

Analisis Unjuk Kerja Perubahan Jumlah *Node* dan RAW *Station* pada IEEE 802.11ah

Triani Wulandari¹, Doan Perdana², Ridha Muldina Negara³

Abstract—Rapid development of wireless network impacts the development of IEEE 802.11x standard technology. However, the existing standard technologies still can not solve the problem of capacity, coverage, and power consumption. Due to these limitations, IEEE 802.11ah standard was made. IEEE 802.11ah is a standard of Wi-Fi technology that supports wireless networking scenarios, such as ability to arrange the large number of devices, a wide range of coverage, and power consumption mechanism on a limited energy condition. Wireless network is a best-effort network in delivering package. But VoIP service on the wireless network has lower QoS value, compared to the network using cables. This paper addresses the performance analysis of 802.11ah standard against VoIP services, especially at the MAC layer. To analyze the influence of node density and performance of RAW mechanism on VoIP service, a simulation is conducted through two scenarios, which are changing the number of nodes and RAW station. The simulation is performed using network simulator NS3 version 3.23. Analysis results show with the increasing number of nodes, the value of throughput and delay increase by 60.09% and 93.43%. Then, with the increasing number of RAW station, throughput and delay value have increased by 81.54% and 43.45%. The increase stops in a constant value when the number of RAW station has exceeded the number of nodes in the network.

Intisari—Pesatnya perkembangan jaringan nirkabel dalam memenuhi kebutuhan komunikasi data berdampak pada pengembangan teknologi standar IEEE 802.11x. Namun, dari teknologi standar yang ada masih terdapat kekurangan dalam mengatasi masalah kapasitas, cakupan, dan konsumsi daya. Karena keterbatasan tersebut, dibuatlah standar IEEE 802.11ah. IEEE 802.11ah merupakan standar teknologi Wi-Fi yang mendukung skenario jaringan nirkabel, seperti mengatur banyaknya perangkat, jangkauan wilayah yang luas, dan mekanisme konsumsi daya pada energi yang terbatas. Jaringan nirkabel merupakan jaringan yang *best-effort* dalam pengiriman pakatnya. Akan tetapi, layanan VoIP pada jaringan nirkabel memiliki nilai QoS yang rendah jika dibandingkan dengan jaringan yang menggunakan kabel. Makalah ini membahas analisis unjuk kerja standar 802.11ah terhadap layanan VoIP, khususnya pada MAC layer. Untuk melihat pengaruh kepadatan *node* dan kinerja mekanisme RAW pada layanan VoIP, simulasi dilakukan melalui dua skenario, yaitu perubahan kondisi jumlah *node* dan RAW *station*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan simulator jaringan NS3 versi 3.23. Berdasarkan

hasil analisis, disimpulkan bahwa dengan semakin meningkatnya jumlah *node*, nilai *throughput* dan *delay* yang diperoleh mengalami peningkatan masing-masing sebesar 60,09% dan 93,43%. Kemudian seiring meningkatnya jumlah RAW *station*, nilai *throughput* dan *delay* mengalami peningkatan masing-masing sebesar 81,54% dan 43,45% hingga bernilai konstan pada saat jumlah RAW *station* telah melebihi jumlah *node* di dalam jaringan tersebut.

Kata Kunci— IEEE 802.11ah, *Restricted Access Window*, Network Simulator 3, VoIP.

I. PENDAHULUAN

Memasuki era informasi ini teknologi komunikasi nirkabel (*wireless*) telah berkembang dengan sangat pesat karena keunggulannya dalam menghubungkan peranti (*device*) tanpa menggunakan media kabel dan bersifat *mobile* [1]. Teknologi komunikasi nirkabel mampu mengirimkan data secara *real time*, andal, dan fleksibel [2]. Akan tetapi, di balik keunggulan tersebut, teknologi nirkabel juga memiliki beberapa kelemahan, seperti terjadinya perubahan topologi karena sifat nirkabel yang *mobile*, *error rate* yang tinggi, konsumsi energi yang cukup besar, keterbatasan *bandwidth* dan kapasitas *link* yang tersedia, serta terbatasnya cakupan area dari perangkat [1].

Saat ini teknologi nirkabel itu sendiri menjadi topik yang hangat dijadikan penelitian, tetapi *bandwidth* dan *link access* serta konsumsi energi yang terbatas menjadi tantangan tersendiri bagi *ad hoc network*. Untuk memenuhi tantangan tersebut, IEEE merancang sebuah standardisasi baru untuk jaringan nirkabel, yaitu IEEE 802.11ah, yang dapat mendukung jaringan dengan banyaknya jumlah peranti yang terhubung, area cakupan yang besar, serta keterbatasan energi yang dikonsumsi. Dalam penggunaannya, standar IEEE 802.11ah dapat memenuhi kebutuhan yang digunakan pada standar *Machine to Machine* (M2M), seperti dalam bidang *metering and control utilities*, *eHealth*, *surveillance*, *home and industrial automation*, dan *intelligent transport system* [3].

Teknologi *Internet of Things* (IoT) diperkirakan akan berkembang begitu pesat setelah diperkenalkannya standar IEEE 802.11ah. Untuk menghadapi permasalahan seperti *collision* dan *hidden node problem* karena jaringannya yang sangat luas, 802.11ah mengadaptasi mekanisme *Restricted Access Window* (RAW) [4]. RAW membagi *station* yang terhubung pada *access point* menjadi beberapa *group* dan membuat kanal menjadi terbagi atas beberapa *slot*, kemudian menempatkan setiap *slot* pada setiap *group*. Setiap RAW dapat terdiri atas beberapa *group* dan setiap *group* dapat mengelola hingga 64 *station* [3].

Wireless access network merupakan jaringan yang *best-effort* dalam pengiriman pakatnya. Akan tetapi, layanan yang

¹ Mahasiswa, Program Studi Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom, Jln. Telekomunikasi Terusan Buah Batu Bandung 40287 INDONESIA (telp: 022-7564108; e-mail: triani@students.telkomuniversity.ac.id,

^{2,3} Dosen, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Jln. Telekomunikasi Terusan Buah Batu Bandung 40287 INDONESIA (telp: 022-7564108; e-mail: ²doanperdana@telkomuniversity.ac.id

³ridhanegara@telkomuniversity.ac.id)

sangat kritis seperti *Voice over IP (VoIP)* memiliki nilai *Quality of Service (QoS)* yang semakin rendah pada jaringan nirkabel jika dibandingkan dengan jaringan yang menggunakan kabel. Tantangan dalam layanan VoIP adalah sensitivitas terhadap QoS dengan perlunya jaminan pengiriman data secara *real time* [5]. Hal ini terutama disebabkan karena adanya *overhead* besar saat mengirimkan paket VoIP yang berukuran kecil dan dihasilkan dengan waktu yang sering [6].

Sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang evaluasi dan peningkatan unjuk kerja standar 802.11ah pada jaringan *Multi-Access Point* menggunakan mekanisme RAW. Hasil analisis dari penelitian tersebut menegaskan pentingnya mekanisme RAW untuk meningkatkan unjuk kerja sistem, baik itu dari segi perspektif nilai *throughput* yang diperoleh, maupun efisiensi energi yang dihasilkan. Dijelaskan juga perbandingan unjuk kerja jaringan *single access point* dan *multiple access point* [7]. Pada penelitian lain, dilakukan evaluasi terhadap mekanisme RAW pada standar 802.11ah untuk jaringan IoT yang padat. Pengujian dilakukan untuk menguji beban trafik, jumlah *station*, dan durasi RAW *group*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan pengelompokan yang tepat, mekanisme RAW pada hakikatnya akan meningkatkan nilai *throughput*, *latency*, dan efisiensi energi di dalam jaringan tersebut [8]. Penelitian lain dilakukan untuk mensimulasikan standar 802.11ah dengan menggunakan peningkatan pada algoritme *Medium Access Control (MAC)* untuk mengestimasi jumlah peranti pada akses *uplink* dari kemungkinan kesuksesannya. Pada algoritme tersebut, sebuah *access point* menentukan ukuran optimal dari RAW dengan mempertimbangkan hubungan antara estimasi jumlah peranti dan ukuran RAW. Hasil simulasi dan analisis menunjukkan kemungkinan sukses untuk akses *uplink* meningkat dengan algoritme tersebut [9]. Sebuah penelitian melakukan simulasi dan analisis dari unjuk kerja dan konsumsi energi pada protokol *routing DSDV* dan *OSLR* yang diaplikasikan pada standar 802.11ah. Penelitian tersebut dilakukan melalui dua skenario, yaitu perubahan jumlah *node* dan perubahan jarak antara *station* dan *access point*. Hasil penelitian menunjukkan protokol *routing OLSR* menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik jika dibandingkan dengan *DSDV* pada parameter konsumsi energi, *throughput*, *Packet Delivery Ratio (PDR)*, dan *average delay* [10]. Penelitian untuk menguji unjuk kerja dari protokol *routing AODV* dan *DSDV* pada mekanisme RAW juga telah dilakukan. Parameter yang diuji adalah *throughput*, *delay*, *PDR*, dan konsumsi energi. Hasil simulasi menunjukkan unjuk kerja jaringan dengan protokol *AODV* lebih baik dari *DSDV* saat diaplikasikan pada standar IEEE 802.11ah [11].

Pada makalah ini, dilakukan pengujian dan analisis terhadap unjuk kerja standar 802.11ah pada layanan VoIP berdasarkan perubahan jumlah *node* dan RAW *station* yang terhubung pada sebuah *access point*. Selanjutnya, unjuk kerja jaringan diukur menggunakan hasil simulasi yang dihasilkan oleh Network Simulator 3 versi 3.23. Keluaran yang diukur dari simulasi adalah parameter QoS seperti *throughput*, *delay*, *PDR*, serta *packet loss*.

Makalah ini tersusun atas bagian pendahuluan, paparan tentang 802.11ah dan VoIP, pemodelan sistem dan simulasi, pengujian dan analisis, serta bagian kesimpulan.

II. STANDAR 802.11AH DAN VOIP

A. IEEE 802.11ah

Standar IEEE 802.11ah merupakan salah satu pengembangan dari IEEE 802.11 dalam memenuhi kebutuhan komunikasi nirkabel seperti *Wireless Sensor Network (WSN)* dan *Machine to Machine*. IEEE 802.11ah memiliki kapasitas pengelolaan jumlah *station* yang besar karena memiliki hirarki *signaling* dan kemampuan manajemen penghematan daya [12].

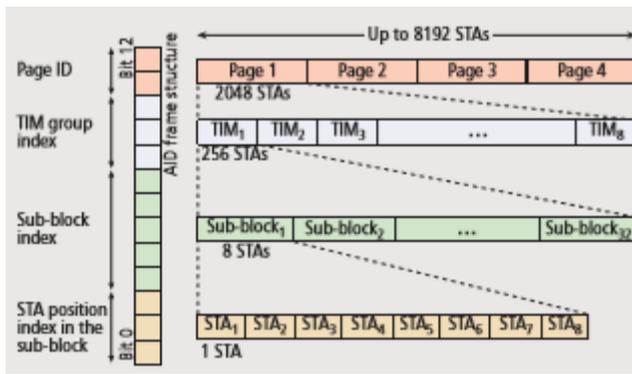
IEEE 802.11ah adalah protokol jaringan nirkabel yang beroperasi pada *bands sub 1 GHz* untuk dapat menyediakan tambahan jangkauan jaringan Wi-Fi yang lebih luas, jika dibandingkan dengan jaringan Wi-Fi konvensional yang bekerja di atas *bands 2,4 GHz* dan *5 GHz* [12]. Hal tersebut juga memengaruhi penggunaan energi yang rendah dengan membuat beberapa *station* atau sensor memungkinkan saling berbagi sinyal. Hal tersebut mendukung konsep teknologi IoT. Penggunaan konsumsi daya yang rendah juga terjadi karena adanya beberapa perbedaan pada lapisan MAC, seperti lebih kecilnya *format frame*, prioritas *sensor traffic*, dan *mode beaconless paging* [13].

Standar 802.11ah mengatur peranti dengan membaginya secara berkelompok untuk meminimalkan terjadinya *contention* dan *collision*, penggunaan jaringan *relay* untuk memperluas jangkauan, penggunaan daya yang sedikit karena periode *sleep/wake up* yang telah ditetapkan, mampu mengirim data dengan kecepatan tinggi dengan kondisi yang berbeda, serta penggunaan antena sektoral. Standar 802.11ah memiliki daerah jangkauan hingga 1 km jauhnya dengan setiap *access point* mampu memberikan konektivitas untuk ribuan perangkat yang terhubung dengan melakukan efisiensi pada *paging* dan sistem pentransmisian yang periodik [12].

B. Lapis Fisik (PHY) 802.11ah

Standar IEEE 802.11ah beroperasi dengan lebar kanal 1 MHz, 2 MHz, 4 MHz, 8 MHz dan 16 MHz. Secara umum, kanal yang biasa digunakan standar 802.11ah adalah 1 MHz dan 2 MHz, sehingga *layer* fisik dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori, yaitu mode transmisi dengan kanal *bandwidth* ≥ 2 MHz dan mode transmisi dengan kanal *bandwidth* 1 MHz. Saat beroperasi pada frekuensi rendah dan *bandwidth* yang kecil, *access point* dimungkinkan untuk mentransmisikan data pada *range* yang lebih panjang (hingga 1 km) dan juga dengan konsumsi daya yang jauh lebih rendah, dibandingkan dengan teknologi Wi-Fi yang biasanya beroperasi pada frekuensi *bandwidth* 2,4 GHz dan 5 GHz [3].

Transmisi PHY merupakan gelombang berbasis OFDM yang terdiri atas 32 atau 64 *tone/subcarrier* dengan *spacing* 32,25 kHz. Modulasi yang didukung pada standar 802.11ah mencakup BPSK, QPSK, dan 16-256 QAM. Untuk pengklasifikasian *data rate* dan *bandwidth*, IEEE 802.11ah menggunakan beberapa bentuk *modulation and coding schemes (MCSs)* dan durasi *guard interval (GI)* [3], [10].



Gbr. 1 Struktur dasar frame AID [3].

TABEL I
PERBANDINGAN CODEC VOIP [5]

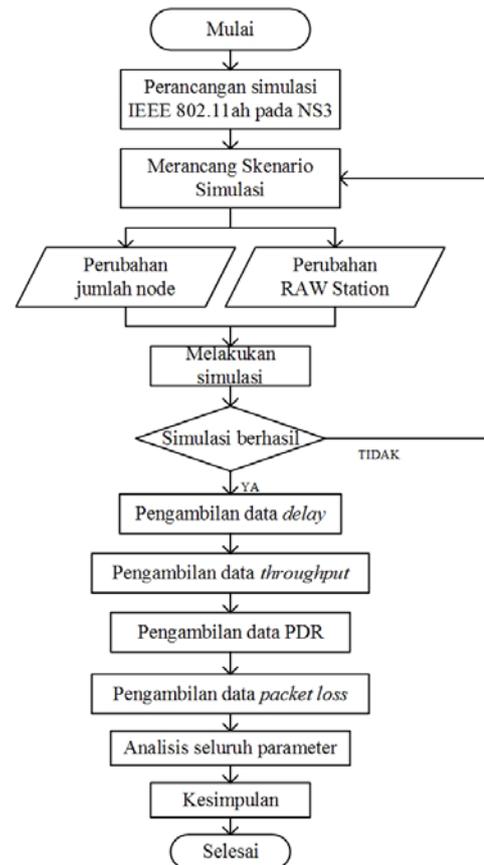
Codec	Sampling (kHz)	Bitrate (kbps)	Frame size + look-ahead (ms)	MOS
AMR-NB	8	4,75 ... 12,2	20 + 5,0	4,14
AMR-WB	16	6,6 ... 23,85	20 + 5,0	4,30
G.711 (PCM)	8	64	0,125 + 0,0	4,30
G.723.1	8	5,3, 6,3	30 + 7,5	3,65
G.726	8	16 ... 40	0.125 + 0,0	3,85
G.729	8	8	10 + 5,0	3,92
GSM FR	8	13	20 + 2,5	3,50
GSM EFR	8	12,2	20 + 2,5	3,80
iLBC	8	15,2	20 + 2,5	4,14

C. Lapis MAC 802.11ah

IEEE 802.11ah menggunakan mekanisme pengelompokan *station* dalam pengelolaan banyaknya jumlah *station* yang dapat dilayani. Lapis MAC pada IEEE 802.11ah memiliki beberapa mekanisme, seperti segmentasi untuk *traffic information map* (TIM), *target wake time* (TWT), dan RAW yang dapat mendukung kebutuhan jaringan IoT yang padat.

Untuk mempermudah pengoperasian jumlah *station* yang cukup besar, IEEE 802.11ah mengelompokkan *station-station* dengan menggunakan *association identifier* (AID) yang berdasar pada empat tingkatan struktur, seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 1. AID diklasifikasikan ke dalam *pages*, *blocks*, *subblocks*, dan indeks *station* pada *subblocks*. Jumlah *pages* dan *blocks* dapat dikonfigurasi sesuai dengan ukuran dan kebutuhan jaringan [3].

Untuk mengurangi kemungkinan terjadinya *collision* dalam jaringan dengan pengelolaan banyaknya jumlah *station*, dan juga untuk meningkatkan *power efficiency*, telah dibuat sistem RAW pada standar 802.11ah. Dengan kata lain, mekanisme RAW membagi *station* menjadi beberapa *group* dan membuat kanal terbagi atas beberapa *slot*, kemudian menempatkan tiap *slot* pada tiap *group*. Selama periode RAW yang telah dikonfigurasi, hanya kelompok *station* yang telah ditentukan oleh karakteristik AID, baik dari *page* yang sama, yang dapat mengakses medium. Selama periode RAW berlangsung, setiap *station* dilarang untuk mengakses kanal sebelum waktu *slot*-nya tiba [3], [10].



Gbr. 2 Diagram alir penelitian.

D. Voice over IP (VoIP)

Dalam teknologi VoIP, komunikasi suara, video, dan data dikirimkan melalui jaringan berbasis *Internet Protocol* (IP) yang dijalankan pada infrastruktur *packet network* [5]. Sinyal suara ditangkap oleh mikrofon dan dikirimkan pada *codec* suara. Pada sisi pengirim, *codec* berperan melakukan *sampling* sinyal audio analog dan mengubahnya menjadi aliran paket data digital yang kemudian dikirim untuk dikapsulasi sebagai *payload* pada paket IP. Pada sisi penerima, *codec* berperan sebaliknya. *Payload* yang diterima sebagai paket IP diekstraksi dan digabungkan menjadi aliran data digital yang kemudian dikonversikan kembali menjadi sinyal analog dan dilewatkan pada *speaker* [6]. Tabel I menampilkan perbandingan *codec* yang digunakan pada VoIP.

III. PEMODELAN SISTEM DAN SIMULASI

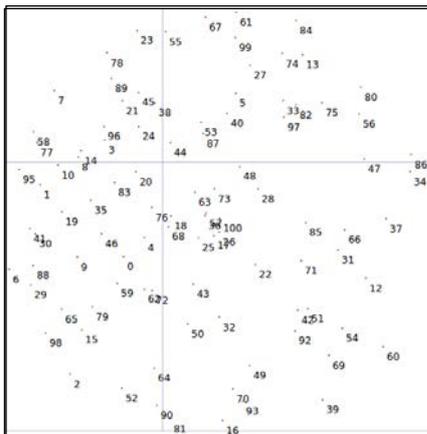
Dalam proses perancangan sebuah sistem, diagram alir pengerjaan penelitian ini dapat mendeskripsikan alur dari pengerjaan penelitian agar dapat menggambarkan skenario yang sistematis dan terstruktur. Diagram alir ditunjukkan pada Gbr. 2.

Simulasi dilakukan melalui dua skenario. Skenario pertama yaitu merepresentasikan suatu kondisi jaringan yang mengalami perubahan jumlah *station* yang berpengaruh pada kepadatan *node* dalam suatu jumlah RAW *slot* dan RAW *group* yang konstan. Skenario kedua merepresentasikan sebuah kondisi pada suatu jaringan yang mengalami perubahan jumlah RAW *station* dengan mengalokasikan suatu

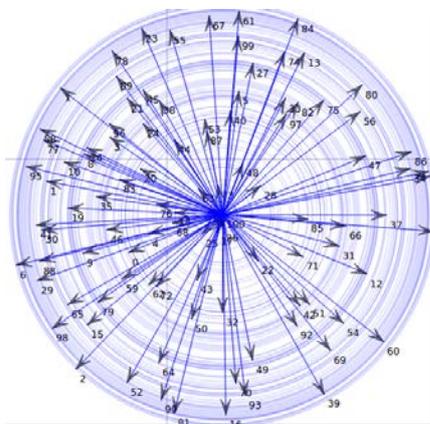
jumlah *station* yang tetap. Selain itu, fitur dari 802.11ah, yaitu TIM, DTIM, dan TwT, tidak diimplementasikan pada simulasi. Parameter atribut yang diatur dalam simulasi ditunjukkan pada Tabel II.

TABEL II
PARAMETER SIMULASI

Parameter	Nilai
Physical Layer	WLAN/ IEEE 802.11
Transport Layer	UDP
Packet Size	94 byte
Data Rate	8 Kbps
Jumlah <i>station</i>	10-100
Jumlah <i>access point</i>	1
Bandwidth	1 MHz / 2 MHz
RAW Group	1
RAW Slot	1



(a)



(b)

Gbr. 3 (a) Sebaran dan posisi *node*, (b) pengiriman data.

Besarnya *payload* dan *data rate* yang digunakan pada simulasi disesuaikan dengan karakteristik besar *payload* dan *data rate* pada salah satu *codec* VoIP yang digunakan. Simulasi dilakukan menggunakan *codec* VoIP G.729. *Codec* tersebut memiliki *data rate* sebesar 8 Kbps dan *header payload* sebesar 20 byte [14], sehingga

- besar *header*, terdiri atas [14]
(*Header Wifi* = 34 byte) + (*Header IP* = 20 byte) +

(*Header UDP* = 8 byte) + (*Header RTP* = 12 byte)
= 34+20+8+12= 74 byte,
sehingga total *header* = 74 byte;

- besar *payload*: 20 byte; dan
- besar paket = *header* + *payload* = 74 + 20 = 94 byte.

Parameter atribut yang diatur dalam simulasi ditunjukkan pada Tabel II, kemudian dihasilkan topologi sesuai skenario yang dikehendaki pada simulator. Hal ini ditunjukkan pada Gbr. 3(a) yang menunjukkan sebaran dan posisi seluruh *node* sebelum pengiriman data dilakukan. Sedangkan Gbr. 3(b) adalah kondisi simulasi saat pengiriman data dilakukan.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Dari simulasi yang telah dilakukan seperti yang terlihat pada Gbr. 3, diperoleh hasil analisis unjuk kerja standar IEEE 802.11ah pada layanan VoIP. Pengujian dilakukan melalui dua buah skenario dan hasil analisis unjuk kerja diperoleh melalui nilai parameter QoS yang diperoleh pada simulasi yang dilakukan, antara lain nilai *throughput*, *delay*, PDR, dan *packet loss*. PDR merupakan nilai perbandingan total paket yang dikirimkan dengan paket yang berhasil diterima hingga tujuan. Sedangkan *packet loss* merupakan persentase paket yang hilang atau tidak dapat mencapai tujuan.

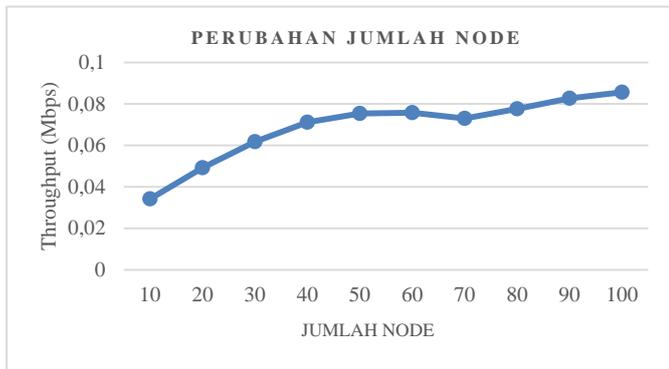
A. Skenario Perubahan Jumlah Node

Perubahan jumlah *node* yang tersedia menyebabkan perubahan kepadatan *node* pada RAW *group* dan RAW *slot*. Pada skenario ini, RAW *group* dan RAW *slot* bernilai konstan, sedangkan jumlah *node* berubah, mulai dari sepuluh hingga 100 buah *node*. Tujuan simulasi ini adalah mengetahui pengaruh perubahan jumlah *node* terhadap nilai parameter QoS yang diuji.

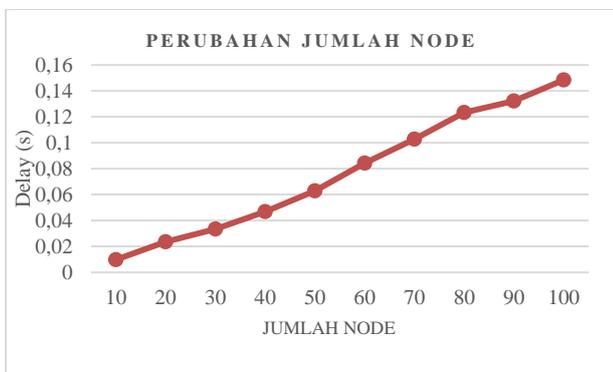
Rata-rata *throughput* merupakan rata-rata jumlah *byte* yang berhasil dikirim pada suatu jaringan dalam satuan waktu [15], [16]. Pada Gbr. 4 ditunjukkan hubungan antara banyaknya jumlah *node* dan *throughput* yang diperoleh. Diketahui pada saat terdapat sepuluh *node*, jumlah *throughput* yang diperoleh sebesar 0,03416 Mbps. Pada saat jumlah *node* meningkat menjadi 20, terjadi kenaikan nilai *throughput* sebesar 30,51%. Seiring meningkatnya jumlah *node*, terjadi peningkatan nilai *throughput* yang diperoleh. Pada saat jumlah *node* mencapai 100, nilai *throughput* yang diperoleh mengalami peningkatan sebesar 60,09% dibandingkan hasil *throughput* yang diperoleh pada saat terdapat sepuluh *node*. Hal tersebut terjadi karena dengan semakin banyaknya *node* yang terhubung pada sebuah *access point*, semakin banyak pula data yang ditransmisikan, sehingga jumlah data yang berhasil diterima akan meningkat meskipun banyak pula data yang tidak berhasil diterima. Akibatnya, nilai *throughput* yang dihasilkan akan meningkat.

Pada Gbr. 5 ditunjukkan pengaruh kenaikan jumlah *node* terhadap nilai *delay* yang diperoleh. Pada saat terdapat sepuluh *node* yang terhubung pada *access point*, nilai *delay* yang diperoleh sebesar 0,009742 s. Sedangkan pada saat terdapat 20 buah *node* pada jaringan, nilai *delay* yang diperoleh meningkat sebesar 58,55%, menjadi 0,023507 s. Nilai *delay* yang paling tinggi diperoleh ketika terdapat 100 buah *node*, yaitu terjadi peningkatan sebesar 93,43% dibandingkan saat terdapat sepuluh *node* yang terhubung.

Semakin banyak jumlah *node* yang terdapat pada suatu RAW *group*, semakin besar waktu yang dibutuhkan untuk pengiriman data, karena setiap *node* tersebut diberi hak akses kanal secara bergantian satu per satu, sehingga hasil *delay* yang diperoleh semakin tinggi seiring dengan meningkatnya jumlah *node* pada jaringan tersebut.



Gbr. 4 Nilai *throughput* terhadap perubahan jumlah *node*.

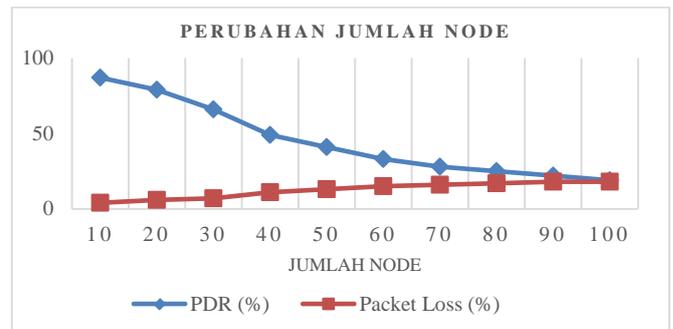


Gbr. 5 Nilai *delay* terhadap perubahan jumlah *node*.

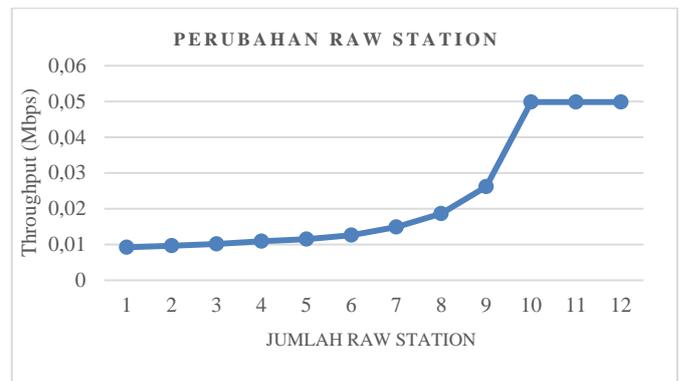
Grafik pada Gbr. 6 menunjukkan pengaruh kenaikan jumlah *node* terhadap nilai PDR dan *packet loss* yang diperoleh. Nilai PDR yang paling tinggi diperoleh pada saat terdapat sepuluh *node* dalam jaringan, yaitu sebesar 87%. Sedangkan nilai PDR yang paling rendah diperoleh pada saat terdapat 100 buah *node*, yaitu sebesar 19%. Kemudian pada saat terdapat sepuluh buah *node*, diperoleh nilai *packet loss* yang paling rendah, yaitu 4%. Sedangkan ketika jumlah *node* dinaikkan menjadi 90 dan 100, nilai *packet loss* yang diperoleh menjadi 18% dan menjadi nilai tertinggi. Semakin besar nilai PDR yang diperoleh, tingkat keberhasilan pengiriman data semakin besar, sehingga nilai paket yang hilang dan tidak berhasil dikirimkan semakin kecil. Oleh karena itu, nilai PDR dan *packet loss* berbanding terbalik dalam keadaan jumlah *node* yang sama. Pada gambar tersebut tampak nilai PDR semakin rendah, sedangkan nilai *packet loss* semakin tinggi, seiring meningkatnya jumlah *node* pada simulasi.

B. Skenario Perubahan Jumlah RAW Station

Skenario kedua merupakan skenario yang bertujuan untuk menganalisis parameter QoS terhadap kondisi jaringan tertentu, ketika RAW *group* dan RAW *slot* bernilai konstan, yaitu 1, dan jumlah *node* yang bernilai konstan pula, yaitu 10. Setiap *node* terletak pada posisi acak di sekitar *access point*.



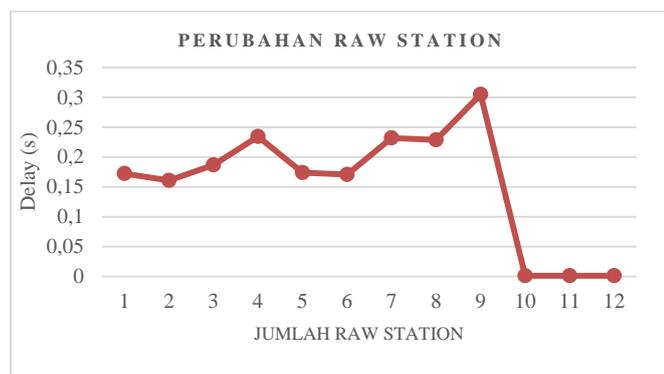
Gbr. 6 Nilai *throughput* dan *delay* terhadap perubahan jumlah RAW *station*.



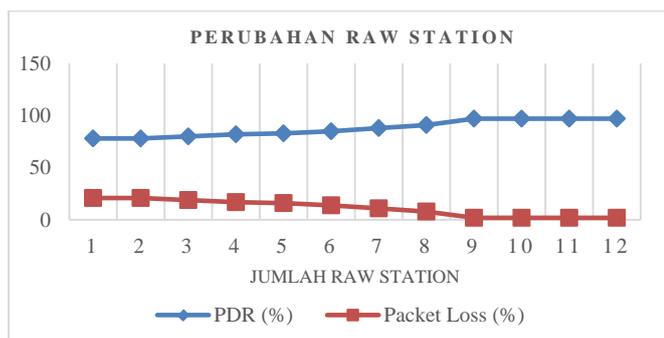
Gbr. 7 Nilai *throughput* terhadap perubahan jumlah RAW *station*.

Gbr. 7 merupakan grafik pengaruh perubahan jumlah RAW *station* terhadap nilai *throughput* yang diperoleh. Pada saat terdapat satu buah RAW *station*, nilai *throughput* yang diperoleh adalah 0,00919695 Mbps. Kemudian pada saat jumlah RAW *station* diubah menjadi dua, terjadi kenaikan nilai *throughput* sebesar 4,62%. Dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah RAW *station*, nilai *throughput* yang diperoleh semakin bertambah. Nilai *throughput* paling tinggi terjadi pada saat terdapat 10, 11, dan 12 buah RAW *station* dalam jaringan, dengan kenaikan sebesar 81,54%. Semakin besar jumlah RAW *station*, semakin besar pula jumlah *node/station* yang mendukung mekanisme RAW dalam proses pengiriman data. Oleh karena itu, kemungkinan berhasilnya pengiriman paket data akan semakin besar dan berpengaruh pada kenaikan nilai *throughput* yang diperoleh, seiring dengan kenaikan jumlah RAW *station* pada jaringan.

Pada Gbr. 8 ditunjukkan pengaruh kenaikan jumlah RAW *station* terhadap besar *delay* yang diperoleh. Nilai *delay* pada saat terdapat satu buah RAW *station* bernilai 0,172 s, sedangkan pada saat terdapat sembilan RAW *station*, nilai *delay* yang diperoleh meningkat sebesar 43,45%, yaitu 0,305 s. Nilai *delay* yang diperoleh semakin bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah RAW *station*. Kemudian, nilai *delay* menurun dan bernilai konstan ketika RAW *station* bernilai 10, 11, dan 12. Kondisi ini merupakan titik terendah nilai *delay* dalam pengujian, yaitu 0,001194 s, dengan penurunan sebesar 99,3% dibandingkan dengan kondisi saat terdapat satu buah RAW *station*. Pada kondisi tersebut, seluruh *node* dalam jaringan telah mendukung mekanisme RAW, sehingga tidak terjadinya perebutan kanal yang mengakibatkan nilai *delay* menurun drastis.



Gbr. 8 Nilai delay terhadap perubahan jumlah RAW station.



Gbr. 9 Nilai PDR dan packet loss terhadap perubahan jumlah RAW station.

Gbr. 9 menampilkan grafik pengaruh perubahan jumlah RAW station terhadap besarnya nilai PDR dan *packet loss* yang diperoleh. Nilai PDR paling rendah terjadi pada saat terdapat satu buah RAW station, yaitu 78%. Ketika jumlah RAW station diubah menjadi tiga, terjadi peningkatan nilai PDR sebanyak 2%. Dapat dilihat bahwa nilai PDR mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya jumlah RAW station. Nilai PDR paling tinggi diperoleh pada kondisi RAW station berjumlah 10, 11, dan 12, dengan peningkatan sebesar 19,57% dibandingkan dengan kondisi satu dan dua buah RAW station, yaitu dengan perolehan nilai PDR sebesar 97%. Kemudian, nilai *packet loss* paling tinggi diperoleh saat terdapat satu buah RAW station, yaitu 21%. Pada saat jumlah RAW station meningkat menjadi tiga, terjadi penurunan nilai *packet loss* sebesar 2%. Nilai *packet loss* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah RAW station. Nilai *packet loss* yang paling rendah diperoleh pada kondisi RAW station berjumlah 10, 11, dan 12, yaitu sebesar 2% dengan penurunan sebesar 19% dari kondisi awal.

Nilai *throughput*, *delay*, PDR, dan *packet loss* mengalami perubahan pada saat RAW slot bernilai satu hingga sembilan. Sedangkan nilai keempat parameter tersebut bernilai konstan pada saat kondisi RAW station berjumlah sepuluh hingga 12. Hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi parameter jumlah *node* yang diatur konstan, sejumlah 10, selama simulasi dilakukan. Pada saat RAW station bernilai 11 dan 12, jumlah station yang mendukung RAW telah melebihi jumlah *node/station* yang terhubung pada *access point* secara keseluruhan, sehingga parameter QoS yang diperoleh bernilai konstan.

V. KESIMPULAN

Standar IEEE 802.11ah adalah suatu pengembangan dari standar nirkabel IEEE 802.11 yang mendukung skenario jaringan nirkabel seperti mengatur banyaknya peranti, luas jangkauan yang besar, dan mekanisme konsumsi daya pada energi yang terbatas. IEEE 802.11ah mengadaptasi mekanisme RAW. RAW membagi *station* menjadi beberapa *group* dan membuat kanal menjadi terbagi atas beberapa *slot*, kemudian menempatkan tiap *slot* pada setiap *group*.

Dari hasil pengujian 802.11ah pada layanan VoIP dengan skenario perubahan jumlah *node* dan RAW station, diketahui bahwa kondisi jumlah *node* maupun jumlah RAW station pada standar IEEE 802.11ah secara langsung memengaruhi nilai parameter QoS yang diperoleh.

Pada skenario perubahan jumlah *node*, nilai *throughput* dan *delay* mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah *node* yang terhubung pada *access point*, yaitu masing-masing sebesar 60,09% dan 93,43%. Hal ini dikarenakan dengan semakin banyaknya *node* yang terhubung pada sebuah *access point*, maka semakin banyak data yang ditransmisikan, sehingga jumlah data yang berhasil diterima semakin meningkat meskipun banyak pula data yang tidak berhasil diterima. Akibatnya, nilai *throughput* yang diperoleh akan meningkat. Selain itu, dengan banyaknya *node* yang tersedia, semakin banyak pula jumlah *node* yang terdapat pada suatu RAW *group*, sehingga semakin besar waktu yang dibutuhkan untuk pengiriman data, karena setiap *node* tersebut diberi hak akses kanal secara bergantian satu per satu. Oleh karena itu, nilai *delay* yang diperoleh semakin besar. Kemudian, nilai PDR semakin rendah sedangkan *packet loss* yang diperoleh semakin tinggi seiring dengan meningkatnya jumlah *node* pada simulasi.

Pada skenario perubahan jumlah RAW station, nilai *throughput*, *delay*, dan PDR yang diperoleh mengalami peningkatan masing-masing sebesar 81,54%, 43,45%, dan 19,58%, sedangkan nilai *packet loss* mengalami penurunan sebesar 90,47%. Semakin besar jumlah RAW station, semakin besar pula jumlah *node/station* yang mendukung mekanisme RAW dalam proses pengiriman data. Oleh karena itu, kemungkinan berhasilnya pengiriman paket data semakin besar dan berpengaruh pada kenaikan nilai *throughput*, *delay*, dan PDR yang diperoleh, seiring dengan kenaikan jumlah RAW station pada jaringan. Selain itu, apabila jumlah RAW station telah melebihi jumlah *node/station* yang terhubung pada *access point* secara keseluruhan, parameter QoS yang diperoleh bernilai konstan.

Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan pengujian dengan skenario lain, seperti perubahan RAW slot maupun RAW *group* dengan skenario modulasi yang berbeda serta menambahkan *traffic pattern* dan protokol *routing* untuk menguji berbagai layanan pada standar 802.11ah.

REFERENSI

- [1] A. B. Forouzan, *Data Communications and Networking*, 4th ed., New York, United States: McGraw-Hill, 2007.
- [2] R. Munadi, D. Perdana, and A. Mulyana, "Adaptive Control Channel Interval in VANET based on Mobility Model and Queuing Network Analysis," *J. Networks*, vol. 11, no. 2, pp. 62–69, 2016.

- [3] T. Adame, A. Bel, B. Bellalta, J. Barcelo, and M. Oliver, "IEEE 802.11AH: The WiFi approach for M2M communications," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 21, no. 6, pp. 144–152, 2014.
- [4] R. Costa, F. Vasques, C. Montez, and R. Moraes, "Limitations of the IEEE 802 . 11 DCF , PCF , EDCA and HCCA to handle real-time traffic," *IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 2015.
- [5] P. H. Mukti, A. E. Prabowo, and G. Kusrahardjo, "Evaluasi VoIP Menggunakan Mean Opinian Score pada Jaringan Testbed -WiMAX Berbasis IEEE 802 . 16-2004," *JNTETI*, vol. 4, no. 4, 2015.
- [6] C. Olariu, "Quality of Service Support for Voice over IP in Wireless Access Networks," Ph.D. Thesis, Waterford Institute of Technology, Ireland, 2013.
- [7] O. Raeesi, A. Hazmi, J. Pirskanen, M. Valkama, and J. Talvitie, "Performance Enhancement and Evaluation of IEEE 802 . 11ah Multi-Access Point Network using Restricted Access Window Mechanism," *IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems Performance*, 2014, pp. 287–293.
- [8] L. Tian, J. Famaey, and S. Latr, "Evaluation of the IEEE 802 . 11ah Restricted Access Window Mechanism for dense IoT networks," *International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*, 2016.
- [9] C. W. Park, D. Hwang, and T. Lee, "Enhancement of IEEE 802.11ah MAC for M2M Communications," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 18, no. 7, pp. 1151–1154, 2014.
- [10] M. I. Denatama, "Simulation and Analysis of Energy Consumption and Performance of Routing Protocol DSDV and OLSR on IEEE 802 . 11ah Standard," *IJSSST*, vol. 17, pp. 1–9, 2016.
- [11] M. H. Baasir, "Analysis of Performance and Energy Consumption of the Routing Protocols AODV and DSDV in RAW Mechanism for IEEE 802 . 11ah Standard," *IJSSST*, vol. 17, pp. 1–6, 2016.
- [12] S. Aust and I. G. M. M. Niemegeers, "IEEE 802 . 11ah : Advantages in Standards and Further Challenges for Sub 1 GHz Wi-Fi," *IEEE International Conference on Communication*, 2012.
- [13] Qualcomm, "Wi-Fi Advanced 802.11ah." [Online]. Available: www.Qualcomm.com/Invention/research/projects/wi-fi-evolution/80211ah. [Accessed: 10-May-2017].
- [14] I. H. Santoso, R. Munadi, and G. U. Putra, "Evaluasi Performansi Layanan VoIP Over WLAN pada Jaringan VoIP on Campus (VoC)," *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia*, 2015.
- [15] D. Perdana and R. F. Sari, "Performance Evaluation of Multi-channel Operation IEEE 1609.4 Based on Multi-hop Disseminatio," *Int. J. Comput. Sci. Netw. Secur.*, vol. 13, no. 3, pp. 42–47, 2013.
- [16] O. Kembuan and S. S. Kusumawardani, "Analisis Kinerja Reactive Routing Protocol dalam Mobile Ad-Hoc Network (MANET) Menggunakan NS-2 (Network Simulator)," *JNTETI*, vol. 1, no. 1, 2012.