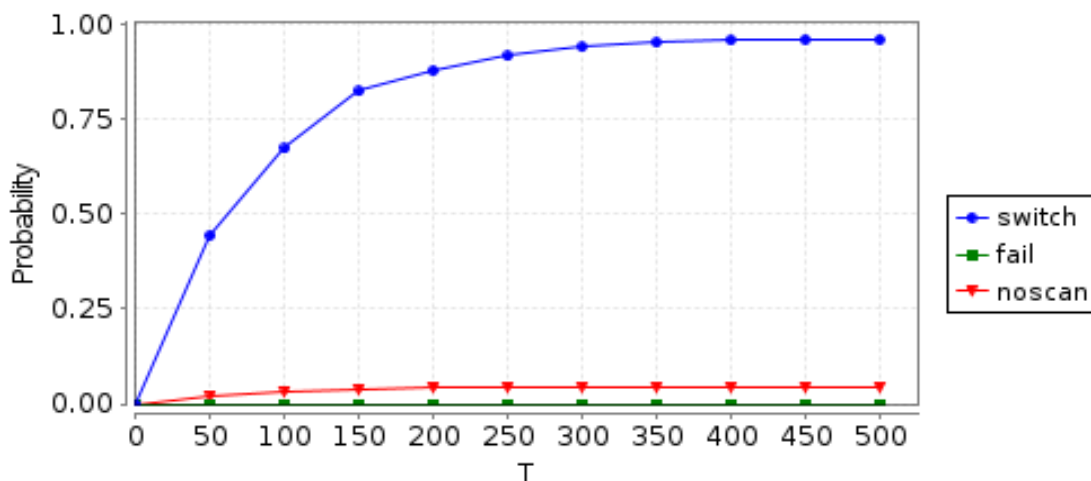
Verifikasi ditujukan untuk mengetahui nilai probabilitas keberhasilan dan kegagalan dari metode *scanning konvensional*. Spesifikasi *property* tiap-tiap kondisi tersebut secara berurutan ditunjukkan dengan " P=? ["konv" U<sup>T</sup> "switch"]". dan " P=? ["konv" U<sup>T</sup> "fail"]". ". Lama waktu observasi yang dilakukan adalah 0,500.

Untuk verifikasi keberhasilan proses *handover* dengan metode *scanning konvensional* ditunjukkan dengan kurva Gambar 7 yang diberi pelabelan "konvensional". Sedangkan untuk kegagalan diberikan pelabelan "*fail*". Verifikasi terhadap properti keberhasilan menghasilkan nilai probabilitas yang terus meingkan hingga mencapai 94%. Hal tersebut menunjukkan peluang kesuksesan melakukan *handover* sangat besar jika metode yang digunakan adalah metode konvensional. Berdasarkan verifikasi yang dilakukan, dapat dilihat bahwa metode

konvensional memiliki hasil yang lebih baik daripada metode *mobility pattern* dalam proses *handover*.



Gambar 6 Probabilitas keberhasilan metode *scanning* yang menggunakan *mobility pattern*



Gambar 7 Probabilitas keberhasilan metode *scanning* konvensional

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan tentang pemodelan dan verifikasi formal pengaruh *mobility pattern* terhadap *handoff latency* pada jaringan WiMAX yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Model *handover* dengan *mobility pattern* dapat dibangun dengan pendekatan Continuous-Time Markov Chain pada tool PRISM sesuai dengan perilaku stokastik yang ditunjukkan oleh sistem dari model yang dibangun pada [2].
2. Verifikasi formal terhadap properti-properti yang berkaitan dengan *handover* pada jaringan WiMAX menunjukkan bahwa 70% dari MS yang melakukan *scanning*

dengan *mobility pattern* sukses melakukan *handover*, 24 % diantaranya melakukan *scanning* konvensional akibat kesalahan dalam penentuan TBS sehingga *handoff latency* yang dihasilkan lebih besar jika dibandingkan dengan sistem yang hanya menggunakan metode *scanning* konvensional.

3. Secara keseluruhan metode *handover* dengan *mobility pattern* dapat mengurangi *handoff latency* pada model jaringan WiMAX.

## 5. SARAN

Dalam penelitian ini dihasilkan data berupa distribusi probabilitas untuk mengetahui pengaruh *mobility pattern* terhadap *handoff latency* pada jaringan WiMAX. Namun penelitian yang dilakukan hanya memperhatikan sebuah TBS sebagai tujuan *handover*. Serta, properti energi efisiensi tidak diperhatikan dalam penelitian ini. Dari uraian tentang kekurangan penelitian ini dan apa yang belum dilakukan dalam penelitian ini, maka untuk penelitian yang akan datang diharapkan :

1. Melakukan penelitian dengan menambahkan jumlah TBS.
2. Menambahkan properti energi efisiensi sehingga penyebab kegagalan *handover* yang bukan merupakan kesalahan sistem jaringan WiMAX dapat diketahui.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmadi S (2011). *Mobile WiMAX A System Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology*, Academic Press.
- [2] Zhang Z, Pazzi R, Boukerche A and Lanfieldt B (2010). Reducing *Handoff Latency* for WiMAX Networks Using *Mobility patterns*, in *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2010 IEEE, IEE, pp. 1–6.
- [3] Khan A N, Anwer W and Munir E U (2013). *Handover Techniques in Mobile WiMAX Networks: Analysis and Comparison*, in *Middle-East Journal of Scientific Research*, Vol. 15, IDOSI Publications, pp. 1599–1605.
- [4] Baier C and Katoen J (2008). *Principles of model checking*, MIT Press.
- [5] Chowdhury P, Kundu A, Misra I S and Sanyal S K (2012). Load Balancing with Reduce Unnecessary *Handoff* in Energy Efficient Macro/Femto-cell Based BWA Network, *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)* 4(3), 105–118.
- [6] Ma X, Cao Y, Liu Y and Triverdi K (2006). Modeling and performance analysis for soft *handoff* schemes in CDMA cellular systems, *Vehicular Technology, IEEE Transactions* 55, 670– 680.
- [7] Kirsal Y and Gemikonakli O (2009). Approaches to Modelling and Analysis for Performability Evaluation of *Handoff Schemes* in Wireless Cellular Networks, Computational Intelligence, *Modelling and Simulation CSim 09* .
- [8] Ross S M (2010). *Introduction to Probability Model 10th Edition*, Aca..

- 
- [9] Trivedi K S, Ma X and Dharmaraja S (2003). Performability Modelling of Wireless Communication Systems, in *International Journal of Communication Systems*, number 16, John Wiley & Sons, Ltd, pp. 561–567.
- [10] Yu Y (2009), *Handover Performance in the Mobile WiMAX Networks*, Master's thesis, University of South Florida.