

OPTIMASI TXOP-HCCA PADA WiLANoF 802.11 g/e APLIKASI WAKTU NYATA DENGAN PENDEKATAN PEMROGRAMAN DINAMIS

TXOP-HCCA OPTIMIZATION IN WiLANoF 802.11 g/e REAL TIME APPLICATIONS USING DYNAMIC PROGRAMMING APPROACH

Magda Angelina Manullang¹, Dr. Ir. Erna Sri Sugesti, M. Sc.², Aji Pamoso, S. Si., MT.³

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

²Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

¹magdaangelinaa@gmail.com, ²ernasugesti@telkomuniversity.ac.id, ³aji_p9juli@yahoo.com

Abstrak- Penggabungan jaringan WLAN dan serat optik (WiLANoF) membuat area cakupan semakin luas, sehingga lebih banyak *station* (STA) yang bisa mengakses. Namun, peningkatan aksesibilitas saja tidak cukup untuk menangani permintaan akses layanan *realtime* yang semakin meningkat. Untuk memaksimalkan penggunaan WiLANoF tersebut diperlukan sebuah pemahaman desain rekayasa protokol yang menangani aplikasi *realtime* menggunakan protokol *Hybrid Coordination Function-Control Channel Access* (HCCA). Pada penelitian ini dilakukan rekayasa internal kanal untuk menentukan kapasitas sumber daya jaringan WiLANoF 802.11g/e pada protokol HCCA dengan menempatkan trafik di sisi *Contention Free Period* (CFP) saja. Kapasitas tersebut diasumsikan setara dengan kondisi utilisasi kanal maksimum. Utilisasi kanal maksimum dapat dicapai dengan melakukan optimasi pada *Transmission Opportunity* (TXOP) di dalam protokol HCCA. Optimasi dilakukan dengan menggunakan pendekatan *Dynamic Programming* dengan metode *Backward* dan *Forward Recursion*. Optimasi TXOP yang diperoleh dengan metode *Backward Recursion* menghasilkan nilai TXOP maksimum yang sama dengan metode *Forward Recursion*. Hal ini menunjukkan sistem sudah didefinisikan dengan benar dan teori rekursi terbukti. Dari nilai maksimum TXOP tersebut diperoleh utilisasi maksimum kanal untuk aplikasi *realtime* pada laju trafik *mandatory*.

Kata kunci : WiLANoF 802.11 g/e, HCCA, TXOP, *Dynamic Programming*, *Backward Recursion*, *Forward Recursion*.

Abstract- Integration between WLAN and fiber optic networks (WiLANoF), build a wider area of coverage, thus making more station (STA) could access the network. Unfortunately, the increasing of accessibility is not enough for handling the increasing of realtime access service demand. A protocol design to optimize the used of WiLANoF is needed to handle realtime application. This protocol design uses Hybrid Coordination Function-Control Channel Access (HCCA) protocol. In this research, internal channel engineering is conducted to determine WiLANoF 802.11 g/e network resource capacity with HCCA protocol by placing traffic only in Contention Free Period (CFP) side. This capacity is assumed equal with maximum channel utility condition. Maximum channel utility is achieved by conducting optimization for Transmission Opportunity (TXOP) in HCCA protocol. Optimization is conducted using Dynamic Programming approach with Backward and Forward Recursion method. TXOP optimization which is achieved by using Backward Recursion method resulting TXOP maximum value equal to Forward Recursion method. This shows system is defined correctly and the recursion theory is proven right. Maximum channel utilization for realtime application in mandatory traffic rate is acquired from this TXOP maximum value.

Keywords : WiLANoF 802.11 g/e, HCCA, TXOP, *Dynamic Programming*, *Backward Recursion*, *Forward Recursion*.

1. Pendahuluan

Dunia telekomunikasi dan penggunaannya kini tidak hanya didominasi oleh komunikasi suara saja, melainkan sudah diimbangi oleh komunikasi data dan juga video. Semua informasi bisa dibawa dalam satu media saja baik itu suara, data, maupun video yang disebut dengan layanan *Triple Play*. Kemudahan dan ketersediaan akses internet yang fleksibel ini didukung oleh jaringan *Wireless Local Area Network* (WLAN). WLAN merupakan jaringan lokal area dimana media transmisinya menggunakan frekuensi radio. Spesifikasi jaringan WLAN didasari pada standar IEEE 802.11. Perkembangan teknologi WLAN diakomodasikan pada penambahan ekstensi di belakang 802.11, yaitu 802.11a, 802.11b, 802.11g dan 802.11n untuk non-QoS dan 802.11e untuk yang mendukung QoS. Untuk memenuhi kebutuhan akses *Triple Play* yang semakin meningkat tersebut, penggunaan WLAN saja tidak mampu lagi untuk melayani banyaknya permintaan akan layanan

internet, terutama aplikasi *realtime*. Hal tersebut disebabkan jarak *server* ke *Access Point* (AP) pendek, *bandwidth* sempit dan redaman koaksial yang besar. Oleh karena itu, dibutuhkan ekspansi area cakupan WLAN menggunakan media serat optik membentuk jaringan hibrida yang disebut dengan WLAN over Fiber (WiLANoF) [1].

Jika serat optik diimplementasikan pada jaringan WLAN terdapat beberapa kelebihan, yaitu daerah cakupan yang lebih luas sehingga lebih banyak *station* (STA) yang bisa mengakses dan meskipun jarak STA cukup jauh dari AP, akses layanan yang sensitif terhadap *delay* tetap bisa dilakukan. Namun peningkatan aksesibilitas layanan tersebut tidak cukup untuk menangani akses aplikasi *realtime*, yang pada umumnya mensyaratkan *bandwidth* yang lebar, laju trafik yang tinggi dan bersifat kontinyu menduduki suatu kanal. Hal ini mengakibatkan terjadinya penekanan pada sisi kuantitas pengguna sehingga tampak tidak efisien lagi. Oleh karena itu, diperlukan sebuah desain rekayasa protokol yang dapat mendukung penerapan QoS untuk memaksimalkan utilisasi kanal di jaringan WiLANoF tersebut. Rekayasa protokol ini bergantung pada persyaratan aplikasi yang dilayani. Transmisi *non-realtime* menggunakan protokol *Distributed Coordination Function* (DCF), sedangkan aplikasi *realtime* menggunakan protokol *Hybrid Coordination Function-Control Channel Access* (HCCA).

Penelitian mengenai optimasi protokol TXOP-HCCA pada WiLANoF ini sudah pernah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan model optimasi *Knapsack* sebagai pendekatan solusinya [2]. Dengan pemodelan yang sama, namun *state variabel* yang berbeda, dilakukan optimasi *Transmission Opportunity* (TXOP) di sisi CFP pada protokol HCCA WiLANoF 802.11g/e. Data uji yang digunakan berasal dari penelitian sebelumnya [2] dan diolah menggunakan *Software Microsoft Office Excel*. Optimasi dilakukan dengan pendekatan *Dynamic Programming* menggunakan metode *Backward Recursion*. Metode ini nantinya akan menghasilkan TXOP maksimum dari setiap tahapan. Setelah itu, akan dilakukan perumusan dan kalkulasi dengan menggunakan *Forward Recursion* untuk membuktikan bahwa perumusan dan kalkulasi dari tahap *Backward Recursion* sudah sesuai, dengan perolehan komposisi nilai TXOP maksimum yang sama dari setiap tahapan *Backward* maupun *Forward Recursion*. Nilai maksimum TXOP inilah yang nantinya akan dievaluasi untuk memperoleh utilitas kanal maksimum.

2. Dasar Teori

2.1 Wireless Local Area Network (WLAN)

WLAN didefinisikan sebagai sebuah sistem komunikasi data yang fleksibel yang dapat digunakan untuk mengganti atau menambah jaringan LAN yang sudah ada dengan memberikan tambahan fungsi yang dapat berupa konektivitas yang handal sehubungan dengan mobilitas *user*. Pada WLAN, hubungan antar komputer seperti pengiriman atau penerimaan data dilakukan melalui media udara menggunakan teknologi gelombang radio (RF).

WLAN yang banyak digunakan mengikuti standar IEEE 802.11. Standar ini merupakan standar pertama yang menjelaskan tentang pengoperasian WLAN. Protokol MAC pada WLAN yang mengacu pada IEEE 802.11 yaitu *Distributed Coordination Function* (DCF) dan *Point Coordination Function* (PCF). Protokol ini hanya dirancang untuk melayani *best effort*. DCF beroperasi pada *Contention Period* (CP), yang menyebabkan semua *node* memperebutkan kanal untuk melakukan proses transmisi. Sedangkan pada PCF, medium dapat berpindah antara CP dan CFP. Proses akses yang bersifat *random* membuat kedua protokol ini tidak menyediakan jaminan akses ke jaringan.

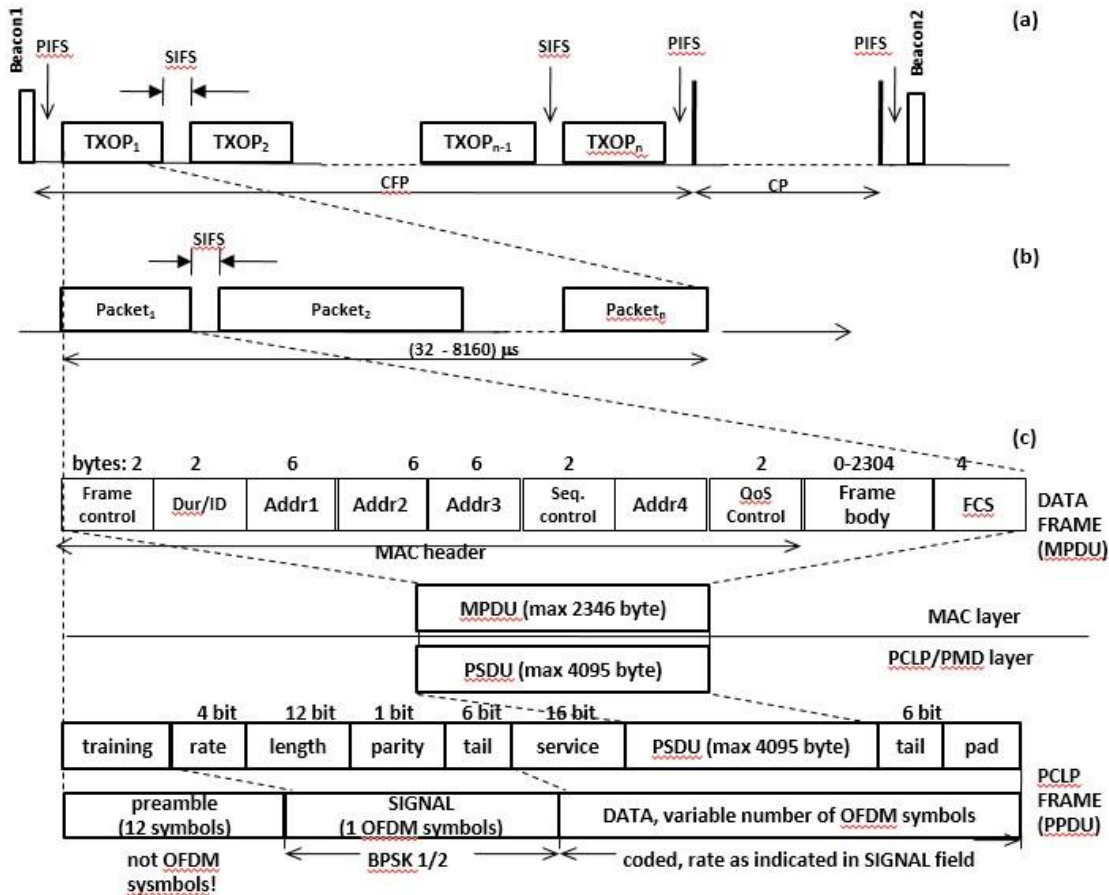
2.1.1 IEEE 802.11g

IEEE 802.11g merupakan skema modulasi OFDM yang digunakan pada frekuensi 2,4 GHz. Dengan kata lain, IEEE 802.11g dapat disebut sebagai gabungan dari IEEE 802.11b dan IEEE 802.11a karena digunakan pada frekuensi 2,4 GHz dan memiliki kecepatan data mencapai 54 Mbps. Dilihat dari hal tersebut, besar kemungkinan perangkat yang menggunakan frekuensi 2,4 GHz akan semakin bertambah banyak, sedangkan frekuensi 5 GHz menjadi semakin berkurang karena secara tidak langsung banyak perangkat yang akan mulai meninggalkan standar IEEE 802.11a dan beralih ke standar IEEE 802.11g.

2.1.2 IEEE 802.11e

IEEE 802.11e merupakan penyempurnaan dari generasi IEEE 802.11 sebelumnya yang belum mendukung penuh *Quality of Service* (QoS), seperti DCF dan PCF. Protokol untuk mendukung QoS pada IEEE 802.11e yaitu *Enhanced Distributed Coordination Channel Access* (EDCA) dan HCCA. Pada IEEE 802.11e dikenal suatu atribut baru bernama *Transmission Opportunity* (TXOP) yang tidak terdapat pada DCF maupun PCF. TXOP merupakan interval waktu yang diberikan untuk mengirimkan paket ke QAP ketika QSTA sudah memiliki hak untuk memulai transmisi.

2.1.2.1 HCF Coordinated Channel Access (HCCA)

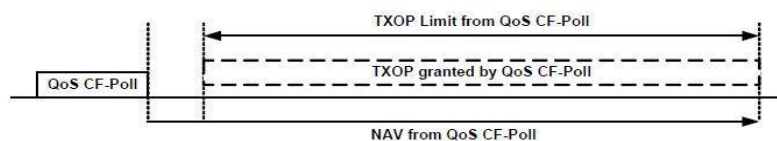


Gambar 1. (a) Model relasi beacon, CFP, CP, TXOP dalam HCCA (b) Model relasi paket-paket dalam TXOP (c) Model relasi lapis MAC dan PHY dalam paket [2,3,4]

Gambar 1 merupakan model komposisi frame pembentuk HCCA. HCCA merupakan sebuah protokol Medium Access Control (MAC) yang dirancang untuk mendukung parameter QoS. Pada bagian (a), suatu superframe diawali oleh beacon yang terdiri dari CFP dan CP. Bagian CFP dibangun oleh beberapa TXOP. Durasi CFP diasumsikan konstan. Pada bagian (b), durasi TXOP diberikan rentang antara 32-8160 μs [2]. Durasi tersebut kemudian didistribusikan pada paket-paket dan waktu intervalnya. Dalam distribusinya diasumsikan satu TXOP diduduki oleh satu QSTA. Namun dalam kondisi tertentu, satu QSTA dapat menduduki lebih dari satu TXOP. Satu QSTA yang menduduki satu atau lebih TXOP beroperasi dalam satu macam laju bit. Laju trafik yang datang menentukan densitas paket dalam satu TXOP [2]. Suatu paket terdiri dari header, tail serta payload, sehingga utilisasi internal kanal dari TXOP perlu dilakukan. Untuk mengetahui sejauh mana tingkat utilisasi untuk skala TXOP maupun CFP digunakan persamaan (14). Pada bagian (c), memperlihatkan struktur paket dalam protokol HCCA. Terdapat dua lapis, MAC dan lapis fisik. Relasi antara kedua lapis yaitu MPDU yang merupakan bagian dari PSDU yang berfungsi memberikan informasi arah dan tujuan pesan kepada medium, sementara itu medium memberikan fasilitas perlindungan pesan, laju bit, serta koneksi [1].

2.2 Transmission Opportunity (TXOP)

Secara umum, TXOP merupakan interval waktu yang diberikan untuk mengirimkan paket ke QAP ketika QSTA sudah memiliki hak untuk memulai transmisi. Untuk protokol HCCA, TXOP dialokasikan oleh Hybrid Coordinator (HC) [3]. Pada Gambar 2, diilustrasikan bahwa di dalam TXOP membawa pesan jaminan akses medium, batas durasi waktu yang disediakan, serta mencegah QSTA lain untuk menduduki hak aksesnya.



Gambar 2. Polled-TXOP [3]

Di dalam satu unit TXOP, terdiri dari satu paket atau lebih. Waktu interval antar paket di dalam TXOP adalah satu SIFS. Satu paket terdiri dari *frame header*, *frame data (payload)* dan *tail*. Di dalam internal TXOP terjadi pertukaran *frame* dengan menggunakan prosedur *Basic Access* maupun *Request-To-Send/Clear-To-Send (RTS/CTS)* sebagaimana yang terjadi pada DCF, namun disini tidak terjadi *contention* [2].

2.3 Wireless Local Area Network over Fiber

Untuk memenuhi permintaan WLAN layanan *broadband*, alternatifnya adalah jika WLAN dipadukan dengan jaringan serat optik, yang dikenal dengan sebutan WiLANoF. Dengan memanfaatkan perangkat WLAN yang sudah ada daerah cakupan menjadi lebih luas, sehingga lebih banyak *station (STA)* yang dapat mengakses. Meskipun STA jauh dari *Access Point (AP)*, STA masih bisa mengakses layanan yang sensitif terhadap *delay*. Hal ini disebabkan *delay* transmisi pada serat optik jauh lebih rendah daripada kabel koaksial, sebab cepat rambat cahaya dalam serat optik sekitar 3×10^8 m/s [1].

2.4 Program Dinamis Deterministik

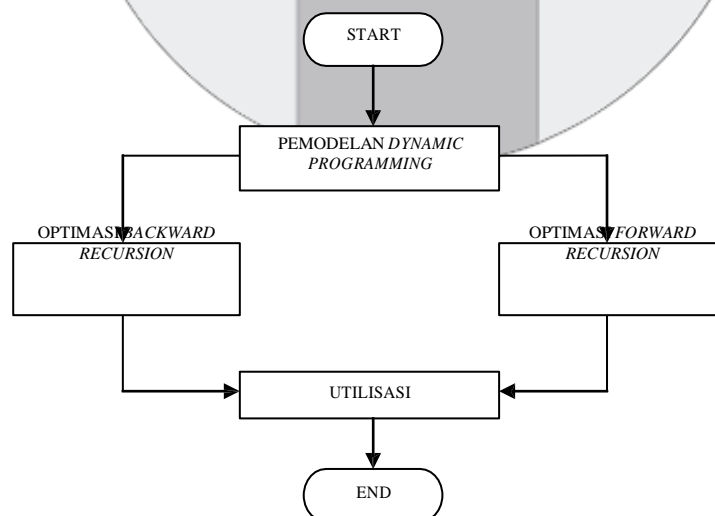
Program Dinamis atau *Dynamic Programming* adalah salah satu algoritma yang digunakan untuk menemukan nilai optimal dari suatu permasalahan. Dalam pemrograman dinamis, pemecahan suatu masalah dibagi menjadi beberapa langkah (*step*) atau tahapan (*stage*) sedemikian hingga solusi dari sebuah persoalan dapat dipandang sebagai serangkaian keputusan yang saling berkaitan [5].

Pada dasarnya, perhitungan dalam *Dynamic Programming* dilakukan dalam tahap-tahap untuk memerinci masalah menjadi beberapa bagian masalah. Setiap bagian dilihat secara terpisah untuk mengurangi kerumitan dalam perhitungan. Walaupun begitu, setiap bagian masalah saling berkaitan satu dengan yang lain, sehingga perhitungan harus mempertimbangkan pemecahan masalah yang layak untuk tiap tahap dan juga untuk keseluruhan masalah.

Pendekatan *Dynamic Programming* mampu memecahkan masalah *multivariate* menguraikan solusi menjadi sekumpulan langkah (*step*) atau tahapan (*stage*) sehingga solusi dari persoalan dapat dipandang dari serangkaian keputusan yang saling berkaitan [6]. Ada 2 metode pendekatan dengan menggunakan *Dynamic Programming*, yaitu dengan *Backward* dan *Forward Recursion*.

2.5 Diagram Alir Optimasi

Gambar 3 merupakan tahapan dari proses optimasi protokol TXOP-HCCA pada WiLANoF 802.11g/e. Penelitian mengenai optimasi protokol TXOP-HCCA pada WiLANoF ini sudah pernah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan model optimasi *Knapsack* sebagai pendekatan solusinya [2]. Dengan pemodelan yang sama yang sama, namun *state variabel* yang berbeda, akan dilakukan optimasi *Transmission Opportunity (TXOP)* di sisi CFP pada protokol HCCA WiLANoF 802.11 g/e. Data uji yang digunakan berasal dari penelitian sebelumnya [2] dan akan diolah menggunakan *software Microsoft Excel*. Optimasi dilakukan dengan pendekatan *Dynamic Programming* menggunakan metode *Backward Recursion*. Metode ini nantinya akan menghasilkan TXOP maksimum dari setiap tahapan. Setelah itu, akan dilakukan perumusan dan kalkulasi dengan menggunakan *Forward Recursion* untuk membuktikan bahwa perumusan dan kalkulasi dari tahap *Backward Recursion* sudah sesuai, dengan perolehan komposisi nilai TXOP maksimum yang sama dari setiap tahapan *Backward* maupun *Forward Recursion*. Nilai maksimum TXOP inilah yang nantinya akan dievaluasi untuk memperoleh utilisasi kanal maksimum.



Gambar 3. Diagram Alir Optimasi

3. Analisis Optimasi dan Utilisasi

3.1 Optimasi Backward Recursion

Data yang digunakan dari penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 yang berasal dari hasil rekapitulasi evaluasi TXOP seragam.

Tabel 1. Rekapitulasi evaluasi TXOP durasi seragam [2]

i	Panjang (byte)	N_{paket}	Rate (Mbps)	TXOP $_{\text{limit}}$ (ms)	N_{TXOP}	Utilisasi lokal (%)	Volume (kbyte)
1	1200	5	54	0,001	45	86,81	2.160
2	1100	4	24	0,0015	30	95,486	1.056
3	800	5	12	0,003	15	86,806	480
4	1400	1	6	0,002	22	89,12	246,4

Berdasarkan Tabel 1, jika λ_i adalah laju trafik, dan terdapat 4 macam laju trafik dan dimisalkan dengan bit mandatory yaitu Mbps, Mbps, Mbps, dan Mbps. Durasi TXOP ini dapat dinyatakan dengan [2]

Nilai durasi tersebut dinyatakan dalam satuan milisekon. Kemudian diasumsikan dengan trafik *multirate* pada CFP dan dinyatakan dengan persamaan [2]

$$\sum_{i=1}^m \lambda_i x_i \leq T \tag{1}$$

dimana $T = 45$ TU. Dengan mensubstitusikan durasi TXOP ke dalam persamaan (1) maka diperoleh [2]

$$\tag{2}$$

Persamaan (2) menggambarkan situasi untuk *Knapsack*. Sementara itu hasil yang diinginkan adalah memperoleh nilai *volume* yang paling besar, sehingga persamaan diubah menjadi [2]

$$\text{Maximize } \sum_{i=1}^m v_i x_i \tag{3}$$

Selanjutnya yaitu dengan menentukan elemen model untuk menentukan koefisien sebagai berikut.

1. Definisi tahapan yaitu macam laju trafik yang diperhitungkan,
2. Definisi alternatif tahapan keputusan yaitu durasi CFP yang dialokasikan untuk TXOP tiap Tahap dimana $x_i = 0, 1, 2, \dots, m$, dimana m adalah notasi jumlah unit TXOP atau N_{TXOP} . Nilai m dapat dilihat di Tabel 3.1. Jika bernilai cukup besar, maka proses rekursi menjadi sangat panjang. Untuk itu diperlukan suatu koefisien yang dapat memperkecil nilai, namun hasil rekursinya tetap dinilai layak, dimisalkan koefisien itu adalah
3. Definisi *state variable* adalah durasi CFP yaitu durasi CFP tersisa pada Tahap
4. Fungsi transisi :
5. Fungsi kontribusi pada tahap $n : g_n =$
6. Hubungan rekursif:

$$\{ \dots \} \tag{4}$$

Langkah selanjutnya adalah membuat persamaan untuk 4 tahapan *Backward Recursion* untuk dan dimulai dari . Nilai durasi CFP x_i dapat menentukan jumlah unit TXOP . Dapat dikatakan bahwa jumlah unit TXOP sebagai fungsi dari . Karena ini merupakan penyelesaian dengan metode rekursif, maka hasil optimal dari suatu tahapan masalah akan menjadi masukan bagi tahapan masalah yang berikutnya.

Berikut merupakan perumusan tahapan untuk *Backward Recursion* yang diperoleh dari substitusi persamaan (3) dan (4) [2].

Tahap 4

$$\{ \dots \} \tag{5}$$

Tahap 3

$$\max\{a_3\} = \dots = m_1 \tag{6}$$

Tahap 2

$$\max\{a_2\} = \dots = m_2 \tag{7}$$

Tahap 1

$$\max\{a_1\} = \dots = m_3 \tag{8}$$

Kemudian hasilnya ditabulasikan ke dalam grup tabel di *Microsoft Office Excel*. Bagian kolom menyatakan durasi dari CFP. Nilai durasi CFP, dapat menentukan jumlah unit TXOP yang menyatakan bagian baris. Dapat dikatakan bahwa jumlah unit TXOP sebagai fungsi dari . Setelah nilai dari setiap baris dan kolom didefinisikan, maka substitusikan dengan perumusan *Backward* (5) hingga (8). Cara untuk menentukan hasil maksimum setiap tahapan dimulai dari hasil akhirnya yaitu pada tahap 1 untuk *Backward Recursion*.

Setelah dilakukan keempat tahap di atas, akan ditemukan 4 buah nilai optimum untuk masing-masing = 3 dan = 4, seperti tampak pada Tabel 2. Saat , nilai optimum TXOP yang diperoleh dari Tahap 1 hingga 4 secara berurutan adalah 0, 3, 5, 7, sehingga total TXOP berjumlah 15. Sedangkan saat , nilai optimum TXOP yang diperoleh dari Tahap 1 hingga 4 secara berurutan adalah 0, 3, 3, 5, sehingga total TXOP berjumlah 11.

Tabel 2. Hasil optimasi dengan *Backward Recursion*

y	Optimum				Jumlah TXOP
3	0	3	5	7	15
4	0	3	3	5	11

3.2 Optimasi *Forward Recursion*

Pada *Forward Recursion* atau rekursi maju, perhitungan dilakukan dari tahap pertama ke tahap terakhir. Perbedaan utama antara *Backward* dan *Forward Recursion* terletak dalam pendefinisian keadaan sistem. Optimasi dengan menggunakan *Forward Recursion* ini dilakukan dengan tujuan untuk membuktikan bahwa hasil yang telah diperoleh pada *Backward* skenario sudah maksimum.

Dengan menggunakan elemen model dan perumusan yang telah dilakukan pada metode *Backward Recursion*, maka perumusan untuk *Forward Recursion* dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\{ \dots \} \tag{9}$$

Perumusan tahapan untuk *Forward Recursion* yang diperoleh dari substitusi persamaan (3) dan (9).

Tahap 1

$$\{ \dots \} \tag{10}$$

Tahap 2

$$\max\{a_2\} = * \rightarrow = m_1 \quad \{ \quad \} \quad (11)$$

Tahap 3

$$\max\{a_3\} = * \rightarrow = m_2 \quad \{ \quad \} \quad (12)$$

Tahap 4

$$\max\{a_4\} = * \rightarrow = m_3 \quad \{ \quad \} \quad (13)$$

Setelah perumusan *Forward Recursion* didefinisikan, kemudian hasilnya ditabulasikan ke dalam grup tabel di *Microsoft Office Excel*. Bagian kolom menyatakan durasi dari CFP. Nilai durasi CFP, dapat menentukan jumlah unit TXOP yang menyatakan bagian baris. Dapat dikatakan bahwa jumlah unit TXOP sebagai fungsi dari . Setelah nilai dari setiap baris dan kolom didefinisikan, maka substitusikan dengan perumusan *Forward* (10) hingga (13). Cara untuk menentukan hasil maksimum setiap tahapan dimulai dari hasil akhirnya yaitu pada tahap 4 untuk *Forward Recursion*.

Kemudian setelah dilakukan keempat tahap di atas, akan ditemukan 4 buah nilai optimum untuk masing-masing = 3 dan = 4, seperti tampak pada Tabel 3. Saat , nilai optimum TXOP yang diperoleh dari Tahap 4 hingga 1 secara berurutan adalah 7, 5, 3, 0, sehingga total TXOP berjumlah 15. Sedangkan saat , nilai optimum TXOP yang diperoleh dari Tahap 1 hingga 4 secara berurutan adalah 5, 3, 3, 0, sehingga total TXOP berjumlah 11.

Tabel 3. Hasil optimasi dengan *Forward Recursion*

	Optimum				Jumlah TXOP
3	7	5	3	0	15
4	5	3	3	0	11

3.3 Evaluasi Optimasi

Setelah diperoleh nilai maksimum TXOP dari setiap tahap baik *Backward* maupun *Forward*, langkah selanjutnya yang harus dilakukan yaitu melakukan perhitungan utilisasi kanal dengan menggunakan rumus berikut [2].

$$\frac{(\text{---}) (\text{---}) (\text{---}) \text{---}}{\text{---}} \quad (14)$$

Dari Tabel 2 dan Tabel 3, tampak bahwa hasil yang diperoleh dari persamaan *Backward* dan *Forward Recursion* menghasilkan nilai optimum yang sama. Dari hal tersebut dapat disimpulkan bahwa teori dari perhitungan rekursi terbukti [6]

Setelah dilakukan beberapa macam uji-coba dan dengan mensubstitusikan nilai y tersebut ke dalam persamaan (5) hingga (8) dan (10) hingga (13), maka diperoleh nilai optimum , , , . Kemudian untuk memperoleh nilai utilisasi dari trafik digunakan persamaan (14). Untuk perhitungan nilai *volume* digunakan logika aritmetika biasa.

Hasil dari optimasi TXOP dapat dilihat dari Tabel 4. Dalam CFP berdurasi 45 TU tersebut, utilisasi maksimum dicapai pada 70,879%, dimana terdapat 15 unit TXOP yang membawa trafik *realtime*. Hal tersebut dapat diartikan apabila satu entitas TXOP diduduki oleh satu QSTA maka terdapat 15 QSTA. Komposisi trafik *realtime* itu sendiri terdiri dari 3 TXOP-12 Mbps, 5 TXOP-24 Mbps, dan 7 TXOP-54 Mbps.

Tabel 4. Hasil optimasi TXOP 45 TU CFP

y	Optimum				Jumlah TXOP	Utilisasi	Volume
*3	0	3	5	7	15	70,8794%	344000
4	0	3	3	5	11	49,9691%	257600

*utilisasi maksimum

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis pada perhitungan optimasi yang dilakukan dengan pendekatan *Dynamic Programming* terbukti menghasilkan nilai maksimum TXOP yang sama, baik dengan menggunakan metode *Backward* maupun *Forward Recursion*. Kemudian dari nilai maksimum TXOP tersebut dicapai utilisasi kanal sebesar 70,879% dari 15 unit TXOP untuk 45 TU CFP dan 4 laju bit *mandatory*, 54 Mbps, 24 Mbps, 12 Mbps dan 6 Mbps.

Daftar Pustaka

- [1] E. S. Sugesti, Analisis Pengendalian *Delay* melalui Prosedur Komputasi B/G Protokol DCF dan Optimasi TXOP untuk Peningkatan Utilisasi Kanal Protokol HCCA pada WiLANoF, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, Juli 2013.
- [2] E. S. Sugesti, P. S. Priambodo, K. Ramli, B. Budiarto, *Performance Evaluation of WLAN Channel Utilization of TXOP-HCCA for Real Time Applications*, IJRTE, Vol.1, Issue-6, Januari 2013.
- [3] *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE Standard 802.11, 2007
- [4] B. Walke, S. Mangold, L Berlemann, *IEEE 802 Wireless Systems*, John Wiley & Sons, 2006.
- [5] <http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Stmik/2009-2010/Makalah2009/MakalahIF3051-2009-041.pdf> diakses tanggal 30 November 2014 pukul 16.15 WIB
- [6] H. A. Taha, *Operation Research: An Introduction*, 8th ed., Pearson Education Inc, 2007, USA.