



Evaluasi Parameter RAW Berdasarkan *Multirate* Pada IEEE 802.11ah: Simulasi Kinerja Optimum Jaringan IoT

Haris Mustaqin¹, Teuku Yuliar Arif², Rizal Munadi³

^{1,2,3}Magister Teknik Elektro, Universitas Syiah Kuala

¹haris.mustaqin@unsyiah.ac.id*, ²yuliar@unsyiah.ac.id, ³rizal.munadi@unsyiah.ac.id

Abstract

IEEE 802.11ah WLAN is a technology standard for IoT networks because it can provide a higher transmission range and data rate than WPAN and LPWAN. To manage channel access up to 8191 at the MAC layer IEEE 802.11ah a Restricted Access Window scheme was introduced. Generally, evaluation and optimization of RAW parameters are only based on constant data rates without taking into account the multirate support for PHY AP and STA IoT IEEE 802.11ah. This study uses an open source-based NS-3 network simulator. Simulation analysis is run by calculating the value of throughput, delay, packet loss, and energy consumption of each node. Based on testing the effect of the number of slots on throughput, it shows that the resulting throughput values fluctuate with stable dominance, depending on the number of slots used. The effect of the number of slots on packet loss shows that the packet loss value is low for each slot because more packets can be accommodated in the RAW slot queue. The effect of the number of slots on energy consumption decreases at some data rates and some lower energy consumption values, thereby saving energy consumption.

Keywords: multirate, restricted access window, throughput, delay, packet loss, IoT

Abstrak

WLAN IEEE 802.11ah merupakan standar teknologi untuk jaringan IoT karena mampu menyediakan jangkauan transmisi dan data rate lebih tinggi dari WPAN dan LPWAN. Untuk mengatur akses kanal hingga 8191 pada lapisan MAC IEEE 802.11ah diperkenalkan skema *Restricted Access Window* (RAW). Literatur sebelumnya evaluasi dan optimasi parameter RAW hanya berdasarkan data rate konstan tanpa memperhitungkan dukungan multirate pada PHY AP dan STA IoT IEEE 802.11ah. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi dan menganalisis parameter RAW optimal, yaitu parameter *Slot Duration Count*, *Number of Slots*, dan *RAW Group* berdasarkan multirate untuk dapat menghasilkan kinerja WLAN IEEE 802.11ah yang optimal. Penelitian ini menggunakan simulator jaringan NS-3 berbasis open source. Prosedur pengujian dengan mengimplementasikan tahapan RAW berdasarkan multirate pada IEEE 802.11ah untuk optimasi kinerja jaringan IoT. Analisis simulasi dijalankan dengan menghitung nilai throughput, delay, packet loss dan konsumsi energi masing-masing node. Berdasarkan pengujian pengaruh jumlah slot terhadap throughput menunjukkan nilai throughput yang dihasilkan berubah-ubah dengan dominasi stabil, tergantung jumlah slot yang digunakan. Pengaruh jumlah slot terhadap delay cenderung stabil dan beberapa nilai delay juga rendah, rata-rata delay dipengaruhi oleh mekanisme RAW dimana saat paket dikirim tetapi belum mendapat kesempatan pada bagian RAW slot. Pengaruh jumlah slot terhadap packet loss menunjukkan nilai packet loss rendah tiap slot-nya, dikarenakan lebih banyak paket yang dapat ditampung pada antrian RAW slot. Pengaruh jumlah slot terhadap konsumsi energi menurun pada beberapa data rate dan beberapa nilai konsumsi energi lebih rendah sehingga menghemat konsumsi energi. Hal diakibatkan dengan bertambahnya jumlah slot kecepatan mobilitas meningkat, namun nilai rata-rata konsumsi energi hanya naik sedikit.

Kata kunci: Multirate, Restricted Acces Windows, Throughput, Delay, Packet Loss, IoT

1. Pendahuluan

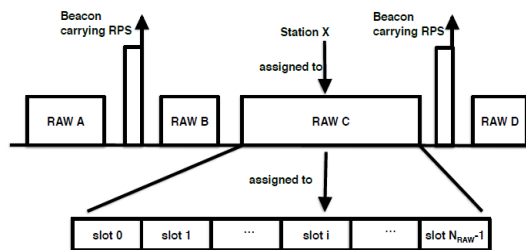
Standar Wi-Fi IEEE 802.11ah secara resmi dirilis pada tahun 2016. Perangkat ini beroperasi dengan kecepatan data mulai dari 150 Kbps hingga 78 Mbps dalam satu aliran spasial [1]. Studi terbaru menunjukkan bahwa

IEEE 802.11ah lebih hemat energi daripada IEEE 802.15.4 karena lebih sedikit overhead pensinyalan, meningkatkan masa pakai baterai hingga 6 kali [2]. *Wireless Local Area Network* (WLAN) IEEE 802.11ah merupakan standar teknologi yang potensial digunakan

untuk jaringan *Internet of Things* (IoT) karena mampu menyediakan jangkauan transmisi dan *data rate* jauh lebih tinggi dari *Wireless Personal Area Network* (WPAN) dan *Low Power Wide Area Network* (LPWAN). Teknologi WPAN seperti *Bluetooth* dan *Zigbee* memiliki *data rate* hingga 1 Mbps, namun jarak jangkauan hanya sampai 100 meter. Sebaliknya teknologi LPWAN seperti LoRAWAN dan SigFox memiliki jarak jangkauan hingga 40 km, namun hanya mendukung *data rate* hingga 25 kbps [3]. Selain itu, WLAN IEEE 802.11ah mampu mengkoneksikan hingga 8191 perangkat IoT pada satu *Access Point* (AP) yang sama sehingga sangat sesuai untuk berbagai aplikasi IoT.

WLAN IEEE 802.11ah terdiri dari 2 lapisan, lapisan Fisik (PHY) dan lapisan Kontrol Akses Sedang (MAC). PHY 802.11ah dirancang dengan menggunakan operasi *down-clocked* pada IEEE 802.11n, sehingga memiliki mode distribusi bandwidth saluran 2 MHz, 4MHz, 8 MHz, 16 MHz, dan satu bandwidth saluran tambahan 1 MHz. [4] Lapisan *Physical* (PHY) IEEE 802.11ah beroperasi pada pita frekuensi sub-1 GHz dan memungkinkan jarak transmisi antara 100 m hingga 1 km [5].

Untuk mengatur akses kanal hingga 8191 perangkat IoT, pada lapisan *Medium Access Control* (MAC) IEEE 802.11ah diperkenalkan skema *Restricted Access Window* (RAW) [6]. Skema ini digunakan oleh *Access Point* (AP) untuk membatasi akses kanal kepada kelompok perangkat *IoT station* (STA) tertentu agar tingkat perebutan akses kanal menurun dan kinerja jaringan bisa meningkat. Dalam skema RAW, AP mem-broadcast *frame beacon* yang berisi informasi *RAW Parameter Set* (RPS). Opsi ini disebut *cross slot boundary* (batas slot silang) dengan menyiapkan satu bit khusus (disebut sub bidang *cross slot boundary*) dalam elemen RPS yang di-broadcast oleh AP dalam *frame beacon*, tujuannya termasuk untuk meminimalisir terjadinya *collisions* [7]. Dalam RPS terdapat nilai parameter RAW penting yaitu *Slot Duration Count*, *Number of Slots*, dan *RAW Group*. Dalam dokumen standar IEEE 802.11ah tidak ditentukan bagaimana perhitungan masing-masing nilai parameter tersebut untuk menghasilkan kinerja jaringan IEEE 802.11ah yang optimal. sehingga.



Gambar 1. Mekanisme Skema RAW [10]

Pada beberapa penelitian, parameter RAW telah dioptimalisasi menggunakan pendekatan yang berbeda. Pendekatan pertama menggunakan model analitikal [8]-[11]. N. Nawaz, dkk. [8] mengevaluasi dan mengoptimalkan parameter durasi slot RAW berdasarkan nilai parameter RAW Group. Gopinath dan Nithya [9] mengusulkan metode Fungsi Koordinasi Terdistribusi (DCF) yakni metode akses media berbasis contention yang menggunakan *Binary Exponential Backoff* (BEB) untuk menyelesaikan contention antara stasiun di dalam RAW Group. R. Wang, dkk [10] mengevaluasi dan mengoptimalkan parameter RAW Group berdasarkan pengelompokan *hidden node*, dimana informasi *hidden node* dikumpulkan pada saat proses asosiasi semua STA. Sedangkan AP. Y. Wang, dkk. [11] mengevaluasi dan mengoptimalkan parameter RAW Group untuk meningkatkan efisiensi energi dan menurunkan delay berdasarkan teori Markov Chain. Namun penggunaan model analitikal tersebut membutuhkan proses komputasi yang tinggi sehingga sulit dieksekusi secara *real-time* pada perangkat AP yang memiliki sumber daya terbatas. Oleh sebab itu AP harus dapat menentukan secara tepat nilai parameter RAW, yaitu *Slot Duration Count*, *Number of Slots*, dan *RAW Group* agar kinerja jaringan menjadi optimal.

Beberapa peneliti lain mengevaluasi dan mengoptimalkan parameter RAW berdasarkan proses komputasi yang lebih sederhana seperti dalam *paper* [11]-[14]. L. Tian, dkk. [12] mengevaluasi pengaruh parameter beban trafik, jumlah STA dan durasi RAW terhadap jumlah optimal RAW Group. M. N. Perbawa, dkk. [13] mengevaluasi parameter RAW optimal dengan mempertimbangkan parameter *Enhance Distributed Channel Access* (EDCA). A. Sljivo, dkk [14] mengevaluasi parameter RAW optimal berdasarkan kondisi trafik dua arah. L. Tian, dkk. [15] mengusulkan model pengganti yang memprediksi kinerja RAW berdasarkan kondisi jaringan tertentu dan berdasarkan konfigurasi parameter RAW. Namun evaluasi dan optimasi parameter RAW yang telah diusulkan oleh literatur-literatur tersebut hanya berdasarkan *data rate* konstan tanpa memperhitungkan dukungan *multirate* pada PHY AP dan STA IoT IEEE 802.11ah.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental menggunakan *simulator* jaringan NS-3 berbasis *open source*. *Source code* NS-3 bisa diunduh langsung dari web NS-3 (www.nsnam.org). Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi parameter *Slot Duration Count*, *Number of RAW Slots*, *RAW Duration*, dan *RAW Group* untuk menghasilkan kinerja WLAN IEEE 802.11ah yang optimal *multirate* pada IEEE 802.11ah yang pengembangannya menggunakan *simulator* NS-3 sehingga dapat diimplementasikan pada 802.11ah.

Metode penelitian yang digunakan berupa simulasi untuk menguji tingkat keberhasilan dan kegagalan sistem sehingga hasil dapat dianalisis dan disimpulkan. Optimasi parameter *Page Period*, *Page Slice Length* dan *Page Slice Count* berdasarkan *multirate*. menggunakan aplikasi NS-3 dari hasil tersebut dapat menghitung optimasi kinerja jaringan IoT dengan cara menghitung *throughput*, *delay*, *packet loss* dan konsumsi energi masing-masing *node* dan dilakukan evaluasi serta analisis untuk menentukan optimasi kinerja. Pada evaluasi ini digunakan skenario simulasi menggunakan parameter MAC dan PHY simulasi dijalankan 10 kali, selanjutnya dihitung rata-rata total waktu registrasi dan standar deviasinya. Adapun tahapan yang dilakukan untuk mengevaluasi parameter RAW pada IEEE 802.11ah untuk meningkatkan efisiensi energi jaringan IoT.

2.1. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah dengan cara mengimplementasikan tahapan *Restricted Access Window* berdasarkan *Multirate* pada IEEE 802.11ah untuk optimasi kinerja jaringan IoT pada aplikasi simulator NS-3. Adapun bahan penelitian yang diperlukan untuk melakukan penelitian ini adalah Modul IEEE 802.11ah yang telah dikembangkan oleh *literature* [16] dan data plot grafik perbandingan penggunaan energi dan *throughput*. Kemudian menganalisa *throughput*, *delay*, *packet loss* dan konsumsi energi yang dihasilkan berdasarkan *multirate* pada WLAN 802.11ah.

Untuk mengevaluasi pengaruh *Restricted Access Window* berdasarkan *Multirate* pada IEEE 802.11ah, penelitian ini menggunakan modul IEEE 802.11ah yang telah dikembangkan oleh L. Tian, dkk dalam simulator jaringan NS-3 [17]. Dalam simulasi, AP ditempatkan di titik pusat area lingkaran dengan radius maksimum 80% dari jangkauan *data rate* ke AP yakni 1 km dan setiap 100 ms AP mem-*broadcast frame beacon* yang dapat diterima oleh seluruh *N node*. Jumlah *N node* terkecil dalam simulasi ini adalah 128 *node*. Masing-masing *node* dalam periode *beacon* memiliki bilangan *random* $U_R \leq V_{ACT}$ yang akan memperebutkan akses kanal untuk melakukan proses registrasi dengan mentransmisikan *frame AuthReq/AssocReq* ke AP menggunakan *data rate constant* yang dimulai dengan *Modulation and Coding Scheme (MCS)* dalam hal ini menggunakan MCS0 dan *bandwidth* kanal 1 MHz. *Node* kemudian mengirim paket pada AP selanjutnya dihitung *throughput*, *delay*, *packet loss* dan konsumsi energi masing-masing *node*. Penulis mengulangi simulasi menggunakan *data rate constant* yang sama namun dengan jumlah *node* yang berbeda, yaitu 256, 512 dan 1024 *node*.

Dalam skenario simulasi, penulis menggunakan parameter MAC dan PHY seperti yang diperlihatkan

dalam Tabel 1 dan Tabel 2. Parameter MAC dan PHY tersebut sesuai standar IEEE 802.11ah [18]

Tabel 1. *MAC Layer Parameter Used in Simulations* [3][9]

Parameters	Value
<i>Beacon length</i>	67~100 bytes
<i>Authentication request length</i>	26 bytes
<i>Authentication response length</i>	24 bytes
<i>Association request length</i>	37 bytes
<i>Association response length</i>	27 bytes
<i>Authentication request timeout</i>	500 ms
<i>Association request timeout</i>	500 ms
<i>AuthReqAck/ ACK length</i>	14 bytes
<i>Management Queue Threshold</i>	10
<i>Step size of ACT</i>	50
<i>Backoff slot duration</i>	52 μ s
<i>SIFS</i>	160 μ s
<i>DIFS</i>	264 μ s
<i>Beacon interval</i>	100 μ s
<i>Backoff slots</i>	32
<i>Retry limit</i>	7

Tabel 2. *PHY Layer Parameters Used in Simulations* [3][9]

Parameters	Value
<i>AP's transmission range</i>	1000 meters
<i>IoT device's transmission range</i>	500 meters
<i>IoT device position</i>	random
<i>Carrier frequency</i>	900 MHz
<i>Channel bandwidth</i>	1 and 2 MHz
<i>PHY rate</i>	150 Kbps ~ 7.8 Mbps
<i>PHY heaser + preamble</i>	20 μ s
<i>AP's transmission power</i>	30 dBm
<i>IoT device's transmission power</i>	1 dBm
<i>AP's transmission gain</i>	3 dBi
<i>IoT device's transmission gain</i>	1 dBi
<i>AP's reception gain</i>	3 dBi
<i>IoT device's reception gain</i>	1 dBi
<i>Number of Tx/Rx antenna</i>	1/1
<i>Guard time (GT) and IFG</i>	52 μ s
<i>Air propagation delay</i>	3 μ s
<i>Propagation loss model</i>	Outdoor, macro
<i>Error rate model</i>	YansErrorRate

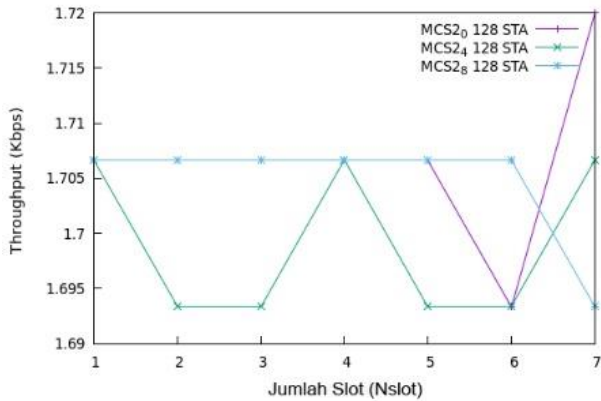
2.2. Analisis Hasil Simulasi

Analisis simulasi yang dilakukan pada evaluasi parameter RAW berdasarkan *multirate* pada IEEE 802.11ah untuk optimasi kinerja jaringan IoT yaitu menghitung *throughput*, *delay*, *packet loss* dan konsumsi energi masing-masing *node* dan dilakukan evaluasi serta analisis untuk menentukan optimasi kinerja. Pada evaluasi ini digunakan skenario simulasi menggunakan parameter MAC dan PHY simulasi dijalankan 10 kali sehingga penulis bisa menghitung rata-rata total waktu registrasi dan standar deviasinya.

3. Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan simulasi dengan aplikasi simulator NS-3 maka diperoleh hasil berupa *throughput*, *delay*, *packet loss* dan konsumsi energi masing-masing *node* dan dilakukan evaluasi serta analisis untuk menentukan optimasi kinerja.

3.1. Pengaruh jumlah slot terhadap throughput



Gambar 2. Hasil simulasi Throughput (Kbps) berdasarkan Jumlah RAW

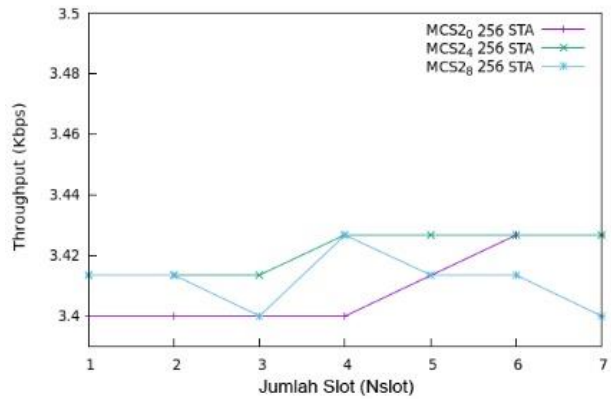
Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan hubungan antara throughput terhadap jumlah slot (*N Slot*). Throughput mengukur secara nyata seberapa cepat suatu data dikirim pada jaringan. Nilai throughput yang dihasilkan pada data rate yang menggunakan bandwidth 2 Mhz dan indeks MCSnya 4 atau MCS2_4 128 STA dan MCS2_8 128 STA adalah sama, sebesar 1,706 kbps hanya pada jumlah slot 1 dan 4. Perubahan jumlah slot memiliki efek terhadap performansi jaringan, dalam hal ini adalah performansi throughput. Pembagian atau pengelompokkan station ke dalam beberapa kelompok dalam satu RAW group dapat digunakan untuk meminimalisir terjadinya contention antar jumlah slot dalam satu RAW group dan mengurangi probabilitas terjadinya collision yang dapat menyebabkan turunya performansi jaringan [19].

Throughput diukur dalam bit per detik (bps). Throughput sifatnya adalah dinamis tergantung pada trafik yang sedang terjadi. Semakin tinggi nilai pada throughput, maka jaringan memiliki performa yang lebih baik. Nilai throughput yang dihasilkan pada MCS2_0 128 STA dan MCS2_8 128 STA adalah sama, sebesar 1,706 kbps hanya pada jumlah slot 5. Nilai throughput pada MCS2_8 128 STA memiliki nilai yang stabil yaitu 1,706 kbps untuk jumlah slot 1-6. Nilai throughput pada MCS2_4 128 STA, memiliki nilai yang berubah-ubah pada jumlah slot 1-6.

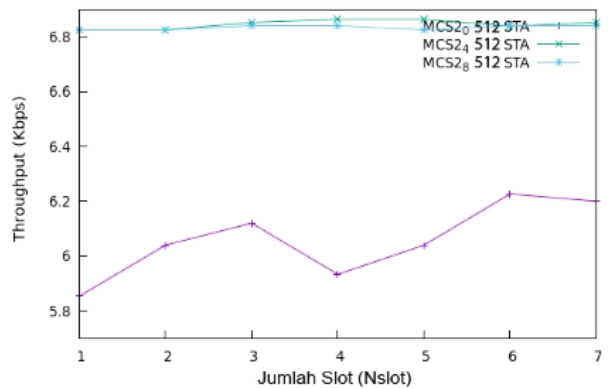
Jika dibandingkan untuk ketiga jenis data rate tersebut MCS2_8 128 STA memiliki Nilai throughput yang lebih bagus bila dibandingkan dengan MCS2_0 128 STA dan MCS2_4 128 STA. Hal ini dikarenakan MCS2_8 128 STA memiliki nilai indeks yang lebih tinggi, dan kualitas salurannya pun lebih baik dari yang lainnya.

Berdasarkan Gambar 3 MCS2_4 256 STA memiliki nilai throughput yang stabil di 3.42 Kbps pada slot 4 - 7, dan MCS2_0 256 STA memiliki nilai throughput yang stabil di 3.4 Kbps pada slot 1 - 4. Hanya pada MCS2_8

256 STA yang memiliki nilai throughput yang berubah-ubah.

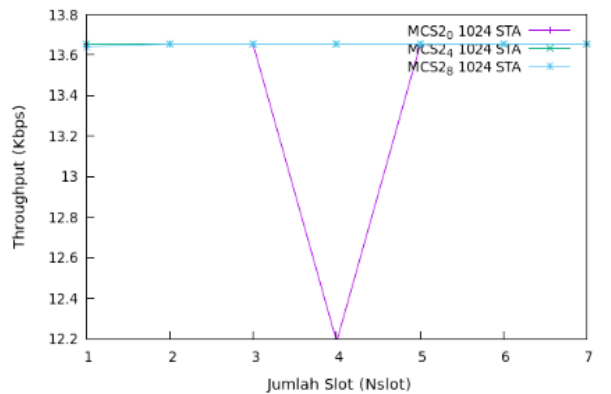


Gambar 3. Hasil simulasi 22-42 Throughput (Kbps) berdasarkan Jumlah RAW



Gambar 4. Hasil simulasi 43-63 Throughput (Kbps) berdasarkan Jumlah RAW

Berdasarkan Gambar 4 diatas MCS2_4 512 STA dan MCS2_8 512 STA memiliki nilai throughput yang paling stabil berkisar 6.8 Kbps. Nilai throughput paling tinggi dihasilkan oleh MCS2_4 256 STA pada slot 4 dan 5. Sementara itu MCS2_0 512 STA memiliki nilai throughput yang tidak stabil dan merupakan yang paling rendah dibandingkan data rate lainnya.

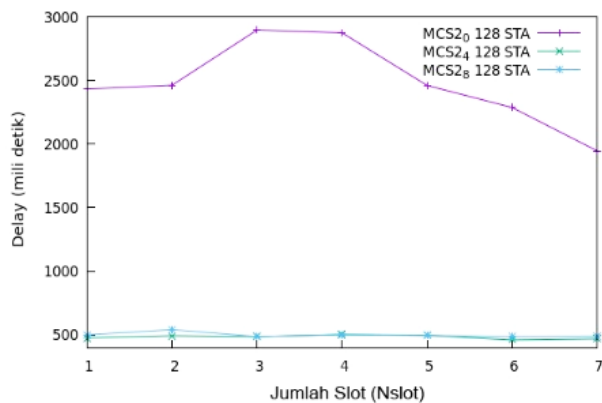


Gambar 5. Hasil simulasi 64-84 Throughput (Kbps) berdasarkan Jumlah RAW

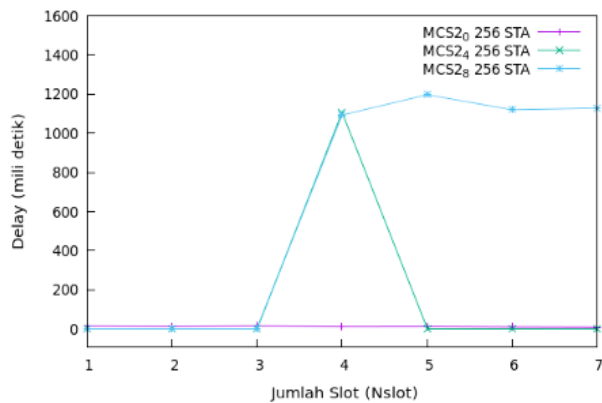
Berdasarkan Gambar 5 ketiga *data rate* memiliki nilai *throughput* yang sama pada setiap *slot*nya, hanya pada MCS2_0 1024 STA *slot* 4 yang berbeda dan merupakan yang terendah nilai *throughput*nya pada proses pengujian. Hal ini kemungkinan diakibatkan *data rate* pada saat itu dalam kondisi *sleep*.

3.2. Pengaruh jumlah *slot* terhadap *delay*

Semakin besar perubahan *delay* dan *packet lost* maka proses transfer data akan menjadi semakin cepat. *Delay* merupakan waktu tunda yang dibutuhkan data untuk menempuh jarak dari asal hingga mencapai tujuan pada pengiriman data. *Delay* dapat dipengaruhi oleh jarak, media fisik, kongesti atau juga waktu proses yang lama. Pengaruh jumlah *slot* terhadap *delay* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6 – 9. Menggunakan sistem operasi linux ubuntu dengan aplikasi simulator NS-3 mendapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 6. Hasil simulasi *delay* (detik) berdasarkan Jumlah RAW

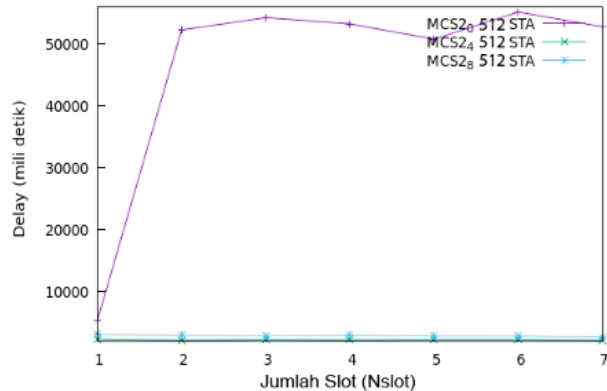


Gambar 7. Hasil simulasi 22-42 *Delay* (mili detik) berdasarkan Jumlah RAW

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat pada MCS2_0 128 STA memiliki *delay* yang sangat tinggi pada *slot* 3 dan 4 mencapai 2800ms. Sementara itu pada *slot* 3 -5 untuk MCS2_4 128 STA dan MCS2_8 128 STA memiliki waktu *delay* yang sama yaitu 500ms. Jika dibandingkan pada ketiga data rate diatas, MCS2_8 128 STA memiliki waktu *delay* yang cenderung stabil pada *slot* 1-7 dan data rate MCS2_0 128 STA memiliki waktu *delay* tertinggi

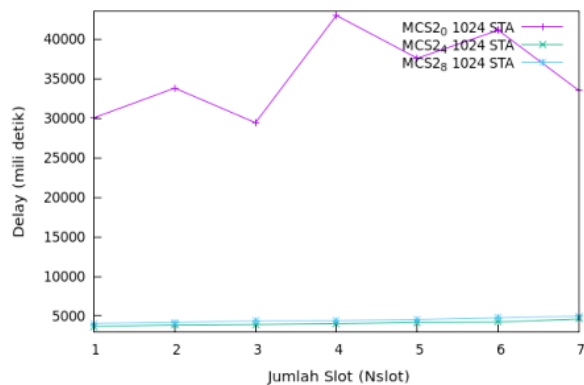
dibandingkan 2 data rate lainnya, terutama pada *slot* 3 dan 4, dimana waktu *delay*nya mencapai 2800ms

Berdasarkan Gambar 7 MCS2_8 256 STA memiliki *delay* paling besar yaitu 1200 ms pada *slot* 5, sementara itu MCS2_0 256 STA yang paling stabil mulai dari *slot* 1 – 7 memiliki *delay* yang tidak berubah sebesar 0 ms.



Gambar 8. Hasil simulasi 43-63 *Delay* (mili detik) berdasarkan Jumlah RAW

Berdasarkan Gambar 8 MCS2_0 512 STA *slot* 1 memiliki waktu *delay* 5319.1 ms, namun mulai meningkat drastis mulai *slot* 2 dan memiliki *delay* paling besar yaitu 55183.91 ms pada *slot* 6. Sementara itu MCS2_4 512 STA dan MCS2_8 512 STA memiliki nilai *delay* yang relative stabil. MCS2_4 512 STA pada *slot* 2 yang memiliki *delay* terendah yaitu 2171.77 ms.



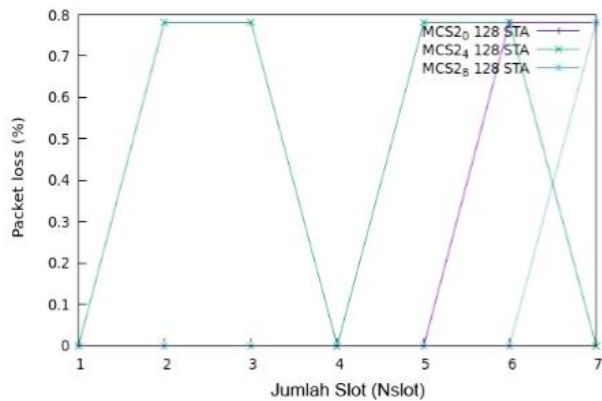
Gambar 9. Hasil simulasi 64-84 *Delay* (mili detik) berdasarkan Jumlah RAW

Berdasarkan Gambar 9 MCS2_4 1024 STA dan MCS2_8 1024 STA memiliki waktu *delay* yang relatif sama dan rendah, sedangkan MCS2_0 1024 STA memiliki waktu *delay* yang tinggi terutama pada *slot* 4 yang mencapai 42963.2 ms.

3.3 Pengaruh jumlah *slot* terhadap *packet loss*

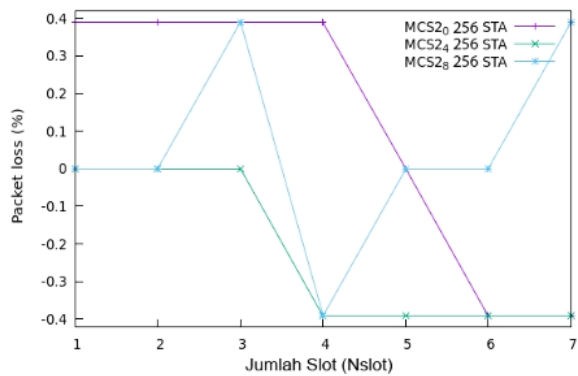
Pengaruh jumlah *slot* terhadap *packet loss* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 10 – 13. *Packet loss* merupakan parameter menggambarkan suatu kondisi yang menunjukkan jumlah total paket data yang hilang pada saat melakukan transmisi data di dalam suatu

jaringan. Dengan menggunakan sistem operasi linux ubuntu dan aplikasi simulator NS-3 didapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 10. Hasil simulasi *Packet loss (%)* berdasarkan Jumlah RAW

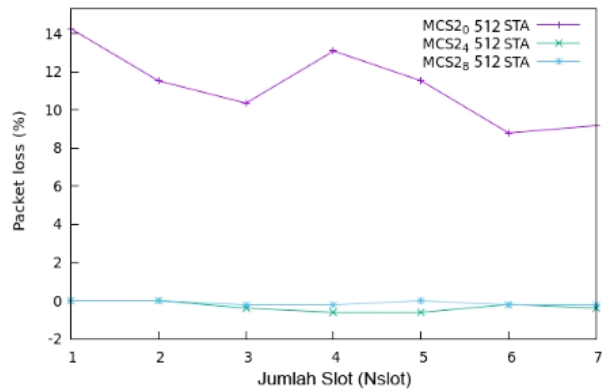
Berdasarkan Gambar 10 *data rate* MCS2₀ 128 STA dan MCS2₈ 128 STA memiliki nilai *packet loss* yang paling rendah yaitu 0% pada slot 1-5. Pada slot 6 dan 7 pada MCS2₀ 128 STA nilai *packet loss* meningkat drastis sehingga mencapai 0.8%, sedangkan pada MCS2₈ 128 STA hanya pada slot 7 nilai *packet loss* meningkat menjadi 0.8%. Dari ketiga *data rate* diatas, hanya MCS2₄ 128 STA yang tidak stabil.



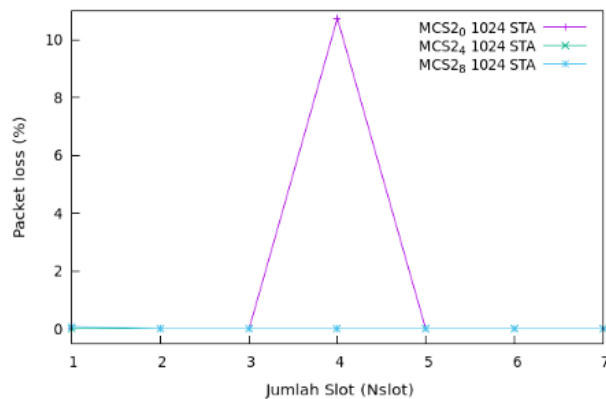
Gambar 11. Hasil simulasi 22-42 *Packet loss (%)* berdasarkan Jumlah RAW

Berdasarkan Gambar 11 MCS2₀ 256 STA slot 1 - 4 dan MCS2₈ 256 STA slot 3 dan 7 memiliki *packet loss* yang paling tinggi yaitu 0.4%. Sementara itu MCS2₀ 256 STA slot 6, MCS2₄ 256 STA slot 4 – 7 dan MCS2₈ 256 STA slot 4 memiliki nilai *packet loss* yang sama dan merupakan yang paling kecil yaitu -0,4%.

Berdasarkan Gambar 12 MCS2₀ 512 STA memiliki persentase *packet loss* yang tinggi, terutama pada slot 1 yang mencapai 14.2578%. Dua *data rate* lainnya memiliki persentase *packet loss* yang relative rendah, yang paling rendah terdapat pada MCS2₄ 512 STA pada slot 4 dan 5 yaitu -0.585938%.



Gambar 12. Hasil simulasi 43-63 *Packet loss (%)* berdasarkan Jumlah RAW

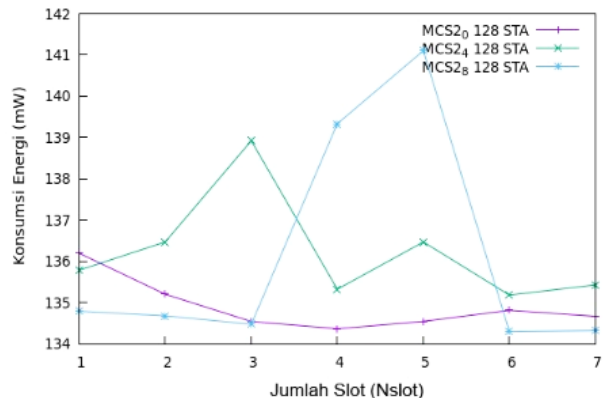


Gambar 13. Hasil simulasi 64-84 *Packet loss (%)* berdasarkan Jumlah RAW

Berdasarkan Gambar 13 ketiga *data rate* memiliki persentase *packet loss* yang sama, hanya pada MCS2₀ 1024 STA slot 4 yang memiliki persentase *packet loss* yang tinggi yaitu 10.7422%.

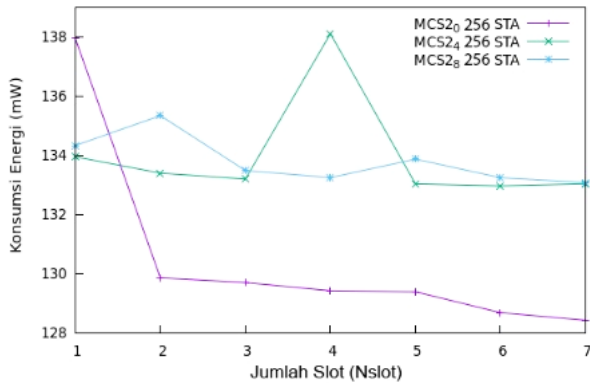
3.4. Pengaruh jumlah slot terhadap konsumsi energi

Pengaruh jumlah slot terhadap konsumsi energi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 14 – 17. Menggunakan sistem operasi linux ubuntu dengan aplikasi simulator NS-3 mendapatkan hasil sebagai berikut :



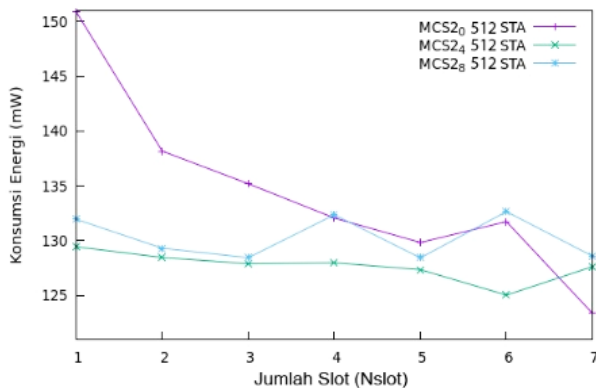
Gambar 14. Hasil simulasi Konsumsi energi (mW) berdasarkan Jumlah RAW

Berdasarkan Gambar 14 MCS2_8 128 STA memiliki konsumsi energi yang paling besar, sebanyak 141mW pada slot 5, namun menurun drastis pada slot 6 dan 7, dimana konsumsi energi yang dihasilkan sebesar 134mW. Sementara itu dibandingkan kedua data rate yang lain, MCS2_0 128 STA tergolong memiliki konsumsi energi yang stabil, terutama pada slot 3 – 7.



Gambar 15. Hasil simulasi 22-42 Konsumsi energi (mW) berdasarkan Jumlah RAW

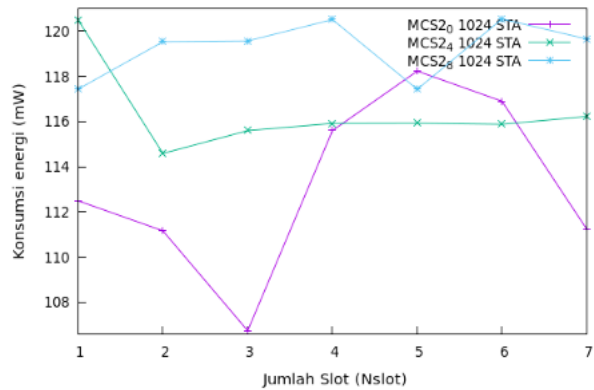
Berdasarkan Gambar 15 MCS2_0 256 STA slot 1 dan MCS2_4 256 STA slot 4 memiliki konsumsi energi paling besar, sebanyak 138mW, namun konsumsi energi pada MCS2_0 256 STA berangsur menurun mulai dari slot 2 dan pada slot 7, konsumsi energi MCS2_0 256 STA berkisar 128mW dan merupakan konsumsi energi terendah dibandingkan data rate yang lain.



Gambar 16. Hasil simulasi 43-63 Konsumsi energi (mW) berdasarkan Jumlah RAW

Berdasarkan Gambar 16 MCS2_0 512 STA memiliki konsumsi energi tertinggi dan juga terendah, dimana slot 1 memiliki konsumsi energi tertinggi yaitu 150.887 mW dan slot 7 memiliki konsumsi daya paling rendah yaitu 123.365 mW.

Berdasarkan Gambar 17 hanya MCS2_4 1024 STA yang memiliki konsumsi energi yang stabil walau pada slot 1 memiliki konsumsi energi paling tinggi dibanding data rate yang lain yaitu 120.489 mW. Untuk konsumsi energi paling rendah terdapat pada MCS2_0 1024 STA pada slot 3 yaitu 106.735 mW.



Gambar 17. Hasil simulasi 64-84 Konsumsi energi (mW) berdasarkan Jumlah RAW

4. Kesimpulan

Setelah melakukan implementasi pengujian, desain pengujian dengan cara mengimplementasikan tahapan *Restricted Access Window* berdasarkan *Multirate* pada IEEE 802.11ah untuk optimasi kinerja jaringan IoT pada aplikasi simulator NS-3. Kemudian mengevaluasi dan menganalisis hasil simulasi berdasarkan pengaruh *Throughput*, *delay*, *packet loss* dan konsumsi energi yang dihasilkan berdasarkan *multirate* pada WLAN 802.11ah maka dapat disimpulkan yaitu berdasarkan pengujian pengaruh jumlah slot terhadap *throughput* pada hasil simulasi menunjukkan nilai *throughput* yang dihasilkan berubah-ubah pada tiap slot dengan dominasi stabil, tergantung jumlah slot yang digunakan.

Pengaruh jumlah slot terhadap *delay* memiliki waktu *delay* yang sama dan cenderung stabil dan beberapa nilai waktu *delay* juga rendah, rata-rata *delay* dipengaruhi oleh mekanisme RAW dimana saat paket dikirim belum mendapat kesempatan pada bagian RAW slot. Berdasarkan pengujian pengaruh jumlah slot terhadap *packet loss* menunjukkan nilai *packet loss* rendah tiap slot-nya, dikarenakan banyak paket yang dapat ditampung pada antrian RAW slot sehingga sedikit yang dibuang. Pengaruh jumlah slot terhadap konsumsi energi yang dihasilkan pada simulasi menurun pada beberapa data rate dan beberapa nilai konsumsi energi menjadi terendah sehingga menghemat konsumsi energi. Dapat dikatakan makin bertambah jumlah slot mengakibatkan kecepatan mobilitas meningkat, namun nilai rata-rata konsumsi energi hanya naik sedikit. Hasil penelitian ini masih bisa dikembangkan atau digunakan sebagai referensi bagi penelitian berikutnya. Peneliti berikutnya dapat merujuk hasil ini untuk dapat merancang protokol yang sesuai dan dapat menghasilkan kinerja jaringan yang lebih baik pada standar IEEE 802.11ah.

Daftar Rujukan

[1] L. Tian, E. Lopez-Aguilera, E. Garcia-Villegas, M. T. Mehari, E. De Poorter, S. Latr_e, J. Famaey, Optimization oriented

- RAW modeling of IEEE 802.11ah heterogeneous networks, IEEE Internet of Things Journal, pp. 1328, 2019.
- [2] J. Famaey, The long life of iot devices: Comparing the energy consumption of sub-1ghz wireless technologies, accessed: 2020-05-10. URL: <https://www.researchgate.net/publication/338920462> The Long Life of IoT Devices Comparing the Energy Consumption of Sub-1GHz Wireless Technologies
- [3] V. Baños-Gonzalez, M. S. Afaqui, E. Lopez-Aguilera, E. Garcia-Villegas, "IEEE 802.11ah: A technology to face the IoT challenge", Sensors, vol. 16, no. 11, pp. 1960, 2016.
- [4] R. Cahyani, D. Perdana, A. T. Hanuranto, "A Feasibility Analysis of the Use of IEEE 802.11ah to extend 4G Network Coverage", Buletin Pos dan Telekomunikasi, vol. 18, no.2, pp. 111-126, 2020.
- [5] 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 Amendment 2: Sub 1 GHz License Exempt Operation," in IEEE Std 802.11ah-2016 (Amendment to IEEE Std 802.11-2016, as amended by IEEE Std 802.11ai-2016) , vol., no., pp.1-594, May 5 2017.
- [6] Serpanos D., Wolf M. "The IoT Landscape. In: Internet-of-Things (IoT)" Systems. Springer, Cham, 2018.
- [7] E. Khorov, A. Lyakhov and R. Yusupov, "Two-Slot Based Model of the IEEE 802.11ah Restricted Access Window with Enabled Transmissions Crossing Slot Boundaries," 2018 IEEE 19th International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM), Chania, Greece, 2018, pp. 1-9
- [8] N. Nawaz, M. Hafeez, S. A. R. Zaidi, D. C. McLernon and M. Ghogho, "Throughput enhancement of restricted access window for uniform grouping scheme in IEEE 802.11ah," 2017 IEEE International Conference on Communications (ICC), Paris, 2017, pp. 1-7.
- [9] A. J. Gopinath and B.Nithya, "Mathematical and simulation analysis of contention resolution mechanism for IEEE 802.11ah networks," Computer Communications, pp. 124, 87-100, 2018.
- [10] R. Wang and M. Lin, "Restricted Access Window Based Hidden Node Problem Mitigating Algorithm in IEEE 802.11ah Networks," IEICE TRANSACTIONS on Communications, 2018. Article in press.
- [11] Y. Wang, K. K. Chai, Y. Chen, J. Schormans and J. Loo, "Energy-Delay Aware Restricted Access Window with Novel Retransmission for IEEE 802.11ah Networks," 2016 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Washington, DC, 2016, pp. 1-6.
- [12] L. Tian, J. Famaey and S. Latré, "Evaluation of the IEEE 802.11ah Restricted Access Window mechanism for dense IoT networks," 2016 IEEE 17th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), Coimbra, 2016, pp. 1-9.
- [13] M. N. Perbawa, D. Permana, Y. G. Bisono, "Performance Analysis of the Differences Restricted Access Window (RAW) on IEEE 802.11ah Standard with Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)," Jurnal Infotel, vol. 10, no. 4, 2018.
- [14] Šljivo, A.; Kerkhove, D.; Tian, L.; Famaey, J.; Munteanu, A.; Moerman, I.; Hoebeke, J.; De Poorter, E. Performance Evaluation of IEEE 802.11ah Networks With High-Throughput Bidirectional Traffic. Sensors 2018, 18, 325.
- [15] L. Tian, M. Mehariy, S. Santi, S. Latre, "IEEE 802.11ah Restricted Access Window Surrogate Model for Real-Time Station Grouping," Conference paper, June 2018. Article in press.
- [16] L. Tian, S. Deronne, S. Latre and J. Famaey, "Implementation and Validation of an IEEE 802.11ah Module for ns-3," in Proceedings of the Workshop on ns-3, Seattle, WA, USA, 2016.
- [17] Le Tian, Amina Šljivo, Serena Santi, Eli De Poorter, Jeroen Hoebeke, Jeroen Famaey. Extension of the IEEE 802.11ah NS-3 Simulation Module. Workshop on ns-3 (WNS3), 2018.
- [18] M. I. Denatama, D. Perdana, dan R. M. N, "Analisis Perbandingan Kinerja Protokol Routing DSDV dan OLSR Untuk Perubahan Kecepatan Mobilitas pada Standar IEEE 802.11ah," Jurnal Infotel, vol. 8, no.2, pp. 100-106, 2016
- [19] B. Bellekens, L. Tian, P. Boer, M. Weyn, and J. Famaey. Outdoor IEEE 802.11ah Range Characterization Using Validated Propagation Models. In GLOBECOM 2017 - 2017 IEEE Global Communications Conference. Singapore.