

ANALISIS MODEL TXOP PADA WLAN 802.11 e/g MENGGUNAKAN CONTINUOUS PHASE-TYPE DISTRIBUTION UNTUK KOMUNIKASI REAL TIME VARIABLE BIT RATE (RT-VBR)

Mardha Al-nazhfi Ali ¹, Dr. Ir. Erna Sri Sugesti, M.Sc ², Sri Suryani Prasetyowati, S.Si., M.Si. ³

¹Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

²Prodi S2 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Prodi S1 Ilmu Komputasi, Fakultas Teknik Informatika, Universitas Telkom

¹nazhfi@gmail.com, ²ernasugesti@telkomuniversity.ac.id, ³srisuryani@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

WLAN adalah suatu jaringan area lokal tanpa kabel yang menggunakan frekuensi radio sebagai media transmisinya untuk menggantikan fungsi kabel, WLAN menggunakan standar IEEE 802.11. Pada penelitian ini dilakukan analisis model *Transmit Opportunity* (TXOP) pada WLAN 802.11 e/g dengan metode *Continuous Phase-Type Distribution* untuk *Real Time Variable Bit Rate* (RT-VBR). Diasumsikan hanya TXOP yang memengaruhi *delay* sedangkan untuk parameter lainnya diabaikan dan setiap user hanya mendapatkan satu TXOP. Analisis dilakukan pada *Hybrid Coordination Function-Controlled Channel Access* (HCCA) dan *Contention Free Period* (CFP) yang merupakan bagian dari *Medium Access Control* (MAC) karena memberikan jaminan *Quality of Service* (QoS). Dengan melakukan analisis pada model TXOP, didapatkan ukuran TXOP metastabil tiap *bit rate* yang dapat menangani komunikasi RT-VBR dengan baik. Terbukti dengan menggunakan TXOP metastabil *delay* yang dihasilkan dari 100 user yang terhubung ke AP tidak melebihi standar yang ditetapkan oleh ITU dengan asumsi *delay* hanya bersal dari HCCA-MAC layer.

Kata kunci: *delay*, WLAN 802.11 e/g, *Continuous Phase-type Distribution*, *real time*, *variable bit rate*, TXOP.

ABSTRACT

WLAN is a wireless local area network which use radio frequency as transmission media, replacing the role of cable. WLAN uses IEEE 802.11 standard. In this research, model of *Transmit Opportunity* (TXOP) in WLAN 802.11 e/g is analyzed using *Continuous Phase-Type Distribution* method for *Real Time Variable Bit Rate* (RT-VBR). It is assumed that only TXOP influence the delay, each user has one TXOP and the other parameter is ignored. Analysis is performed in *Hybrid Coordination Function-Controlled Channel Access* (HCCA) and *Contention Free Period* (CFP) which give the *Quality of Service* (QoS) assurance. Thus, making them part of *Medium Access Control* (MAC). By performing analysis for TXOP model, metastable TXOP for each bit-rate which could handle good RT-VBR communication is acquired. It is proven that metastable TXOP delay resulted from 100 users connected to AP do not exceed ITU standard. Delay is assumed originated only from HCCA-MAC layer.

Keyword: *delay*, WLAN 802.11 e/g, *Continuous Phase-type Distribution*, *real time*, *variable bit rate*, TXOP.

1. Pendahuluan

Wireless Local Area Network (WLAN) adalah suatu sistem komunikasi yang menggunakan frekuensi radio yang tinggi dari 2,4 GHz dan 5 GHz, serta bebas lisensi karena menggunakan spektrum frekuensi pita *Industry, Science, and Medical* (ISM)[8]. WLAN 802.11g merupakan standar yang paling umum digunakan saat ini[1], menawarkan *bandwidth* yang tinggi 54 Mbps *throughput* maksimum pada rentang frekuensi 2,4 GHz tapi memiliki keterbatasan tidak ada jaminan *Quality of Service* (QoS)[1]. Untuk komunikasi RT-VBR dibutuhkan tambahan standar IEEE 802.11e yang memberi jaminan QoS. Pada 802.11e ada istilah TXOP yang terdapat pada CFP, yang merupakan suatu periode dimana QoS-STA (QSTA) memiliki hak untuk mengirim *MAC Service Data Unit* (MSDU) pada suatu interval waktu yang ditentukan berdasarkan durasi [2][10].

Kepuasan pengguna masih terbatas dengan kualitas layanan RT-VBR melalui *access point* WLAN 802.11 e/g. Performa dari masing-masing parameter QoS seperti *Delay*, *Jitter*, *Throughput* dan *Bandwidth* adalah hal-hal yang mempengaruhi kepuasan pelanggan. Ukuran dan jumlah TXOP merupakan salah satu parameter yang sangat mempengaruhi *delay*, agar komunikasi RT-VBR melalui WLAN 802.11 e/g dapat dilakukan dengan *delay* yang tidak melebihi 150 ms diperlukan ukuran TXOP yang sesuai dengan kondisi sistem atau metastabil sehingga.

Untuk meningkatkan kualitas layanan komunikasi RT-VBR pada WLAN 802.11 e/g diperlukan ukuran TXOP metastabil tiap *bit rate* untuk menjaga *delay* maksimal 150 ms pada komunikasi RT-VBR melalui *Access Point* (AP) WLAN 802.11 e/g. Ukuran TXOP metastabil bisa diperoleh jika diketahui karakteristik dari suatu AP, sebagai data awal digunakan bantuan computer untuk *Generate* data.

Data awal di-generate selama seratus putaran dengan asumsi sistem terdapat 100 user pada suatu AP dengan kecepatan yang berbeda-beda berdasarkan jaraknya terhadap AP. Komunikasi RT-VBR menggunakan *bit rate* $6\pm$ Mbps, $12\pm$ Mbps, $24\pm$ Mbps dan $56\pm$ Mbps dengan variasi *bit rate* diasumsikan maksimal $\pm 5\%$ dari *bit rate* yang diperoleh user. Komunikasi terjadi antar user dalam satu cluster AP, *scheduling* yang digunakan *First In First Out* (FIFO) user yang dilayani pertama adalah user yang masuk duluan dengan antrian *Round Robin* (RR) user yang telah mengirimkan TXOP masuk ke antrian lagi jika masih ada *packet* yang mau dikirimkan. Setiap user mendapatkan satu TXOP yang hanya berisi satu *packet* dan user yang keluar digantikan dengan user yang baru sehingga setiap satu *superframe* selalu terdapat 100 user.

Data awal merupakan data acak diperlukan suatu metode untuk khusus menganalisis data tersebut. *Markov Chain* merupakan salah satu metode untuk menganalisis data *random*/acak. Berdasarkan ciri-ciri *bit rate* yang berubah-ubah maka digunakan metode *Continuous Phase-type Distribution* (CPHD) yang memiliki sifat markovian, untuk menemukan kestasioneran sistem dan komposisi *bit rate* yang sering muncul untuk dijadikan acuan penentuan TXOP metastabil (TXOP_i). Analisis dilakukan pada bagian *Contention Free Period* (CFP) dan protokol HCCA-TXOP, *Delay* dianggap cuma berasal dari CFP-HCCA yang merupakan bagian dari MAC layer, tidak ada user yang ber-phase sama berdekatan agar sesuai dengan teori CPHD.

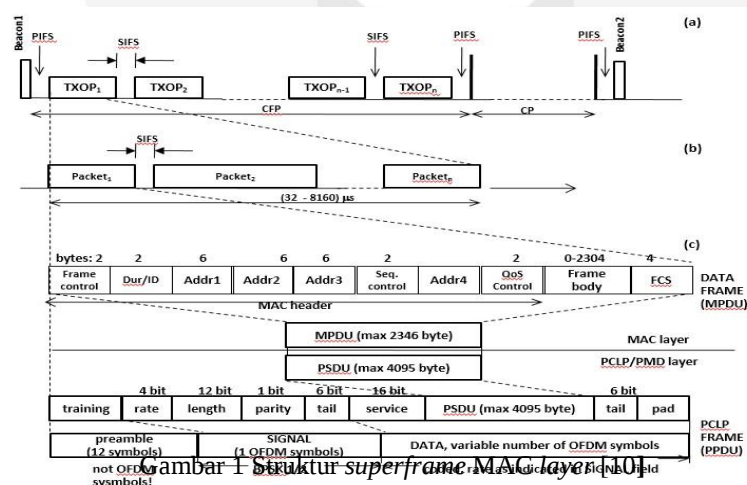
2. DASAR TEORI

2.1 Wireless Local Area Network

Wireless Local Area Network (WLAN) merupakan suatu jaringan area lokal tanpa kabel dimana media transmisinya menggunakan frekuensi radio yang menggantikan fungsi kabel, bekerja pada lapis fisik dan lapis *Medium Acces Control* (MAC) [6]. WLAN adalah standar yang dihasilkan oleh IEEE (802.11), versi dasarnya diperkenalkan pertama sekali pada tahun 1997 yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz. Dengan berkembangnya teknologi sekarang terdapat beberapa standar keluarga besar dari IEEE 802.X, yaitu 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n dan masih terus dikembangkan sampai saat ini. Perbedaan yang mendasar antar standar tersebut mencakup pita frekuensi radio yang digunakan, teknologi modulasi dan kecepatan transfer yang dihasilkan [2] [7].

Dasar 802.11 seperti a, b, g dan n bekerja pada protokol pada layer MAC (*data link*) memiliki keterbatasan seperti tidak ada jaminan *Quality of Service* (QoS) [1]. Ketika banyak perangkat yang mencoba berkomunikasi pada saat yang sama akan menyebabkan tumbukan yang akan menurunkan *bandwidth*. Tahun 2005 IEEE mengeluarkan mengeluarkan 802.11e yang memberi jaminan QoS dan bekerja pada Protokol HCF *Controlled Channel Access* (HCCA) dan dimaksudkan untuk meningkatkan kualitas layanan pada tingkat *data link layer*. [6]. IEEE 802.11e adalah amandemen dari 802.11 yang khusus membahas tentang perbaikan QoS pada 802.11 dengan menambahkan fungsi koordinasi baru dinamakan *Hybrid Coordination Function* (HCF) pada MAC layer. HCF menyediakan mekanisme akses baik secara terpusat yaitu *HCF Controlled Channel Access* (HCCA) maupun secara terdistribusi yaitu *Enhanced Distributed Channel Access* (EDCA) [7].

2.2 Protokol HCCA



Gambar 1 menunjukkan struktur dari sebuah Superframe HCCA setelah beacon ada PCF Interframe Space (PIFS) yang nilainya tergantung pada standar IEEE 802.11x yang mengontrol lapisan fisik. Bagian dari superframe terbagi menjadi 2 yaitu *Contention Free Period* (CFP) untuk layanan *realtime* dan *Contention Period* (CP) yang bukan layanan *realtime* [5].

HCCA adalah sebuah protokol MAC selain DCF, PCF dan EDCA yang terdapat pada layer *data link*. Karena keterbatasan dari DCF dan PCF, maka 802.11e mengkombinasikan keduanya untuk saling melengkapi. Protokol ini bekerja menjamin QoS dan secara umum HCCA dianggap yang paling maju dalam fungsi koordinasi. QoS dapat dikonfigurasi dengan tepat dan memiliki kemampuan meminta parameter tertentu seperti (*data rate, delay, jitter, dll*) yang memungkinkan aplikasi canggih seperti VoIP dan *video streaming* dapat bekerja lebih efektif pada jaringan WLAN.

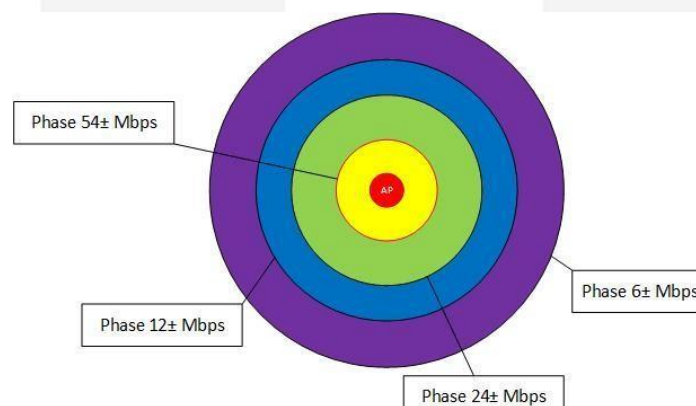
Pada 802.11e ada istilah TXOP yang terdapat pada CFP, yang merupakan suatu periode yang mana QoS-STA (QSTA) memiliki hak untuk mengirim MSDU pada suatu interval waktu dan ditentukan oleh waktu mulai dan durasi[2]. Diantara TXOP terdapat SIFS yang merupakan interval waktu antara data *frame* dan ACK. Paket-paket yang berisi *payload*/informasi dikumpulkan menjadi satu TXOP, dengan setiap paketnya berisi 32-8160 byte. Setelah TXOP terakhir mengirimkan paketnya ditandai dengan adanya PIFS sebelum pengiriman *beacon* selanjutnya. Secara matematis perhitungan *delay* satu *superframe* dengan asumsi satu *user* satu TXOP dihitung menggunakan rumus [9].

$$T_{SF} = \left(\sum_{i=1}^N \frac{L_p(i)}{R} \right) \cdot 1000 + ((N-1) \cdot \frac{L_p}{R} + \frac{L_p}{R}) \cdot 1000 \quad (1)$$

T_{SF} adalah *delay* total dari satu *superframe* dengan satuan *millisecond* (ms), N adalah jumlah *user* yang terdapat dalam satu *superframe*. L_p adalah panjang *packet* dengan satuan *bit* dan yang terakhir R adalah *bit rate* dengan satuan *bits per second* (bps).

2.3 Real Time Variable Bit Rate

Komunikasi *real time* merupakan komunikasi yang informasinya harus sampai dari pengirim ke penerima saat itu juga tanpa ada penundaan/*delay* yang terlalu lama. Maka RT-VBR dapat diartikan sebagai layanan yang mengangkut data dengan *bit rate* yang bervariasi dari stasiun sumber ke stasiun tujuan tanpa ada penundaan yang terlalu lama. *Bit rate* yang diperoleh oleh *user* sangat ditentukan oleh jarak *user* tersebut terhadap AP, semakin jauh dari AP maka semakin kecil *bit rate* yang didapatkan *user* [4]. Untuk membedakan *user* digunakan empat kelas *bit rate* yang dibedakan berdasarkan jaraknya terhadap AP.



Gambar 2 Pembagian kelas *bit rate* berdasarkan jarak

Gambar 2 menunjukkan ada empat kelas/*phase bit rate*, yang paling dekat terhadap AP kan mendapatkan *bit rate* 54± Mbps sedangkan yang paling jauh mendapatkan *bit rate* 6± Mbps. Posisi dari setiap *user* dianggap *random*/acak sehingga tidak diketahui jumlah *user* yang mendapatkan *bit rate* tertentu. Tanda plus minus (±) yang ada *bit rate* menandakan kecepatan yang didapat oleh *user* tersebut dapat lebih atau kurang dari *bit rate* yang diperoleh.

Setiap putaran *bit rate* yang diperoleh *user* bervariasi/bergetar namun tetap dalam *phase* yang sama. Yang dimaksud *phase* yang sama adalah ketika *user* sudah mendapatkan *bit rate* 6± Mbps untuk putaran selanjutnya *bit rate* *user* tersebut tetap 6± Mbps sampai keluar dari AP. Variasi dari *bit rate* disebabkan oleh banyak faktor seperti: *high path loss, noise, kualitas alat, interferensi, halangan antara AP-user, cuaca* dan faktor lingkungan lainnya [4].

2.4 Continuous Phase-type Distribution

Phase-type distribution merupakan salah satu cabang ilmu *markov chain* yang biasa digunakan untuk pemodelan data *random* dan dianggap bagian dari distribusi eksponensial karena banyaknya model stokastik menjadi mudah dikerjakan jika distribusinya diasumsikan sebagai eksponensial [3]. Berdasarkan transisinya *continuous time markov chain* terbagi dua yaitu biasa (*cyclic*) dan *acyclic*. Sebuah kasus dikatakan *cyclic* ketika

perpindahan *state*-nya bisa ke *state* mana saja 1-2-4-3...*n-absorbing* kecuali ke dirinya sendiri ($i \neq j$) sedangkan untuk *acyclic* memiliki syarat 1-2-3-4-5 ($i < j$ atau $i \neq j$). Pada *markov chain state* ada dua jenis *state* yaitu *transient state* atau disebut *phase* dan *absorbing state*, *state* terakhir disebut sebagai *absorbing state* [4].

$$Q = \left[\begin{array}{c|c} \overbrace{\mathbf{D}_0}^n & \overbrace{\mathbf{d}_1}^1 \\ \hline \mathbf{0} & 0 \end{array} \right] \begin{array}{l} \left. \vphantom{\begin{array}{c|c} \mathbf{D}_0 & \mathbf{d}_1 \end{array}} \right\} n \\ \left. \vphantom{\begin{array}{c|c} \mathbf{0} & 0 \end{array}} \right\} 1 \end{array} \quad (2)$$

Matriks Q disebut matriks infinitesimal *generator* matriks yang terdiri dari $n \times n$ submatriks $\mathbf{D}_0$ yang mendeskripsikan intensitas atau peluang transisi antar *transient states*. $n \times 1$ vektor $\mathbf{d}_1$ mendeskripsikan intensitas transisi dari *state transient* ke *absorbing state*. Baris vektor 0 sepenuhnya mengandung nilai nol (0) jika transisi dari *absorbing state* ke *transient states* tidak pernah terjadi, elemen matriks terakhir dari matriks Q adalah 0 yang mendeskripsikan intensitas dari keluar dari *absorbing state*. Nilai diagonal dari matriks $\mathbf{D}_0$ aselalu minus ($-\mathbf{D}_0(i,i)$), nilainya ditentukan berdasarkan rumus di bawah ini [11].

$$\mathbf{D}_0(i,i) = - \left(\sum_{i \neq j} \mathbf{D}_0(i,j) + \mathbf{d}_1(i) \right) \quad (3)$$

Dalam analisis *continuous phase type* digunakan *Probability Density Function* (PDF) dan *Cumulative Distribution Function* (CDF). CDF adalah hasil penjumlahan dari PDF digunakan untuk menemukan kestabilan sistem, ketika nilai CDF 1 (satu) dan tidak berubah untuk waktu selanjutnya maka saat itulah sistem dikatakan stabil, rumus dari CDF ditunjukkan pada persamaan (4). PDF adalah nilai yang menunjukkan kemungkinan munculnya nilai dalam suatu *range* kejadian digunakan untuk menemukan kombinasi *state* yang sering muncul sampai waktu x , rumus dari PDF ditunjukkan pada persamaan (5) [11].

$$F(x) = 1 - \alpha e^{Qx} \geq 0 \quad (4)$$

$$f(x) = \alpha e^{Qx} \geq 0 \quad (5)$$

dimana:

α = vektor inisial $1 \times n$

Q = eksponensial matriks

e = vektor baris yang semuanya 1 ($e \times 1$)

x = waktu atau putaran

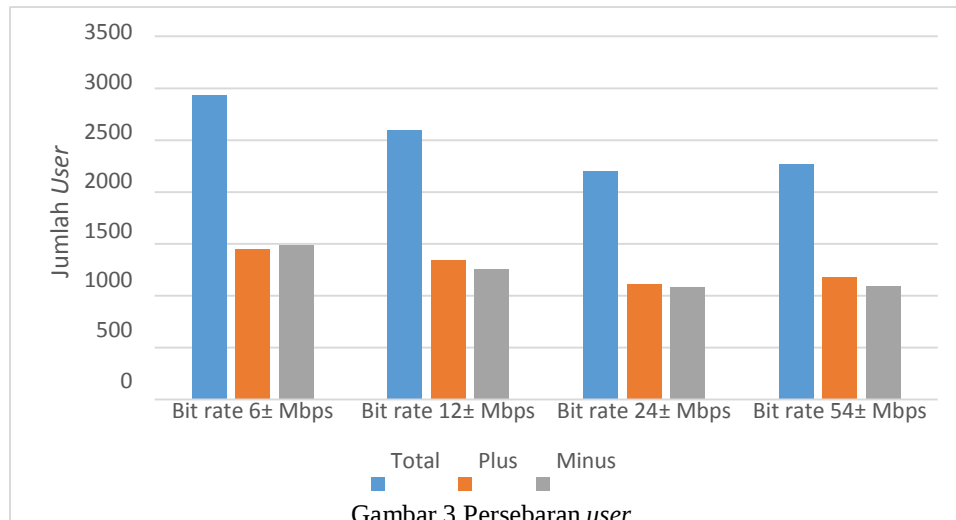
3. PEMBAHASAN

Proses pengerjaan dalam penelitian, secara garis besar terbagi menjadi tiga tahapan. Pertama adalah *generate data* dilakukan dengan bantuan komputer, dalam *generate data* diperlukan asumsi beberapa parameter acak untuk membatasi ruang lingkup penelitian. Pada *generate data* dihasilkan Parameter yang mempengaruhi *delay* seperti: jumlah *user*, *bit rate*, ukuran *payload*, variasi *bit rate*, jumlah paket pada TXOP dan jumlah TXOP itu sendiri. Parameter selain parameter di atas dianggap sebagai parameter berada pada kondisi ideal atau tidak mempengaruhi *delay*.

Kedua adalah tahap proses *markov*, pengolahan data hasil *generate* menggunakan metode *continuous phase-type distribution*. Hasil dari tahap kedua berupa nilai *Cumulative Distribution Function* (CDF) yang menunjukkan kesetabilan sistem dicapai pada putaran beberapa, dari putaran pertama sampai sistem mencapai kesetabilan diselidiki kombinasi atau komposisi *phase* yang sering muncul dengan menggunakan *Probability Distribution Function* (PDF). Jika sistem tidak stabil maka dianalisis penyebab-penyebab sistem menjadi tidak stabil.

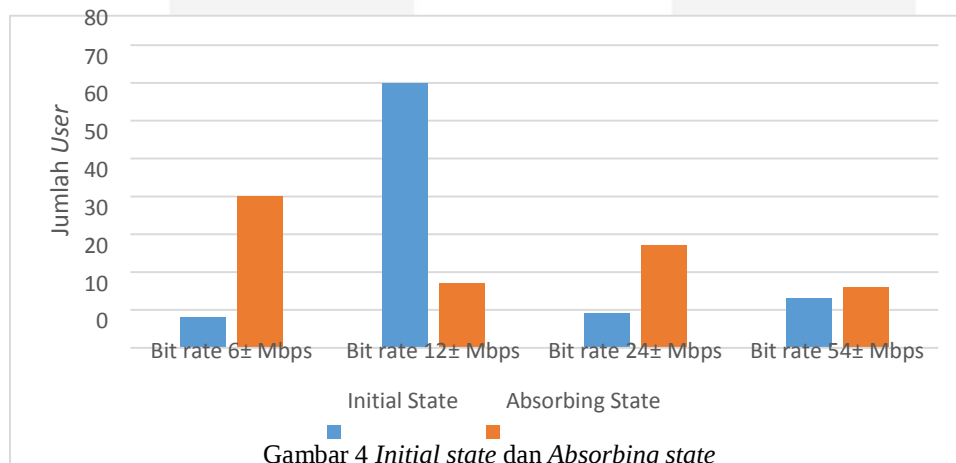
Dengan menggunakan hasil dari PDF pada tahap ketiga dicari ukuran dan TXOP metastabil tiap *bit rate*, selanjutnya TXOP metastabil yang diperoleh diuji terlebih dahulu untuk membuktikan dengan menggunakan ukuran TXOP metastabil *delay* yang dihasilkan tidak melebihi standar ITU yaitu 150 ms.

3.1 Hasil Generate Data



Gambar 3 Persebaran user

Gambar 3 menunjukkan total user tiap *bit rate*, diketahui *bit rate* 6± Mbps mempunyai jumlah *user* yang paling banyak yaitu 2935 *user* dan yang paling sedikit jumlah *user*-nya adalah *bit rate* 24± Mbps sebanyak 2202 *user*, tidak ada perbedaan yang terlalu signifikan. Grafik *plus* dan *minus* menunjukkan setiap *user* pada sistem yang di *generate* memiliki *bit rate* yang tidak tetap setiap putarannya atau menunjukkan bahwa sistem adalah komunikasi RT-VBR. Jumlah *user* merupakan hasil *generate* data, seperti yang telah dijelaskan pada subbab 3.2 tidak ada faktor-faktor yang menentukan atau mempengaruhi persebaran *user*, semuanya *random*/acak yang dihasilkan dari proses *generate* data.



Gambar 4 Initial state dan Absorbing state

Salah satu *user* dengan *bit rate* tertentu ada yang menjadi *initial state* atau *user pertama* dan ada *user* yang menjadi *state absorbing* atau *user terakhir*. Gambar 4 menunjukkan jumlah tiap *bit rate* yang menjadi *initial state* dan *absorbing state*. *Initial state* *bit rate* 12± Mbps terlihat sangat besar berbeda dari *bit rate* lainnya hal ini disebabkan *user* dengan *bit rate* 12± Mbps sering menjadi *user pertama* selama 100 putaran yang di-*generate*. Sedangkan untuk *absorbing state* tidak terlihat nilai yang terlalu mencolok dan memiliki intensitas yang hampir sama.

3.2 Matriks Generator dan Diagram Transisi

Komponen matriks *generator* terdiri atas $n \times n$ submatriks $\mathbf{D}_0$ yang mendeskripsikan intensitas atau peluang transisi antar *transient states*. $n \times 1$ vektor $\mathbf{d}_1$ mendeskripsikan intensitas transisi dari *transient states* ke *absorbing state*. Baris vektor 0 sepenuhnya mengandung nilai nol (0) jika transisi dari *absorbing state* ke

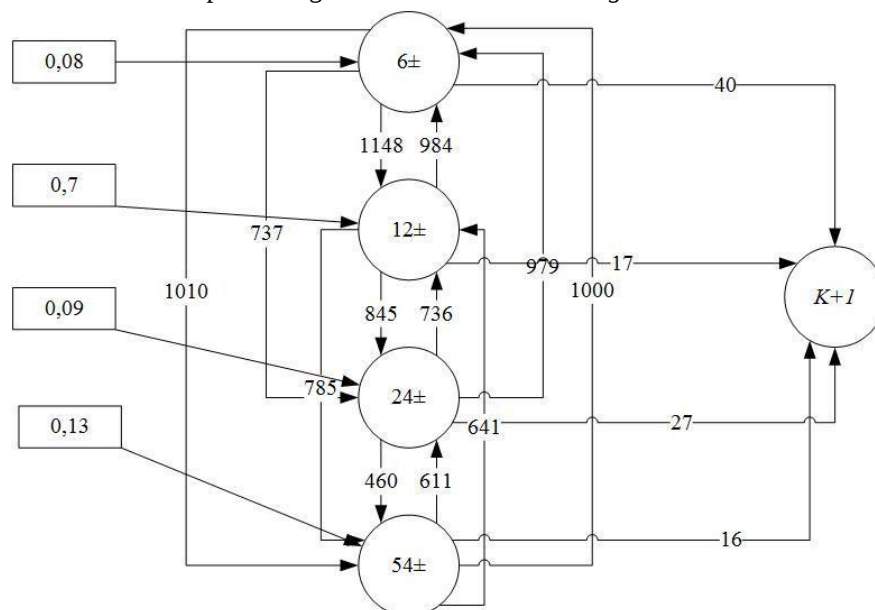
transient states tidak pernah terjadi, elemen matriks terakhir dari matriks Q adalah 0 yang mendiskripsikan peluang keluar dari *absorbing state*[11].

Gambar 5 menunjukkan matriks *generator* yang lengkap dengan komponen D_0 , d_1 , 0 dan 0 . Matriks *generator* menggambarkan semua proses transisi antar *transient states* dan antar *transient states* ke *absorbing state*. Nilai $D_0(i,i)$ didapatkan menggunakan persamaan (3).

$$Q = \begin{array}{c|c} \begin{array}{c} D_0 \\ \hline 0 \end{array} & \begin{array}{c} d_1 \\ \hline 0 \end{array} \\ \hline \begin{array}{cccc} -2935 & 1148 & 737 & 1010 \\ 984 & -2595 & 845 & 785 \\ 979 & 736 & -2202 & 460 \\ 1000 & 641 & 611 & -2268 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} & \begin{array}{c} 40 \\ 17 \\ 27 \\ 16 \\ 0 \end{array} \end{array}$$

Gambar 5 Matriks *generator*

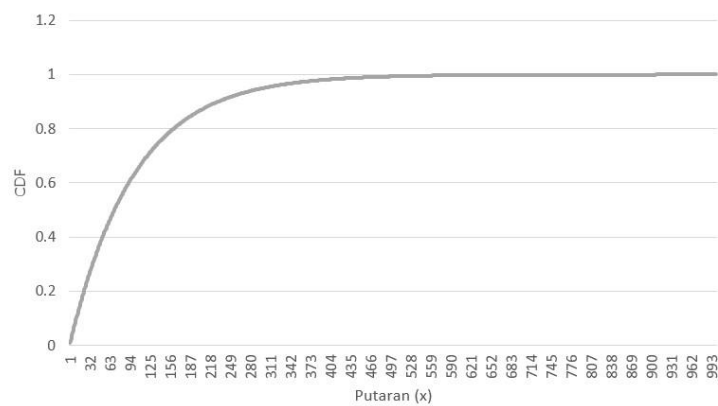
Menggunakan Gambar 5 dapat dibuat diagram transisi dari sistem yang telah dibuat. Diagram transisi digunakan untuk mempermudah analisis karena menggambarkan ringkasan semua transisi yang terjadi pada sistem dan terdapat beberapa metode analisis yang memerlukan diagram transisi sebagai acuannya dalam pemodelan stokastik. Gambar 6 merupakan diagram transisi dari data hasil *generate*.



Gambar 6 Diagram transisi

3.3 Kestabilan Sistem

CDF merupakan fungsi yang menunjukkan bahwa suatu sistem bisa memiliki kestabilan pada suatu titik tertentu. Selain menggunakan CDF, untuk mendapatkan kestabilan dari suatu sistem stokastik adalah dengan distribusi kestasioneran. Namun karena kondisi kestabilan pemodelan pada penelitian ini hanya dapat dicapai dalam periode yang lama, maka digunakan metode CDF. Metode distribusi kestasioneran tidak dapat diaplikasikan karena distribusi kestasioneran hanya cocok digunakan bila suatu pemodelan stokastik mencapai titik stasioner dalam periode yang relatif sebentar. Metode CDF dapat diaplikasikan baik saat menggunakan *Discrete Phase-type* (DPH) atau *Continuous Phase-type* (CDF) namun dengan notasi persamaan yang berbeda.



Gambar 7 Grafik CDF

Dari bentuk grafik yang ditunjukkan Gambar 7 terbukti bahwa *continuous phase-type distribution* merupakan bagian dari distribusi eksponensial. Dari putaran pertama nilainya terus meningkat secara eksponensial sampai mencapai nilai 1 dan tidak berubah untuk putaran selanjutnya. Terbukti juga bahwa tidak dapat digunakan distribusi kestasioner karena pada gambar tersebut memperlihatkan kesetabilan sistem ini dicapai pada putaran ke 989 dimana untuk putaran selanjutnya nilai CDF konstan 1, nilai kestabilan dari suatu pemodelan dapat menunjukkan bahwa model tersebut tidak murni acak.

3.4 Komposisi yang sering muncul

Nilai PDF terbesar yang memungkinkan dijadikan acuan adalah kombinasi $[0,1 \ 0,5 \ 0,1 \ 0,3]$ memiliki nilai PDF sebesar 0,0012860626% artinya kombinasi tersebut memiliki kemungkinan muncul yang lebih sering dibandingkan kombinasi lain pada sistem ini. $[0,1 \ 0,5 \ 0,1 \ 0,3]$ menggambarkan komposisi yang sering muncul adalah 10% user dengan *phase* 1, 50% user dengan *phase* 2, 10% user dengan *phase* 3 dan 30% user dengan *phase* 4.

Berbeda dengan *phase* lainnya *phase* 2 memiliki nilai peluang kemunculan yang sangat besar, artinya selama sistem berjalan banyak user yang mendapatkan *phase* 2 atau berada pada jangkauan *bit rate* $12\pm$ Mbps dan mendominasi sistem. Nilai PDF ini untuk tahap selanjutnya dijadikan dasar untuk menentukan TXOP metastabil tiap *phase*-nya (TXOP_i) untuk satu *superframe*.

3.5 TXOP metastabil

Diketahui bahwa kombinasi yang sering muncul dalam Sistem adalah $[0,1 \ 0,5 \ 0,1 \ 0,3]$, dengan komposisi yang sering muncul tersebut diperoleh ukuran TXOP metastabil dalam bentuk minimum, maksimum dan rata-rata. Seperti yang ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1 Ringkasan ukuran TXOP metastabil

	Durasi TXOP (ms)			
	6± Mbps	12± Mbps	24± Mbps	54± Mbps
Rata-rata	0,6476	3,2382	0,6476	1,9429
Maksimum	1,2	6	1,2	3,6
Minimum	0,24	1,2	0,24	0,72

Ukuran TXOP metastabil *bit rate* $12\pm$ Mbps bernilai maksimum ketika user dengan *bit rate* $12\pm$ Mbps hanya ada 10 user. Ukuran TXOP yang besar menyebabkan user bisa mengirimkan data lebih besar jika diasumsikan satu TXOP bisa diisi oleh beberapa *Packet*.

3.6 Pengujian TXOP metastabil

Untuk membuktikan TXOP metastabil dapat menjaga delay maksimal 150 ms untuk komunikasi RT-VBR melalui WLAN 802.11e diperlukan pengujian terlebih dahulu. Misalkan untuk 2 putaran atau 2 *superframe* terdapat user yang terhubung ke AP dengan komposisi *bit rate* $6\pm$ Mbps 10 user, *bit rate* $12\pm$ Mbps 40 user, *bit rate* $24\pm$ Mbps 30 user dan *bit rate* $54\pm$ Mbps 20 user. Ukuran TXOP metastabil nya adalah 1,2 ms untuk user dengan *bit rate* $6\pm$ Mbps, 2,1 ms untuk user dengan *bit rate* $12\pm$ Mbps, 0,4 ms untuk user dengan *bit rate* $24\pm$ Mbps dan 0,6 ms untuk user dengan *bit rate* $54\pm$ Mbps.

Delay superframe 1 dan 2 yang dihasilkan berkisar diantara 117 -120 ms tidak melebihi standar yang ditetapkan oleh ITU untuk komunikasi *real time*. Berdasarkan hasil yang diperoleh, terbukti bahwa jika sistem menggunakan TXOP metastabil komunikasi RT-VBR melalui WLAN 802.11 e/g bisa dilakukan dengan *delay*

yang tidak melebihi 150 ms, dengan asumsi sistem yang selalu memiliki 100 *user* terhubung ke AP untuk tiap putarannya dan *delay* hanya berasal dari HCCA sedangkan dari parameter lain diabaikan.

4 Kesimpulan

Dari pengujian dan analisis yang dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. *Range* ukuran TXOP metastabil untuk tiap *phase* adalah 0,24-1,2 ms untuk *bit rate* 6± Mbps, 1,2-6 ms untuk *bit rate* 12± Mbps, 0,24-1,2 ms untuk *bit rate* 24± Mbps dan untuk *bit rate* 54± Mbps adalah 0,72-3,6 ms.
2. Menggunakan TXOP metastabil komunikasi RT-VBR melalui *access point* WLAN 802.11 e/g bisa dilakukan tanpa ada *delay* yang melebihi 150 ms untuk sistem yang memiliki 100 *user* untuk setiap putarannya dengan *bit rate mandatory* dan *delay* yang hanya berasal dari HCCA-MAC layer.
3. Kombinasi *user* yang digunakan sebagai acuan adalah 10% *user* dengan *bit rate* 6± Mbps, 50% *user* dengan *bit rate* 12± Mbps, 10% *user* dengan *bit rate* 24± Mbps, dan 30% *user* dengan *bit rate* 54±.
4. Kestabilan sistem dicapai pada putaran ke 989 (*superframe* ke 989) ketika nilai CDF menjadi 1 dan tidak berubah untuk putaran selanjutnya (x_{n+1}), yang menandakan bahwa sistem tidak murni acak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. D. Gultom, Analisa Perbandingan Standar IEEE 802.11x, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2009.
- [2] A. Virgono, B. Sumadjudin, A. Rosy, P. Hutomo, Analisa Pengaruh Besar Area Hotspot dan Interferensi pada WLAN 802.11b, Departemen Teknologi Elektro, Institut teknologi Telkom, 2009.
- [3] C. A. O'cinneide, Phase-type Distribution Open Problems and a Few Properties, School of Industrial Engineering Purdue University, 1997.
- [4] D. Gao, J. Cai, K.N. Ngan Admission Control in IEEE 802.11e Wireless LANs, School of Computer Engineering, Nanyang Technological University, Singapore.
- [5] E. S. Sugesti, P. S. Priambodo, K. Ramli, Delay Bound Analysis for Hybrid Networks: Interoperable IEEE 802.11b/g WLAN over Fiber, International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 2010.
- [6] E. S. Sugesti, P. S. Priambodo, K. Ramli, B. Budiardjo, Performance Evaluation of WLAN Channel Utilization of TXOP-HCCA for Real-time Application, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, 2013.
- [7] H. Trsek, J. Jasperneite, S. P. Karanam, A Simulation Case Study of the New 802.11e HCCA mechanism in Industrial Wireless Network, Lippe and Hoexter University of Applied Sciences Network Technology Laboratory (netLAB) 32567 Lemgo/Germany, 2008
- [8] W. Carney, IEEE 802.g New Draft Standard Clarifies Future of Wireless LAN, Texas Instruments. 2002.
- [9] M. M. Rashid, E. Hossain, Queueing Analysis of 802.11e HCCA with Variable bit Rate Traffic, IEEE Communications Society subject matter experts for publication in the IEEE ICC proceedings, 2006
- [10] Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Standard 802.11, 2007.
- [11] P. Buchholz, J. Krege, I. Felko, Input Modeling with Phase-Type Distributions and Markov Models: Theory and Applications, SpringerBriefs in Mathematics, 2014.