

Analisis *Delay Bound* pada Jaringan *Hybrid IEEE 802.11n Format HT-Greenfield WLAN over Fiber*

Amri Khoirul Fath^{1,*}, Erna Sri Sugesti¹, Achmad Ali Muayyadi¹

¹ Universitas Telkom Bandung

* E-mail : fathamry@gmail.com

Abstrak. Makalah ini memaparkan hasil analisis parameter *delay bound* pada jaringan hibrida *Wireless Local Area Network* (WLAN) IEEE 802.11n dengan fiber optik menggunakan beberapa skema *Modulation and Coding Scheme* (MCS) pada format *HT-Greenfield* serta protokol *Distributed Coordination Function* (DCF). Selama selang waktu *Short Interframe Space* (SIFS) dilakukan rekayasa protokol *ACK Timeout* dan *CTS Timeout* untuk menentukan panjang maksimum ekstensi fiber optik. Hasil yang diperoleh adalah ekstensi fiber optik sepanjang 5,96 km pada kondisi tertentu. Selain itu, *delay* terendah dengan *data rate* tertinggi diperoleh MCS 27-40 MHz dengan *delay* sebesar 0,397 ms. Hasil ini mendukung implementasi layanan *triple play*.

Kata Kunci: 802.11n, *Delay bound*, *HT-Greenfield*, *HT-OFDM*

1. Pendahuluan

Layanan *triple play* telah menjadi kebutuhan dalam masyarakat, karena layanan multiguna ini dianggap dapat mendukung seluruh kebutuhan. Layanan ini melingkupi suara, data, dan video. Untuk itu dibutuhkan infrastruktur layanan yang handal dan mampu mengirimkan data kapasitas besar dengan kecepatan tinggi serta tidak rentan gangguan melalui jaringan heterogen antara *wireless* dengan *wired*.

Gabungan jaringan seluler dengan serat optik telah banyak dibahas dalam konteks teknologi *Radio over Fiber* (RoF), seperti pada [1]. *WLAN over Fiber* (WiLANoF) sebagai bagian RoF merupakan jaringan nomadik menggunakan standar keluarga IEEE 802.11 seperti 802.11a, 802.11b, 802.11e, dan 802.11g, telah dibahas pada [2, 3, 4, 5]. Pada dasarnya, ide penggabungan dua jaringan antara *wireless* dengan serat optik adalah mempertemukan antara fleksibilitas yang ditawarkan oleh jaringan *wireless* dan *bandwidth* (BW) besar yang ditawarkan oleh jaringan serat optik. Jaringan ini diharapkan dapat mengakomodasi kebutuhan layanan *triple play*.

Nyatanya, terdapat *delay* yang signifikan pada jaringan WiLANoF. Selain itu, *data rate* yang diperoleh masih terbatas untuk jaringan akses. Oleh karena itu, makalah ini mengusulkan penggunaan standar terbaru WLAN IEEE 802.11n pada teknologi WiLANoF. Standar ini menawarkan *data rate* mencapai 10 kali lipat dari standar sebelumnya dengan memanfaatkan teknik *multiple input multiple output* (MIMO). Analisis pada makalah ini menggunakan pendekatan deterministik pada berbagai skema akses untuk mendapatkan panjang maksimum ekstensi fiber optik yang menerapkan format *HT-Greenfield* 802.11n dalam satu *Base Station Subsystem* (BSS).

2. Dasar Teori

2.1 IEEE 802.11n

Teknologi 802.11n menerapkan *High Throughput-Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (HT-OFDM) menggunakan teknik MIMO multi antena. MIMO memanfaatkan skema *diversity* dengan menduplikasi *frame* data pada seluruh *stream*, dan *spatial multiplexing* dengan mengirim *frame* data yang berbeda untuk setiap *spatial stream*. Teknologi ini mengenalkan dua pilihan BW yaitu BW 20 MHz dan BW 40 MHz. BW 40 Mhz terdiri dari 114 *subcarrier*, sedangkan BW 20 MHz terdiri dari 52 *subcarrier*.

Pada 802.11n dapat menerapkan teknik modulasi seragam (*equal modulation*) atau tak-seragam (*unequal modulation*) untuk tiap antena [6]. Teknik modulasi direpresentasikan dengan parameter

MCS yang mempengaruhi *data rate*. Penelitian ini dilakukan terhadap parameter MCS *equal modulation* 16-QAM rate $\frac{1}{2}$ menggunakan GI 800 ns. Parameter terkait ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Parameter uji MCS

Indeks MCS	Modulasi	R	BW (MHz)	N _{BPS} CS (i ss)	N _{CBPS}	N _{DBPS}	N _{SS}	N _{ES}	Data rate (Mbps)	
									GI	SGI
3	16-QAM	1/2	20	4	208	104	1	1	26	28.9
11	16-QAM	1/2	20	4	416	208	2	1	52	57.8
19	16-QAM	1/2	20	4	624	312	3	1	78	86.7
27	16-QAM	1/2	20	4	832	416	4	1	104	115.6
3	16-QAM	1/2	40	4	432	216	1	1	54	60
11	16-QAM	1/2	40	4	864	432	2	1	108	120
19	16-QAM	1/2	40	4	1296	648	3	1	162	180
27	16-QAM	1/2	40	4	1728	864	4	1	216	240

Keterangan:

R - Coding Rate

N_{CBPS} - Jumlah coded bits/symbol OFDM

N_{DBPS} - Jumlah data bits/symbol OFDM

N_{SS} - Jumlah spatial stream

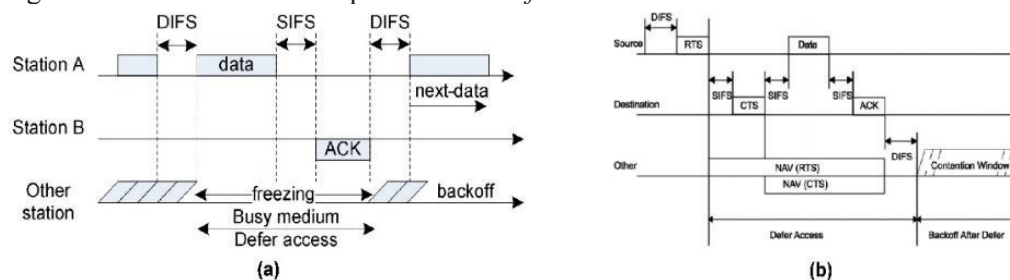
N_{ES} - Jumlah extended stream

BW - Bandwidth

2.2 Distributed Coordination Function

Protokol *distributed coordination function* (DCF) digunakan untuk komunikasi antara AP dengan station (STA). Setiap STA memiliki kesempatan yang sama untuk mengindera medium sesuai dengan *contention window* (CW) menggunakan prosedur *backoff*. Terdapat dua metode akses yaitu *Basic Access* (BA) atau *2-ways handshake*, dan *Request to Send/Clear to Send* (RTS/CTS) atau dikenal sebagai *4-ways handshake*. Mengacu metode BA pada Gambar 1(a), jika STA mengindera medium dan mendapati sedang *idle*, maka STA harus menunggu selama *Distributed Interframe Space* (DIFS) untuk memastikan kanal sedang *idle* sebelum mengirim data.

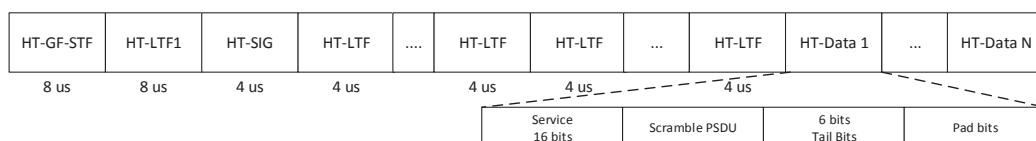
Kelemahan BA adalah kurang dapat mengatasi *collision* pada kawasan *hidden node*. Berdasarkan alasan tersebut, maka dikembangkan metode RTS/CTS [3]. Berdasarkan Gambar 1(b), ditambahkan *frame control* RTS setelah DIFS dan *frame* CTS setelah SIFS. Hal ini untuk memastikan bahwa kanal *idle* sebelum *frame* data dan *frame* ACK dikirimkan. Jika STA telah menduduki kanal, maka STA lain menginisiasi *Network Allocation Vector* (NAV). Berakhirnya NAV bersamaan dengan akhir pengiriman ACK menandakan proses transfer *frame* telah selesai dan memulai CW berikutnya.



Gambar 1. (a) Mekanisme BA, (b) Mekanisme RTS/CTS dan NAV [7]

2.3 Format Frame

Pembaharuan format *frame* 802.11n adalah untuk meminimalkan *overhead*. Tersedia tiga format *frame* pada 802.11n, yaitu non-HT format, HT-Mixed Mode (HT-MM), dan HT-Greenfield (HT-GF). HT-GF terdiri dari HT *preamble* yang tidak memiliki kemampuan *backward compatibility*. HT *preamble* dibagi menjadi HT-Short Training Field (HT-STF), HT-Long Training Field (HT-LTF), dan HT-Signalling (HT-SIG). Format HT-GF yang ditunjukkan oleh Gambar 2 bersifat opsional [7].



Gambar 2. Format frame HT-GF

Mengacu format *frame* HT-GF pada Gambar 2, panjang *preamble* ditentukan oleh jumlah HT-LTF yang terdiri atas data LTF (HT-DLTF) dan *extended* LTF (HT-ELTF). HT-DLTF berfungsi untuk proses demodulasi, sedangkan HT-ELTF digunakan sebagai *extra spatial stream*. Jumlah maksimum *field* HT-LTF adalah 5 [7], secara matematis dinyatakan sebagai:

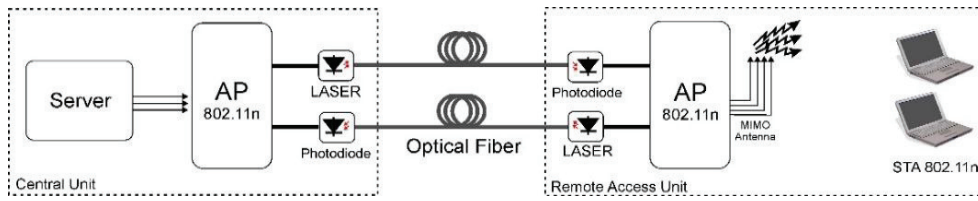
$$N_{HT-LTF} = N_{HT-DLTF} + N_{HT-ELTF} \leq 5 \quad (1)$$

Field HT-LTF sebagai jumlah maksimum *field* HT-Data tidak terlepas dari jumlah *space-time-stream* N_{STS} dan *extension-spatial-stream* N_{ESS} , yang didefinisikan sebagai:

$$N_{ESS} + N_{STS} \leq 4 \quad (2)$$

3. Pemodelan WiLANoF

Pemodelan WiLANoF menggunakan standar 802.11n pada AP dan STA dalam cakupan satu BSS yang menghubungkan *Central Unit* (CU) dengan *Remote Access Unit* (RAU), seperti ilustrasi pada Gambar 3. Diasumsikan perangkat *upstream* dan *downstream* terpisah secara *spatial*. Pada arah *downstream*, sinyal dari *server* dan AP 802.11n memodulasi LASER yang mengkonversikan menjadi sinyal optik. Medium transmisi fiber optik menyalurkan sinyal optik tersebut menuju *photodiode* yang mengkonversi sinyal optik menjadi sinyal elektrik dan diteruskan ke AP. Selanjutnya, AP memproses pengiriman menggunakan teknik MIMO multi antenna menuju STA 802.11n di sisi RAU. Proses yang sama berlaku untuk arah sebaliknya. Penelitian ini berfokus untuk arah *downstream*.



Gambar 3. Model jaringan hibrida WiLANoF 802.11n

4. Delay Bound WiLANoF

Pada penelitian ini, parameter *delay bound* meliputi hubungan *inter-device* dari proses modulasi LASER pada CU sampai dengan STA 802.11n pada RAU. Total *delay* transmisi yang terjadi dipengaruhi oleh parameter *optical transceiver*, fiber optik, dan *delay* propagasi udara yang dirumuskan melalui persamaan berikut [3] [4]:

$$T_D = 2 (T_{opt} + t_f + \tau) \quad (3)$$

$$t_f = \frac{n_{eff} L_f}{c} \quad (4)$$

Dimana T_D adalah total *delay* propagasi, T_{opt} adalah *delay transceiver* optik, t_f adalah *delay* fiber optik, τ adalah *delay* propagasi udara, n_{eff} adalah indeks bias efektif *core*, L_f adalah panjang fiber optik, dan c adalah konstanta kecepatan cahaya di medium vakum yaitu 3×10^8 m/s.

Tabel 2. Parameter IEEE 802.11n

Simbol	Deskripsi	Nilai	Satuan	Simbol	Deskripsi	Nilai	Satuan
T_{slot}	A slot time	2.4 GHz = 20 5 GHz = 9	μs	T_{SIFS}	Durasi SIFS	2.4 GHz = 10 5 GHz = 16	μs
τ	Delay propagasi udara	$\ll 1$	μs	T_{DFT}	Waktu pemrosesan IDFT/DFT	3.2	μs
L_{RTS}	Panjang frame RTS	20	byte	T_{GI}	Durasi guard interval	0.8	μs
L_{CTS}	Panjang frame CTS	14	byte	T_{SGI}	Durasi short guard interval	0.4	μs
L_{ACK}	Panjang frame ACK	14	byte	T_{SYM}	Interval simbol	4	μs
L_{H-MAC}	Panjang frame MAC header	28	byte	T_{SYMS}	Interval simbol short GI	3.6	μs
CW_{min}	Minimum ukuran contention window	15	slot	T_{HT-SIG}	Durasi field HT-SIGNAL	8	μs
T_{DIFS}	Durasi DIFS	50	μs	T_{RTT}	RX-TX turn around time	< 2	μs
$T_{HT-LTF1}$	Durasi HT long training field pertama	8	μs	$T_{HT-LTFs}$	Durasi field HT long training field yang kedua dan seterusnya	4	μs
T_{PHYP}	Waktu transmisi PHY preamble	16	μs	$T_{HT-GF-STF}$	Durasi HT-greenfield short training field	8	μs
T_{PHYH}	Waktu transmisi PHY header	4	μs	N_{DBPS}	Jumlah data bits tiap simbol OFDM	variable	-
T_{PRSD}	aPHY-RX-START-Delay	33	μs	L_{DATA}	Panjang Payload Frame	variable	-

Optical transceiver dan fiber optik delay memiliki pengaruh yang besar terhadap delay [3]. Dengan mensimulasikan metode akses BA dan RTS/CTS yang memanfaatkan durasi SIFS dan menggunakan Persamaan (3)-(4), maka diperoleh ekstensi fiber optik hanya 660 m. Panjang fiber optik ini sangat pendek untuk ukuran jaringan akses fiber.

Dalam penghitungan delay bound melibatkan panjang frame data, encoding, dan guard interval. Delay pengiriman frame data menggunakan Binary Convolutional Code (BCC) encoding pada format HT-GF 802.11n diuraikan melalui Persamaan (5)-(8) [7].

$$T_{D_{Data-GI}} = T_{GF_HT_PREAMBLE} + T_{HT_SIG} + T_{SYM} \times N_{SYM} + 0 \quad (5)$$

$$T_{D_{Data-SGI}} = T_{GF_HT_PREAMBLE} + T_{HT_SIG} + T_{SYMS} \times N_{SYM} + 0 \quad (6)$$

dimana,

$$T_{GF_HT_PREAMBLE} = T_{HT-GF-STF} + T_{HT-LTF1} + (N_{LTF} - 1)T_{HT-LTFs} \quad (7)$$

$$N_{SYM} = m_{STBC} \left\lceil \frac{8 \cdot length + 16 + 6 \cdot N_{ES}}{m_{STBC} \cdot N_{DBPS}} \right\rceil \quad (8)$$

Semua definisi simbol dalam Persamaan (5)-(11) terdapat di Tabel 2. Total delay bound untuk metode akses BA dan RTS/CTS adalah pada Persamaan (9)-(11) [4].

$$D_{BA} = T_{D_{DATA}} + T_{D_{ACK}} + T_D + T_{DIFS} + T_{SIFS} + \overline{CW} \quad (9)$$

$$D_{RTS/CTS} = T_{D_{DATA}} + T_{D_{ACK}} + T_{D_{RTS}} + T_{D_{CTS}} + 2T_D + T_{DIFS} + 3T_{SIFS} + \overline{CW} \quad (10)$$

dimana:

$$\overline{CW} = \frac{CW_{min} T_{slot}}{2} \quad (11)$$

Batas delay propagasi yang masih dapat ditolerir oleh WLAN bergantung pada parameter ACK Timeout dan CTS Timeout yang didefinisikan melalui Persamaan (12)-(13) [7].

$$ACK_{Timeout} = T_{SIFS} + T_{Slot} + T_{PRSD} \quad (12)$$

$$CTS_{Timeout} = T_{SIFS} + T_{Slot} + T_{PRSD} \quad (13)$$

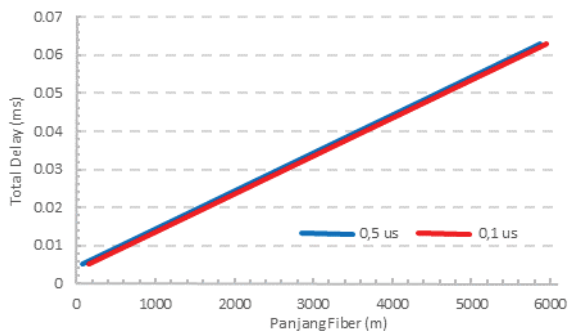
Dengan menghitung interval ACK Timeout dan CTS Timeout sesuai dengan nilai parameter pada Tabel 2 dan persamaan (12)-(13), maka batas atas delay diperoleh 0,063 ms. Oleh karenanya, penghitungan ekstensi fiber optik dan inter-device delay tidak melebihi batas maksimum delay.

Melanjutkan hasil di paper [2], *delay transceiver* optik diasumsikan $1,6 \mu s$, dan indeks bias *core* 1,5. Kemudian asumsi tersebut disubstitusikan ke persamaan (3)-(4). Figure 5 menunjukkan grafik panjang ekstensi fiber optik adalah 5,96 km untuk *delay* propagasi udara $0,1 \mu s$ dan 5,88 km untuk $\tau=0,5 \mu s$. Sehingga, panjang maksimum ekstensi fiber optik adalah 5,96 km. Oleh karena itu, penghitungan dan analisis selanjutnya menggunakan parameter $\tau=0,1 \mu s$.

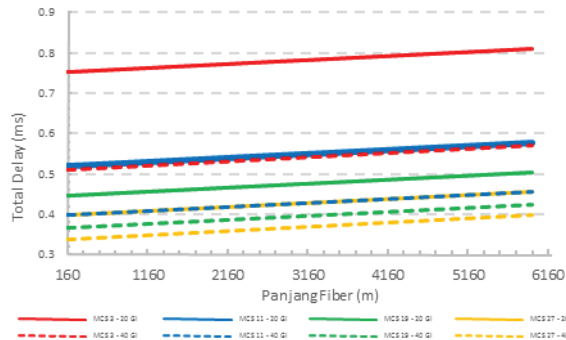
Selanjutnya adalah mencari *delay bound* dengan menggunakan batas panjang maksimum ekstensi fiber optik dengan asumsi $N_{HT-LTF} = 4$ untuk data dan *extended LTF*. Kemudian, dengan mensubstitusi nilai parameter terkait di Tabel 2 ke persamaan (5)-(11) untuk *frame* data 1500 byte, maka diperoleh total *delay* untuk transmisi data yang ditunjukkan oleh Gambar 5-7.

5. Hasil dan Diskusi

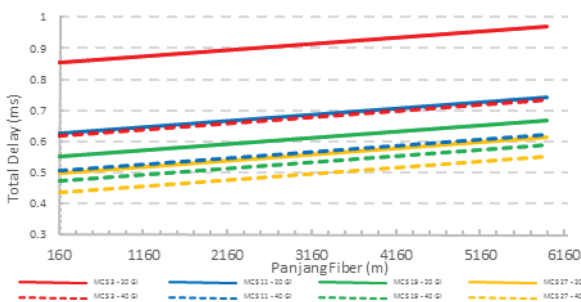
Mengacu pada Gambar 4, panjang ekstensi fiber optik lebih pendek dibandingkan [2] [3] [9], karena durasi PHY-RX-START-Delay pada 802.11n hanya $33 \mu s$. Jika ekstensi fiber optik diperpanjang melebihi batas atas itu, maka akibatnya adalah *delay* juga melebihi batas. Hal ini diinterpretasikan telah terjadi peristiwa gagal kirim data ke STA di RAU. Tindakan selanjutnya adalah perintah kirim-ulang data. Pada gilirannya, akumulasi kejadian gagal kirim data semacam ini menyebabkan *throughput* jaringan memburuk.



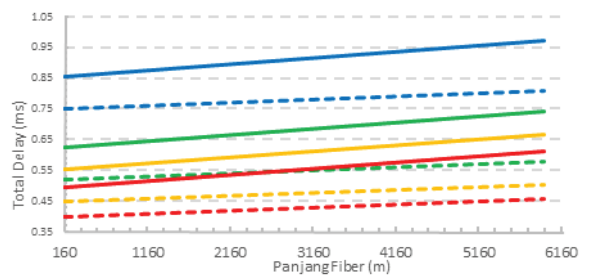
Gambar 4. Panjang maksimum ekstensi fiber optik berdasarkan delay propagasi udara



Gambar 5. Grafik evaluasi bandwidth dan jumlah spatial stream metode BA, HT-GF, GI 800 ns, BW 20 MHz, 16-OAM rate $\frac{1}{2}$. $\tau=0,1 \mu s$



Gambar 6. Grafik evaluasi bandwidth dan jumlah spatial stream metode RTS/CTS, HT-GF, GI 800 ns, BW 20 MHz, 16-OAM rate $\frac{1}{2}$. $\tau=0,1 \mu s$



Gambar 7. Grafik evaluasi metode akses DCF untuk format HT-GF, GI 800 ns, BW 20 MHz, 16-QAM rate $\frac{1}{2}$

Selanjutnya adalah mencari *delay bound* untuk metode BA dan RTS/CTS. Substitusi hasil perhitungan *delay* transmisi *frame* data dan *frame* control dari Persamaan (5)-(8) ke Persamaan (9) dan (10) sesuai dengan nilai parameter terkait di Tabel 2. Hasil perhitungan *delay bound* ditunjukkan oleh Gambar 5-7. Gambar 5 dan 6 menunjukkan *delay bound* untuk evaluasi jumlah *spatial stream* dan BW. Gambar 7 memaparkan evaluasi terhadap metode akses BA dan RTS/CTS.

Mengacu pada Gambar 5 dan Gambar 6, tampak secara umum alokasi BW dan jumlah *spatial stream* mempengaruhi *delay bound*. Tampak bahwa BW 20 MHz menghasilkan *delay bound* yang lebih besar daripada BW 40 MHz. Hal ini karena jumlah *subcarrier* pada BW 20 MHz lebih sedikit, sehingga jumlah data yang dapat dikirim pun lebih sedikit. Sementara itu, dengan jumlah *subcarrier*

BW 40 MHz lebih banyak, dapat mempengaruhi pencapaian *data rate* hingga dua kali lipat dari BW 20 MHz. Semakin besar *data rate* dihasilkan, maka *delay bound* semakin menurun. Selain itu, *delay bound* yang dihasilkan menggunakan metode BA dan RTS/CTS menunjukkan hasil yang mirip. Tampak, semakin banyak jumlah *spatial stream*, maka *delay bound* semakin mengecil. Hal ini terjadi karena kenaikan jumlah *spatial stream* akan meningkatkan jumlah bit data tiap *symbol* OFDM (N_{DBPS}) yang dapat dikirim melalui setiap *stream*. Akibatnya, volume bit data yang dikirim untuk menjadi semakin besar dan *delay bound* yang diperoleh menjadi menurun.

Gambar 7 menampilkan *delay bound* untuk BA dan RTS/CTS. Tampak bahwa *delay bound* untuk RTS/CTS lebih besar daripada BA. Hal ini terjadi karena prosedur protokol RTS/CTS terdiri dari beberapa langkah seperti tampak di Gambar 1(b). Setiap langkah tersebut memiliki alokasi *delay*, sehingga total *delay bound* RTS/CTS lebih besar dibanding BA. Meski pun menghasilkan *delay* besar, hal ini merupakan *tradeoff* karena RTS/CTS dapat mengeliminasi efek *hidden node* pada jaringan *ad hoc* yang tidak mampu diatasi oleh BA [3].

Mengamati grafik *delay bound* pada Gambar 5-7, tampak bahwa MCS 3 pada BW 20 MHz menghasilkan *delay bound* paling besar serta selisih *delay* yang cukup signifikan jika membandingkan dengan skema MCS yang lain. Penyebabnya adalah pada MCS 3-20 MHz hanya memanfaatkan satu *spatial stream* dengan BW terbatas 20 MHz. Akibatnya, MCS 3-20 MHz hanya mampu mengirim jumlah bit minimum per simbol. Hal ini mempengaruhi nominal *delay bound* yang dihasilkan.

6. Kesimpulan

Perancangan jaringan hibrida *inter-device* antara WLAN IEEE 802.11n dengan fiber optik menghasilkan beberapa kesimpulan. Penelitian ini menghasilkan panjang maksimum ekstensi fiber optik sebesar 5,96 km saat $\tau = 0,1 \mu s$ dengan memanfaatkan durasi ACK *Timeout* dan CTS *Timeout*. Minimum *delay bound* diperoleh saat digunakan BW 40 MHz dengan jumlah maksimum *subcarrier*, maksimum jumlah *spatial stream*, dan pemilihan metode akses BA. Alhasil, *delay bound* terendah dengan *data rate* tertinggi adalah saat MCS 27-40 MHz.

7. Daftar Referensi

- [1] A. Urzedowska, K. Godziszewski, Y. Yashchyshyn, "Radio-over-Fiber link for WLAN and LTE systems", *MIKON 2012, 19th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless*, Poland, May 21-23, 2012.
- [2] E. S. Sugesti, P. S. Priambodo, K. Ramli, B. Budiardjo, "Delay Bound Analysis for Hybrid Network: IEEE 802.11g ERP-OFDM WLAN over Fiber", *ATNAC*, New Zealand, 2010.
- [3] E. S. Sugesti, P. S. Priambodo, K. Ramli, B. Budiardjo, "Delay Bound Analysis for Hybrid Network : Interoperable IEEE 802.11b/g WLAN over Fiber", *ICUMT*, 2010.
- [4] M. Mjeku, N. J. Gomes, J. Lightwave Technology, "Analysis of the Request to Send/Clear to Send Exchange in WLAN over Fiber Networks", *J. Lightwave Technology*, Vol. 26, No. 15, pp. 2531-2539, August 1, 2008.
- [5] A. Das, M. Mjeku, A. Nkansah, and N. J. Gomes, "Effects on IEEE 802.11 MAC Throughput in Wireless LAN Over Fiber Systems", *J. Lightwave Technology*, Vol. 25, No. 11, pp. 3321-3328, November, 2007.
- [6] Jim Geier, "Designing and Deploying 802.11n Wireless Networks", *Cisco Press*, Indianapolis, USA, 2010.
- [7] The Institut of Electrical and Electronics Engineering, "Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification", *IEEE Standar 802.11*, 2012.
- [8] Y. Xiao, J. Rosdahl, "Throughput and Delay Limits of IEEE 802.11", *IEEE Communication Letters*, Vol. 6, No. 8, pp. 355-357, August, 2002.
- [9] B. Kalantari-Sabet, M. Mjeku, N.J. Gomes. "Performance Impairments in Single-Mode Radio-Over-Fiber Systems Due to MAC Constraints", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 26, No. 15, August 1, 2008.