



Evaluasi Pengaruh Parameter TIM Berdasarkan *Multirate* Terhadap Konsumsi Energi Jaringan IEEE 802.11ah

Daifi Afrila Riefi¹, Teuku Yuliar Arif², Syahrial³

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

¹daifi.riefi@gmail.com*, ²yuliar@unsyiah.ac.id, ³syahrial@unsyiah.ac.id

Abstract

WLAN IEEE 802.11ah is wireless standard technology which potentially used for IoT networking to provide longer range transmission than WPAN and LPWAN. MAC layer IEEE 802.11ah introduces TIM segmentation scheme that provides effective management toward STA in large amount to make the energy consumption efficiently. STA is organized in hierarchical structure that allows TIM segmentation to reduce the length of frame beacon contains TIM. In case there's no segmentation in a network with many STA, the TIM would be longer and requires all STA to wake-up receiving beacon TIM including STA without downlink data. This research intends to evaluate and analyze the TIM optimal parameters. Those are Page Period, Page Slice Length and Page Slice Count toward IEEE 802.11ah energy efficiency based on multirate using simulator NS-3 implemented on IEEE 802.11ah. As the result of STA experiment shows that Non-TIM is only optimal on sleep duration while TIM is optimal on energy consumption and delay packet. In the experiment of impact of STA/Slot amount based on Page Slice Length shows that sleep duration and energy consumption is optimal depends on the amount of the STA/Slot and data rate used while the optimal packet delay varies for each Page Slice Length.

Keywords: Multirate, TIM, Sleep Duration, Energy Consumption, Packet Delay, NS-3, IEEE 802.11ah.

Abstrak

WLAN IEEE 802.11ah merupakan standar teknologi jaringan nirkabel baru yang potensial digunakan untuk jaringan IoT karena mampu menyediakan jangkauan transmisi lebih jauh dari WPAN dan LPWAN. Untuk mengoptimalkan konsumsi energi pada WLAN 802.11ah, lapisan MAC memperkenalkan skema segmentasi TIM yang memungkinkan manajemen secara efektif terhadap STA dalam jumlah besar agar konsumsi energi menjadi efisien. STA diorganisasikan dalam struktur *hierarkis* yang memungkinkan segmentasi TIM untuk mengurangi panjang *frame beacon* yang mengandung TIM. Jika tanpa segmentasi, dalam jaringan dengan jumlah STA yang banyak maka TIM akan sangat panjang sehingga mengakibatkan semua STA perlu *wake-up* untuk menerima *beacon* TIM termasuk STA yang tidak memiliki data *downlink* sehingga terjadi pemborosan energi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan menganalisis parameter TIM optimal, yaitu *Page Period*, *Page Slice Length* dan *Page Slice Count* terhadap efisiensi energi IEEE 802.11ah berdasarkan *multirate* yang pengembangannya menggunakan simulator NS-3 yang dapat diimplementasi pada IEEE 802.11ah. Perhitungan berdasarkan *multirate* penting dilakukan karena setiap data *rate* memiliki jarak jangkau, durasi *sleep* dan *delay packet* yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi konsumsi energi IEEE 802.11ah. Berdasarkan pengujian terhadap STA yang berbasis *multirate* menunjukkan bahwa Non-TIM hanya optimal pada durasi *sleep*, sedangkan TIM optimal pada konsumsi energi dan *delay packet*. Pada pengujian pengaruh jumlah STA/Slot berdasarkan *Page Slice Length* dan *multirate* menunjukkan bahwa durasi *sleep* dan konsumsi energi optimal tergantung jumlah STA/Slot dan data *rate* yang digunakan, sementara *delay packet* akan optimal secara berbeda pada tiap-tiap *Page Slice Length*.

Kata kunci: Multirate, Traffic Indication Map, Durasi Sleep, Konsumsi Energi, Delay packet, NS-3, IEEE 802.11ah.

1. Pendahuluan

Standar Wi-Fi IEEE 802.11ah secara resmi dirilis pada tahun 2016. Perangkat ini beroperasi dengan kecepatan data mulai 150 Kbps hingga 78 Mbps dalam satu aliran spasial [1]. Studi terbaru menunjukkan bahwa IEEE 802.11ah lebih hemat energi dari pada IEEE 802.15.5

karena lebih sedikit terjadi *overhead* pensinyalan sehingga meningkatkan masa pakai baterai hingga 6 kali [2]. Cakupan transmisi data pada protokol ini mencapai 1 km dengan lapisan *Physical* (PHY) IEEE 802.11ah beroperasi pada pita frekuensi bebas lisensi sub-1 GHz dan memungkinkan jarak transmisi antara 100 m hingga

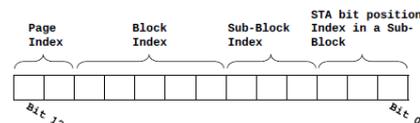
1 km menggunakan *multirate* dari 150 Kbps hingga 346,6 Mbps [3][4]. Standar protokol ini menggunakan sub-1 GHz untuk menyediakan tambahan jangkauan jaringan dan mampu mengelola *station* dalam jumlah besar mencapai 8191 karena memiliki hirarki signaling dan adanya manajemen penghematan daya [5].

Wireless Local Area Network (WLAN) IEEE 802.11ah disebut sebagai *station* atau disingkat STA untuk mengoptimalkan konsumsi energi pada perangkat IoT, lapisan *Medium Access Control* (MAC) diperkenalkan skema *Traffic Indication Map* (TIM) dan *Page Segmentation* yang dikombinasikan bersama skema *Restricted Access Window* (RAW) [6]. Pada protokol MAC terdapat beberapa perubahan seperti format *frame* yang lebih kecil, prioritas *sensor traffic* dan mode *beaconless paging* sehingga konsumsi daya lebih rendah. Untuk penggunaan luar ruangan *Modulation and Coding Schemes* (MCS) baru yang dirancang pada 802.11ac amandemen dan dibawa ke 802.11ah sehingga bisa menyediakan ratusan Mbps pada kondisi saluran yang cukup baik dan dapat meningkatkan jangkauan transmisi hingga 1 km pada daya transmisi standar 200 mW [7].

IEEE 802.11ah merupakan teknologi yang potensial digunakan untuk jaringan *Internet of Things* (IoT) karena mampu menyediakan jangkauan transmisi lebih jauh dari *Wireless Personal Area Network* (WPAN) dan data rate jauh lebih tinggi dari *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) [8]. Lapisan PHY WLAN IEEE 802.11ah mendukung banyak data rate (*multirate*) yang dihasilkan dari penggunaan skema modulasi (BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM dan 256-QAM) yang dikombinasikan dengan *coding rate* (1/2, 2/3, 3/4, 5/6 dan 1/2R) sehingga menghasilkan indeks *Modulation and Coding Scheme* (MCS) dari MCS0 hingga MCS10. Masing-masing MCS dapat menggunakan pilihan *bandwidth* kanal 1 MHz, 2 MHz, 4 MHz, 8 MHz atau 16 MHz, menggunakan pilihan *guard interval* (GI) antar simbol OFDM 800 ns atau 400 ns dan menggunakan sistem transmisi *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) hingga 4 *Spatial Stream* (SS). Kombinasi yang paling rendah yaitu MCS10 dengan *bandwidth* kanal 1 MHz, GI 800 ns dan MIMO 1 SS menghasilkan data rate 150 Kbps, namun jarak transmisi bisa mencapai 1 km. Sebaliknya kombinasi paling tinggi, yaitu MCS9 dengan *bandwidth* kanal 16 MHz, GI 400 ns dan MIMO 4 SS menghasilkan data rate 346,6 Mbps, namun jarak transmisi hanya 100 m. STA diorganisasikan dalam struktur *hierarkis* yang memungkinkan segmentasi TIM untuk mengurangi panjang *frame beacon* yang mengandung TIM. Jika tanpa segmentasi, dalam jaringan dengan jumlah STA yang banyak maka TIM akan sangat panjang sehingga mengakibatkan semua STA perlu *wake-up* untuk menerima *beacon* TIM termasuk STA

yang tidak memiliki data *downlink* sehingga terjadi pemborosan energi [8]. Skema TIM digunakan untuk mengaktifkan (*wake-up*) STA tertentu yang dalam kondisi non-aktif (*sleep*) untuk menerima data pada periode tertentu berdasarkan informasi yang ada dalam *Page Segmentation* [9].

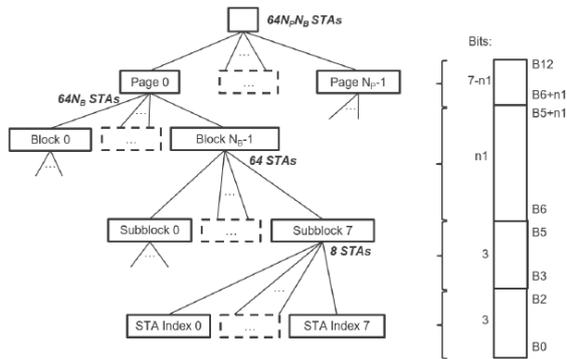
IEEE 802.11ah termasuk opsi penyebaran STA non-TIM yang tidak mengharuskan STA untuk membaca TIM *beacon* secara berkala, sehingga memungkinkan waktu *sleep* yang lebih lama dan lebih menghemat energi. Namun STA non-TIM dapat memilih untuk memperhatikan *Delivery Traffic Indication Map* (DTIM) *beacon* secara berkala atau mengatur *Target Wakeup Time* (TWT) untuk *wake-up* dan berkomunikasi langsung dengan AP. TWT dapat dilindungi oleh *interval* waktu khusus yang disebut *Periodic Restricted Access Windows* (PRAW) yang dapat dialokasikan dalam setiap *interval* TIM. Namun pada *paper* [10] diasumsikan bahwa STA non-TIM tidak dibatasi dalam PRAW dan dapat mengakses media tanpa batasan waktu. Untuk menghindari tabrakan potensial dengan *beacon* TIM dan DTIM, diasumsikan juga bahwa STA Non-TIM harus membaca DTIM *beacon*. Setelah menyelesaikan proses otentikasi dan asosiasi pada AP, masing-masing STA mendapatkan nomor AID. Struktur AID terdiri dari 13 bit yang dapat merepresentasikan nomor dari 0 hingga 8191 dimana AID 0 digunakan untuk keperluan khusus dan AID 1-8191 digunakan untuk STA [11].



Gambar 1. Struktur AID [11]

Struktur AID digunakan oleh skema TIM untuk menginformasikan sebuah STA saat ada data yang akan ditransmisikan. Skema TIM juga membentuk struktur hirarki tiga tingkat, yaitu *Page*, *Blok* (TIM Group), *Sub-Blok* dan *indeks* STA. Struktur hirarki ini memungkinkan sebuah AP mengindikasikan dalam *virtual bitmap* apakah sebuah STA memiliki data *downlink* atau tidak. Setiap bit dalam *traffic-indication virtual bitmap* berhubungan dengan trafik yang ada dalam *buffer* AP yang ditujukan kepada STA [12][13].

Traffic indication virtual bitmap terdiri dari $64N_p N_B$ bit dan diorganisasikan menjadi N_p *page* dan setiap *page* terdiri dari N_B *block*, setiap *block* terdiri dari delapan *sub-block* dan setiap *sub-block* terdiri dari 8 bit ($N_p = 4$ dan $N_B = 32$). Nomor bit N dalam *bitmap* berhubungan dengan nomor bit $N[0:2]$ dari *sub-block* ke- $N[3:5]$ dari *block* ke- $N[6:5+n_1]$ dari *page* ke- $N[6+n_1:12]$, dimana n_1 adalah $\log_2 N_B$. $N[a:b]$ merepresentasikan bit a sampai b dari nomor bit N .



Gambar 2. Struktur hirarkis traffic-indication virtual bitmap [12][13]

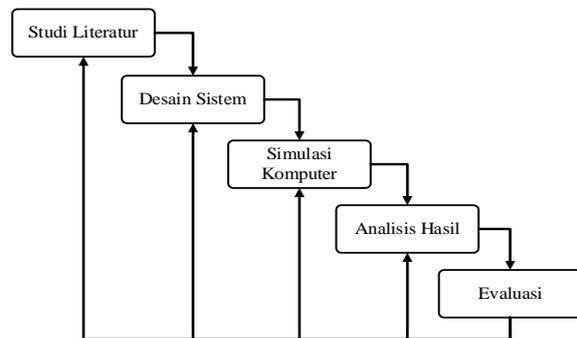
Pada beberapa penelitian, parameter TIM telah dioptimalisasi menggunakan pendekatan yang berbeda. Pendekatan pertama A. Sijivo, dkk [13] mengevaluasi kemungkinan penggunaan segmentasi TIM dan mekanisme RAW dengan komunikasi dua arah, mereka merancang algoritma manajemen jaringan yang dapat menyesuaikan diri untuk mengaktifkan pengelompokan ulang TIM dan RAW *real-time* yang akan mengoptimalkan *throughput*, latensi, dan efisiensi energi dalam skenario *close loop*. Abert Bel, dkk [14] mengusulkan model analitikal untuk perhitungan konsumsi energi pada IEEE 802.11ah. Model yang diusulkan dapat digunakan untuk menghitung rata-rata energi yang dikonsumsi oleh STA dan menghitung masa pakai baterai sebuah STA. Selain itu, model yang diusulkan dapat digunakan untuk mengetahui efek dari parameter jaringan utama terhadap konsumsi energi jaringan dan untuk menemukan konfigurasi jaringan yang paling sesuai untuk skenario aplikasi tertentu.

Beberapa peneliti lain meneliti efisiensi struktur TIM pada IEEE 802.11ah untuk meningkatkan efisiensi *throughput* seperti dalam *paper* [15]. Ji, dkk [15] mengusulkan skema kompresi TIM yang dapat digunakan pada jaringan dengan jumlah STA yang banyak. Kim, dkk [16] mengusulkan metode untuk meningkatkan efisiensi energi pada jaringan IEEE 802.11ah skala besar. Mereka mengusulkan metode yang secara selektif dan dinamis mengubah keanggotaan STA dalam satu grup dan mengatur trafik masing-masing STA untuk memaksimalkan durasi *sleep* seluruh STA namun tetap menggaransi *delay* transmisi data yang rendah. Skema yang diusulkan dapat meningkatkan efisiensi energi dengan mengurangi jumlah STA aktif hingga 37,8 %. Namun metode-metode untuk meningkatkan efisiensi energi yang telah diusulkan tersebut tidak memperhitungkan kemampuan *multirate* pada WLAN IEEE 802.11ah.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental menggunakan simulator jaringan NS-3 berbasis *open source*. *Source code* NS-3 dapat di unduh langsung dari

website NS-3 (www.nsnam.org). Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi parameter *Page Period*, *Page Slice Length* dan *Page Slice Count* untuk efisiensi energi WLAN IEEE 802.11ah optimal berdasarkan *multirate* pada IEEE 802.11ah yang pengembangannya menggunakan simulator NS-3 sehingga dapat diimplementasikan pada IEEE 802.11ah dengan metodologi penelitian seperti diperlihatkan pada Gambar 3 dalam diagram dibawah.



Gambar 3. Metode Penelitian

2.1. Studi Literatur

Pada bagian ini dilakukan tahapan pengumpulan data serta menganalisa masalah yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan, baik berupa jurnal, buku dan artikel yang berkaitan tentang jaringan WLAN IEEE 802.11ah dan efisiensi energi. Penulis mengumpulkan sebanyak mungkin literatur yang berhubungan dengan efisiensi energi pada perangkat yang menggunakan jaringan WLAN 802.11ah atau sejenisnya sehingga mendapatkan literatur yang sesuai untuk melanjutkan penelitian.

Pada tahap ini juga dilakukan proses penentuan aplikasi simulator jaringan yang tepat untuk melakukan pengujian dikarenakan WLAN IEEE 802.11ah merupakan pengembangan teknologi terbaru sehingga pada simulator NS-3 resmi belum ada dukungan untuk jenis WLAN 802.11ah.

2.2. Desain Sistem

Pada bagian desain sistem ini merupakan proses penentuan *source code* untuk menganalisa dan memperoleh hasil yang akan diterapkan pada simulasi jaringan NS-3. Berikut *source code* program pada NS-3 dalam file *Configuration.cc* yang digunakan untuk pengujian.

```
Source Code Configuration.cc
#include "configuration.h"
Configuration::Configuration() {}
Configuration::Configuration(int argc, char
*argv[]) {
    CommandLine cmd;
    cmd.AddValue(seed);
    cmd.AddValue(simulationTime);
    cmd.AddValue(nsta);
    cmd.AddValue(NRawSta);
}
```

```

cmd.AddValue(payloadSize);
cmd.AddValue(BeaconInterval);
cmd.AddValue(DataMode);
cmd.AddValue(datarate);
cmd.AddValue(bandwidth);
cmd.AddValue(rho);
cmd.AddValue(folder);
cmd.AddValue(file);
cmd.AddValue(totalTraffic);
cmd.AddValue(TrafficPath);
cmd.AddValue(Sig1MfieldEnabled);
cmd.AddValue(RAWConfigFile);
cmd.AddValue(trafficType);
cmd.AddValue(NGroup);
cmd.AddValue(NRawSlotNum);
cmd.AddValue(pagePeriod);
cmd.AddValue(pageSliceLength);
cmd.AddValue(pageSliceCount);
cmd.AddValue(blockOffset);
cmd.AddValue(timerOffset);
cmd.AddValue(trafficInterval);
cmd.AddValue(visualizerIP);
cmd.Parse(argc, argv);
}

```

2.3. Simulasi Jaringan

Metode penelitian yang digunakan berupa simulasi untuk menguji tingkat keberhasilan dan kegagalan sistem sehingga 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 efisiensi energi jaringan IEEE 802.11ah yaitu dengan cara menghitung durasi *sleep*, konsumsi energi dan *delay packet* masing-masing *node* dan dilakukan evaluasi serta analisis untuk menentukan efisiensi energi.

Untuk proses simulasi menerapkan *source code* pada desain sistem ke aplikasi NS-3 sehingga dapat menampilkan durasi *sleep*, konsumsi energi dan *delay packet* masing-masing *node*. 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.

2.4. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah dengan cara mengimplementasikan tahapan *Traffic Indication Map* berdasarkan *multirate* pada IEEE 802.11ah untuk optimasi kinerja jaringan IEEE 802.11ah pada aplikasi simulator NS-3. Adapun bahan penelitian yang diperlukan untuk melakukan penelitian ini adalah Modul IEEE 802.11ah yang dikembangkan oleh *literature* [17] dan data plot grafik perbandingan penggunaan energi. Kemudian menganalisa durasi *sleep*, konsumsi energi dan *delay packet* yang dihasilkan berdasarkan *multirate* pada IEEE 802.11ah.

Untuk mengevaluasi pengaruh *Traffic Indication Map* 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 dan setiap 100 ms AP membroadcast *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* yang memiliki bilangan random $U_R \leq V_{ACT}$ akan memperebutkan akses kanal untuk melakukan proses registrasi dengan mentransmisikan *frame AuthReq/AssocReq* ke AP menggunakan data *rate* constant yang dimulai dengan MCS0 dan bandwidth kanal 1 MHz. AP merespon dengan mengirimkan *frame AuthResp/AssocResp* juga menggunakan data *rate* constant MCS0 dan bandwidth kanal 1 MHz. *Node* kemudian mengirimkan paket pada AP dan kemudian dihitung durasi *sleep*, konsumsi energi dan *delay packet* masing-masing *node*. Simulasi diulang dengan menggunakan data *rate* constant yang sama namun dengan jumlah *node* yang berbeda, yaitu 256, 512 dan 1024 *node*.

Dalam skenario simulasi, penelitian ini menggunakan parameter MAC dan PHY seperti yang diperlihatkan dalam Table 1 dan Tabel 2. Parameter MAC dan PHY tersebut sesuai standar IEEE 802.11ah pada *literature* [3] dan sama seperti yang digunakan dalam *literature* [16]. Model propagasi yang digunakan dalam simulasi adalah Outdoor, Macro [18] dan error rate model menggunakan YANS Error Rate [19]. Rugi-rugi propagasi dihitung Macro berdasarkan persamaan (1), dimana d (m) adalah jarak antara AP dan STA.

$$L_p = 8 + 37 \log_{10}(d) \quad (1)$$

Tabel 1. MAC Layer Parameter Used in Simulations [3][16]

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

Tabel 2. PHY Layer Parameters Used in Simulations [3][16]

Parameters	Value
AP's transmission range	1000 meters
IoT device's transmission range	500 meters
IoT device position	random
Carrier frequency	900 MHz
Channel bandwidth	1 and 2 MHz
PHY rate	150 Kbps ~ 7.8 Mbps
PHY heaser + preamble	20 μ s
AP's transmission power	30 dBm

IoT device's transmission power	1 dBm
AP's transmission gain	3 dBi
IoT device's transmission gain	1 dBi
AP's reception gain	3 dBi
IoT device's reception gain	1 dBi
Number of Tx/Rx antenna	1/1
Guard time (GT) and IFG	52 μ s
Air propagation delay	3 μ s
Propagation loss model	Outdoor, macro
Error rate model	YansErrorRate

2.5. Analisis Hasil Simulasi

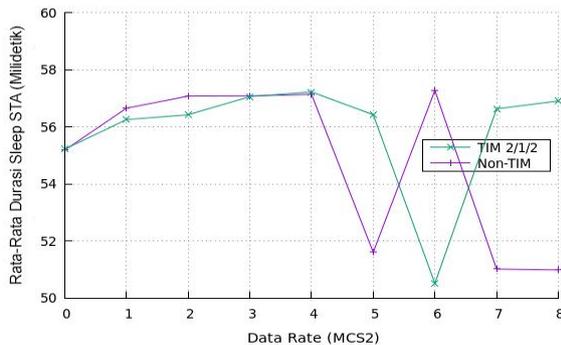
Analisis simulasi yang dilakukan pada evaluasi parameter *Traffic Indication Map* berdasarkan *multirate* terhadap konsumsi energi jaringan IEEE 802.11ah yaitu menghitung durasi *sleep*, konsumsi energi dan *delay packet* masing-masing *node* dan dilakukan evaluasi serta analisis untuk menentukan optimasi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

3. Hasil dan Pembahasan

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

3.1. Durasi *sleep* STA berdasarkan *multirate*

Proses simulasi pada gambar grafik di bawah dilakukan pada metode TIM dan Non-TIM untuk melihat durasi *sleep* pada kedua jenis metode tersebut dengan menggunakan data rate MCS2 berdasarkan *multirate*.



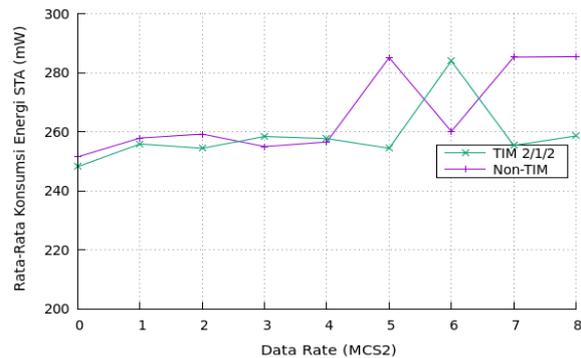
Gambar 4. Hasil simulasi durasi *sleep* STA berdasarkan *multirate*

Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan hubungan antara durasi *sleep* terhadap data rate (MCS2). Durasi *sleep* mengukur data rate yang optimal untuk jaringan perangkat IEEE 802.11ah pada penggunaan metode TIM dan Non-TIM dimana untuk durasi *sleep* optimal TIM berada pada data rate ke MCS2_4 dengan rata-rata durasi *sleep* 57,2191 milidetik, sedangkan untuk Non-TIM maka data rate optimal untuk durasi *sleep* pada data rate ke MCS2_6 dengan rata-rata durasi *sleep* 57,2705 milidetik. Untuk data rate terakhir di MCS2_8 TIM

memperoleh rata-rata durasi *sleep* 56,9049 milidetik dan Non-TIM memperoleh durasi *sleep* 50,9847 milidetik. Jika dibandingkan untuk kedua jenis metode tersebut maka Non-TIM memiliki nilai optimal untuk rata-rata durasi *sleep* lebih bagus bila dibandingkan dengan TIM.

3.2. Konsumsi energi STA berdasarkan *multirate*

Proses simulasi pada gambar grafik di bawah dilakukan pada metode TIM dan Non-TIM untuk melihat konsumsi energi pada kedua jenis metode tersebut dengan menggunakan data rate MCS2 berdasarkan *multirate*.

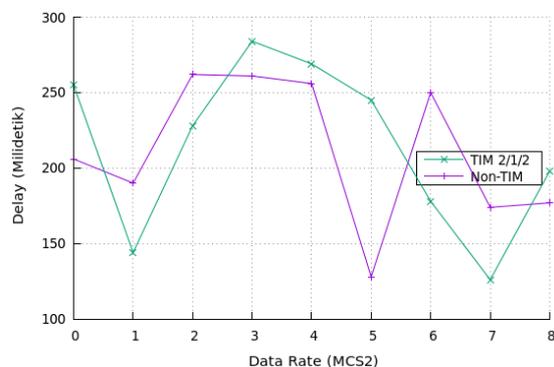


Gambar 5. Hasil simulasi konsumsi energi STA berdasarkan *multirate*

Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan data rate optimal untuk konsumsi energi berada pada data rate ke MCS2_0 untuk kedua jenis metode tersebut dimana rata-rata konsumsi energi untuk TIM 248,163 mW dan Non-TIM 251,493 mW. Untuk data rate terakhir di MCS2_8 TIM memperoleh rata-rata konsumsi energi 258,563 mW dan Non-TIM memperoleh konsumsi energi 285,384 mW. Jika dibandingkan untuk kedua jenis metode tersebut maka TIM memiliki nilai optimal untuk rata-rata konsumsi energi lebih bagus bila dibandingkan dengan Non-TIM.

3.3. *Delay packet* berdasarkan *multirate*

Proses simulasi pada gambar grafik di bawah dilakukan pada metode TIM dan Non-TIM untuk melihat *delay packet* pada kedua jenis metode tersebut dengan menggunakan data rate MCS2 berdasarkan *multirate*.

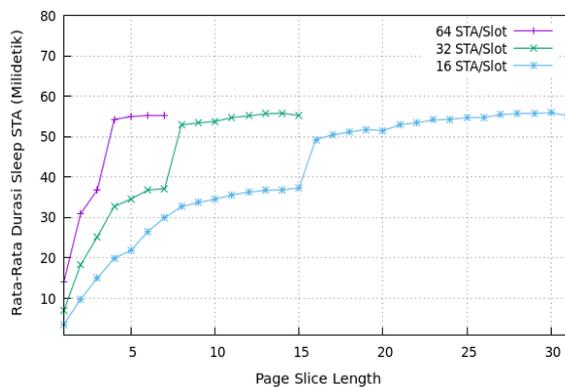


Gambar 6. Hasil simulasi *delay packet* berdasarkan *multirate*

Berdasarkan Gambar 6 menunjukkan data rate optimal untuk *delay packet* berada pada data rate ke MCS2_7 dengan *delay packet* 0,12628 milidetik untuk TIM, sedangkan Non-TIM data rate optimal untuk *delay packet* pada data rate ke MCS2_5 dengan *delay packet* 0,12887 milidetik. Untuk data rate terakhir di MCS2_8 TIM memperoleh *delay packet* 0,19832 milidetik dan Non-TIM memperoleh *delay packet* 0,17722 milidetik. Jika dibandingkan untuk kedua jenis metode tersebut maka TIM memiliki nilai optimal untuk *delay packet* lebih bagus bila dibandingkan dengan Non-TIM.

3.4. Pengaruh *Page Slice Length* terhadap durasi *sleep* STA pada data rate MCS2

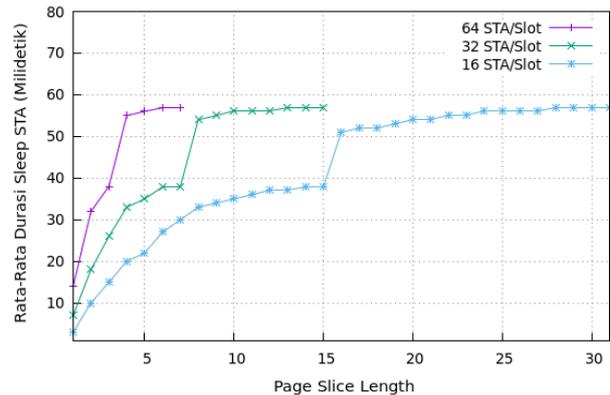
Proses simulasi pada gambar grafik di bawah dilakukan pada 64 STA/Slot, 32 STA/Slot dan 16 STA/Slot untuk mengukur pengaruh *Page Slice Length* terhadap durasi *sleep* dengan menggunakan data rate MCS2_0 dan MCS2_8.



Gambar 7. Hasil simulasi durasi *sleep* STA terhadap *Page Slice Length* pada data rate MCS2_0

Berdasarkan Gambar 7 menunjukkan *Page Slice Length* optimal untuk durasi *sleep* yaitu 64 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 6 dengan rata-rata durasi *sleep* 55,2316 milidetik, sedangkan untuk 32 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 14 dengan rata-rata durasi *sleep* 55,821 milidetik dan untuk 16 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 30 dengan rata-rata durasi *sleep* 55,8649 milidetik. Untuk *Page Slice Length* terakhir pada 64 STA/Slot yaitu *Page Slice Length* ke 7 memperoleh rata-rata durasi *sleep* 55,2092 milidetik, 32 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 15 dengan rata-rata durasi *sleep* 55,2087 milidetik dan 16 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 31 dengan rata-rata durasi *sleep* 55,2079 milidetik.

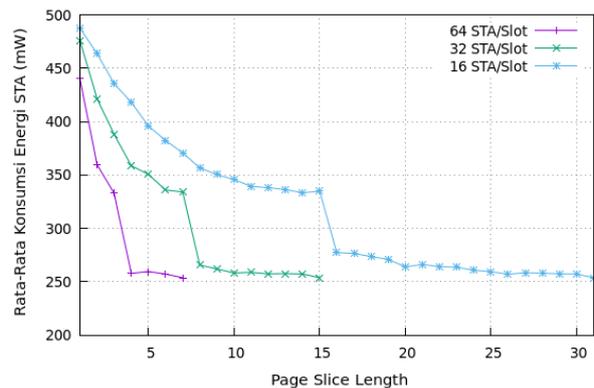
Berdasarkan Gambar 8 menunjukkan *Page Slice Length* paling tinggi atau optimal untuk durasi *sleep* berada pada *Page Slice Length* terakhir pada tiap-tiap STA/Slot yaitu 64 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 7 dengan rata-rata durasi *sleep* 57,3552 milidetik, sedangkan untuk 32 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 15 dengan rata-rata durasi *sleep* 57,6138 milidetik dan untuk 16 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 31 dengan rata-rata durasi *sleep* 57,6129 milidetik.



Gambar 8. Hasil simulasi durasi *sleep* STA terhadap *Page Slice Length* pada data rate MCS2_8

3.5. Pengaruh *Page Slice Length* terhadap konsumsi energi STA pada data rate MCS2

Proses simulasi pada gambar grafik di bawah dilakukan pada 64 STA/Slot, 32 STA/Slot dan 16 STA/Slot untuk mengukur pengaruh *Page Slice Length* terhadap konsumsi energi dengan menggunakan data rate MCS2_0 dan MCS2_8.

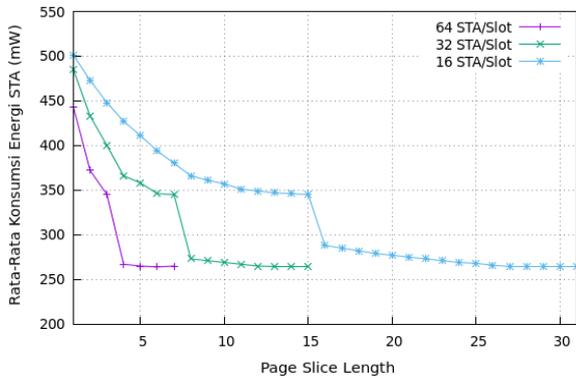


Gambar 9. Hasil simulasi konsumsi energi STA terhadap *Page Slice Length* pada data rate MCS2_0

Berdasarkan Gambar 9 menunjukkan *Page Slice Length* optimal untuk konsumsi energi yaitu 64 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 7 dengan rata-rata konsumsi energi 253,785 mW, sedangkan untuk 32 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 15 dengan rata-rata konsumsi energi 253,788 mW dan untuk 16 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 31 dengan rata-rata konsumsi energi 253,791 mW. Untuk ketiga jenis STA/Slot diatas rata-rata konsumsi energi optimal berada pada *Page Slice Length* terakhir dari tiap-tiap jenis STA/Slot tersebut.

Berdasarkan Gambar 10 menunjukkan *Page Slice Length* paling rendah atau optimal untuk konsumsi energi yaitu 64 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 6 dengan rata-rata konsumsi energi 264,301 mW, sedangkan untuk 32 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 14 dengan rata-rata konsumsi energi 264,153 mW dan untuk 16 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 30 dengan rata-rata konsumsi energi 264,127 mW. Untuk

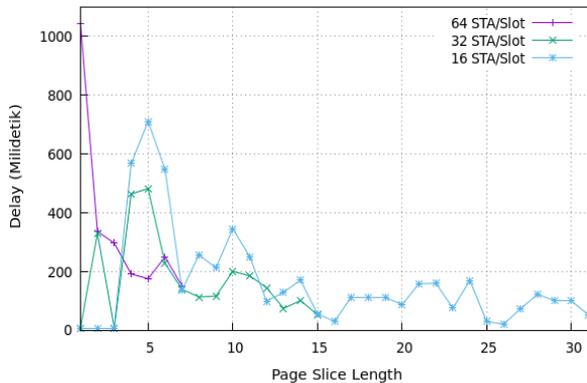
Page Slice Length terakhir pada 64 STA/Slot yaitu ke *Page Slice Length* ke 7 memperoleh rata-rata konsumsi energi 265,894 mW, 32 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 15 dengan rata-rata konsumsi energi 264,771 mW dan 16 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 31 dengan rata-rata konsumsi energi 264,775 mW.



Gambar 10. Hasil simulasi konsumsi energi STA terhadap *Page Slice Length* pada data rate MCS2_8

3.6. Pengaruh *Page Slice Length* terhadap *delay packet* pada data rate MCS2

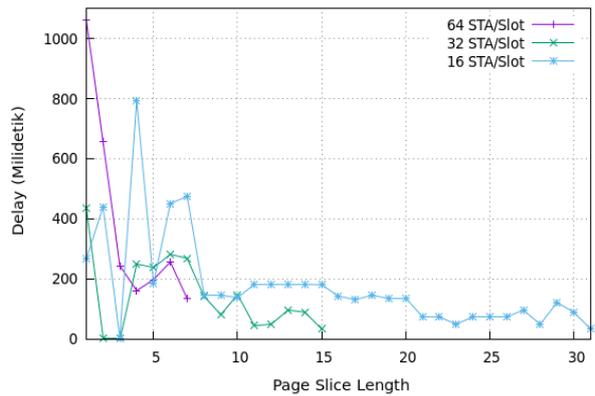
Proses simulasi pada gambar grafik di bawah dilakukan pada 64 STA/Slot, 32 STA/Slot dan 16 STA/Slot untuk mengukur pengaruh *Page Slice Length* terhadap *delay packet* dengan menggunakan data rate MCS2_0 dan MCS2_8.



Gambar 11. Hasil simulasi *delay packet* terhadap *Page Slice Length* pada data rate MCS2_0

Berdasarkan Gambar 11 menunjukkan *Page Slice Length* paling rendah atau optimal untuk *delay packet* yaitu 64 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 7 dengan *delay packet* 151,7 milidetik, sedangkan untuk 32 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 3 dengan *delay packet* 8 milidetik dan untuk 16 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 3 dengan *delay packet* 8,26 milidetik. Untuk *Page Slice Length* terakhir pada 64 STA/Slot yaitu ke *Page Slice Length* ke 7 memperoleh *delay packet* 151,7 milidetik, 32 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 15 dengan *delay packet* 53,3 milidetik dan 16 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 31 dengan *delay packet* 114,3 milidetik.

Berdasarkan Gambar 12 menunjukkan *Page Slice Length* paling rendah atau optimal untuk *delay packet* yaitu 64 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 7 dengan *delay packet* 135,15 milidetik, sedangkan untuk 32 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 2 dan 3 dengan *delay packet* 4,56 milidetik dan untuk 16 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 3 dengan *delay packet* 4,61 milidetik. Untuk *Page Slice Length* terakhir pada 64 STA/Slot yaitu ke *Page Slice Length* ke 7 memperoleh *delay packet* 135,15 milidetik, 32 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 15 dengan *delay packet* 34,87 milidetik dan 16 STA/Slot pada *Page Slice Length* ke 31 dengan *delay packet* 34,87 milidetik.



Gambar 12. Hasil simulasi *delay packet* terhadap *Page Slice Length* pada data rate MCS2_8

4. Kesimpulan

Setelah melakukan implementasi pengujian, desain pengujian dengan cara mengimplementasikan tahapan *Traffic Indication Map* berdasarkan *multirate* pada IEEE 802.11ah untuk optimasi kinerja jaringan IEEE 802.11ah pada aplikasi simulator NS-3. Kemudian dianalisa durasi *sleep*, konsumsi energi dan *delay packet* yang dihasilkan berdasarkan *multirate* pada WLAN 802.11ah. Maka dapat disimpulkan yaitu berdasarkan pengujian terhadap STA berdasarkan *multirate* menunjukkan Non-TIM optimal pada durasi *sleep* sedangkan TIM optimal pada konsumsi energi dan *delay packet*.

Berdasarkan pengujian pengaruh jumlah STA/Slot terhadap durasi *sleep* berdasarkan *Page Slice Length* pada hasil simulasi menunjukkan nilai durasi *sleep* optimal yang dihasilkan tergantung jumlah STA/Slot dan data rate yang digunakan. Kemudian pengaruh jumlah STA/Slot terhadap konsumsi energi berdasarkan *Page Slice Length* yang dihasilkan pada simulasi optimal dengan fase optimasi tergantung pada STA/Slot dan data rate yang digunakan dan pengaruh jumlah STA/Slot terhadap *delay packet* berdasarkan *Page Slice Length* memiliki waktu *delay* diawal yang tidak stabil dengan perubahan *delay packet* yang besar pada *Page Slice Length* ke 1 sampai 7 di 32 STA/Slot, 16 STA/Slot

dan terjadi pada kedua jenis data *rate* MCS2_0 dan MCS2_8, kemudian pada 64 STA/Slot berangsur optimal pada *Page Slice Length* ke 8 dan seterusnya 32 STA/Slot dan 16 STA/Slot juga berangsur optimal. Hasil penelitian ini masih bisa dikembangkan atau digunakan sebagai referensi bagi penelitian berikutnya.

Daftar Rujukan

- [1] L. Tian *et al.*, "Optimization-Oriented RAW Modeling of IEEE 802.11ah Heterogeneous Networks," *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, no. 6, pp. 10597–10609, 2019, doi: 10.1109/JIOT.2019.2940251.
- [2] J. Famaey, "The Long Life of IoT Devices : Comparing the Energy CONSUMPTION OF SUB-1GHZ WIRELESS TECHNOLOGIES," no. March, 2020.
- [3] M. Park, "IEEE 802.11ah: Sub-1-GHz license-exempt operation for the internet of things," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, pp. 145–151, 2015, doi: 10.1109/MCOM.2015.7263359.
- [4] S. Aust, R. V. Prasad, and I. G. M. M. Niemegeers, "IEEE 802.11ah: Advantages in standards and further challenges for sub 1 GHz Wi-Fi," *IEEE Int. Conf. Commun.*, pp. 6885–6889, 2012, doi: 10.1109/ICC.2012.6364903.
- [5] Y. Zhou, H. Wang, S. Zheng, and Z. Z. Lei, "Advances in IEEE 802.11ah standardization for machine-type communications in sub-1GHz WLAN," *2013 IEEE Int. Conf. Commun. Work. ICC 2013*, pp. 1269–1273, 2013, doi: 10.1109/ICCW.2013.6649432.
- [6] S. Aust, R. V. Prasad, and I. G. M. M. Niemegeers, "Outdoor Long-Range WLANs: A Lesson for IEEE 802.11ah," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 17, no. 3, pp. 1761–1775, 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2429311.
- [7] E. Khorov, A. Lyakhov, A. Krotov, and A. Guschin, "A survey on IEEE 802.11ah: An enabling networking technology for smart cities," *Comput. Commun.*, vol. 58, no. May 2014, pp. 53–69, 2015, doi: 10.1016/j.comcom.2014.08.008.
- [8] I. S. I. 8802-11, "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," *ANSI/IEEE Std 802.11, 2010 Ed.*, vol. 1999, no. June, pp. i–513, 1999.
- [9] V. Baños-Gonzalez, M. S. Afaqui, E. Lopez-Aguilera, and E. Garcia-Villegas, "IEEE 802.11ah: A technology to face the IoT challenge," *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 11, 2016, doi: 10.3390/s16111960.
- [10] Y. Zhao, O. N. C. Yilmaz, and A. Larmo, "Optimizing M2M energy efficiency in IEEE 802.11ah," *2015 IEEE Globecom Work. GC Wkshps 2015 - Proc.*, pp. 2–7, 2015, doi: 10.1109/GLOCOMW.2015.7414004.
- [11] S. Zheng and Z. Lei, "TIM encoding for IEEE 802.11ah based WLAN," *2014 IEEE Int. Conf. Commun. Syst. IEEE ICCS 2014*, pp. 559–563, 2014, doi: 10.1109/ICCS.2014.7024865.
- [12] L. Tian, A. Šljivo, S. Santi, E. De Poorter, J. Hoebeke, and J. Famaey, "Extension of the IEEE 802.11ah ns-3 simulation module," *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, no. May, pp. 53–60, 2018, doi: 10.1145/3199902.3199906.
- [13] A. Šljivo *et al.*, "Performance evaluation of IEEE 802.11ah networks with high-throughput bidirectional traffic," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 2, pp. 1–28, 2018, doi: 10.3390/s18020325.
- [14] A. Bel, T. Adame, and B. Bellalta, "An energy consumption model for IEEE 802.11ah WLANs," *Ad Hoc Networks*, vol. 72, pp. 14–26, 2018, doi: 10.1016/j.adhoc.2018.01.005.
- [15] B. Ji, S. Chen, K. Song, C. Li, H. Chen, and Z. Li, "Throughput enhancement schemes for IEEE 802.11ah based on multi-layer cooperation," *IWCMC 2015 - 11th Int. Wirel. Commun. Mob. Comput. Conf.*, pp. 1112–1116, 2015, doi: 10.1109/IWCMC.2015.7289238.
- [16] T. Kim and J. M. Chang, "Enhanced Power Saving Mechanism for Large-Scale 802.11ah Wireless Sensor Networks," *IEEE Trans. Green Commun. Netw.*, vol. XX, no. XX, pp. 1–1, 2017, doi: 10.1109/TGCN.2017.2727056.
- [17] L. Tian, S. Deronne, S. Latré, and J. Famaey, "Implementation and Validation of an IEEE 802.11ah Module for ns-3," *Proc. Work. ns-3 - WNS3 '16*, no. January, pp. 49–56, 2016, doi: 10.1145/2915371.2915372.
- [18] A. Hazmi, J. Rinne, and M. Valkama, "Feasibility study of IEEE 802.11ah radio technology for IoT and M2M use cases," *2012 IEEE Globecom Work. GC Wkshps 2012*, no. December, pp. 1687–1692, 2012, doi: 10.1109/GLOCOMW.2012.6477839.
- [19] M. Lacage and T. R. Henderson, "Yet another network simulator," *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, vol. 202, 2006, doi: 10.1145/1190455.1190467.