

## SIMULASI JARINGAN *IEEE* 802.11AX WIFI 6 MENGUNAKAN SIMULATOR NS-3 UNTUK PENGUKURAN *THROUGHPUT* PADA *BAND* FREKUENSI 6 GHZ

Yehekiel Mandala Putra <sup>1\*</sup>, Theophilus Wellem <sup>2</sup>.

<sup>1\*,2</sup> Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Kristen Satya Wacana, Kota Salatiga, Provinsi Jawa Tengah, Indonesia.

*Email:* 672016145@student.uksw.edu <sup>1\*</sup>, theophilus.wellem@uksw.edu <sup>2</sup>

### Histori Artikel:

*Dikirim* 3 Juni 2023; *Diterima dalam bentuk revisi* 15 Juni 2023; *Diterima* 1 Juli 2023; *Diterbitkan* 10 September 2023. Semua hak dilindungi oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) STMIK Indonesia Banda Aceh.

### Abstrak

Teknologi WiFi saat ini merupakan generasi ke-6 yang dikenal sebagai WiFi 6/6E dan berdasarkan pada standar IEEE 802.11ax. Standar IEEE 802.11ax memperkenalkan beberapa fitur baru yang membuat WiFi 6 lebih unggul dibandingkan generasi pendahulunya misalnya, modulasi 1024-QAM dan band frekuensi 6 GHz untuk WiFi 6E. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari standar IEEE 802.11ax WiFi 6, melakukan simulasi jaringan IEEE 802.11ax WiFi 6, dan mengobservasi throughput yang diperoleh atau dapat dicapai pada band frekuensi 6 GHz menggunakan ukuran payload yang bervariasi. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ns-3 yang merupakan simulator untuk berbagai model jaringan seperti Ethernet, WiFi, dan 4G LTE. Topologi jaringan yang digunakan pada simulasi terdiri dari satu access point (AP) dan satu station (STA). Hasil simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa ukuran payload mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap throughput. Simulasi dengan ukuran payload 64 byte dan 1500 byte masing-masing menghasilkan throughput sebesar 51 Mbps dan 766,536 Mbps pada channel bandwidth (CBW) 160 MHz dan guard interval (GI) 800 ns.

**Kata Kunci:** IEEE 802.11ax; WiFi 6; Throughput; Simulator NS-3.

### Abstract

The current generation WiFi technology, WiFi 6/6E, is based on the IEEE 802.11ax standard. The IEEE 802.11ax standard introduces several new features that make WiFi 6 superior to its predecessors, for example, 1024-QAM modulation and 6 GHz frequency band for WiFi 6E. This study aims to study the IEEE 802.11ax WiFi 6 standard, simulate an IEEE 802.11ax WiFi 6 network, and observe the throughput achieved in the 6 GHz frequency band using various payload sizes. The simulation is carried out using ns-3, a network simulator for various network models such as Ethernet, WiFi, and 4G LTE. The network topology used in the simulation consists of an access point (AP) and a client station (STA). The simulation results show that payload size significantly affects the network throughput. Simulations with a payload size of 64 and 1500 bytes, at a channel bandwidth (CBW) of 160 MHz and a guard interval (GI) of 800 ns, produce a throughput of 51 Mbps and 766.536 Mbps, respectively.

**Keyword:** IEEE 802.11ax; WiFi 6; Throughput; NS-3 Simulator.

## 1. Pendahuluan

Teknologi jaringan *wireless local area network* (WLAN) mengalami kemajuan yang sangat pesat semenjak dikenalkan pada tahun 1997 dan dirilis sebagai standar pada tahun 1999, yaitu standar IEEE 802.11b atau yang dikenal dengan WiFi generasi pertama dan terus berkembang hingga ke standar IEEE 802.11ax yang dikenal dengan WiFi generasi ke-6 [1]–[3]. Setiap generasi WiFi membawa perubahan yang signifikan dalam teknik transmisi dan modulasi yang digunakan, serta fitur-fitur lainnya yang lebih unggul dibandingkan pendahulunya [4]. Saat ini penggunaan teknologi WiFi atau *wireless LAN* (WLAN) sebagai media untuk mengakses internet mengalami lonjakan pemakaian yang menuntut agar WiFi harus berkerja secara optimal dan efisien. Dalam hal ini, untuk standar WLAN yang saat ini digunakan, yaitu IEEE 802.11ax (WiFi 6/6E), dan yang akan dirilis pada tahun 2024 mendatang, yaitu IEEE 802.11be (WiFi 7) [5] mengedepankan peningkatan *throughput*, peningkatan reliabilitas (kehandalan) pada lingkungan yang padat, penggunaan daya yang rendah (*low power*), kemampuan jarak pancar sinyal, dan beberapa fitur lainnya untuk menangani penggunaan serta fungsi jaringan *wireless* yang semakin kompleks.

Penelitian ini membahas teknologi WiFi 6 berdasarkan pada standar IEEE 802.11ax yang ditetapkan pada tahun 2019 (WiFi 6 pada *band* frekuensi 2.4 GHz dan 5 GHz) dan 2021 (untuk WiFi 6E dengan *band* frekuensi 6 GHz) serta keunggulan yang ada pada standar tersebut, seperti kecepatan transfer data dan konsumsi energi yang lebih rendah. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan simulasi jaringan IEEE 802.11ax WiFi 6 dan mengobservasi *throughput* yang diperoleh atau dapat dicapai pada *band* frekuensi 6 GHz menggunakan ukuran *payload* yang bervariasi. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *network simulator*, yaitu ns-3 (versi 3.38) [6], yang dijalankan pada sistem operasi Linux Ubuntu. Manfaat dari penelitian ini antara lain: 1) dapat memberikan informasi mengenai standar IEEE 802.11ax WiFi 6 berdasarkan simulasi yang dilakukan, 2) dapat mengobservasi *throughput* dari jaringan IEEE 802.11ax WiFi 6 untuk jaringan dengan satu *access point* (AP) dan satu *client* (STA), dan 3) dapat menjadi referensi untuk melakukan simulasi lebih lanjut dengan skenario yang lebih kompleks mengenai jaringan IEEE 802.11ax WiFi 6.

Standar IEEE 802.11ax WiFi 6 dikenal juga dengan nama *high efficiency* (HE) *wireless*. Tujuan utama dari standar ini adalah untuk mengimplementasikan mekanisme atau fitur-fitur baru yang dapat meningkatkan *throughput per user* pada lingkungan yang padat (*high density environment*) seperti bandara, stasiun kereta api, dan stadion olahraga, di mana terdapat banyak *user* yang menggunakan koneksi *wireless* dan juga terdapat banyak AP yang *overlap* satu sama lain [7]. Fitur utama dari IEEE 802.11ax yang berbeda dengan generasi pendahulunya (IEEE 802.11ac WiFi 5) adalah *Modulation and Coding Scheme* (MCS 10 dan 11) dengan modulasi 1024-QAM (WiFi 5 menggunakan MCS 8 dan 9 dengan modulasi 256-QAM), *downlink* dan *uplink multi-user MIMO* (MU-MIMO), *downlink* dan *uplink* multi-user dengan OFDMA, penggunaan ukuran *Fast Fourier Transform* (FFT) yang lebih besar, durasi simbol OFDM yang lebih besar, dan *data rate* yang lebih tinggi hingga 9.6 Gbps. Selain itu, IEEE 802.11ax bekerja pada *band* frekuensi 2.4 GHz, 5 GHz, dan 6 GHz (untuk WiFi 6E) sedangkan WiFi 5 hanya menggunakan *band* frekuensi 5 GHz. *Channel bandwidth* (CBW) yang didukung adalah 20 MHz, 40 MHz, 80+80 MHz (*channel bonding*), dan 160 MHz. *Cyclic prefix* (CP) atau *guard interval* (GI) antar simbol OFDM sebesar 800 ns, 1600 ns, dan 3200 ns.

Simulator ns-3 [6] merupakan perangkat lunak untuk melakukan simulasi jaringan komputer dan telekomunikasi. ns-3 bersifat *open source* dan dikembangkan menggunakan bahasa C++. Simulator ns-3 pertama kali diperkenalkan pada tahun 2008 dan saat ini umum digunakan sebagai media pengajaran dan penelitian protokol jaringan. Modul-modul pada ns-3 dikembangkan menggunakan pendekatan lapisan protokol OSI dan TCP/IP. Beberapa model jaringan yang saat ini tersedia pada ns-3 yaitu WiFi, WiMAX, dan LTE. Modul WiFi pada simulator ns-3 mencakup PHY layer dan MAC layer. Sebuah AP dan STA direpresentasikan menggunakan kelas (dalam pemrograman C++) *Node* dan link komunikasi (*wired* dan *wireless*) direpresentasikan dengan kelas *Channel*. Selanjutnya, sebuah *network adapter* atau *network interface card* (NIC) direpresentasikan menggunakan kelas *NetDevice*. *Node* AP dan STA masing-masing menggunakan *WiFiNetDevice* dan berkomunikasi melalui *WifiChannel*. PHY layer direpresentasikan menggunakan kelas *WifiPhy*, sedangkan MAC layer direpresentasikan menggunakan

kelas *WifiMac* yang terdiri dari *ApWifiMac* (untuk AP) dan *StaWifiMac* (untuk STA). Obyek atau *instance* dari kelas-kelas ini (berserta kelas pendukung lainnya) yang digunakan untuk melakukan simulasi jaringan WiFi pada simulator ns-3.

IEEE 802.11ax WiFi 6 telah menjadi topik yang diteliti sebagai *next generation* WiFi sejak dirilisnya standar IEEE 802.11ac WiFi 5 pada tahun 2013 [8]–[10]. Penelitian-penelitian tersebut secara umum mendeskripsikan fitur-fitur yang harus dimiliki oleh WiFi 6 untuk memenuhi kebutuhan pengguna akan kehandalan WiFi dan *throughput* yang lebih tinggi dibandingkan dengan generasi sebelumnya. Tujuan utama standar IEEE 802.11ax adalah untuk menyediakan jaringan *wireless* dengan efisiensi yang tinggi (*high efficiency*) pada lingkungan yang padat (*dense environment*). Penelitian oleh Deng, dkk. [11] membahas mengenai standarisasi dari IEEE 802.11ax, serta desain dari PHY dan MAC *layer* untuk IEEE 802.11ax. Penelitian-penelitian mengenai IEEE 802.11ax WiFi 6 secara umum mempunyai fokus untuk menguji performa WiFi 6 beserta berbagai fitur baru yang ditawarkan. Penelitian oleh Rochim, dkk. [12] membahas perbandingan performa antara jaringan *wireless* dengan standar IEEE 802.11ax dengan jaringan *wireless* yang menggunakan standar IEEE 802.11ac dalam menangani jumlah *client* (STA) yang bervariasi. Simulasi pada penelitian tersebut dilakukan menggunakan ns-3 versi 3.29 dengan parameter MCS 9 untuk IEEE 802.11ac (modulasi 256-QAM) dan MCS 11 untuk 802.11ax (modulasi 1024-QAM). Selain itu digunakan nilai GI 800 ns, CBW 160 MHz, durasi simulasi 2 detik, dan jumlah STA bervariasi dari 2 hingga 512. Selanjutnya, pada penelitian [13], Fukuda, dkk. membahas mengenai pengaruh *channel bonding* terhadap *throughput* pada jaringan IEEE 802.11ax. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa *channel bonding* 40 MHz (20 MHz + 20 MHz) dapat meningkatkan *throughput* secara signifikan.

Penelitian oleh Sandoval dan Cespedes [14] melakukan evaluasi kinerja jaringan IEEE 802.11ax di rumah/apartemen (*residential networks*). Fokus utama evaluasi dilakukan untuk proses *multi-user downlink transmission* (transmisi dari AP ke beberapa STA). Topologi jaringan yang diuji terdiri 4 hingga 16 STA yang menggunakan aplikasi *streaming* (4K *video streaming*) melalui suatu AP. Parameter simulasi yang digunakan antara lain, CBW 80 MHz/160 MHz, GI 800 ns, modulasi 1024-QAM (MCS 11). Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Hasil simulasi menunjukkan bahwa IEEE 802.11ax mempunyai kapasitas dan *throughput* yang lebih baik dibandingkan IEEE 802.11ac pada berbagai nilai RSSI (*receive signal strength indicator*). Penelitian oleh Frommel, dkk. [15] melakukan analisis terhadap jaringan IEEE 802.11ax di mana terdapat juga STA yang bekerja pada IEEE 802.11n (WiFi 4). Parameter yang digunakan antara lain, band frekuensi 5 GHz, CBW 40 MHz, MCS 7, protokol TCP, dan ukuran *payload* 1460 bytes. Selain menggunakan simulator, penelitian tersebut juga menggunakan peralatan yang sebenarnya (peralatan di laboratorium) untuk menguji performa jaringan. Penelitian oleh Masiukiewicz [16] membandingkan *throughput* antara IEEE 802.11ax dengan IEEE 802.11ac/n pada beberapa skenario *distance window*. Penelitian tersebut dilakukan menggunakan simulator ns-3 (versi 3.27) dan hasilnya menunjukkan bahwa pada beberapa kondisi, IEEE 802.11ac memperoleh *throughput* yang lebih tinggi dibandingkan dengan IEEE 802.11ax. Pada penelitian [17], Rathor dan Joshi melakukan analisis perbandingan antara IEEE 802.11ac dan IEEE 802.11ax. Hasil penelitian tersebut menunjukkan fitur MU-MIMO dan uplink OFDMA pada IEEE 802.11ax meningkatkan *throughput* karena banyak STA dapat menggunakan *bandwidth* secara efisien dan menggunakan *channel* yang sama pada suatu waktu. Berdasarkan kajian dari beberapa penelitian terdahulu, penelitian ini melakukan simulasi untuk mengukur *throughput* (*downlink*) jaringan IEEE 802.11ax pada *band* frekuensi 6 GHz. Penggunaan *band* frekuensi 6 GHz merupakan salah satu perbedaan penelitian ini dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang telah disebutkan di atas.

## 2. Metode Penelitian

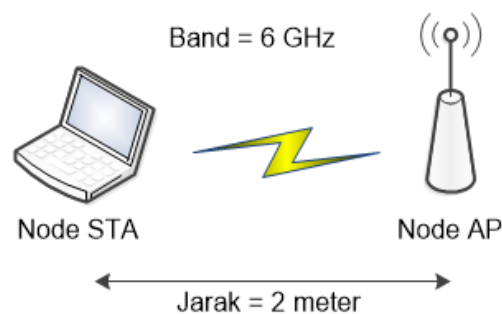
Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif dengan eksperimen. Eksperimen dilakukan menggunakan perangkat lunak simulator ns-3 versi 3.38 yang merupakan versi terbaru saat penelitian ini dilaksanakan. *Script* untuk melakukan simulasi pada

ns-3 ditulis menggunakan bahasa pemrograman C++. Untuk simulasi jaringan IEEE 802.11ax WiFi pada penelitian ini, digunakan *script* yang telah disediakan oleh ns-3 sebagai *script* contoh simulasi dasar untuk jaringan IEEE 802.11ax yang dapat dikembangkan lebih lanjut. Topologi jaringan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 1 (satu) AP dan 1 (satu) STA atau *client station* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Batasan dalam simulasi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Simulasi jaringan IEEE 802.11ax WiFi 6 ini menggunakan simulator ns-3 pada sistem operasi Linux Ubuntu dan *script* simulasi dituliskan dalam bahasa pemrograman C++.
- 2) Simulasi dilakukan hanya untuk mengukur *throughput* pada *band* frekuensi 6 GHz. Untuk *band* frekuensi 2.4 GHz dan 5 GHz tidak dilakukan pengukuran.
- 3) Jaringan yang disimulasikan menggunakan mode infrastruktur dengan hanya satu AP dan satu STA.
- 4) Jarak antara AP dan STA ditetapkan 2 (dua) meter dan *mobility* dari STA bersifat *constant*.
- 5) Pengukuran *throughput* hanya dilakukan menggunakan nilai MCS tertinggi pada IEEE 802.11ax (MCS = 11).
- 6) Trafik antara AP dan STA merupakan trafik aplikasi yang menggunakan protokol UDP (UDP *server* dan UDP *client*).

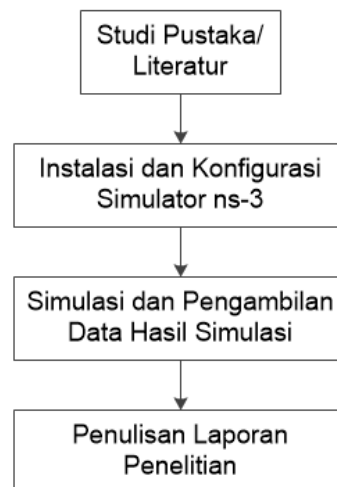
Berikut adalah perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini:

- 1) Perangkat keras: Laptop dengan AMD Ryzen 5 5500U CPU, RAM 8GB LPDDR4x-3733MHz, M.2 PCIe NVMe SSD 512GB.
- 2) Perangkat lunak: VMware Workstations 17 Pro, Ubuntu 22.04.2 LTS, simulator ns-3 Versi 3.38.



Gambar 1. Topologi Jaringan pada Skenario Simulasi

Tahapan pelaksanaan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

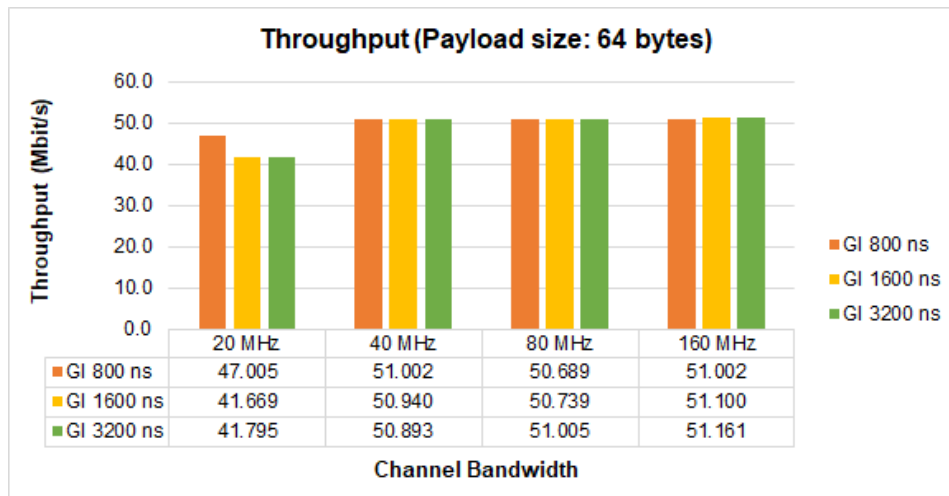
- 1) Studi pustaka/literatur: Pada tahap ini dilakukan studi pustaka mengenai teknologi dan standar IEEE 802.11ax WiFi 6. Selain itu, juga dilakukan studi terhadap berbagai penelitian terdahulu mengenai WiFi 6 dan simulasinya.
- 2) Instalasi dan konfigurasi simulator ns-3: Pada tahap ini dilakukan instalasi dan konfigurasi simulator ns-3 pada sistem operasi Linux Ubuntu. Penelitian ini menggunakan Linux Ubuntu yang berjalan pada sebuah *virtual machine* (VM).
- 3) Simulasi dan Pengambilan Data Hasil Simulasi. Pada tahap ini dilakukan penulisan script simulasi, eksekusi simulasi, dan pengambilan hasil atau data pengukuran (*throughput*) yang diperoleh selama proses simulasi.

Pada simulasi yang dilakukan *band* frekuensi yang digunakan adalah 6 GHz, satu *spatial stream*, jarak antara AP dan STA ditetapkan sebesar 2 meter, AP menjalankan aplikasi UDP *client*, STA menjalankan aplikasi UDP *server*, dan durasi simulasi sebesar 1 detik. Untuk pengukuran *throughput* digunakan nilai MCS=11 yang merupakan MCS tertinggi pada IEEE 802.11ax (modulasi 1024-QAM). Ukuran *payload* dari paket yang dikirimkan antara AP dan STA, CBW, dan GI yang digunakan dibuat bervariasi untuk melihat pengaruhnya pada nilai *throughput*. Ukuran *payload* yang digunakan adalah 64, 128, 256, 512, 1024, 1500 byte, sehingga terdapat 6 skenario pada simulasi yang dilakukan, masing-masing untuk setiap ukuran *payload*: Skenario 1 (64 byte), Skenario 2 (128 byte), Skenario 3 (256 byte), Skenario 4 (512 byte), Skenario 5 (1024 byte), dan Skenario 6 (1500 byte).

### 3. Hasil dan Pembahasan

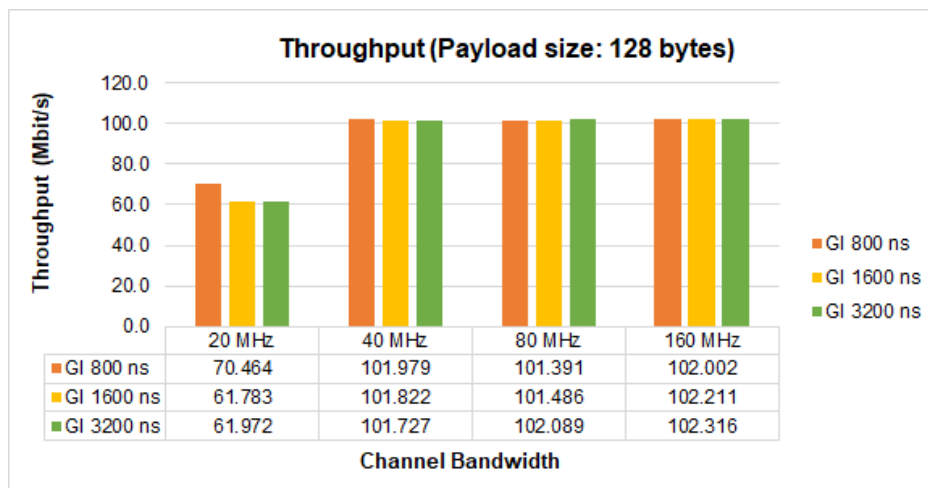
Hasil simulasi untuk Skenario 1 ditunjukkan pada Gambar 3. Pada nilai CBW 20 MHz dan GI 3200 ns diperoleh nilai *throughput* 41,795 Mbps yang merupakan nilai *throughput* paling rendah dalam simulasi menggunakan ukuran *payload* 64 byte. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan terlihat bahwa *throughput* akan meningkat jika CBW semakin besar dan GI semakin kecil. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Jika CBW semakin besar, maka jumlah *subcarrier* atau *resource unit* (RU) semakin banyak sehingga jumlah data yang dapat ditransmisikan semakin besar. Pada *band* frekuensi 6 GHz (5,925 MHz hingga 7,125 MHz dengan lebar spektrum 1.2 GHz) terdapat 60 channel 20 MHz, 29 channel 40 MHz, 14 channel 80 MHz, dan 7 channel 160 MHz. Ukuran GI mempengaruhi jumlah OFDM *symbol* (data) yang dapat dibawa, sehingga semakin kecil GI antar OFDM *symbol*, maka semakin kecil pula spektrum frekuensi yang hanya terpakai sebagai GI. Dengan demikian, frekuensi tersebut dapat dipakai untuk mentransmisikan data. Dengan demikian, data yang dapat ditransmisikan lebih banyak.

Lebarnya spektrum yang tersedia pada *band* frekuensi 6 GHz dapat mengakomodasi lebih banyak *channel* dan *subcarrier*. Hasil simulasi dengan ukuran *payload* 64 byte untuk CBW=160 MHz dan GI=800 ns memperoleh nilai *throughput* sebesar kurang lebih 51 Mbps. Hasil simulasi juga menunjukkan jika CBW diubah dari 20 MHz menjadi 40 MHz, terjadi peningkatan *throughput* yang cukup signifikan (~9 Mbps untuk GI 1600 ns dan GI 3200 ns), tetapi untuk perubahan dari 40 MHz ke 80 MHz dan 160 MHz, peningkatan *throughput* tidak signifikan disebabkan karena ukuran *payload* yang ditransmisikan hanya 64 byte.



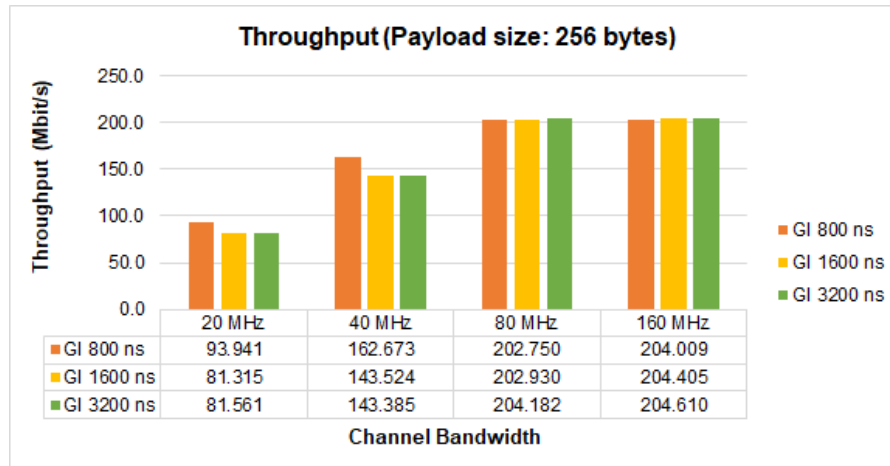
Gambar 3. Perbandingan *throughput* pada setiap CBW dengan GI yang berbeda untuk ukuran *payload* 64 byte

Gambar 4 menunjukkan simulasi dengan skenario ukuran *payload* sebesar 128 byte (Skenario 2). Hasil simulasi pada skenario ini menunjukkan pengaruh penambahan ukuran *payload* terhadap *throughput* yang diperoleh. Pada CBW=160 MHz dan GI=3200 ns diperoleh nilai *throughput* sekitar 102 Mbps. Jika dibandingkan dengan CBW=20 MHz dan GI=3200 ns, maka terdapat peningkatan *throughput* sekitar 40 Mbps. Pada simulasi menggunakan ukuran *payload* 128 byte, didapatkan bahwa peningkatan CBW dari 40 MHz ke 80 MHz dan 160 MHz tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan *throughput*. Kondisi ini mirip dengan hasil simulasi menggunakan *payload* sebesar 64 byte.



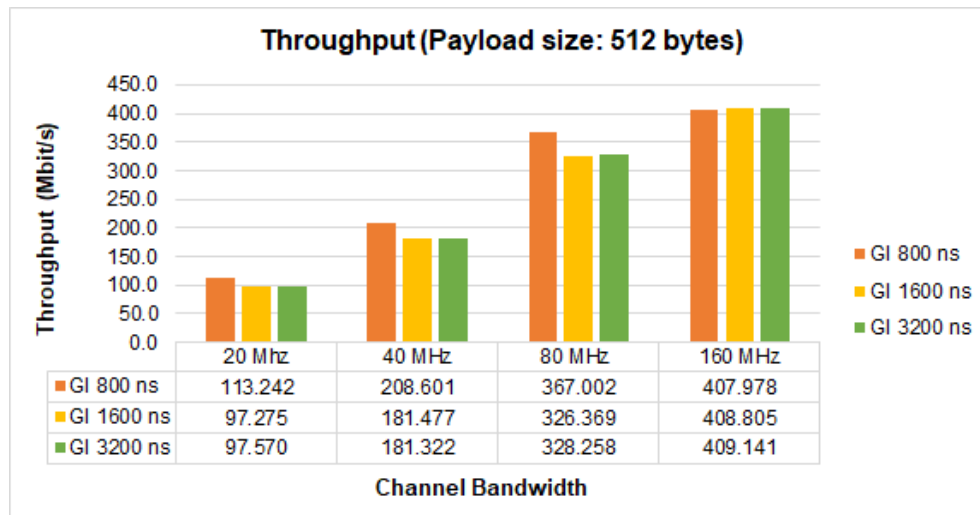
Gambar 4. Perbandingan *throughput* pada setiap CBW dengan GI yang berbeda untuk ukuran *payload* 128 byte

Hasil simulasi untuk Skenario 3 ditunjukkan pada Gambar 5 dan dapat terlihat bahwa peningkatan ukuran *payload* dari 128 byte menjadi 256 byte meningkatkan nilai *throughput* yang diperoleh (dari ~102 Mbps menjadi ~204 Mbps). Hal lain yang dapat diamati adalah peningkatan nilai *throughput* yang signifikan jika CBW diubah dari 40 MHz ke 80 MHz. Meskipun demikian, peningkatan CBW dari 80 MHz ke 160 MHz tidak menunjukkan peningkatan *throughput* yang signifikan (kurang dari 2 Mbps).

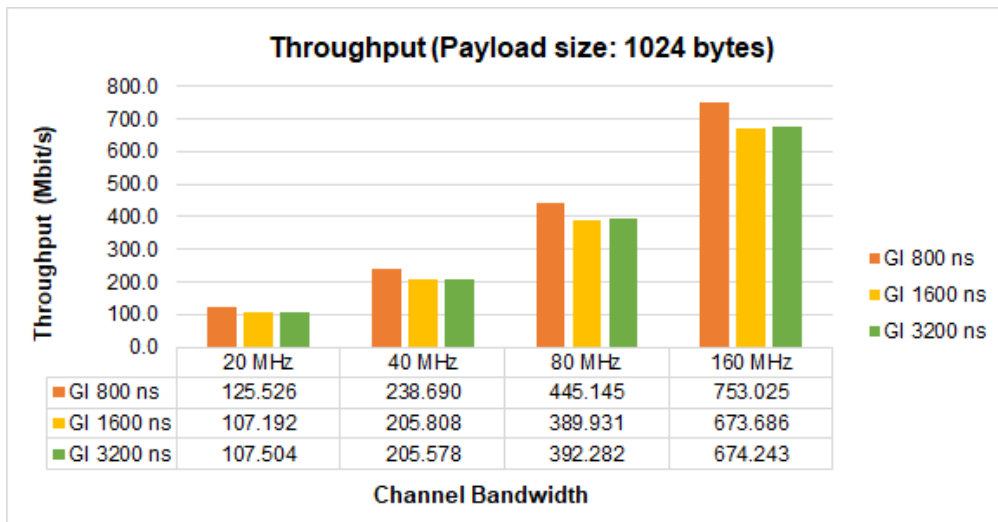


Gambar 5. Perbandingan *throughput* pada setiap CBW dengan GI yang berbeda untuk ukuran *payload* 256 byte

Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi untuk ukuran *payload* sebesar 512 byte (Skenario 4). Simulasi ini menunjukkan bahwa *throughput* yang diperoleh semakin meningkat dan mencapai nilai 409 Mbps. Pada skenario ini mulai terlihat pengaruh dari peningkatan CBW. Penggunaan CBW 20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, dan 160 MHz mulai menunjukkan perbedaan yang signifikan pada *throughput* yang diperoleh. Hal ini juga ditunjukkan pada simulasi untuk Skenario 5 pada Gambar 7 di mana ukuran *payload* yang digunakan adalah 1024 byte. Pada Skenario 5 diperoleh *throughput* hingga 753 Mbps. Pada simulasi ini juga terlihat bahwa perubahan CBW mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan *throughput*. Sebagai contoh, pada CBW 20 MHz dan GI 800 ns diperoleh *throughput* sebesar 125,526 MHz sedangkan pada CBW 160 MHz dengan GI yang sama diperoleh *throughput* sebesar 753.025 MHz.

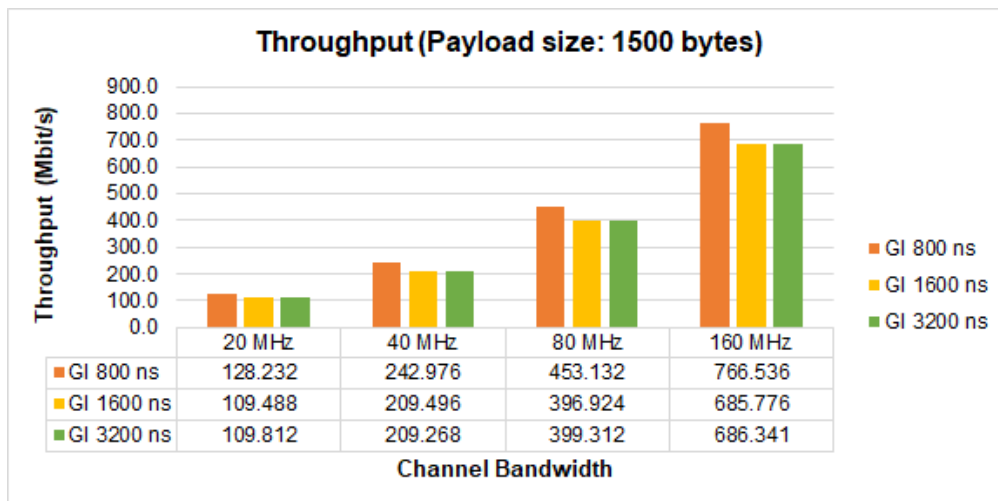


Gambar 6. Perbandingan *throughput* pada setiap CBW dengan GI yang berbeda untuk ukuran *payload* 512 byte

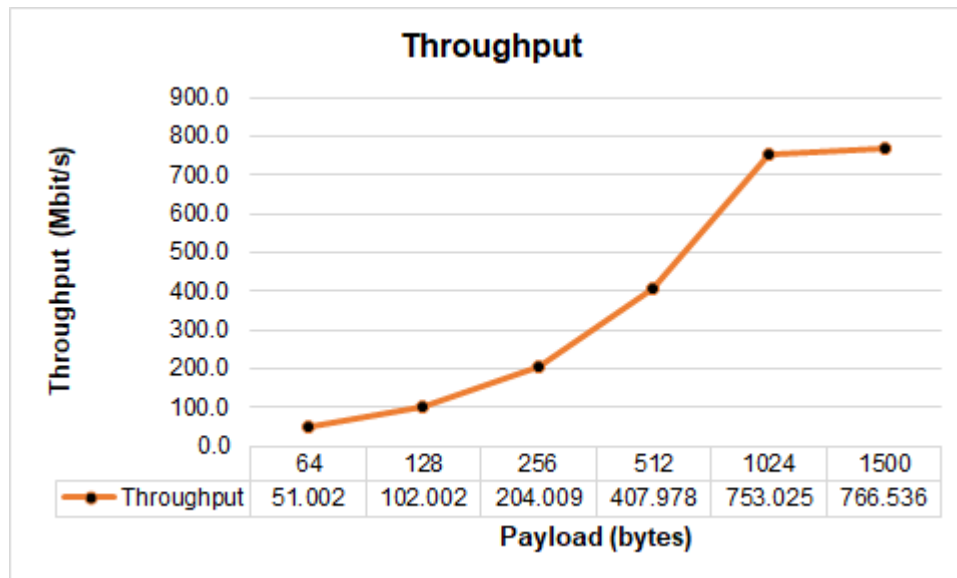


Gambar 7. Perbandingan *throughput* pada setiap CBW dengan GI yang berbeda untuk ukuran *payload* 1024 byte

Skenario 6 melakukan simulasi untuk ukuran *payload* sebesar 1500 Mbps yang merupakan ukuran maksimum *payload* pada suatu frame IEEE 802.3 Ethernet (LAN). Pada skenario ini, hasil maksimum *throughput* yang diperoleh adalah sebesar 766 Mbps seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Gambar 9 menunjukkan rangkuman dari hasil pengukuran *throughput* untuk ukuran *payload* pada CBW terbesar (160 MHz) dan GI terkecil (800 ns). Berdasarkan gambar tersebut dapat terlihat bahwa *throughput* akan meningkat seiring dengan peningkatan ukuran *payload* yang digunakan. Perlu dicatat bahwa simulasi yang dilakukan hanya menggunakan satu *spatial stream*, sehingga *throughput* yang diperoleh dari hasil simulasi tidak menunjukkan *data rate* maksimum (secara teori) yang dapat dicapai oleh standar IEEE 802.11ax, yaitu 9608 Mbps. Jika diasumsikan digunakan 8 *spatial stream*, maka *throughput* yang diperoleh dari simulasi adalah 6128 Mbps.



Gambar 8. Perbandingan *throughput* pada setiap CBW dengan GI yang berbeda untuk ukuran *payload* 1500 byte



Gambar 9. Hasil pengukuran *throughput* dengan ukuran *payload* yang berbeda (CBW=160 MHz, GI=800 ns).

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini melakukan simulasi jaringan IEEE 802.11ax pada *band* frekuensi 6 GHz dengan ukuran *payload* yang bervariasi untuk mengukur *throughput* yang dapat dicapai. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan diperoleh bahwa ukuran *payload* mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap *throughput*. Simulasi dengan ukuran *payload* 64 byte dan 1500 byte masing-masing menghasilkan *throughput* sebesar 51 Mbps dan 766,536 Mbps. Selanjutnya, untuk semua ukuran *payload*, pengaruh dari nilai GI (dengan nilai CBW yang sama) terhadap *throughput* tidak terlalu signifikan, kecuali pada nilai GI 800 ns. Simulasi menggunakan CBW yang berbeda (dengan nilai GI yang sama) menunjukkan pengaruh yang signifikan pada *throughput*. Nilai *throughput* tertinggi yang diperoleh dari hasil simulasi adalah 766,536 Mbps dengan ukuran *payload* 1500 byte, CBW 160 MHz dan GI 800 ns. Kondisi ini diperoleh dengan topologi yang terdiri dari satu AP dan satu STA dengan jarak 2 meter. Penelitian ini hanya mengambil skenario pengukuran *throughput* pada *band* frekuensi 6 GHz. Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut, dapat disimulasikan berbagai skenario dan fitur-fitur yang ada pada standar IEEE 802.11ax misalnya, *target wakeup time* (TWT), MU-MIMO, dan *downlink/uplink* OFDMA.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] IEEE Standard for Information Technology–Telecommunications and Information Exchange between Systems Local and Metropolitan Area Networks–Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, *IEEE Std 802.11ax-2021 (Amendment to IEEE Std 802.11-2020)*. pp. 1–767, May 2021. DOI: 10.1109/IEEESTD.2021.9442429.
- [2] Bellalta, B. (2016). IEEE 802.11 ax: High-efficiency WLANs. *IEEE Wireless Communications*, 23(1), 38-46. DOI: 10.1109/MWC.2016.7422404.

- [3] Afaqui, M. S., Garcia-Villegas, E., & Lopez-Aguilera, E. (2016). IEEE 802.11 ax: Challenges and requirements for future high efficiency WiFi. *IEEE wireless communications*, 24(3), 130-137. DOI: 10.1109/MWC.2016.1600089WC.
- [4] Qu, Q., Li, B., Yang, M., Yan, Z., Yang, A., Deng, D. J., & Chen, K. C. (2019). Survey and performance evaluation of the upcoming next generation WLANs standard-IEEE 802.11 ax. *Mobile Networks and Applications*, 24, 1461-1474. DOI: 10.1007/s11036-019-01277-9.
- [5] IEEE P802.11be - IEEE Draft Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks--Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer." Accessed: May 17, 2023. [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.11be/7516/>.
- [6] NS-3 Network Simulator, (2023). *ns-3*. <https://www.nsnam.org/> (accessed May 16, 2023).
- [7] Introduction to 802.11ax High-Efficiency Wireless. <https://www.ni.com/en/solutions/semiconductor/wireless-connectivity-test/introduction-to-802-11ax-high-efficiency-wireless.html>.
- [8] S. Shinohara, J. Iwatani, and Y. Inoue, (2017). Standardization of Next-generation Wireless LAN IEEE 802.11ax, *NTT Tech. Rev.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–6, 2017.
- [9] IEEE P802.11 - TASK GROUP AX. [https://www.ieee802.org/11/Reports/tgax\\_update.htm](https://www.ieee802.org/11/Reports/tgax_update.htm).
- [10] IEEE Standard for Information technology– Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks– Specific requirements–Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, *IEEE Std 802.11ac-2013 (Amendment to IEEE Std 802.11-2012, as amended by IEEE Std 802.11ae-2012, IEEE Std 802.11aa-2012, and IEEE Std 802.11ad-2012)*. pp. 1–425, Dec. 2013, DOI: 10.1109/IEEESTD.2013.6687187.
- [11] Deng, D. J., Chen, K. C., & Cheng, R. S. (2014, August). IEEE 802.11 ax: Next generation wireless local area networks. In *10Th international conference on heterogeneous networking for quality, reliability, security and robustness* (pp. 77-82). IEEE. DOI: 10.1109/QSHINE.2014.6928663.
- [12] Rochim, A. F., Harijadi, B., Purbanugraha, Y. P., Fuad, S., & Nugroho, K. A. (2020, February). Performance comparison of wireless protocol IEEE 802.11 ax vs 802.11 ac. In *2020 international conference on smart technology and applications (ICoSTA)* (pp. 1-5). IEEE. DOI: 10.1109/ICoSTA48221.2020.1570609404.
- [13] Fukuda, Y., Hatase, T., Satoh, A., Nakamura, Y., & Wada, S. (2022, April). Characterizing the basic performance of IEEE 802.11 ax using actual hardware measurements. In *NOMS 2022-2022 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium* (pp. 1-4). IEEE. DOI: 10.1109/NOMS54207.2022.9789895.
- [14] Sandoval, J., & Cespedes, S. (2021, November). Performance evaluation of IEEE 802.11 ax for residential networks. In *2021 IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)* (pp. 1-7). IEEE. DOI: 10.1109/LATINCOM53176.2021.9647762.



- [15] Frommel, F., Capdehourat, G., & Rodríguez, B. (2021, November). Performance Analysis of Wi-Fi Networks based on IEEE 802.11 ax and the Coexistence with Legacy IEEE 802.11 n Standard. In *2021 IEEE URUCON* (pp. 492-495). IEEE. DOI: 10.1109/URUCON53396.2021.9647207.
- [16] Masiukiewicz, A. (2019). Throughput comparison between the new HEW 802.11 ax standard and 802.11 n/ac standards in selected distance windows. *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 65(1), 79-84. DOI: 10.24425/ijet.2019.126286.
- [17] Rathor, R. G., & Joshi, R. D. (2021, November). Performance Analysis of IEEE802. 11ax (Wi-Fi 6) Technology using Multi-user MIMO and Up-Link OFDMA for Dense Environment. In *2021 IEEE 2nd International Conference on Applied Electromagnetics, Signal Processing, & Communication (AESPC)* (pp. 1-7). IEEE. DOI: 10.1109/AESPC52704.2021.9708544.