

Analisis Unjuk Kerja Mekanisme *Dynamic Spectrum Access* Dalam Radio Kognitif Pada Jaringan Wi-Fi

Afif Fairuzqi Ramadha¹, Ida Nurcahyani²

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia
Jl Kaliurang KM 14.5 Yogyakarta, Indonesia

¹15524080@students.uii.ac.id

²ida.nurcahyani@uui.ac.id

Abstrak— Perkembangan dunia telekomunikasi yang semakin pesat, terdapat banyak pengguna yang mengakses layanan telekomunikasi dalam satu waktu. Namun, dalam kenyataannya kanal spektrum frekuensi yang tersedia dan dapat dipakai saat ini terbatas. Untuk mengakses layanan telekomunikasi secara lancar, diperlukan kanal spektrum yang mencukupi bagi pengguna layanan dan efisien dalam penggunaan spektrum frekuensi yang terbatas, maka dari itu digunakan kognitif radio. Kognitif radio adalah teknologi radio yang dapat melakukan manajemen spektrum frekuensi dalam suatu jaringan dengan bantuan dari mekanisme *Dynamic Spectrum Access* (DSA). Maka penulis melakukan simulasi menggunakan *software Network Simulator 3 (NS-3)* pada jaringan Wi-Fi dengan teknologi radio kognitif melalui mekanisme DSA. Hasil dalam penelitian, diukur dari beberapa parameter penting dalam QoS suatu jaringan yaitu *throughput* dan *delay*. Pada hasil simulasi, mekanisme DSA dalam radio kognitif dapat memenuhi QoS dengan baik karena dapat menunjang penggunaan jaringan Wi-Fi walaupun dipengaruhi oleh penambahan *node* dengan fungsi *access point* maupun pengguna dan mobilitas kecepatan pengguna.

Kata kunci— Keterbatasan spektrum, Radio kognitif, Mekanisme *Dynamic Spectrum Access*, QoS

I. PENDAHULUAN

Dalam perkembangan teknologi telekomunikasi yang semakin pesat, banyak pengguna yang mengakses layanan telekomunikasi dalam satu waktu secara bergerak. Terutama untuk masyarakat yang berumur 15-24 tahun di seluruh dunia yang semakin banyak menggunakan *mobile internet* untuk kebutuhan sehari-hari [1]. Oleh karena itu, pihak penyedia jasa telekomunikasi dituntut untuk memenuhi permintaan yang tinggi terhadap akses layanan bagi pengguna. Dalam layanan tersebut diperlukan kinerja akses yang andal agar dapat memuaskan pengguna bergerak. Sehingga teknologi yang dibutuhkan penyedia layanan harus bisa memenuhi *Quality of Service* (QoS) yang baik [2].

Dalam melakukan komunikasi di perangkat bergerak, diperlukan jaringan nirkabel yang membutuhkan penggunaan kanal spektrum frekuensi. Namun masalahnya, spektrum frekuensi yang tersedia saat ini hanya dapat digunakan dengan terbatas, maka dari itu digunakan teknologi radio kognitif [3]. Radio kognitif melakukan fungsinya dengan memungkinkan penggunaan spektrum yang tidak terpakai sehingga dapat mengatur dan memilih jaringan nirkabel secara dinamis yang terbebas dari kemacetan untuk digunakan oleh pengguna perangkat bergerak [4].

Untuk dapat memilih akses yang lebih baik diperlukan sebuah mekanisme *Dynamic Spectrum Access* (DSA). Mekanisme ini bekerja dan bertugas untuk melancarkan kinerja dari jaringan komunikasi radio kognitif dengan cara efisiensi dalam pemilihan dan penggunaan sumber spektrum frekuensi radio yang tersedia. Hal tersebut bisa dilakukan karena mekanisme DSA memiliki kemampuan untuk mendeteksi, memilih jaringan terbaik, dan melakukan *handoff* secara *cognitive* [5].

Pada mekanisme DSA tersebut, dilakukan suatu manajemen pemindahan frekuensi *band* agar sistem dapat memilih akses yang lebih baik dan memanfaatkan jaringan secara terus menerus untuk dipakai oleh pengguna, yaitu menggunakan manajemen *handoff*. Manajemen *handoff* terbagi menjadi 2 jenis, yaitu *Horizontal Handoff* (HHO) dalam jaringan *Homogeneous Wireless Network* dan *Vertical Handoff* (VHO) dalam jaringan *Heterogeneous Wireless Network* [6].

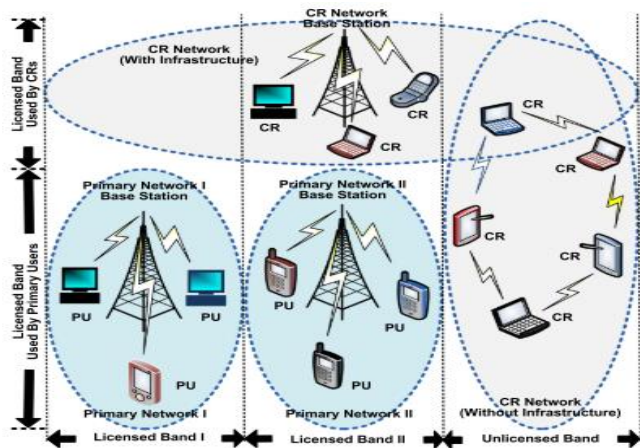
Oleh sebab itu, dalam penelitian ini penulis ingin menganalisis lebih jauh penggunaan mekanisme DSA dalam radio kognitif khususnya pada jaringan Wi-Fi dengan melakukan beberapa skenario. Penelitian ini melibatkan penggunaan *software Network Simulator 3 (NS-3)* untuk membantu dalam melakukan simulasi. Diharapkan melalui penelitian ini, penulis dapat mengetahui pengaruh dari kecepatan pengguna dan penambahan *node* dengan fungsi *access point* atau pengguna terhadap kinerja mekanisme DSA dalam radio kognitif pada parameter QoS jaringan Wi-Fi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Radio Kognitif

Radio kognitif atau teknologi radio yang menjalankan tugas secara dinamis untuk memungkinkan dalam memilih kanal *wireless* yang terbaik untuk menghindari pengguna dari gangguan kemacetan lalu lintas komunikasi. Dalam arsitektur radio kognitif terdapat 2 jenis jaringan dasar, satu disebut sebagai jaringan primer dan yang lainnya disebut sebagai jaringan Cognitive Radio (CR). Jaringan primer adalah setiap jaringan berlisensi utama yang memiliki hak eksklusif untuk menggunakan pita spektrum tertentu. *Base Station* dan *node* yang berbeda dalam jaringan primer masing-masing dikenal sebagai *Base Station* jaringan primer dan *primary user* (PU). Jaringan primer digunakan oleh PU yang memiliki hak eksklusif untuk menggunakan pita spektrum berlisensi I dan II

tertentu. Jaringan CR dapat diklasifikasikan sebagai jaringan CR berbasis infrastruktur dan jaringan tanpa infrastruktur CR. Jaringan CR berbasis infrastruktur memiliki pengontrol pusat seperti *Base Station* di jaringan seluler. Sementara di jaringan CR tanpa infrastruktur, tidak ada pengendali pusat hadir untuk memfasilitasi komunikasi pengguna CR. Pengguna sendiri bertanggung jawab dalam jaringan untuk semua proses. Jaringan nirkabel heterogen yang dilengkapi dengan jaringan CR disebut sebagai jaringan CR heterogen dan jaringan nirkabel heterogen yang dilengkapi dengan jaringan CR adhoc disebut sebagai jaringan CR adhoc heterogen. *Base Station* nya dikenal sebagai *Base Station* CR dan *node* nya dikenal sebagai CR. Jaringan CR dapat menggunakan *band* berlisensi PU kosong tanpa memiliki lisensi. Ilustrasi tentang arsitektur radio kognitif dapat dilihat pada Gambar 1.

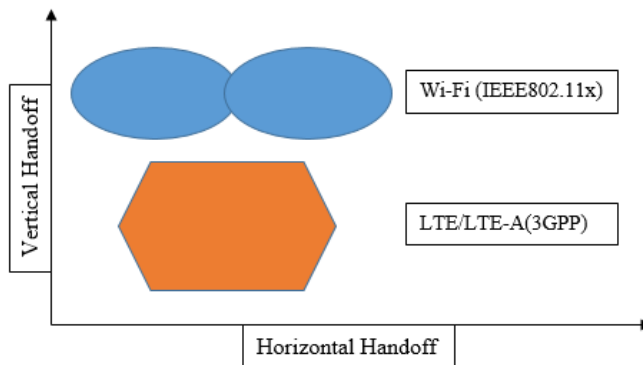


GAMBAR 1. ARSITEKTUR KOGNITIF RADIO [3]

B. Manajemen Handoff

Dimulai dari *handoff*, merupakan suatu proses memindahkan panggilan saat ini atau sesi data dari satu kanal yang terkoneksi menuju jaringan inti didalam kanal lain. Sehingga manajemen *handoff* adalah suatu cara untuk mengatur pemindahan komunikasi dari satu kanal menuju kanal lain yang ada pada suatu jaringan untuk menjaga kualitas jaringan tersebut yang digunakan oleh pengguna dalam pemakaian layanan.

Manajemen *handoff* ini sendiri memiliki 2 jenis cara untuk mengatur sebuah jaringan yaitu HHO dan VHO. Pada VHO *node* jaringan akan berubah tipe teknologi akses yang dipakai untuk membantu mobilitas *node* sebagai contoh perpindahan dari jaringan *Long Term Evolution* (LTE) ke Wi-Fi yang masing-masing memiliki teknologi akses tersendiri bagi pengguna dan keduanya memiliki aturan protokol yang berbeda. Sedangkan pada HHO tidak melakukan pemindahan jaringan dengan cara menggunakan teknologi akses lain melainkan melakukan pemindahan jaringan dalam teknologi akses yang sama seperti contoh pemindahan dari jaringan Wi-Fi ke Wi-Fi lain. Untuk ilustrasi tentang manajemen *handoff* dapat dilihat pada Gambar 2.



GAMBAR 2 MANAJEMEN HANDOFF

C. Mekanisme Dynamic Spectrum Access

Penggunaan mekanisme DSA adalah fungsi yang penting dalam teknologi radio kognitif. Dengan menggunakan DSA, radio kognitif dapat melakukan fungsi dalam mengatur lalu lintas komunikasi nirkabel. Dalam melakukan fungsi pengaturan lalu lintas jaringan nirkabel, DSA melakukan fungsi seperti mengalokasi spektrum yang berlisensi dan tidak berlisensi dalam jaringan nirkabel sehingga mekanisme DSA dapat mendeteksi kanal yang tersedia atau tidak terpakai dalam pita spektrum. Berdasar parameter yang telah ditentukan dalam radio kognitif, memungkinkan dalam komunikasi nirkabel untuk melakukan pemindahan dan memberikan pita spektrum pada satu lokasi. Tujuannya adalah pemakaian spektrum frekuensi yang efisien dan lalu lintas komunikasi menjadi lancar.

D. Cognitive Radio Extension (CRE-NS3)

CRE-NS3 perlu ditambahkan dalam simulasi di NS-3.17 untuk dapat memakai fungsi mekanisme DSA dalam teknologi radio kognitif. *Extension* ini mengubah antarmuka NS-3 menjadi 3 MAC-PHY seperti CTRL, TX, dan RX yang berfungsi sebagai akses spektrum. *Extension* juga menambahkan 4 fitur yang berfungsi sebagai DSA yaitu spektrum *sensing*, spektrum *decision*, spektrum *mobility*, dan spektrum *sharing*. Penggunaan modul tersebut adalah untuk mengirimkan data secara nirkabel secara dinamis dalam suatu akses spektrum jaringan. [7]

III. METODE PENELITIAN

Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian. Pada tahapan awal penulis melakukan studi literatur. Pada studi literatur ini, berisi berbagai penelitian yang dilakukan sebelumnya dengan metode dan hasil yang didapatkan dari berbagai buku, jurnal, *paper*. Permasalahan mengenai kognitif radio dan mekanisme DSA dapat dicari referensinya pada studi literatur sebagai dasar teori dan metode penelitian. Hasil studi literatur ini digunakan untuk menjadi masukan bagi penulis dalam memilih parameter yang dapat dijadikan sebagai pemecahan masalah dalam skripsi ini.

Selanjutnya adalah proses instalasi NS-3 dan Eclipse. Hal ini dilakukan untuk menyelesaikan masalah dalam penelitian. *software* tersebut dipakai untuk mempermudah

dalam melakukan simulasi jaringan. Setelah menginstal NS-3 dan Eclipse, penulis membutuhkan *extension* tambahan untuk melakukan simulasi tentang radio kognitif, maka perlu ditambahkan *Cognitive Radio Extension* (CRE-NS3). CRE-NS3 ditambahkan dalam fungsi *software* NS-3 untuk melakukan simulasi jaringan dengan tambahan teknologi radio kognitif. Dalam teknologi radio kognitif tersebut terdapat mekanisme DSA yang berfungsi sebagai pengatur komunikasi dalam jaringan radio kognitif [7]. Dalam penelitian ini teknologi radio kognitif digunakan dalam jaringan Wi-Fi.

Pada proses selanjutnya dilakukan pembuatan skenario sebagai parameter dalam melakukan simulasi jaringan menggunakan NS-3. Simulasi jaringan yang dilakukan yaitu dengan membuat 3 jaringan yang berbeda. Pada jaringan 1 dilakukan pembuatan 2 *node* dengan fungsi 1 *access point* dan 1 pengguna, untuk Jaringan 2 dilakukan pembuatan 3 *node* dengan fungsi 1 *access point* dan 2 pengguna, dan pada Jaringan 3 dilakukan pembuatan 3 *node* dengan fungsi 2 *access point* dan 1 pengguna. Pada jaringan tersebut aplikasi jaringan yang dilakukan yaitu pengiriman data *Transmission Control Protocol* (TCP) selama 1 menit simulasi oleh *access point* kepada pengguna yang melakukan pergerakan dengan variasi kecepatan. Untuk lebih jelas tentang parameter yang dipakai penulis dalam membuat skenario simulasi dapat dilihat pada Tabel 1.

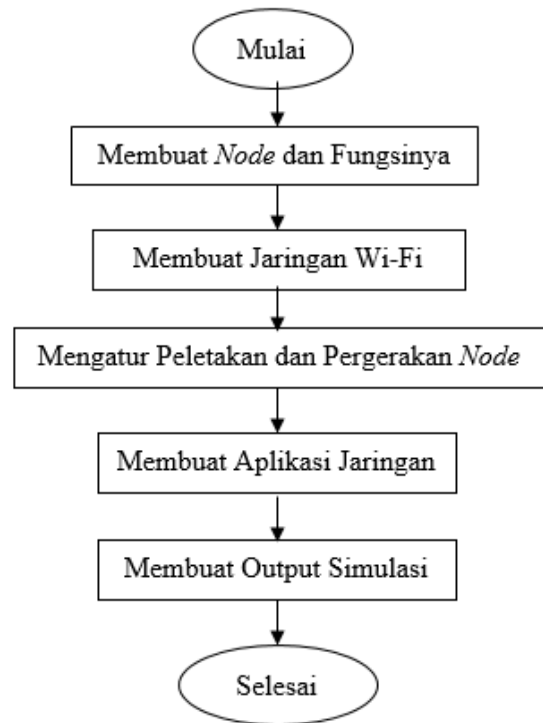
TABEL 1. SKENARIO SIMULASI

| No | Parameter | Skenario 1 | Skenario 2 |
|----|---------------------------------|--|--------------|
| 1. | Kinerja QoS yang Dianalisis | <i>Throughput</i> | <i>Delay</i> |
| 2. | Teknologi Wi-Fi | Wi-Fi 802.11g ERP OFDM rate 54 Mega bit per second (Mbps) | |
| 3. | Peletakan <i>Node</i> | <i>Grid Position Allocator</i> | |
| 4. | Kecepatan <i>Node</i> Pengguna | 5 Km/jam 10 Km/jam 20 Km/jam 30 Km/jam 40 Km/jam 50 Km/jam | |
| 5. | Pergerakan <i>Node</i> Pengguna | <i>Random Waypoint</i> | |
| 6. | Aplikasi Jaringan | Pengiriman data TCP secara maksimal dalam 1 menit oleh <i>access point</i> kepada pengguna | |
| 7. | Jaringan yang Dibuat | Jaringan 1 Jaringan 2 Jaringan 3 | |

Tabel 1 adalah hasil skenario tetap yang dibuat dan diterapkan dalam simulasi, dari hasil skenario yang dibuat ada beberapa parameter penting dalam pembuatan skenario simulasi penelitian ini. Pertama, untuk kinerja QoS yang dianalisis adalah nilai *throughput* dan *delay*. Pada bagian hasil dan pembahasan, akan dibagi analisisnya menjadi Skenario 1

untuk menganalisis *throughput* dan Skenario 2 untuk menganalisis *delay*. Pada parameter teknologi Wi-Fi, peletakan *node*, kecepatan *node* pengguna, pergerakan *node* pengguna, aplikasi pengiriman data, dan jaringan yang dibuat dalam simulasi untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada penjelasan dalam pembuatan program simulasi.

Setelah penulis membuat skenario berdasar parameter, maka selanjutnya dilakukan pembuatan program simulasi berdasar pada Tabel 1. yang tahapannya dibagi dalam beberapa tahap. Tahapan mengenai pembuatan program simulasi dapat dilihat pada Gambar 3 dalam bentuk bagan alur rancangan simulasi.



GAMBAR 3. BAGAN ALUR RANCANGAN SIMULASI

1) Membuat *Node* dan Fungsinya Dalam Jaringan

Pembuatan program dalam simulasi dimulai dari pembuatan dan pengaturan fungsi *node* yang dipakai dalam jaringan. Fungsi *node* yang dipakai ada 2 fungsi, *node* yang berfungsi sebagai *access point* dan *node* yang berfungsi sebagai pengguna. Dalam penelitian, skenario yang dipakai yaitu menggunakan 2 dan 3 *node*. Pada Jaringan 2, hasil nilai parameter QoS di rata-ratakan karena nilai yang didapat berasal dari kinerja Sub Jaringan 2.1 dan Sub Jaringan 2.2. Untuk jaringan 3, nilai Sub Jaringan 3.1 dan 3.2 pada parameter *throughput* ditambahkan nilainya karena penjumlahan hasil dari pengiriman 2 *access point* sedangkan untuk parameter *delay* diambil salah satu nilainya yang paling besar karena mengambil kondisi waktu yang terlama. Untuk lebih jelas mengenai *node* dan fungsinya dalam jaringan dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2. NODE DALAM JARINGAN

| Jaringan | Jumlah dan Fungsi Node | Sub Jaringan |
|------------|---|---|
| Jaringan 1 | Menggunakan 2 node Node 0 = access point Node 1 = pengguna | Tidak Ada |
| Jaringan 2 | Menggunakan 3 node Node 0 = access point Node 1 = pengguna 1 Node 2 = pengguna 2 | Sub Jaringan 2.1 = node 0 dengan node 1 |
| | | Sub Jaringan 2.2 = node 0 dengan node 2 |
| Jaringan 3 | Menggunakan 3 node Node 0 = access point 1 Node 1 = access point 2 Node 2 = pengguna | Sub Jaringan 3.1 = node 0 dengan node 2 |
| | | Sub Jaringan 3.2 = node 1 dengan node 2 |

2) Membuat Jaringan Wi-Fi

Teknologi jaringan yang dipakai dalam program untuk pengiriman data yaitu menggunakan jaringan Wi-Fi dengan tipe 802.11g yang memiliki kecepatan maksimal sebesar 54 Mbps dan menggunakan teknologi *Extended Rate Physical Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (ERP OFDM) sehingga lebih resistan terhadap interferensi dari gelombang lain. Pita frekuensi yang dipakai adalah 2,4 Ghz – 2,45 Ghz. Jangkauan maksimal *outdoor* Wi-Fi adalah 90 meter sedangkan jangkauan maksimal *indoor* adalah 45 meter dengan sensitivitas kecepatan berdasar standar 802.11g mencapai 400 meter ketika kecepatan jaringan dibawah 10 Mbps pada kondisi *outdoor* sedangkan pada kondisi *indoor* mencapai 90 meter.

3) Mengatur Peletakan dan Mobilitas Node

Dalam pengaturan letak dan pergerakan *node* pada program, peneliti memakai jenis *grid position allocator*. Peletakkan *node* yang dipakai memiliki bentuk lingkup simulasi berbentuk kotak. Pada pergerakan *node access point* menggunakan pergerakan *constant position mobility* agar letaknya tidak berpindah atau diam di tempat. Untuk pergerakan *node* pengguna diatur menggunakan pergerakan *random waypoint* agar dapat berpindah tempat dan dapat diatur kecepatannya. Kecepatan *node* pengguna yang dipakai bervariasi yaitu antara 5 km/jam – 50 km/jam dengan menjauhi titik *access point*, kecepatan *node* tersebut dibuat berdasarkan kondisi sebenarnya dalam pemakaian jaringan Wi-Fi

4) Membuat Aplikasi Jaringan

Untuk menentukan aplikasi jaringan yang dipakai dalam simulasi, penulis memilih aplikasi jaringan dalam pengiriman TCP *bulksender* yang dikirim oleh *access point*. Pengiriman data dilakukan secara maksimal selama 1 menit simulasi dan pada bagian *node* pengguna menerima data selama 1 menit

simulasi. Waktu yang diberikan selama 1 menit pengiriman dan penerimaan data dilakukan untuk melihat kinerja jaringan pada parameter QoS.

5) Membuat Output Simulasi

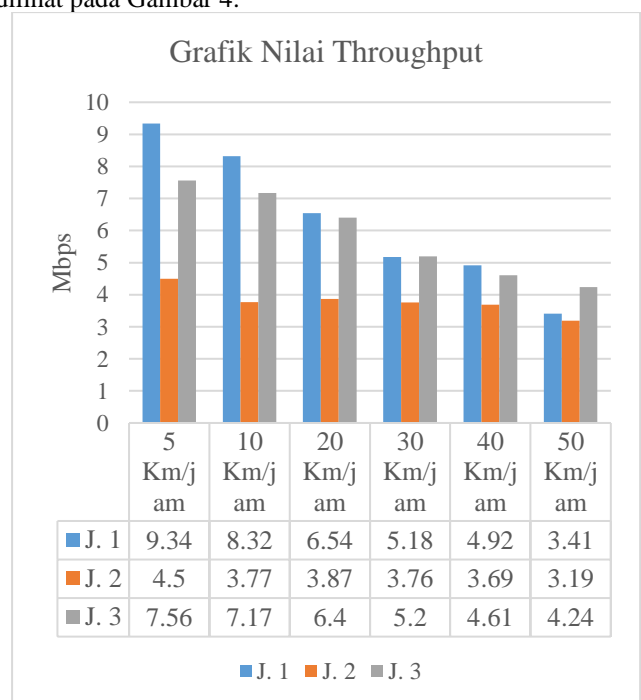
Untuk mendapatkan *output* simulasi jaringan, program yang dibuat adalah program dalam bentuk rumus dari parameter QoS jaringan pada NS-3. Program *output* yang dipakai bertujuan untuk mendapatkan nilai *throughput* dalam satuan Mbps dan *delay* dalam hasil satuan *milisecond* (ms).

Setelah membuat program simulasi jaringan dan menjalankannya menggunakan NS-3 dalam Eclipse, maka analisis kinerja dari simulasi jaringan dapat dilakukan. Analisis kinerja dilakukan dengan didapatkan hasil *output* simulasi dalam bentuk nilai parameter QoS *throughput*, *delay*, dan melihat animasi jaringan menggunakan NetAnim. Hasil yang dianalisis dari *output* simulasi, dikaitkan dengan kinerja mekanisme yang dilakukan dalam simulasi yaitu penggunaan DSA dalam radio kognitif pada jaringan Wi-Fi. Setelah melakukan analisis, maka penulis membuat laporan yang berisi kegiatan awal dalam melakukan penelitian hingga mendapatkan hasil simulasi dan analisis. Laporan dibuat agar dapat dibaca oleh orang lain.

IV. HASIL DAN ANALISIS

1. Skenario Pertama

Simulasi dilakukan dengan 3 jaringan yang berbeda berdasar skenario pada Tabel 1 dan Tabel 2. J. 1 adalah Jaringan 1, J. 2 adalah Jaringan 2, dan J. 3 adalah Jaringan 3. Ketiga jaringan tersebut dipakai dalam simulasi dengan penambahan parameter QoS untuk menganalisis kinerja setiap jaringan. Pada skenario pertama parameter QoS yang dipakai yaitu *throughput*. Hasil skenario pertama yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.



GAMBAR 4. HASIL GRAFIK THROUGHPUT PADA SIMULASI JARINGAN

Dari hasil Gambar 4 dapat dilihat, pada Jaringan 1 dengan kecepatan pengguna yang semakin cepat akan mempengaruhi hasil pengiriman paket data TCP dari *access point* ke pengguna. Nilai *throughput* atau kecepatan pengiriman dalam waktu tertentu akan mengalami penurunan yang signifikan 63.49% dengan selisih penurunan sebesar 5,93 Mbps ketika kecepatan pengguna diperbesar dari 5 Km/jam menjadi 50 Km/jam.

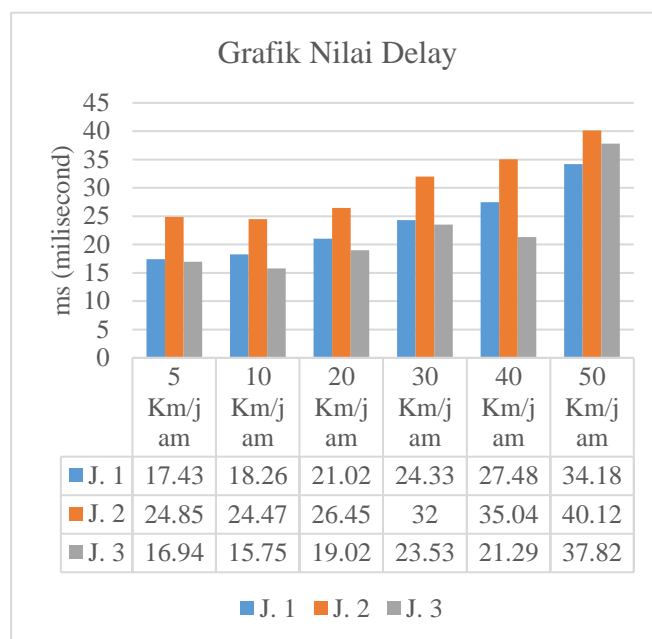
Pada Jaringan 2, yang terdiri dari Sub Jaringan 2.1 dan Sub Jaringan 2.2 sehingga hasil nilai dirata-ratakan. Nilai *throughput* yang didapat cenderung mengalami penurunan tetapi tidak signifikan seperti pada jaringan 1 yaitu sebesar 29,11% dengan selisih 1,31 Mbps dan penurunan yang terjadi adalah fluktuatif ketika kecepatan pengguna antara 10 Km/jam - 20 Km/jam. Namun, untuk hasil *throughput* yang didapat akan dibagi penggunaannya karena beban pengguna menjadi 2. Nilai puncak yang didapat terjadi pada saat kecepatan pengguna berada pada 5 Km/jam yaitu 4,5 Mbps dan nilai terendah terjadi pada saat kecepatan pengguna 50 Km/jam yaitu 3,19 Mbps.

Pada Jaringan 3, yang terdiri dari Sub Jaringan 3.1 dan 3.2, pengiriman data dilakukan oleh 2 *access point* dan diterima oleh 1 pengguna sehingga nilainya digabungkan. Hasil nilai *throughput* yang didapat juga mengalami penurunan nilai. Pada Jaringan 3, memiliki kestabilan yang lebih baik dibanding dengan Jaringan 1 ketika kecepatan pengguna diperbesar. Penurunan yang terjadi yaitu sebesar 43,92% yang memiliki selisih lebih kecil yaitu 3,32 Mbps tetapi memiliki kelemahan dibandingkan Jaringan 1 karena hanya mencapai puncak nilai *throughput* 7.56 Mbps. Untuk Jaringan 3 yang dibandingkan dengan Jaringan 2, memiliki keunggulan dari nilai *throughput* yang didapat selalu lebih baik pada setiap kecepatan pengguna yang diuji dalam simulasi.

Kinerja yang dilakukan ketiga jaringan menurut parameter *throughput*, dipengaruhi oleh penambahan *node* dengan fungsi *access point* maupun pengguna dan kecepatan pengguna. Dengan pengaruh penambahan jumlah *node* fungsi *access point* maupun pengguna dalam jaringan, pada intinya akan menambah beban pada jaringan tersebut, sehingga nilai *throughput* yang didapat akan terbagi oleh beban-beban tersebut. Nilai *throughput* yang didapat paling baik dilakukan oleh Jaringan 1 yaitu mencapai 9,34 Mbps pada saat kecepatan pengguna 5 Km/jam. Pada penambahan *node access point*, *throughput* maksimal yang didapat lebih baik yaitu 7,56 Mbps dibandingkan dengan penambahan *node* pengguna yang hanya memiliki nilai maksimal 4,56 Mbps pada saat kecepatan pengguna 5 km/jam. *Access point* dalam simulasi penelitian berguna untuk menunjang konektivitas jaringan pada saat kecepatan pengguna diperbesar sehingga Jaringan 3 memiliki kelebihan dalam menunjang mobilitas pengguna dengan jangkauan akses 2 kali lebih luas dengan penggunaan 2 *access point*. Untuk pengaruh penambahan kecepatan pengguna, membuat nilai *throughput* semakin menurun sampai nilai terkecil yang didapat pada setiap jaringan dalam simulasi, yaitu saat kecepatan pengguna berada pada 50 Km/jam karena semakin cepat dalam menjauhi titik *access point* yang menjadi sumber pengiriman data.

2. Skenario Kedua

Skenario kedua, yaitu masih dengan simulasi yang sama dengan skenario 1, namun jaringan dianalisis berdasar pada parameter QoS *delay*. Hasil skenario kedua yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 5.



GAMBAR 5. HASIL GRAFIK DELAY PADA SIMULASI JARINGAN

Dari Gambar 5, hasil kinerja sistem pada Jaringan 1 mengalami kenaikan *delay* setiap penambahan kecepatan pengguna karena nilai *delay* berbanding terbalik dengan hasil nilai *throughput*, seperti Gambar 4.4 yang mengalami penurunan pada Jaringan 1. Nilai *delay* terendah pada Jaringan 1 yang didapat yaitu 17,43 ms pada kecepatan pengguna 5 Km/jam dan nilai *delay* tertinggi terjadi saat kecepatan pengguna 50 Km/jam yaitu 34,18 ms sehingga terjadi kenaikan sebesar 96,1% yang mempunyai selisih *delay* 16,75 ms.

Pada Jaringan 2, yang terbagi menjadi 2 sub jaringan. Nilai *delay* yang terjadi lebih besar dibanding dengan Jaringan 1 pada setiap penambahan kecepatan pengguna dalam simulasi. Nilai *delay* yang didapat pada penambahan kecepatan pengguna terjadi fluktuatif, pada saat kecepatan 5 Km/jam – 10 Km/jam sehingga nilai *delay* yang didapat paling baik yaitu pada saat kecepatan 10 Km/jam dengan nilai 24,47 ms. Untuk nilai *delay* paling buruk, didapat pada saat kecepatan pengguna 50 Km/jam yaitu 40,12 ms, selisih nilai *delay* yang didapatkan antara paling baik dan paling buruk mencapai 15,65 ms dengan kenaikan sebesar 63,96%.

Pada Jaringan 3, hasil *delay* yang didapatkan diambil dari nilai terbesar dalam kinerja sub jaringan. Hasil nilai *delay* yang didapat nilainya fluktuatif dari kecepatan pengguna 5 Km/jam – 40 Km/jam, namun kualitas *delay* yang didapat paling baik dibanding jaringan lainnya terutama pada kecepatan pengguna 5 Km/jam – 40 Km/jam. Hal ini disebabkan adanya penambahan *access point* sehingga menurunkan *delay* dibandingkan dengan Jaringan 1 dan Jaringan 2. Nilai *delay*

terendah yang didapatkan yaitu pada kecepatan pengguna 10 Km/jam yaitu 15,75 ms sedangkan nilai *delay* tertinggi terjadi pada kecepatan pengguna 50 Km/jam yaitu 37,82 ms yang mempunyai selisih sebesar 22,07 ms dengan kenaikan sebesar 140%. Namun, kenaikan terbesar didapatkan pada kecepatan 40 Km/jam - 50 Km/jam sebesar 105%.

Dari kinerja ketiga jaringan menurut parameter *delay*, juga dipengaruhi oleh penambahan *node* dengan fungsi *access point* maupun pengguna dan kecepatan pengguna. Pada parameter *delay* dengan penambahan *node access point* membuat nilai *delay* menjadi paling kecil diantara jaringan lain dalam simulasi kecuali pada saat kecepatan pengguna berada pada 50 Km/jam, yang artinya lebih baik dikarenakan penggunaan 2 *access point* yang menunjang mobilitas pengguna pada kecepatan 5 Km/jam – 40 Km/jam. Untuk penambahan *node* pengguna akan membuat *delay* menjadi semakin besar karena beban pemakaian pengguna. Pengaruh penambahan kecepatan pengguna pada simulasi jaringan dalam penelitian, pada intinya akan membuat nilai *delay* semakin besar yang sehingga menurunkan kualitas ketiga jaringan tersebut karena pengiriman data untuk sampai ke pengguna menjadi lebih lama.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil yaitu dampak dari penggunaan mekanisme DSA dalam radio kognitif berdasar parameter QoS mempunyai dampak yang baik terhadap suatu jaringan Wi-Fi, karena parameter *throughput* dalam pengiriman data oleh *access point* kepada pengguna mencapai nilai puncak *throughput* pada 9,34 Mbps sedangkan menurut parameter *delay* mencapai nilai terbaik pada 15,75 ms. Dari hasil parameter tersebut, penggunaan mekanisme DSA dapat menunjang konektivitas bagi pengguna dalam simulasi ketiga jaringan pada penelitian menggunakan akses spektrum radio kognitif.

Pengaruh penambahan kecepatan *node* pengguna yang semakin menjauhi *access point* yang diam membuat setiap parameter QoS dalam penelitian lebih banyak mengalami penurunan kualitas. Untuk pengaruh penambahan *node* pengguna seperti pada Jaringan 2 membuat *access point* akan membagi *bandwidth* data yang dimiliki untuk digunakan sebagai pengiriman data kepada pengguna, sehingga nilai parameter QoS *throughput* dan *delay* dalam penelitian akan mengalami penurunan kualitas dibandingkan jaringan lain. Untuk pengaruh penambahan *access point* seperti pada Jaringan 3 akan menambah jangkauan akses dari jaringan Wi-Fi, sehingga menurut parameter *throughput* menjadi lebih stabil dibanding jaringan 1 dan nilai *throughput* diatas Jaringan 2. Namun, nilai *throughput* maksimal yang didapat masih dibawah Jaringan 1 sedangkan menurut parameter *delay* kualitas jaringan menjadi yang paling baik dibanding jaringan lain.

DAFTAR PUSTAKA

[1] I. Internation Telecommunications Union, "ICT Facts

and Figures 2017," *ITU*, pp. 1–8, 2017.

- [2] J. B. Ernst, S. C. Kremer, and J. J. P. C. Rodrigues, "A Survey of QoS/QoE Mechanisms in Heterogeneous Wireless Networks," *Physical Communication*, vol. 13, no. PB, pp. 61–72, 2014.
- [3] K. Kumar, A. Prakash, and R. Tripathi, "Spectrum Handoff Scheme With Multiple Attributes Decision Making for Optimal Network Selection in Cognitive Radio Networks," *Digital Communications and Networks*, vol. 3, no. 3, pp. 164–175, 2017.
- [4] K. Kumar, A. Prakash, and R. Tripathi, "Spectrum Handoff in Cognitive Radio Networks: A Classification and Comprehensive Survey," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 61, pp. 161–188, 2016.
- [5] D. Jiang, Y. Wang, C. Yao, and Y. Han, "An Effective Dynamic Spectrum Access Algorithm for Multi-hop Cognitive Wireless Networks," *Computer Networks*, vol. 84, pp. 1–16, 2015.
- [6] A. Jain and S. Tokekar, "Application Based Vertical Handoff Decision in Heterogeneous Network," *Procedia Computer Science*, vol. 57, pp. 782–788, 2015.
- [7] A. Al-ali and K. Chowdhury, "Simulating Dynamic Spectrum Access Using NS-3 for Wireless Networks in Smart Environments," no. iii, 2014.