



TUGAS AKHIR - EE 184801

**IMPLEMENTASI ALGORITMA ADAPTIVE Wi-Fi
OFFLOADING PADA SIMULASI PARAMETER JARINGAN
5G**

Radhif Irzan Musyafa
NRP 07111340000167

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Endroyono, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - EE 184801

***IMPLEMENTATION OF ADAPTIVE Wi-Fi OFFLOADING
ALGORITHM IN THE SIMULATION OF 5G NETWORKS
PARAMETERS***

Radhif Irzan Musyafa
NRP 07111340000167

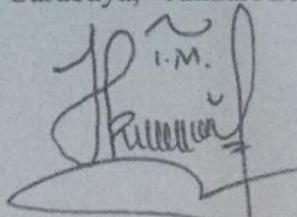
Advisor
Dr. Ir. Endroyono, DEA

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Implementasi Algoritma Adaptive Wi-Fi Offloading Pada Simulasi Parameter Jaringan 5G”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2019

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Radhif Irzan Musyafa'. Above the signature, the initials 'I.M.' are written in a smaller, simpler font.

Radhif Irzan Musyafa
07111340000167

**IMPLEMENTASI ALGORITMA ADAPTIVE WI-FI
OFFLOADING PADA SIMULASI PARAMETER
JARINGAN 5G**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing

**Dr. Ir. Endroyono, DEA
NIP. 196504041991021001**



IMPLEMENTASI ALGORITMA *ADAPTIVE WI-FI OFFLOADING* PADA SIMULASI PARAMETER JARINGAN 5G

Nama : : Radhif Irzan Musyafa
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Endroyono, DEA

ABSTRAK

Lalu lintas data seluler global sedang mengalami peningkatan yang luar biasa dan tidak menunjukkan tanda perlambatan, karena peningkatan kecepatan akan berdampak pada penggunaan data seluler yang lebih tinggi di masa mendatang, terutama pada jaringan 5G yang memiliki kecepatan yang lebih tinggi dari generasi sebelumnya. Yang menjadi pertimbangan adalah meningkatnya penggunaan jumlah trafik data yang sangat besar secara signifikan. Hal ini merupakan kendala utama yang harus disediakan oleh penyedia layanan untuk memenuhi permintaan yang terus meningkat.

Wi-Fi Offloading adalah alternatif solusi yang dapat digunakan untuk menangani masalah peningkatan trafik data pada jaringan seluler, yaitu dengan memigrasikan lalu lintas data dari jaringan seluler yang membutuhkan biaya besar ke infrastruktur Wi-Fi yang lebih sederhana, salah satunya dengan menerapkan algoritma wi-fi offloading.

Dalam penelitian ini, dibahas mengenai penerapan algoritma *adaptive wifi offloading* pada simulasi parameter jaringan 5G. Hasil simulasi mengungkapkan bahwa *QoS* yang dihasilkan oleh penerapan algoritma *adaptive wifi offloading* mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan *QoS* sebelum penerapan algoritma, dengan nilai parameter *throughput* terbesar yaitu 4564 Mbps > 4556 Mbps, dengan *reliability* 82%. Dan memiliki *delay* yang lebih kecil jika dibandingkan dengan sebelum penerapan algoritma *adaptive wifi offloading* didalam simulasi penelitian ini, yaitu 18,3 ms < 94,3 ms. Penerapan algoritma ini mampu menjadi pertimbangan untuk alternatif solusi permasalahan trafik data pada jaringan 5G di masa yang akan datang.

Kata kunci: *Wi-Fi, Wi-Fi Offloading, Jaringan Seluler, Jaringan 5G, Algoritma, Quality of Service, QoS*

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

IMPLEMENTATION OF ADAPTIVE WI-FI OFFLOADING ALGORITHM IN THE SIMULATION OF 5G NETWORK PARAMETERS

Name : Radhif Irzan Musyafa
Advisor : Dr. Ir. Endroyono, DEA

ABSTRACT

Global cellular data traffic is experiencing a tremendous increase and shows no sign of slowing down, because the increase in speed will have an impact on higher cellular data usage in the future, especially on 5G networks that have higher speeds than the previous generation. The problem is the significant increase in the use of a large amount of data traffic. This is a major obstacle that must be provided by service providers to meet the increasing demand.

Wi-Fi Offloading is an alternative solution that can be used to solve the problem of increasing data traffic on cellular networks, by migrating data traffic from cellular networks that require large costs to a simpler Wi-Fi infrastructure, by applying a wi-fi algorithm offloading.

In this study, the implementation of adaptive wifi offloading algorithms was discussed in the simulation of 5G network parameters. The simulation results reveal that the QoS generated by the application of the adaptive wifi offloading algorithm has a value greater than QoS before the implementation of the algorithm, with a throughput parameter value of $4564 \text{ Mbps} > 4556 \text{ Mbps}$, with reliability of 82%, and has a smaller delay compared to before the algorithm adaptive wifi offloading in this research simulation, which is $18.3 \text{ ms} < 94.3 \text{ ms}$. The implementation of this algorithm is able to be a consideration for alternative solutions to data traffic problems in 5G networks in the future.

Keyword: Wi-Fi, Wi-Fi Offloading, Cellular Network, 5G Network, Algorithms, Quality of Service, QoS

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan tepat waktu. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang berjudul: “Implementasi Algoritma *Adaptive Wi-Fi Offloading* pada Jaringan 5G”. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya.
2. Kedua orang tua saya Bapak Mukhlis, dan Ibu Ana Suryani yang telah dan selalu memberikan dukungan dan doa yang menjadi semangat utama saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Adik-adik saya tersayang Fikri dan Yasmin yang juga memberikan dukungan serta doa hingga saya menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Endroyono selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu dan membagikan ilmu selama penelitian tugas akhir ini.
5. Nyimas Fathia Dayatri, yang tidak pernah lelah memberikan semangat dan kasih sayang setiap saat, setia mendengarkan keluhan-kesah, suka-duka dan semua hal tentang kehidupan saya, salah satunya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Dosen dan Teman-teman dari bidang studi Telekomunikasi yang telah memberikan banyak wawasan dan *sharing* ilmu hingga saya dapat memahami mata kuliah sampai kelulusan
7. Pihak-pihak lain yang belum bisa penulis sebutkan satu per satu yang ikut membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, saran dan masukan sangat diharapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga tugas akhir ini bermanfaat.

Surabaya, Januari 2019

Radhif Irzan Musyafa

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
1.6 Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Teknologi 5G	5
2.2 Jaringan Seluler.....	7
2.3 Teknologi Wi-Fi.....	9
2.3.1 Standar 802.11.....	10
2.3.2 Standar 802.11a.....	11
2.3.3 Standar 802.11b.....	12
2.3.4 Standar 802.11g.....	13
2.4 Wi-Fi Offloading.....	14
2.5 Kinerja Jaringan Data (<i>Quality of Service</i>)	16
2.5.1 Throughput	17
2.5.2 Delay.	17
2.5.3 Packet Loss / Error	17
2.5.4 Hal yang Mempengaruhi Nilai QoS	18

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Permodelan Sistem.....	19
3.1.1 Arsitektur Wireless LAN (WLAN)	20
3.1.2 Arsitektur 3GPP (The 3 rd Generation Partnership Project).	20
3.2 Diagram Alir	21
3.3 Skenario Simulasi	23
3.4 Perhitungan Parameter Jaringan LTE-A/5G	24
3.5 Perhitungan Parameter Jaringan Wi-Fi (IEEE 802.11g)	27
3.6 Parameter Simulasi	27
3.7 Hasil Simulasi	28
3.8 Algoritma Wi-Fi Offloading	29
BAB 4 SIMULASI DAN HASIL	33
4.1 Nilai Keluaran Quality of Service Sebelum Implementasi Algoritma Wifi Offloading	33
4.2 Nilai Keluaran Throughput Setelah Implementasi Algoritma Wifi Offloading.....	36
4.3 Nilai Keluaran Delay Setelah Implementasi Algoritma Wifi Offloading	37
4.4 Nilai Reliability Setelah Implementasi Algoritma Wifi Offloading	39
4.5 Nilai Packet Loss Setelah Implementasi Algoritma Wifi Offloading	41
4.6 Penentuan Keputusan Hasil Implementasi Algoritma Adaptive Wi-fi Offloading pada Simulasi	42
BAB 5 PENUTUP	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN.....	49
RIWAYAT PENULIS	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Evolusi Teknologi Jaringan Data	5
Gambar 2.2 Arsitektur Wi-Fi Offloading pada Jaringan LTE	16
Gambar 3.1 Permodelan Sistem.	22
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....	25
Gambar 3.3 Fungsi Menghitung Nilai EIRP.	28
Gambar 3.4 Fungsi Menghitung Nilai MAPL.....	29
Gambar 3.5 Fungsi Menghitung Nilai Cell Radius.	30
Gambar 3.6 Fungsi Menghitung Parameter Wifi.	31
Gambar 3.7 Diagram Algoritma Wi-Fi Offloading.....	34
Gambar 3.8 Algoritma Adaptive Wi-Fi Offloading.	36
Gambar 4.1 Grafik Quality of Service Wifi dan 5G Sebelum Offloading.....	39
Gambar 4.2 Grafik Hasil Nilai Offloading Throughput 5G dan Wi-Fi.	42
Gambar 4.3 Grafik Hasil Nilai Offloading Delay 5G dan Wi-Fi	44
Gambar 4.4 Grafik Hasil Nilai Offloading Reliability	46
Gambar 4.5 Grafik Hasil Nilai Offloading Packet Loss.....	48
Gambar 4.6 Keputusan Algoritma Adaptive Wifi Offloading.. ..	48

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Standarisasi Teknologi Wifi.....	14
Tabel 2.2 Kategori Delay.....	18
Tabel 3.1 Parameter Input Trasmittor Jaringan LTE-A/5G.....	27
Tabel 3.2 Parameter Input Simulasi Wifi.....	27
Tabel 3.3 Parameter Input Skenario Simulasi.....	32
Tabel 4.1 Hasil Throughput Jaringan Wifi dan 5G sebelum Offloading.....	40
Tabel 4.2 Hasil Delay Jaringan Wifi dan 5G sebelum Offloading.....	40
Tabel 4.3 Hasil Reliability Jaringan Wifi dan 5G sebelum Offloading.....	41
Tabel 4.4 Hasil Packet Loss Jaringan Wifi dan 5G sebelum Offloading.....	41
Tabel 4.5 Hasil Throughput Jaringan 5G dan Wifi.....	42
Tabel 4.6 Hasil Delay Jaringan 5G dan Wifi.....	44
Tabel 4.7 Hasil Reliability Jaringan 5G dan Wifi.....	46
Tabel 4.8 Hasil Packet Loss Jaringan 5G dan Wifi.....	48

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jaringan nirkabel dan produsen perangkat telepon pintar sedang bersiap untuk berpartisipasi dalam peluncuran teknologi 5G pertama di dunia paling cepat di awal tahun 2020. Pabrikan pembuat chip modem 5G telah meluncurkan perangkat pertama mereka ke pasaran, dan para operator telah memulai persaingan untuk membentuk persepsi publik tentang jaringan layanan mana yang terbaik. Jaringan 5G adalah generasi terbaru dari konektivitas internet seluler yang menawarkan kecepatan yang lebih cepat dan koneksi yang lebih andal pada *smartphone* dan perangkat lain daripada sebelumnya, dengan menggabungkan teknologi jaringan terkini dengan penelitian yang paling mutakhir. Teknologi 5G menawarkan koneksi lebih cepat daripada yang telah ada saat ini, dengan kecepatan unduh rata-rata yang diprediksi mencapai 1 Gbps yang diharapkan segera terealisasi.

Saat ini lalu lintas data seluler global sedang mengalami peningkatan yang luar biasa dan tidak menunjukkan tanda perlambatan, karena peningkatan kecepatan akan berdampak pada penggunaan data seluler yang lebih tinggi di masa mendatang. Yang menjadi pertimbangan adalah meningkatnya penggunaan jumlah trafik data yang sangat besar secara signifikan. Hal ini merupakan kendala utama yang harus disediakan oleh penyedia layanan untuk memenuhi permintaan yang terus meningkat.

Teknologi Wi-Fi Offloading adalah alternatif solusi yang dapat digunakan untuk menangani masalah peningkatan trafik data pada jaringan seluler (Cheng, Lu, Zhang, Xuemin, & Mark, 2014), yaitu dengan memigrasikan lalu lintas data dari jaringan seluler yang membutuhkan biaya besar ke infrastruktur Wi-Fi yang lebih sederhana. Penerapan Wi-Fi Offloading akan memberikan penghematan signifikan dari sisi biaya investasi infrastruktur sekaligus meningkatkan pengalaman konektivitas yang menawarkan layanan yang memberikan nilai tambah kepada pengguna.

Namun penerapan Wi-Fi Offloading bukan tanpa masalah, pada Wi-Fi Global Congress 2015 yang diselenggarakan beberapa tahun lalu, beberapa operator layanan Wi-Fi memperingatkan bahwa kapasitas untuk layanan suara pada Wi-Fi sangat terbatas, hanya dapat

melayani 200 pengguna aktif pada saat bersamaan, atau sekitar 4 sampai 10 panggilan suara aktif (Chambers, 2015). Dengan kondisi terbatas tersebut perlu dilakukan penelitian untuk menerapkan algoritma teknologi Wi-Fi Offloading yang efisien agar dapat digunakan dengan andal yang dapat beradaptasi dengan kebutuhan pengguna, yang secara cerdas dapat melakukan migrasi otomatis dari jaringan seluler ke jaringan Wi-Fi.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Faktor - faktor apa saja yang mempengaruhi penentuan kapan dan pada kondisi apa Wi-Fi Offloading harus beradaptasi dengan kebutuhan pengguna?
2. Bagaimana hasil evaluasi performa dari penerapan algoritma Wi-Fi Offloading yang dapat beradaptasi sesuai dengan kebutuhan pengguna pada simulasi jaringan 5G?

1.3 Batasan Masalah

Batasan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Tugas akhir ini berfokus pada simulasi algoritma untuk Wi-Fi Offloading yang diterapkan pada jaringan seluler LTE-A yang ada saat ini yang memiliki rencana pengembangan berikutnya ke jaringan 5G, dengan penyesuaian parameter simulasi.
2. Tugas akhir ini akan terbatas pada implementasi simulasi algoritma wifi offloading pada jaringan 5G dan wifi dengan menghitung nilai parameter input dan mempertimbangkan nilai *quality of service* yang didapat dengan simulasi menggunakan simulator Matlab.
3. Dalam tugas akhir ini tidak mempertimbangkan apapun dari sisi operator penyedia layanan.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi faktor - faktor yang mempengaruhi penentuan migrasi jaringan dari 5G ke Wifi, maupun sebaliknya, dengan implementasi algoritma Wi-Fi Offloading.

2. Mendapatkan hasil *quality of service* dari implementasi algoritma Wi-Fi Offloading pada kondisi sebelum dan setelah penerapan pada simulasi jaringan 5G dan Wifi.

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembahasan penelitian dalam tugas akhir ini akan menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan manfaat penelitian yang berkaitan dengan pembahasan tentang teknologi Wi-Fi Offloading pada jaringan 5G.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini diuraikan landasan teori dan studi literatur yang digunakan sebagai landasan atau acuan penentuan metodologi serta pembahasan lainnya yang akan digunakan dalam penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai perancangan algoritma yang mampu secara efisien memberikan keputusan untuk Wi-Fi Offloading dapat beradaptasi sesuai dengan kebutuhan pengguna yang menjadi tujuan utama penelitian tugas akhir ini.

BAB IV IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

Bab ini akan dilakukan pembahasan tentang algoritma teknologi Wi-Fi Offloading yang sudah dirancang, akan diimplementasikan kemudian hasilnya akan dilakukan pengujian untuk mendapatkan hasil penelitian yang valid dan realibel.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini berisi kesimpulan yaitu hasil implementasi dan hasil pengujian yang berkaitan dengan tujuan penelitian dan perumusan masalah yang telah ditentukan dalam penelitian ini. Selain itu bab ini juga berisi saran-saran terkait hasil penelitian.

1.6 Manfaat

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat, sebagai berikut :

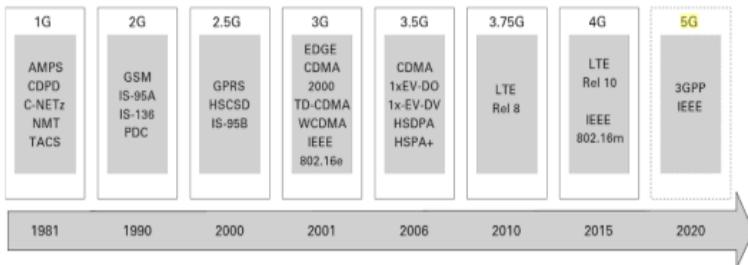
1. Berkontribusi dalam penelitian tentang teknologi 5G baik dalam ruang lingkup lokal maupun global yang diprediksi akan segera diaplikasikan dalam beberapa tahun ke depan.
2. Memberikan alternatif solusi untuk pengembangan algoritma teknologi Wi-Fi Offloading yang akan diterapkan pada jaringan 5G.
3. Sebagai dasar referensi penelitian untuk peneliti lain dan masyarakat yang memiliki minat khususnya tentang Wi-Fi Offloading dan umumnya tentang teknologi 5G.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teknologi 5G

Teknologi *wireless communication* yang ada saat ini diantaranya adalah WiMAX (IEEE 802.16 wireless and mobile networks), WiFi (IEEE 802.11 wireless network), LTE (Long Term Evolution), 3G mobile networks dan 4G. Teknologi generasi seluler memiliki perbedaan berdasarkan empat aspek utama yaitu akses radio bandwidth, kecepatan data dan skema switching nya (Hartpence, 2012). Perbedaan-perbedaan ini telah terlihat di generasi generasi sebelumnya (1G, 2G, 3G, 4G). Teknologi 5G telah diubah untuk menggunakan telepon seluler dengan bandwidth yang sangat tinggi. 5G adalah *packet switched* nirkabel dengan cakupan wilayah yang luas dan dengan *throughput* yang tinggi. Teknologi 5G ini menggunakan millimeter wave yang memungkinkan pengiriman data lebih besar dari 100 Mbps pada mobilitas yang penuh serta bisa mencapai lebih dari 1 Gbps pada mobilitas yang rendah (Hartpence, 2012).

Komunikasi seluler menjadi populer belakangan ini karena evolusi yang cepat dalam teknologi seluler. Evolusi ini disebabkan peningkatan pelangan telekomunikasi yang sangat tinggi.



Gambar 2.1 Evolusi Teknologi Jaringan Data (Pachauri, 2014)

- **Generasi Pertama (1G).** Teknologi komunikasi seluler generasi pertama atau 1G dirintis untuk layanan suara di awal tahun 1980an dimana teknik frekuensi modulasi menggunakan sistem analog dan untuk transmisi radio menggunakan *frequency*

division multiple access (FDMA) dengan kapasitas kanal 30 KHz dan band frekuensi 824 – 894 MHz [2], dimana menggunakan dasar teknologi yang dikenal sebagai *Advance Mobile Phone Service* (AMPS) (Pachauri, 2014).

- **Generasi Kedua (2G).** Teknologi komunikasi seluler generasi kedua atau 2G muncul diakhir tahun 1980an. Dengan menggunakan sinyal digital untuk transmisi suara dan memiliki kecepatan sebesar 63 kbps. 2G menyediakan fasilitas Short Message Service (SMS) dan menggunakan bandwidth dari 30 sampai 200 KHz. Setelah 2G kemudian ditemukan teknologi 2,5G sebagai penyempurna dari teknologi sebelumnya. 2,5G menggunakan sistem *packet switched* dan *circuit switched* yang menyediakan *data rate* sebesar up to 144 kbps (Pachauri, 2014).
- **Generasi Ketiga (3G).** Layanan generasi ketiga (3G) mengkombinasikan antara *high speed mobile access* dengan Internet Protocol (IP). Fitur utama dari teknologi 3G termasuk akses *wireless web base access*, *multimedia service*, *email* dan *video conferencing*. Standar air interface pada 3G WCDMA dirancang untuk selalu ON pada packet based wireless service sehingga bisa dikatakan komputer, perangkat hiburan dan mobile phone akan berbagi jaringan nirkabel yang sama dan terhubung ke internet kapan pun dan dimana pun. Pada teknologi 3G ditawarkan data rates yang tinggi up to 2 Mbps melalui lebar kanal pembawa 5 Mhz, tergantung pada pergerakan atau mobilitas dan efisiensi spektrum yang tinggi (Pachauri, 2014).
- **Generasi Keempat (4G).** Teknologi 4G menawarkan kecepatan download sebesar 100 Mbps. Teknologi 4G meng-upgrade jaringan komunikasi yang telah ada dan diharapkan menyediakan *internet protocol* yang aman dan komprehensif dimana fasilitas seperti suara, *streaming multimedia* dan data akan diberikan kepada pengguna berbasis “kapan pun dan dimana pun” dan dengan *data rates* yang lebih tinggi dibandingkan dengan generasi sebelumnya. Salah satu ciri umum layanan baru yang disediakan oleh 4G menuntut persyaratan dalam hal QoS. Aplikasi seperti *Multimedia Messaging Services* (MMS), *video chat*, *mobile TV*, konten HDTV dan *Digital Video Broadcasting* sedang dikembangkan untuk menggunakan jaringan 4G (Pachauri, 2014).

- **Generasi Kelima (5G).** 5G (generasi kelima) adalah sebuah istilah yang digunakan untuk menyebut generasi kelima sebagai fase berikutnya dari standar telekomunikasi seluler. Teknologi 5G direncanakan akan resmi dirilis pada tahun 2020. Keunggulan teknologi 5G dibanding generasi sebelumnya, antara lain :
 - a. 5G memiliki kecepatan data yang sangat tinggi.
 - b. kapasitas yang sangat tinggi dan biaya per bit yang rendah.
 - c. 5G mendukung interaktif multimedia, suara, video, internet dan layanan broadband yang lainnya.
 - d. Lebih efektif dan lebih menarik.
 - e. Memiliki bidirectional dan statistic lalu lintas yang akurat.
 - f. Teknologi 5G menawarkan akses secara global dan layanan *portable*.
 - g. Teknologi 5G menawarkan layanan berkualitas tinggi.
 - h. Teknologi 5G menyediakan kapasitas *broadcasting* yang besar up to Gigabit yang mendukung hamper 65.000 koneksi dalam satu waktu.

Teknologi 5G menjadi teknologi baru yang akan memberikan semua aplikasi yang diinginkan dengan hanya menggunakan satu perangkat universal dan interkoneksi dengan infrastruktur telekomunikasi yang sudah ada. Jaringan seluler 5G akan berfokus pada pengembangan pada terminal pelanggan dimana terminal pelanggan akan memiliki akses ke teknologi seluler yang berbeda pada waktu yang sama dan akan mengkonsolidasikan berbagai macam cara dari berbagai macam teknologi. Selain itu, terminal akan membuat pilihan antara penyedia jaringan seluler yang berbeda untuk layanan yang diberikan (Pachauri, 2014).

2.2 Jaringan Seluler

Perkembangan teknologi komunikasi telah mengubah sistem komunikasi yang analog menjadi digital. Sistem digital ini telah meningkatkan kinerja sistem menjadi lebih baik dari sistem analog. Seiring dengan kemajuan sosial ekonomi masyarakat menuntut adanya mobilitas dari manusia yang semakin tinggi dan juga dilandasi oleh adanya kendala dalam pengembangan sistem wireline akibat kondisi alam, maka dikembangkan sistem seluler. Sistem seluler ini merupakan pengembangan sistem *wireline*, dimana pada *wireline* propagasi/transmisi sinyal melalui kabel maka pada *wireless* melalui

propagasi udara (Rappaport, 2016). Dalam sistem komunikasi seluler, informasi dipertukarkan antara Mobile Station (MS) dan Base Transceiver Station (BTS) melalui sinyal radio. Setiap BTS hanya dapat berkomunikasi dengan MS pada area terbatas berdasarkan daerah cakupan BTS. Dengan sebutan lain, bahwa pengiriman sinyal radio dibatasi pada rentang frekuensi tertentu, sehingga membutuhkan beberapa BTS supaya dapat melayani area yang lebih luas.

Jaringan seluler atau biasa disebut juga jaringan nirkabel adalah sistem yang canggih, sebab sistem ini membagi suatu kawasan dalam beberapa sel kecil yang dapat berkomunikasi tanpa menggunakan kabel dan hanya menggunakan frekuensi radio tingkat tinggi (Rappaport, 2016). Hal ini digunakan untuk memastikan bahwa frekuensi dapat meluas sehingga mencapai ke semua bagian pada kawasan tertentu sehingga beberapa pengguna dapat menggunakan perangan telepon genggam mereka secara simultan tanpa jeda dan tanpa terputus-putus. Beberapa komponen penting pembentuk sistem dari jaringan seluler adalah peralatan seluler itu sendiri seperti Base Station Radio, Antena dan Base Station Controller yang akan mengatur lalulintas dari beberapa sel dan saling berhubungan pula dengan jaringan telepon publik.

Global System for Mobile Communication (GSM) adalah sebuah standar global untuk komunikasi bergerak digital . GSM adalah nama dari sebuah group standarisasi yang dibentuk di Eropa tahun 1982 untuk menciptakan sebuah standar bersama telepon bergerak seluler di Eropa yang beroperasi pada daerah frekuensi 900-1800 MHz. GSM merupakan teknologi infrastruktur untuk pelayanan telepon seluler digital yang bekerja berdasarkan Time Division Multiple Access (TDMA) dan Frequency Division Multiple Access (FDMA). Jaringan GSM mempunyai arsitektur yang mengikuti standar European Telecommunication Standard Institute (ETSI) GSM 900 / GSM 1800 (Khan & Mishra, 2012).

Sebagai sistem telekomunikasi seluler digital, GSM memiliki keunggulan yang jauh lebih banyak dibanding sistem analog, di antaranya :

1. Kapasitas sistem lebih besar, karena menggunakan teknologi digital dimana penggunaan sebuah kanal tidak hanya diperuntukkan bagi satu pengguna saja. Sehingga saat pengguna

tidak mengirimkan informasi, kanal dapat digunakan oleh pengguna lain,

2. Sifatnya yang sebagai standar internasional memungkinkan international roaming,
3. Dengan teknologi digital, tidak hanya mengantarkan suara, tetapi memungkinkan layanan lain seperti teks, gambar, dan video.
4. Keamanan sistem yang lebih baik,
5. Kualitas suara lebih jernih dan peka,
6. Mobile (dapat dibawa kemana-mana).

Arsitektur jaringan GSM tersebut terdiri atas tiga subsistem yaitu Base Station Subsystem (BSS), Network Switching Subsystem (NSS) dan Operation and Support Subsystem (OSS) serta perangkat yang digunakan oleh pelanggan untuk melakukan pembicaraan yang disebut Mobile System. Secara umum, network element dalam arsitektur jaringan GSM dapat dibagi menjadi Mobile Station (MS), Network Switching Subsystem (NSS), Operation and Support System, Base Station Sub-System (BSS) (Khan & Mishra, 2012).

2.3 Teknologi Wi-Fi

Wi-Fi atau *Wireless Fidelity* adalah satu standart *Wireless Networking* tanpa kabel, hanya dengan komponen yang sesuai dapat terkoneksi ke jaringan. Awalnya Wi-Fi ditujukan untuk penggunaan perangkat nirkabel dan Jaringan Area Lokal (LAN), namun saat ini lebih banyak digunakan untuk mengakses Internet (Solekan, 2012). Hal ini memungkinkan seseorang dapat menggunakan komputer dan kartu nirkabel (*wireless card*) atau *personal digital assistant* (PDA) untuk terhubung dengan Internet dengan menggunakan titik akses (atau dikenal dengan *Hotspot*) terdekat.

Wi-Fi (juga ditulis Wifi atau WiFi) adalah sebuah teknologi yang memanfaatkan peralatan elektronik untuk bertukar data secara nirkabel (menggunakan gelombang radio) melalui sebuah jaringan komputer, termasuk koneksi Internet berkecepatan tinggi. Wi-Fi Alliance mendefinisikan Wi-Fi sebagai "produk jaringan wilayah lokal nirkabel (WLAN) apapun yang didasarkan pada standar Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 802.11" (Chambers, 2015). Meski begitu, karena kebanyakan WLAN zaman sekarang didasarkan pada standar tersebut, istilah "Wi-Fi" dipakai dalam bahasa Inggris umum sebagai sinonim "WLAN".

Sebuah alat yang dapat memakai Wi-Fi (seperti komputer pribadi, konsol permainan video, telepon pintar, tablet, atau pemutar audio digital) dapat terhubung dengan sumber jaringan seperti Internet melalui sebuah titik akses jaringan nirkabel. Titik akses (atau hotspot) seperti itu mempunyai jangkauan sekitar 20 meter (65 kaki) di dalam ruangan dan lebih luas lagi di luar ruangan (Solekan, 2012). Cakupan hotspot dapat mencakup wilayah seluas kamar dengan dinding yang memblokir gelombang radio atau beberapa mil persegi, ini bisa dilakukan dengan memakai beberapa titik akses yang saling tumpang tindih.

2.3.1 Standar 802.11

Standar 802.11 pada awalnya disahkan pada tahun 1997 dengan mencakup *frequency hopping spread spectrum* (FHSS) *physical layers* dan *direct sequence spread spectrum* (DSSS) *physical layers* yang beroperasi pada pita 2.4 GHz dengan kecepatan data sampai 2 Mbps. FHSS mengirim sinyal wideband yang dapat menjangkau keseluruhan 2.4 pita GHz. Hal tersebut memungkinkan untuk menyetel access point FHSS sebanyak 15 pola loncatan berbeda yang tidak saling berinteraksi satu sama lain sehingga memungkinkan 15 access point beroperasi secara efektif pada area yang sama (Chambers, 2015).

Karena versi terbaru dari 802.11 FHSS hanya memiliki kecepatan data maksimum sebesar 2 Mbps, maka tidak banyak perusahaan yang menjual solusi FHSS untuk LAN nirkabel indoor. LAN nirkabel 802.11a, 802.11b, dan 802.11g yang lebih cepat kini telah tersedia. Selain itu, FHSS telah berinteroperasi dengan semua physical layer 802.11 lainnya. Akan tetapi, FHSS menyediakan solusi untuk *outdoor*, yaitu sistem *point to multipoint*. Hal tersebut dikarenakan FSS lebih ulet terhadap interferensi RF yang mungkin berada di rung lingkup *outdoor* (Chambers, 2015).

802.11 DSSS juga hanya berjalan sampai dengan 2 Mbps, akan tetapi berinteroperasi dengan *physical layer* 802.11b yang paling baru. Oleh karena itu, pengguna yang memiliki radio NIC 802.11 DSSS pada laptopnya dapat berinterface dengan access point 802.11b. Situasi tersebut tidak mungkin terjadi lagi karena radio NIC 802.11 DSSS sudah tidak dijual (Chambers, 2015).

2.3.2 Standar 802.11a

Di akhir tahun 1999, IEEE mengeluarkan 802.11a yang menetapkan operasi pita 5 GHz menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) dengan kecepatan data mencapai 54 Mbps. Namun, produk-produk tersebut tidak tersedia sampai tahun 2000, terutama karena kesulitan pengembangan sirkuit pita 5 GHz (Chambers, 2015).

802.11a beroperasi sampai 54 Mbps pada pita 5 GHz menggunakan OFDM dengan rentang sampai 100 kaki, tergantung pada kecepatan data sesungguhnya. *Access point* 802.11a dan radio NIC hanya tersedia di akhir tahun 2001. Oleh karena itu, dasar LAN nirkabel 802.11a yang telah dipasang saat ini relatif kecil dibandingkan dengan 802.11b. Dengan demikian, pertimbangan secara cermat masalah-masalah interoperabilitas yang mungkin muncul jika anda memilih menggunakan jaringan 802.11a (Chambers, 2015).

Keuntungan utama dari 802.11a adalah ditawarkannya daya tampung paling tinggi dengan 12 *Channel non-overlapping* terpisah. Penggunaan tersebut merupakan pilihan yang bagus untuk mendukung konsentrasi tinggi pengguna dan aplikasi performa yang lebih tinggi seperti *video streaming*. Selain itu, untuk meningkatkan sistem 802.11b, 802.11a memiliki kapasitas lebih besar daripada 802.11g (Chambers, 2015).

Keuntungan lain dari 802.11a adalah pita 5Ghz tidak terlalu sesak sehingga memungkinkan pengguna mencapai tingkatan performa yang lebih tinggi. Sebagian besar perangkat interfering seperti *microwave oven* dan *cordless phone* beroperasi pada pita 2.4 GHz. Kecenderungan interferensi RF yang lebih sedikit mengurangi risiko pada penyebaran LAN nirkabel (Chambers, 2015).

Masalah utama pada 802.11a adalah rentangnya yang terbatas. Hal tersebut disebabkan pengoperasian standar pada pita frekuensi 5 GHz yang lebih tinggi. Pada kecepatan 54 Mbps, anda akan memiliki rentang kurang dari 100 kaki pada sebagian besar fasilitas. Kekurangan tersebut membutuhkan sejumlah besar *access point* untuk sepenuhnya melindungi sebuah fasilitas yang sebanding dengan sistem 802.11b (Chambers, 2015).

2.3.3 Standar 802.11b

Bersama dengan 802.11a, IEEE mengesahkan 802.11b, yang merupakan ekstensi kecepatan tinggi, ke standar direct sequence awal pada pita 2.4 GHz dengan kecepatan data sampai dengan 11 Mbps. Access point 802.11b dan radio NIC telah tersedia sejak tahun 1999; sehingga, sebagian LAN nirkabel yang dipasang saat ini adalah 802.11b yang selalu mengalah (Chambers, 2015).

Keuntungan yang biasa didapat dari 802.11b adalah kelengkapan long rangenya. 802.11b memungkinkan anda mampu mencapai jarak 300 kaki pada sebagian besar fasilitas *indoor*. Rentang yang tinggi mengizinkan penyebaran LAN nirkabel dengan jumlah *access point* yang sedikit agar dapat melindungi sebuah fasilitas sebanding dengan 802.11a (Chambers, 2015).

Kelemahan dari 802.11b adalah anda dibatasi sampai tiga *Channel nonoverlapping* pada pita 2.4 GHz. Standar 802.11 menetapkan 14 *Channel* (hanya *Channel* 1 sampai 11 yang tersedia di Amerika Serikat) untuk mengonfigurasi access point. Walaupun demikian, masing-masing *channel* menempati kira-kira sepertiga dari keseluruhan pita 2.4GHz saat mengirim sebuah sinyal. Sebagian besar perusahaan hanya menggunakan *channel* 1, 6, dan 11 untuk memastikan *access point* tidak berinterferensi satu sama lain. Hal tersebut membatasi kapasitas 802.11b sehingga menjadikannya paling sesuai untuk mendukung aplikasi performa medium, seperti *e-mail* dan *surfing* (Chambers, 2015).

Kelemahan lain dari 802.11b adalah adanya kemungkinan interferensi RF dari perangkat radio lain. Sebagai contoh, *cordless phone* 2.4GHz mudah berinterferensi dengan LAN nirkabel 802.11b sehingga dapat menurunkan performa terhadap pengguna. *Microwave oven* dan perangkat-perangkat lain yang beroperasi pada pita 2.4 GHz juga dapat menyebabkan interferensi (Chambers, 2015).

802.11b menggunakan DSSS untuk mengedarkan sinyal *frame* data melalui bagian 22 MHz dari pita 2.4 GHz. Hal tersebut menghasilkan pertahanan yang lebih kuat terhadap interferensi RF dibandingkan dengan *narrowband signaling*. Demikian alasan FCC mempertimbangan pengoperasian sistem spectrum sebaran bebas lisensi (Chambers, 2015).

Modulator 802.11 mengonversi sinyal biner sebaran ke dalam gelombang analog melalui penggunaan tipe-tipe modulasi yang

berbeda tergantung pada kecepatan data mana yang dipilih. Sebagai contoh, pada pengoperasian 1 Mbps, PMD menggunakan *differential binary phase shift keying* (DBPSK) yang tidak serumit seperti kedengarannya. Modulator hanya menggeser interval frekuensi transmisi pusat untuk membedakan biner 1 dari biner 0 melalui data *stream* (Chambers, 2015).

Untuk transmisi 2 Mbps, PMD menggunakan *differential quadrature phase shift keying* (DQPSK) yang serupa dengan DBPSK, kecuali adanya empat kemungkinan pergeseran interval yang merepresentasikan dua bit data. Proses tersebut adalah proses pintar yang memungkinkan data *stream* untuk dikirim pada transmisi 2 Mbps sembari menggunakan jumlah *bandwidth* yang sama seperti yang dikirim pada transmisi 1 Mbps. Modulator menggunakan metode serupa pada kecepatan data yang lebih dari 5.5 Mbps dan 11 Mbps (Chambers, 2015).

2.3.4 Standar 802.11g

IEEE mengesahkan standar 802.11g yang kompatibel dengan 802.11b pada tahun 2003 dengan meningkatkan performanya mencapai 54 Mbps pada pita 2.4 GHz dengan menggunakan OFDM. Kelebihan dari 802.11g adalah bahwa standar tersebut merupakan kompatibel terbalik dari 802.11b. Perusahaan dengan keberadaan jaringan 802.11b biasanya dapat meng-upgrade *access point*-nya menjadi 802.11g melalui peng-upgradean firmware sederhana. Hal tersebut menyediakan jalur perpindahan yang efektif untuk LAN nirkabel. Permasalahan yang muncul adalah kehadiran perangkat klien 802.11b dalam lingkup 802.11g membutuhkan mekanisme proteksi yang membatasi performa keseluruhan LAN nirkabel. Dengan demikian, perangkat 802.11b tidak mengetahui kapan perangkat 802.11g dikirimkan karena perbedaan tipe modulasi. Oleh karena itu, kedua tipe perangkat tersebut harus memberitahukan penggunaan yang akan datang pada medium mereka dengan menggunakan tipe modulasi yang umumnya telah diketahui (Chambers, 2015).

Kelemahan 802.11g, seperti kemungkinan interferensi RF dan keterbatasan tiga *Channel non-overlapping*. Sebagai hasilnya, jaringan 802.11g memiliki pembatas kapasitas sebanding dengan 802.11a. Perbandingan ketiga standarisasi Wi-Fi di atas dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.1 Perbandingan Standarisasi Teknologi Wi-Fi
(Chambers, 2015)

Standar	802.11b	802.11a	802.11g
Kompatibilitas	IEEE 802.11b	IEEE 802.11b dan 802.11g	IEEE 802.11a
Jumlah Channel	3 <i>non-overlapping</i>	3 <i>non-overlapping</i>	8 <i>non-overlapping</i>
Jangkauan dalam Ruang	30 m @11 Mbps; 91m @1 Mbps	30 m @54 Mbps; 91m @1 Mbps	12 m@54Mbps; 91 m @6Mbps
Data Rates	11, 5.5, 2 dan 1Mbps	54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, dan 6 Mbps	54, 48, 36, 24, 18, 12, 8, dan 6 Mbps
Modulasi & Frekuensi	Direct Sequence Spread, 2.4 GHz	Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 2.4 GHz	Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 5 GHz

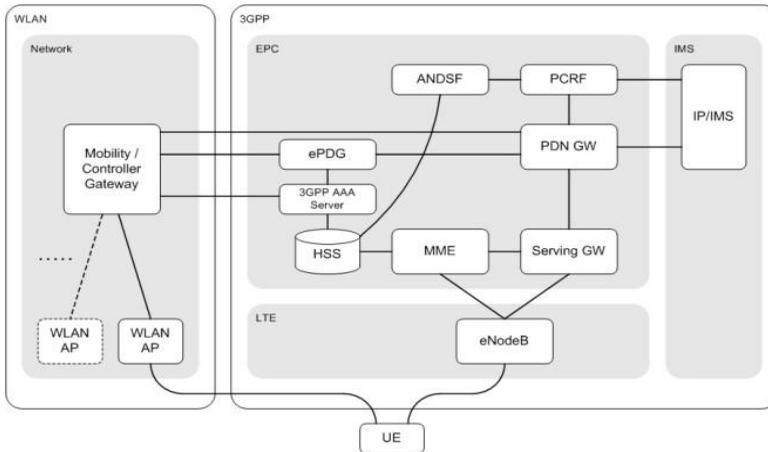
2.4 Wi-Fi Offloading

Teknologi Wi-Fi Offloading, atau hanya dengan menyebutnya dengan Offloading ini adalah memigrasikan lalu lintas data dari jaringan seluler yang membutuhkan biaya besar ke infrastruktur Wi-Fi yang lebih sederhana, dengan tujuan untuk mengurangi beban jaringan data seluler yang padat dengan kapasitas tambahan dari spektrum Wi-Fi yang tersedia. Teknologi ini menawarkan keuntungan dengan menawarkan kepada konsumen peningkatan layanan yang luas dengan selalu “*always-on*”, sehingga memberikan kenyamanan lebih kepada pengguna. Wifi offloading dapat menjadi alternatif solusi untuk masalah lalu lintas data seluler yang sangat padat. Sebab, teknologi ini memiliki kemampuan secara cerdas untuk berpindah dari jaringan seluler ke jaringan yang lebih kecil dengan trafik yang tidak besar serta berbiaya rendah melalui algoritma yang dapat menghitung formulasi terbaik sebagai dasar keputusan untuk bermigrasi pada layanan jaringan yang ada (Gaspar, 2011).

Pada sebagian besar ponsel seluler modern, kemampuan terkoneksi ke dalam WLAN (*Wireless LAN*) sudah terintegrasi didalamnya. Namun dalam implementasinya standar seluler dan WLAN sepenuhnya independen. Internet yang diakses melalui jaringan seluler, misalnya LTE, inti paket data hasil pengiriman sepenuhnya berevolusi (nama teknologi tersebut adalah EPC) dan dapat langsung menggunakan jaringan WLAN. Teknologi akses dialihkan secara manual yang membutuhkan otentikasi terpisah (Rohde&Schwarz GmbH & Co. KG [DE], 2013).

Spesifikasi dalam menggabungkan kedua teknologi dengan cara bahwa peralatan pengguna dapat mengakses EPC langsung melalui antarmuka WLAN. Ini akan memungkinkan layanan ditransfer secara mulus antara 3GPP dan WLAN, mempertahankan sesi yang sedang berlangsung sehingga pengguna tidak melihat serah terima. Integrasi ini meningkatkan cakupan karena UE dapat secara otomatis memilih teknologi akses terbaik yang tersedia. Otentikasi manual yang banyak digunakan dalam jaringan WLAN diganti dengan otentikasi otomatis tanpa batas melalui server 3GPP AAA menggunakan kredensial kartu USIM. Selain itu, beban jaringan seluler terhadap antarmuka udara bisa lega jika terjadi lalu lintas padat (Rohde&Schwarz GmbH & Co. KG [DE], 2013).

Untuk menerapkan offload semacam ini, sistem WLAN terhubung ke PDN-GW, baik secara langsung dalam akses tepercaya, atau melalui simpul tambahan, ePDG, dalam akses yang tidak dipercaya. ePDG berada di bawah kendali operator jaringan EPC lengkap dan dengan demikian menyediakan semua fungsi keamanan yang diperlukan. Perbedaan antara akses tepercaya dan tidak adalah keputusan bisnis dan bukan teknologi yang digerakkan. Penggunaannya tergantung pada hubungan bisnis antara jaringan seluler dan operator jaringan WLAN (Rohde&Schwarz GmbH & Co. KG [DE], 2013).



Gambar 2.2 Arsitektur Wi-Fi Offloading pada Jaringan LTE
(Rohde&Schwarz GmbH & Co. KG [DE], 2013)

Menurut keadaan spesifikasi saat ini, keputusan offload diambil oleh UE, secara opsional dengan dukungan dari penemuan jaringan akses dan fungsi pemilihan (ANDSF). ANDSF memberikan kebijakan kepada UE untuk mobilitas dan perutean antar-jaringan, serta penemuan jaringan akses. Investigasi dalam 3GPP RAN sedang mempelajari kemungkinan mentransfer kontrol offload ke jaringan dan dengan demikian memungkinkan operator untuk memberikan kualitas terbaik untuk koneksi (Rohde&Schwarz GmbH & Co. KG [DE], 2013)

2.5 Kinerja Jaringan Data (*Quality of Service*)

Kinerja Jaringan Data atau dikenal juga sebagai Quality of Service (QoS) adalah parameter pada jaringan yang digunakan untuk mengetahui bagaimana tingkat pelayanan jaringan terhadap permintaan client. Sebuah jaringan yang baik memiliki nilai parameter QoS yang tinggi. Terdapat beberapa parameter yang menjadi tolak ukur kemampuan suatu jaringan, seperti *throughput*, *packet drop*, *packet loss*, *average delay*, *maximal delay*, dan lainnya (Solekan, 2012).

Solekan mengatakan bahwa, “Quality of Service (QoS) adalah kemampuan suatu jaringan untuk menyediakan layanan yang baik dengan menyediakan *bandwidth*, mengatasi *jitter* dan *delay*”. Parameter QoS adalah *latency*, *jitter*, *packet loss*, *throughput*, *MOS*, *echo cancellation* dan *PDD*. QoS sangat ditentukan oleh kualitas jaringan yang digunakan. Terdapat beberapa faktor yang dapat menurunkan nilai QoS, seperti : Redaman, Distorsi, dan *Noise* (Solekan, 2012).

2.5.1 Throughput

Menurut Oppenheimer, “Bandwidth adalah kemampuan sebuah jaringan untuk membawa data, biasanya diukur dalam bit per detik (bps)” (Oppenheimer, 2012). Konsep bandwidth tidak cukup untuk menjelaskan kecepatan jaringan dan apa yang terjadi di jaringan. Untuk itulah konsep Throughput muncul. Throughput, yaitu kecepatan (rate) transfer data efektif, yang diukur dalam bps. Throughput merupakan jumlah total kedatangan paket yang sukses yang diamati pada *destination* selama interval waktu tertentu dibagi oleh durasi interval waktu tersebut (Solekan, 2012). Hal ini sama dengan, jumlah pengiriman paket IP sukses per service-second.

2.5.2 Delay

Delay (*latency*), adalah waktu yang dibutuhkan data untuk menempuh jarak dari asal ke tujuan (Solekan, 2012). Delay dapat dipengaruhi oleh jarak, media fisik, kongesti atau juga waktu proses yang lama. Adapun komponen delay adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Kategori Delay

Kategori	Besar Delay
Excellent	< 150 ms
Good	150 - 300 ms
Poor	0- 450 ms
Unacceptable	> 450 ms

2.5.3 Packet Loss / Error

Packet Loss, merupakan suatu parameter yang menggambarkan suatu kondisi yang menunjukkan jumlah total paket yang hilang, dapat

terjadi karena *collision* dan *congestion* pada jaringan dan hal ini berpengaruh pada semua aplikasi karena *retransmisi* akan mengurangi efisiensi jaringan secara keseluruhan meskipun jumlah *bandwidth* cukup tersedia untuk aplikasi-aplikasi tersebut (Solekan, 2012). Salah satu penyebab *packet loss* adalah antrian yang melebihi kapasitas *buffer* pada setiap *node*. Beberapa penyebab terjadinya *packet loss* yaitu:

- a. *Congestion*, disebabkan terjadinya antrian yang berlebihan dalam jaringan
- b. *Node* yang bekerja melebihi kapasitas *buffer*
- c. *Memory* yang terbatas pada *node*
- d. *Policing* atau kontrol terhadap jaringan untuk memastikan bahwa jumlah trafik yang mengalir sesuai dengan besarnya *bandwidth*. Jika besarnya trafik yang mengalir didalam jaringan melebihi dari kapasitas *bandwidth* yang ada maka *policing control* akan membuang kelebihan trafik yang ada.

2.5.4 Hal yang Mempengaruhi Nilai QoS

Terdapat beberapa faktor pengganggu dalam jaringan yang menyebabkan turunnya nilai QoS, yaitu :

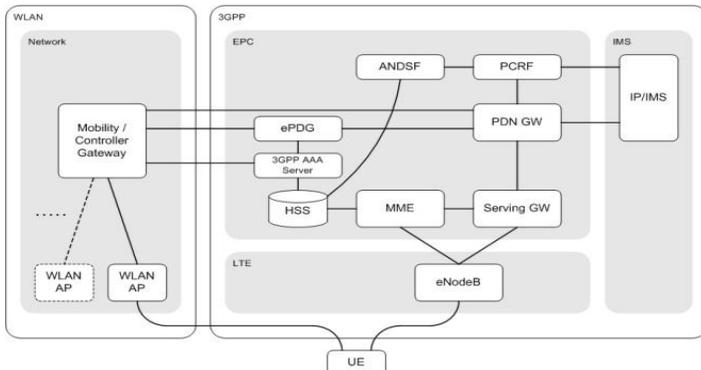
1. **Redaman**, yaitu jatuhnya kuat sinyal karena penambahan jarak pada media transmisi. Setiap media transmisi memiliki redaman yang berbeda-beda, tergantung dari bahan yang digunakan. Untuk mengatasi hal ini, perlu digunakan *repeater* sebagai penguat sinyal. Pada daerah frekuensi tinggi biasanya mengalami redaman lebih tinggi dibandingkan pada daerah frekuensi rendah (Oppenheimer, 2012).
2. **Distorsi**, yaitu fenomena yang disebabkan bervariasinya kecepatan propagasi karena perbedaan *bandwidth*. Untuk itu, dalam komunikasi dibutuhkan transmisi *bandwidth* yang memadai dalam mengakomodasi adanya spektrum sinyal. Dianjurkan digunakan pemakaian *bandwidth* yang seragam, sehingga distorsi dapat dikurangi (Oppenheimer, 2012).
3. **Noise**, yaitu suatu sinyal gangguan yang bersifat akustik (elektris , maupun elektronis) yang hadir dalam suatu sistem (rangkaiian listrik atau elektronika) dalam bentuk gangguan yang bukan merupakan sinyal yang diinginkan (Oppenheimer, 2012).

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dilakukan perancangan sistem pada penelitian untuk simulasi implementasi algoritma yang mampu secara efisien memberikan keputusan untuk Wi-Fi Offloading dapat beradaptasi sesuai dengan kebutuhan pengguna. Perancangan sistem akan terfokus pada simulasi algoritma untuk Wi-Fi Offloading yang diterapkan pada jaringan seluler LTE-A yang ada saat ini, yang memiliki rencana pengembangan berikutnya ke jaringan 5G.

3.1 Permodelan Sistem

Permodelan sistem akan digunakan untuk perhitungan *parameter* sebagai landasan pembentukan algoritma dengan mempertimbangkan nilai jaringan yang di dapat dari sisi pengguna (*user*), baik yang didapat dari sinyal 5G yang diperoleh dari Base Transceiver Station (BTS) terdekat yang dapat dijangkau oleh *user*, dan dibandingkan dengan jangkauan jaringan yang diperoleh dari Access Point (AP) Wi-Fi Router yang bisa dijangkau oleh *user*. Permodelan sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah yang mengacu pada arsitektur Wi-Fi Offloading pada Jaringan LTE-A yang dipresentasikan oleh Rohde&Schwarz GmbH & Co. KG [DE] di GSMA Mobile World Congress 2013, yang dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Permodelan Sistem

3.1.1 Arsitektur Wireless LAN (WLAN)

Dari gambar 3.1 dapat dilihat bahwa sistem terbagi atas 2 arsitektur, yaitu arsitektur *Wireless LAN* (WLAN) dan arsitektur 3GPP yaitu proyek standar komunikasi generasi ketiga (*3rd Generation*) yang tergabung dalam Global System for Mobile Communications. Pada bagian WLAN ada sebuah Mobility / Controller Gateway yang berperan sebagai penerus dari layanan komunikasi data yang disediakan oleh 3GPP. Gateway ini terhubung dengan satu atau lebih beberapa Access Point yang dapat diakses oleh perangkat pengguna (*user equipment*). Akses layanan data yang diteruskan oleh Gateway diperoleh dari operator jaringan Evolved Packet Core (EPC) yang merupakan inti dari jaringan *mobile* yang menghubungkan perangkat LTE-A ke jaringan radio 4G.

3.1.2 Arsitektur 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project)

Dalam arsitektur ini terdiri dari 3 bagian, yaitu Evolved Packet Core (EPC), IP Multimedia Subsystem (IMS), dan Jaringan LTE-A (Long-Term Evolution rev. A) itu sendiri. Pada EPC terdiri dari 4 bagian utama yaitu:

- HSS (Home Subscriber Server) adalah basis data yang berisi informasi terkait pengguna yang menyediakan juga fungsi pendukung dalam manajemen mobilitas, panggilan dan pengaturan sesi komunikasi, otentikasi pengguna dan otorisasi akses.
- Serving GW digunakan untuk melayani GW dan PDN-GW yang berkaitan dengan pengguna. Serving GW menyalurkan lalu lintas data IP antara perangkat pengguna dan jaringan eksternal. GW adalah titik interkoneksi antara radio-side dan EPC yang membuat rute keluar dan masuk paket IP.
- PDN-GW adalah titik interkoneksi antara EPC dan jaringan eksternal. Jaringan ini disebut PDN (Packet Data Network), selain itu PDN-GW melakukan berbagai fungsi seperti alokasi alamat IP, kontrol, dan pengisian daya.
- MME (for Mobility Management Entity) berhubungan dengan bidang pengendalian yang menangani sinyal yang terkait dengan mobilitas dan keamanan untuk akses E-UTRAN, dimana MME bertanggung jawab atas pelacakan perangkat pengguna dalam mode siaga.

IMS adalah kerangka kerja arsitektur untuk memberikan layanan multimedia IP. Secara historis, perangkat komunikasi menyediakan layanan panggilan suara melalui jaringan circuit-switched-style dan tidak harus selalu melalui jaringan packet-switched IP, termasuk layanan VoIP (Voice Over IP) atau layanan multimedia lainnya, IMS adalah kerangka kerja arsitektur untuk menyediakan standarisasi tersebut.

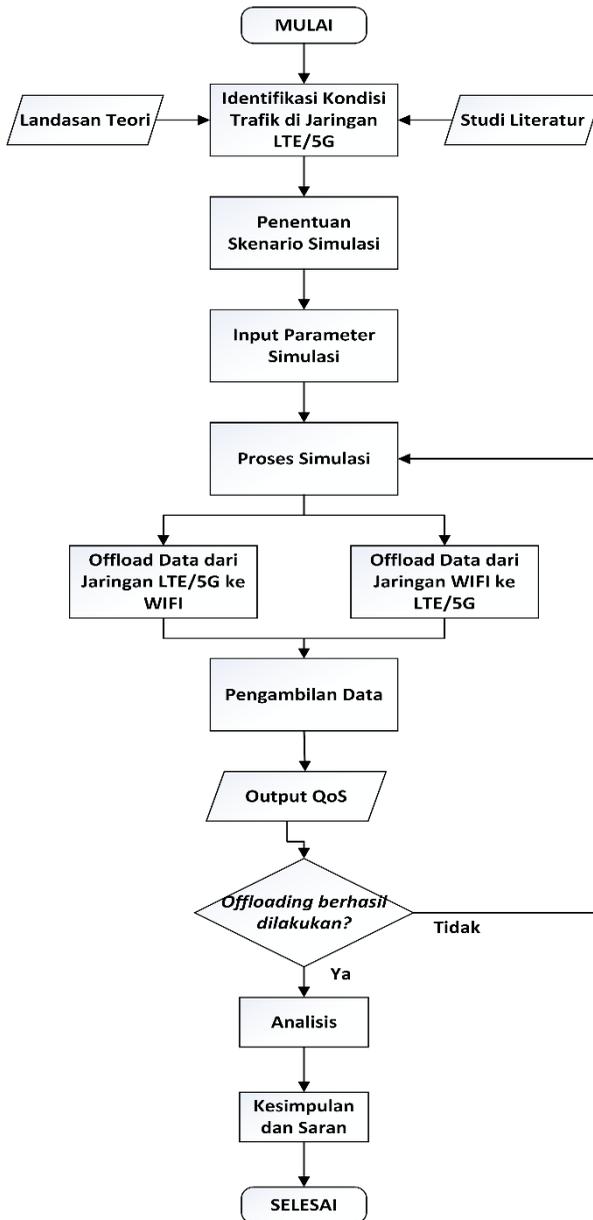
Dan terakhir adalah arsitektur akhir dari bagian 3GPP yaitu LTE-A, dimana terdiri dari 1 atau lebih e-node B yang bertugas untuk memancarkan layanan data / multimedia melalui BTS-BTS yang tersedia yang dapat menjangkau perangkat *user*.

Untuk menerapkan offload, sistem WLAN terhubung ke PDN-GW, baik secara langsung dalam akses yang terpercaya, atau melalui simpul tambahan e-PDG, dalam akses yang tidak dipercaya. e-PDG di bawah kendali operator jaringan EPC, dengan demikian memungkinkan penyediaan semua fungsi keamanan yang diperlukan. Menurut kondisi seperti ini, keputusan offload diambil oleh perangkat *user*, secara opsional dengan dukungan pencarian jaringan akses dan fungsi pemilihan (ANDSF). ANDSF memberikan kebijakan pada perangkat *user* untuk mobilitas dan perutean antar-jaringan, dan pencarian jaringan akses.

3.2 Diagram Alir

Pada diagram alir ini menunjukkan proses yang dilakukan selama penelitian ini dilakukan, mulai dari awal hingga akhir penelitian melalui simulasi yang diharapkan hasil simulasi berupa output QoS terdiri dari *throughput*, *delay*, *reliability*, dan *packet loss* yang dapat digunakan untuk ditarik kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditentukan.

Penelitian dimulai dari identifikasi kondisi trafik di jaringan LTE-A/5G secara sinergi mempelajari landasan teori serta melakukan studi literatur yang membantu untuk memahami permasalahan. Setelah proses identifikasi berhasil dilakukan kemudian dilanjutkan dengan penentuan skenario simulasi melalui hipotesa yang dianggap sesuai dengan tujuan penelitian dan rumusan permasalahan pada penelitian ini.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

Setelah menentukan skenario, kemudian dilanjutkan dengan penentuan input parameter simulasi untuk memulai proses simulasi. Proses simulasi dilakukan dalam 2 bagian, yaitu melakukan proses offloading dari jaringan LTE-A/5G ke WIFI dan sebaliknya proses offloading dari jaringan WIFI ke LTE-A/5G, dan kemudian dilanjutkan ke tahap pengambilan data dari hasil proses simulasi, dengan melakukan implementasi algoritma yang mana didalamnya melakukan perhitungan *parameter* untuk mendapatkan *throughput* dan *delay*. Setelah proses offloading berhasil dilakukan dan muncul keputusan kemana *offloading* harus dilakukan, kemudian mempertimbangkan nilai *throughput*, *delay*, dan nilai lain dalam objek penelitian ini untuk dianalisis. Hal ini dilakukan berulang kali sampai dirasa cukup untuk mendapatkan hasil penelitian yang dapat dianalisis dan kemudian ditentukan kesimpulan.

3.3 Skenario Simulasi

Skenario simulasi yang akan diambil dalam penelitian ini adalah skenario yang dianggap sesuai dengan tujuan penelitian, rumusan masalah dan batasan masalah. Skenario akan disesuaikan dengan jaringan seluler LTE-A yang memiliki rencana pengembangan ke jaringan 5G. Skenario akan dilakukan dengan menggunakan parameter input simulasi untuk jaringan 5G dan parameter input simulasi untuk jaringan Wi-Fi, khususnya IEEE 802.11g.

Di bawah ini adalah parameter untuk perhitungan parameter input simulasi jaringan LTE-A yang akan digunakan dalam penelitian, dan disesuaikan dengan nilai dari parameter 5G. Untuk lebih lengkap dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.1 Parameter Input Transmitter (Node B) Jaringan LTE-A/5G

Parameter	Nilai
Tx Antenna Height (Meter)	20
Transmitter (BS)	
Max. Tx. Power (dBm)	46
Tx. Antenna Gain (dBi)	18
Cable Loss (dB)	2

Parameter	Nilai
Receiver (UE)	
SINR (dB)	-9
Receiver Sensitivity (dBm)	-95
Interface Margin (dB)	3
Control Channel (%)	20
Receiver Antenna Gain (dB)	10
Body Loss (dB)	0

Kemudian setelah penentuan parameter input simulasi di atas adalah menentukan parameter input untuk Wi-Fi yang dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3.2 Parameter Input Simulasi Wi-Fi (IEEE 802.11g)

Parameter	Nilai
Access Point Height (meter)	7
Access Point Transmit Power (dBm)	33
Access Point Gain Antenna (dBi)	10
Access Point Recv. Sensitivity (dBm)	-95

3.4 Perhitungan Parameter Jaringan LTE-A/5G

Perhitungan *parameter* pada arah *downlink* digunakan untuk menentukan *coverage planning*. Tahap awal pada perhitungan parameter ini yaitu mendapatkan nilai EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power) yaitu total energi yang dikeluarkan oleh sebuah *Access Point* dan *Antenna*, dimana rumusnya adalah sebagai berikut :

$$\text{EIRP} = \text{Tx Power LTE-A/5G} + \text{Node B Antenna Gain} + \text{Node B Cable Loss}$$

```

function [ EIRP ] = eirp_calculation( MaxTxPower,
TxAntennaGain, CableLoss )
%EIRP_CALC Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here

EIRP = MaxTxPower + TxAntennaGain - CableLoss;
end

```

Gambar 3.3 Fungsi Menghitung Nilai EIRP

Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan Receiver Sensitivity yaitu tingkat sensitivitas penerimaan yang dapat diterima oleh perangkat *user*, yang mana perhitungan rumusnya adalah sebagai berikut:

$$\text{Receiver Sensitivity} = \text{Required SINR} - \text{Processing Gain} + \text{Total Effective Noise}$$

Berikutnya adalah melakukan perhitungan Maximum Allowed Path Loss (MAPL) dari arah *downlink* (DL) jaringan LTE-A/5G, yaitu perhitungan nilai maksimum Path Loss yang direkomendasikan, yang mana perhitungan rumusnya adalah sebagai berikut:

$$\text{MAPL DL} = \text{EIRP} - \text{Receiver Sensitivity} + \text{Antenna Gain Rx} - \text{Cable Loss} - \text{Penetration Loss} - \text{Fading Margin}$$

```

function [ MAPL ] = mapl_calculation( EIRP,
ReceiverSensitivity, InterfaceMargin, ControlChannel,
ReceiverAntennaGain, BodyLoss )
%MAPL_CALC Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here

MAPL = EIRP - ReceiverSensitivity - InterfaceMargin -
(ControlChannel/100) + ReceiverAntennaGain - BodyLoss;
end

```

Gambar 3.4 Fungsi Menghitung Nilai MAPL

Setelah mendapatkan semua perhitungan di atas, selanjutnya adalah menghitung radius sel berdasarkan nilai MAPL *downlink*.

Untuk menghitung radius sel perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- Tinggi Efektif Antenna Node B (Ht) = 30 meter
- Tinggi Antenna Perangkat *User* (Hr) = 1,5 meter
- Area = Dense Urban (Metropolitan)

Rumus yang digunakan untuk menghitung radius sel juga harus memperhatikan faktor koreksi tinggi antenna MS untuk daerah urban yaitu dengan persamaan sebagai berikut :

$$a(Hr) = 3.2 (\log 11.75Hr)^2 - 4.97 \text{ dB}$$

Setelah menghitung koreksi tinggi antenna MS, baru dapat dihitung radius sel, sesuai dengan persamaan rumus sebagai berikut:

$$R_{(km)} = \log^{-1} \left[\frac{MAPL \text{ DL} - 46.3 - 33.9 \log(\text{Freq.}) + 13.82 \log(\text{Tinggi Antenna node B}) - 9.190 \cdot 10^{-4} - 3}{44.9 - 6.55 \log(\text{Tinggi Antenna node B})} \right]$$

```
function [ d ] = cell_radius( NLos, Distance2, Frequency5G,
FreqCorrection, AntennaRecvCorrection, PathLossExponent )
%CELL_RADIUS Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here

b1 = (4 * pi) * Distance2 * Frequency5G * (10^9);
b2 = 3 * (10^8);
b = b1/b2;

a = NLos - (20 * log10(b)) -
FreqCorrection+(AntennaRecvCorrection);
c = 10 * PathLossExponent;

d = abs(10*(a/c))*100;
end
```

Gambar 3.5 Fungsi Menghitung Nilai Cell Radius

3.5 Perhitungan Parameter Jaringan Wi-Fi (IEEE 802.11g)

Sama seperti perhitungan parameter jaringan LTE-A/5G di atas, perhitungan yang sama pun dilakukan pada jaringan Wi-Fi (IEEE 802.11g), Tahapan perhitungannya dapat dilihat dari alur di bawah ini.

```
%% --- Parameters of Simulator Scenario
global APTransmitPower;
global APGainAntenna;
global DeviceGainAntenna;

%% --- Propagation Radio Calculation
[ Pr ] = propagation_radio_calculation( APTransmitPower,
APGainAntenna, DeviceGainAntenna, Dist );

% convert to dbm
Pr = 10 * log10(Pr)

%% --- Loss Propagation Calculation
[ l ] = loss_propagation_calculation( Pr, APTransmitPower,
APGainAntenna, DeviceGainAntenna )

%% --- SNR Calculation
[ SNR ] = SNR_calculation( l, APTransmitPower,
DeviceGainAntenna )
end
```

Gambar 3.6 Fungsi Menghitung Parameter untuk Wi-Fi

3.6 Parameter Simulasi

Untuk memulai simulasi, diperlukan parameter input yang akan jadi acuan dan batasan pada saat melakukan perhitungan, agar diperoleh hasil yang dapat dianalisa sesuai dengan tujuan penelitian. Parameter input simulasi yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3.3 Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
Distance from BTS (5G) (meter)	100-900
Distance from AP (Wi-Fi) (meter)	100-900

Parameter	Nilai
Simulation Cycle	30
Interval Cycle (second)	1
Device Gain Antenna (dBi)	5
Device Height (meter)	1.7
Device Transmit Power (dBm)	30
Device Recv. Transmit (dBm)	-90
Wi-Fi Frequency (GHz)	5
5G Frequency (GHz)	28
Wi-Fi Bandwidth (MHz)	20
5G Bandwidth (MHz)	700

3.7 Hasil Simulasi

Hasil simulasi diarahkan untuk mendapatkan hasil Quality of Service (QoS) dari kedua jaringan baik jaringan LTE-A/5G maupun jaringan Wi-Fi, terutama hasil throughput, delay, reliability, dan packet loss yang menentukan kapan harus dilaksanakan proses offloading baik handover dari jaringan LTE-A/5G ke Wi-Fi maupun sebaliknya. Yang pertama adalah menghitung throughput dari simulasi penelitian. Selanjutnya adalah menghitung delay, yaitu waktu tunda yang dibutuhkan akibat adanya perubahan throughput per satuan waktu.

Kemudian menghitung nilai keandalan atau Reliability yaitu jumlah perubahan yang terjadi pada nilai throughput dalam satu periode waktu, semakin sering berubah dengan rentang waktu tunda (delay) yang besar berarti nilai reliability semakin kecil dan begitu juga sebaliknya jika perubahan yang terjadi pada nilai throughput lebih sedikit dengan rentang delay yang kecil maka nilai reliability menjadi besar.

Dan terakhir adalah perhitungan packet loss, atau paket data yang hilang selama transmisi dan diperlukan transmisi ulang, jumlah packet loss ini menguatkan nilai reliability, yang mana nilai packet loss

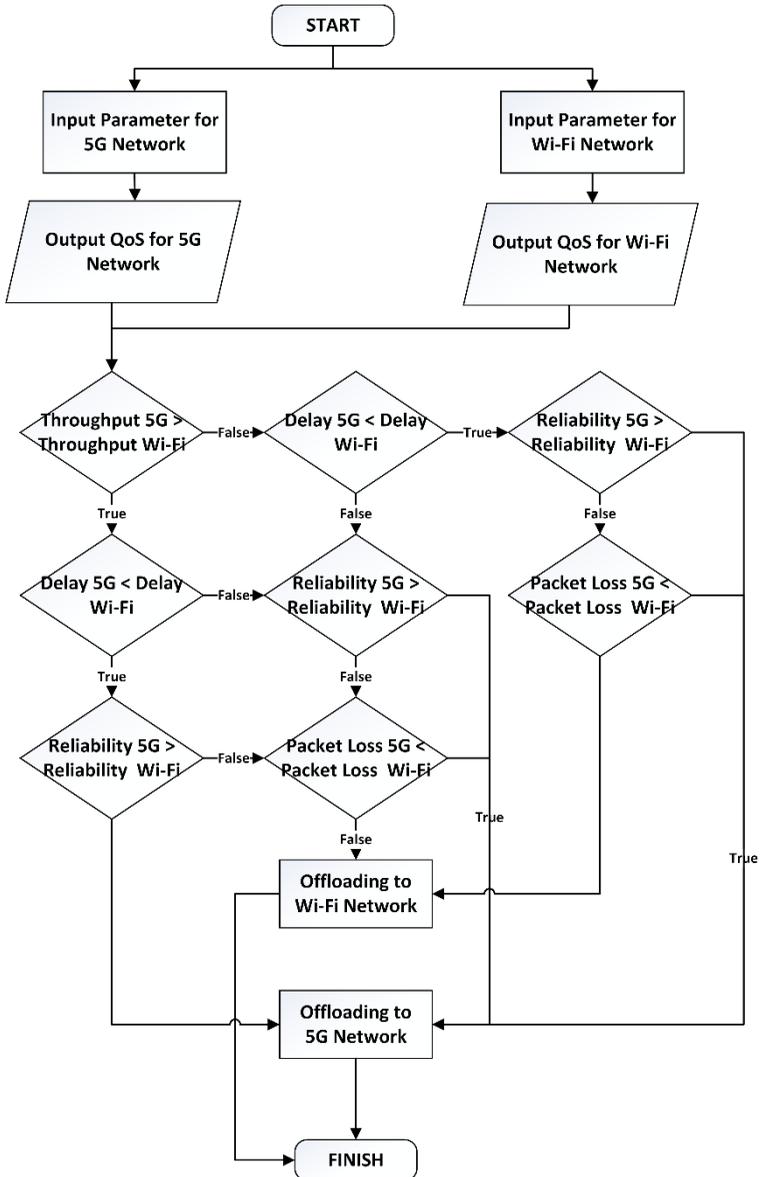
menjadi penentu akhir apakah transmisi dalam jaringan bisa dilanjutkan atau tidak.

Throughput, delay, reliability dan packet loss akan menjadi dasar keputusan dengan melihat perbandingan antara nilai-nilai ini yang memberikan rasio yang terbaik dilihat dari yang bisa dilakukan oleh sistem baik di jaringan LTE-A/5G maupun Wi-Fi, yang mana penjelasan algoritma dasar keputusannya di bahas pada sub-bab di bawah.

3.8 Algoritma Wi-Fi Offloading

Dari hasil simulasi di atas akan diterapkan algoritma dengan pemenuhan setiap kriteria untuk dijadikan dasar keputusan untuk melakukan proses offloading dari jaringan 5G ke Wi-Fi maupun sebaliknya. Gambar 3.7 adalah diagram alir dari cara kerja algoritma *adaptive wifi offloading* yang menggambarkan proses pemenuhan setiap kriteria dari parameter jaringan yang ada. Terlihat dari gambar diagram dibawah, sistem akan melakukan proses perhitungan *parameter* baik untuk jaringan 5G maupun jaringan Wi-Fi. Dari hasil perhitungan tersebut akan diperoleh hasil *Quality Of Services* (QOS) yaitu nilai nilai throughput, delay, reliability dan packet loss untuk masing-masing jaringan baik 5G maupun Wi-Fi.

Tahap awal adalah mempertimbangkan nilai throughput. Jika nilai throughput dari jaringan 5G lebih besar dari jaringan Wi-Fi, dilanjutkan ke perbandingan nilai delay. Jika nilai delay dari jaringan 5G lebih besar dari jaringan Wi-Fi, dilanjutkan ke perbandingan nilai reliability. Jika nilai reliability lebih besar maka langsung dilanjutkan ke proses offloading ke jaringan 5G, jika nilai reliability kecil, maka dilanjutkan dengan perbandingan nilai packet loss. Jika nilai packet loss untuk jaringan 5G lebih kecil maka dilanjutkan ke proses offloading ke jaringan 5G. Namun jika nilai packet loss lebih besar maka dilanjutkan ke proses jaringan Wi-Fi.



Gambar 3.7 Diagram Algoritma Wi-Fi Offloading

Berikutnya dengan kondisi lain, jika nilai throughput pada jaringan 5G ternyata lebih kecil, maka harus dilanjutkan dengan perbandingan nilai delay. Jika nilai delay pada jaringan 5G lebih kecil dari jaringan Wi-Fi, dilanjutkan dengan perbandingan nilai reliability. Jika nilai reliability di jaringan 5G lebih besar dibandingkan jaringan Wi-Fi langsung dilanjutkan ke proses offloading ke jaringan 5G.

Akan tetapi, jika dari kondisi diatas pada saat perbandingan nilai delay lebih besar pada jaringan 5G dibanding jaringan Wi-Fi, maka dilanjutkan ke perbandingan nilai reliability. Jika nilai reliability pada jaringan 5G lebih kecil, maka dilanjutkan ke perbandingan nilai packet loss 5G. Jika nilai packet loss lebih kecil, maka proses offloading ke jaringan Wi-Fi dilakukan.

Dan beberapa kondisi lainnya dapat dilihat dari diagram diatas, untuk menentukan kriteria sebagai dasar keputusan untuk melakukan proses offloading baik dari jaringan 5G ke jaringan Wi-Fi maupun sebaliknya. Algoritma mengandung beberapa *function* matlab dan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

```
function [ result ] = decision_process( er )
%ALL DECISION_PROCESS SUMMARY
global Distance5G;
global DistanceWIFI;

global SimulationCycle;
global IntervalCycle;

global Latency;

%% --- Datarate Calculation
[ RData ] = datarate_calculation()
RData = RData - (RData * abs(er));

%% --- Parameter Calculation
[ SNR1, Pr1, l1 ] = link_budget_wifi(DistanceWIFI);
[ C1, R11, t1 ] = output_calculation_wifi(SNR1, Pr1,
RData);

try
    % ratio throughput
    ratio1 = abs(t1 * er);
catch
    ratio1 = 0;
end
```

```

    % delay calculation
    delay1 = Latency + (Latency / ratio1);

    [ SNR2, Pr2, l2 ] = link_budget_5G(Distance5G);
    [ C2, Rl2, t2 ] = output_calculation_5G(SNR2, Pr2, RData);

    try
        % ratio throughput
        ratio2 = abs(t2 * er);
    catch
        ratio2 = 0;
    end

    % delay calculation
    delay2 = Latency + (Latency / ratio2);

%% --- Decision Process Algorithm
% Throughput
if(C1>C2)
    selectWIFI = selectWIFI + 1;
else
    select5G = select5G + 1;
end

% Delay
if(delay1>delay2)
    selectWIFI = selectWIFI + 1;
else
    selectWIFI = selectWIFI + 1;
end

% Reliability
if(Rl1>Rl2)
    selectWIFI = selectWIFI + 1;
else
    select5G = select5G + 1;
end

% Packet Loss
if(l1>l2)
    selectWIFI = selectWIFI + 1;
else
    select5G = select5G + 1;
end
end

```

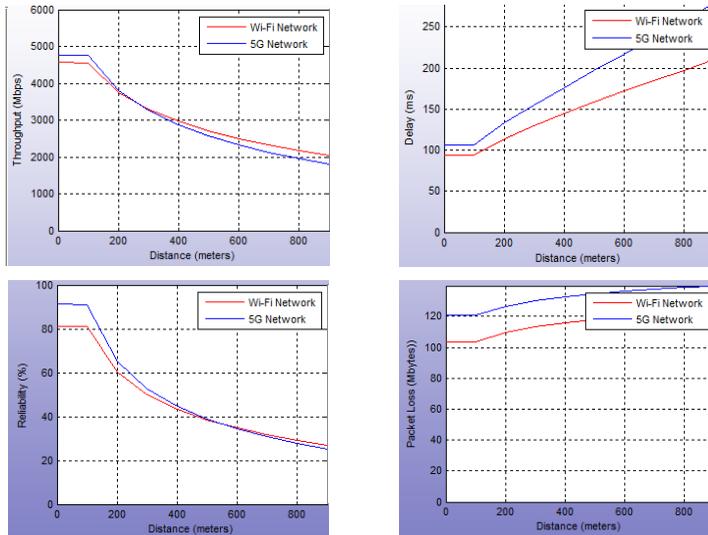
Gambar 3.8 Algoritma Adaptive Wi-Fi Offloading

BAB 4 SIMULASI DAN HASIL

Dari hasil simulasi menggunakan simulator Matlab, nilai *Quality of Services* (QoS), yaitu nilai *throughput*, *delay*, *reliability*, serta *packet loss* akan menjadi acuan nilai keluaran dari penelitian yang akan digunakan untuk menentukan keputusan kapan saat tepat melakukan proses *offloading*. Interval jarak antar node yang digunakan dalam simulasi ini bervariasi, mulai dari 100 sampai 900 meter.

4.1 Nilai Keluaran Quality of Service Sebelum Implementasi Algoritma Wifi Offloading

Hasil di bawah ini adalah *quality of service* yang diperoleh dari simulasi untuk jangkauan sinyal jaringan 5G dan Wifi yang dapat ditangkap oleh pengguna berdasarkan interval jarak 100 sampai 900 meter sebelum diterapkan algoritma *adaptive wifi offloading*.



Gambar 4.1 Grafik *Quality of Service* Wifi dan 5G sebelum implementasi algoritma wifi offloading

Tabel 4.1 Hasil *Throughput* Jaringan Wifi dan 5G sebelum implementasi algoritma wifi offloading

Jarak (meter)	Nilai <i>Throughput</i> (Mbps)	
	Jaringan Wifi	Jaringan 5G
100	4555.9974	4749.1234
200	3757.1568	3807.5957
300	3290.5568	3258.8803
400	2960.2322	2871.7141
500	2704.7669	2573.6032
600	2496.802	2332.2377
700	2321.7406	2130.3628
800	2170.8667	1957.6598
900	2038.5555	1807.4541

Tabel 4.2 Hasil Delay Jaringan Wifi dan 5G sebelum implementasi algoritma wifi offloading

Jarak (meter)	Nilai <i>Delay</i> (ms)	
	Jaringan Wifi	Jaringan 5G
100	94.3559	106.7507
200	114.3114	133.0239
300	130.4498	155.3377
400	144.9506	176.213
500	158.594	196.5665
600	171.762	216.8576
700	184.6753	237.3599
800	197.4754	258.2554
900	210.26	279.6758

Tabel 4.3 Hasil *Reliability* Jaringan Wifi dan 5G sebelum implementasi algoritma wifi offloading

Jarak (meter)	Nilai <i>Reliability</i> (%)	
	Jaringan Wifi	Jaringan 5G
100	80.9888	90.9461
200	60.2726	65.3098
300	49.9375	52.6833
400	43.2672	44.6043
500	38.4335	38.7943
600	34.6899	34.3282
700	31.6627	30.7448
800	29.1396	27.7827
900	26.9892	25.2802

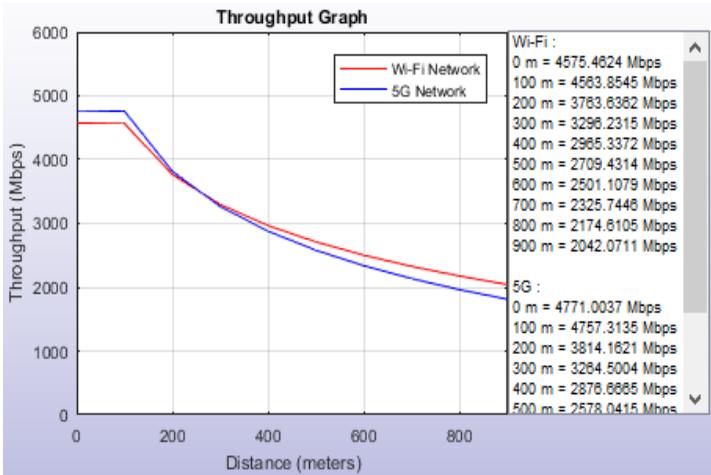
Tabel 4.4 Hasil *Packet Loss* Jaringan Wifi dan 5G sebelum implementasi algoritma wifi offloading

Jarak (meter)	Nilai <i>Packet Loss</i> (Mbytes)	
	Jaringan Wifi	Jaringan 5G
100	103.6921	120.6969
200	109.7127	126.7175
300	113.2345	130.2393
400	115.7333	132.7381
500	117.6715	134.6763
600	119.2551	136.2599
700	120.594	137.5989
800	121.7539	138.7587
900	122.7769	139.7818

Kemudian, hasil simulasi berikutnya seperti yang dapat dilihat dibawah ini adalah *quality of service* yang diperoleh dari simulasi untuk jangkauan sinyal jaringan 5G dan Wifi yang dapat ditangkap oleh pengguna berdasarkan interval jarak 100 sampai 900 meter setelah diterapkan algoritma *adaptive wifi offloading*. Berikut adalah hasil simulasi yang didapatkan.

4.2 Nilai Keluaran Throughput Setelah Implementasi Algoritma Wifi Offloading

Hasil di bawah ini adalah nilai throughput yang diperoleh dari simulasi untuk jangkauan sinyal jaringan 5G dan Wifi yang dapat ditangkap oleh pengguna berdasarkan interval jarak 100 sampai 900 meter.



Gambar 4.2 Grafik Hasil Nilai *Offloading Throughput* 5G dan Wifi

Tabel 4.5 Hasil Throughput Jaringan Wifi dan 5G

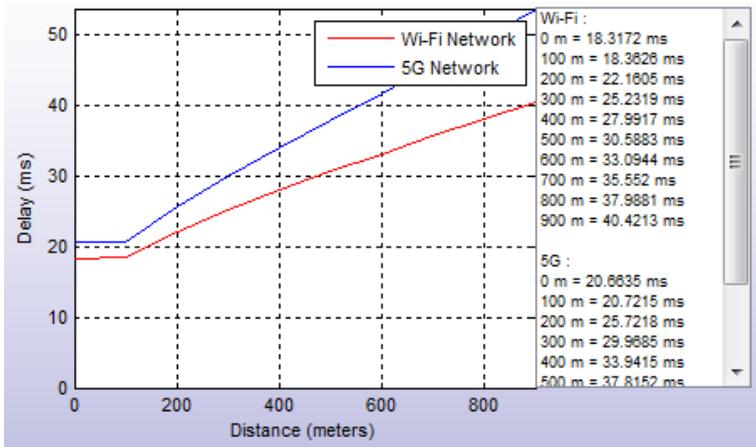
Jarak (meter)	Nilai <i>Throughput</i> (Mbps)	
	Jaringan Wifi	Jaringan 5G
100	4563.8545	4757.3135
200	3763.6362	3814.1621
300	3296.2315	3264.5004
400	2965.3372	2876.6665
500	2709.4314	2578.0415
600	2501.1079	2330.5767
700	2325.7446	2128.8456
800	2174.6105	1956.2655
900	2042.0711	1806.1668

Dari grafik throughput di atas, dapat dilihat bahwa jaringan 5G memiliki nilai throughput tertinggi jika diukur dengan interval nilai jarak diatas, dimana dengan bandwidth sebesar 700 Mhz, jarak 100 meter dari BTS memiliki nilai output throughput yang besar, sekitar 4,7 Gbps, tetapi dengan adanya peningkatan jarak, nilai throughput menjadi 1,8 Gbps pada 900 meter. Sebaliknya, grafik throughput yang ditunjukkan oleh jaringan Wi-Fi, yang memiliki bandwidth 20 Mhz, memiliki nilai output throughput yang lebih kecil dari jaringan 5G, yaitu 4,5 Gbps pada jarak 100 meter, namun semakin jauh jaraknya bertambah, pengurangan nilai output dari throughput tidak sebesar yang dialami oleh jaringan 5G, di mana pada jarak 900 meter, throughput jaringan Wi-Fi ternyata memiliki nilai output lebih besar dibandingkan pada jaringan 5G, yaitu 2,04 Gbps berbanding 1,8 Gbps.

Faktor throughput ini memiliki pengaruh paling besar contohnya pada kapasitas layanan suara. Semakin rendah faktor throughput, semakin rendah kualitas suara, sehingga faktor throughput ini perlu diprioritaskan dalam menentukan kapan wifi-offloading dilakukan.

4.3 Nilai Keluaran Delay Setelah Implementasi Algoritma Wifi Offloading

Hasil simulasi lainnya adalah nilai output dari *delay*, yaitu waktu tunda yang dibutuhkan ketika mentransmisikan data (downlink) di jaringan 5G dan Wi-Fi. Hal ini perlu dilakukan untuk memberikan perbandingan yang baik dengan mempertimbangkan beberapa nilai output dari waktu tunda yang diterima. Hasil dari nilai output *delay* yang diberikan oleh dua jaringan akan ditampilkan dalam grafik di bawah ini.



Gambar 4.3 Grafik Hasil Nilai *Offloading Delay* 5G dan Wifi

Tabel 4.6 Hasil Delay Jaringan Wifi dan 5G

Jarak (meter)	Nilai Delay (ms)	
	Jaringan Wifi	Jaringan 5G
100	18.3626	20.7215
200	22.1605	25.7218
300	25.2319	29.9685
400	27.9917	33.9415
500	30.5883	37.8152
600	33.0944	41.677
700	35.552	45.5789
800	37.9881	49.5557
900	40.4213	53.6324

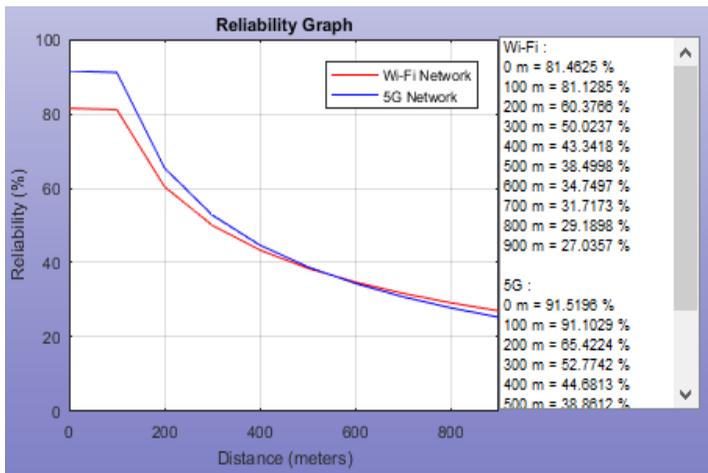
Dari dua grafik nilai output *delay* di atas, dapat dilihat bahwa kedua jaringan, baik jaringan 5G dan Wi-Fi bahkan memiliki nilai output yang kontras, tetapi sebenarnya nilai output *delay* yang dihasilkan memiliki selisih tipis. Hal ini dapat dilihat dari hasil grafik, bahwa nilai output *delay* pada jaringan 5G, memiliki nilai yang lebih besar (20.7215 ms > 18.3626ms) daripada nilai output *delay* pada

jaringan Wi-Fi pada jarak jauh 100 meter dari Router Wi-Fi. Kemudian untuk interval jarak terjauh dari simulasi pada penelitian ini, nilai output *delay* pada jaringan 5G lebih besar juga (53.6324 ms > 40.4213 ms) daripada di jaringan Wi-Fi pada jarak 900 meter dari pemancar.

Selain *throughput*, yang perlu diperhatikan adalah faktor delay yang juga memiliki pengaruh terhadap keterbatasan kapasitas-kapasitas voice. Semakin besar nilai delay, kualitas suara juga akan menurun. Delay adalah faktor berikutnya yang harus dimasukkan dalam algoritma wi-fi offloading untuk menentukan kapan wi-fi offloading harus dilakukan untuk proses berikutnya.

4.4 Nilai Reliability Setelah Implementasi Algoritma Wifi Offloading

Selanjutnya adalah nilai output *Reliability* yang merupakan keandalan dari jaringan yang dipakai di sistem. Semakin tinggi *reliability* maka jaringan semakin andal. Hasil dari nilai *Reliability* ditampilkan dalam bentuk grafik, yang dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 4.4 Grafik Hasil Nilai *Offloading Reliability*

Tabel 4.7 Hasil Reliability Jaringan Wifi dan 5G

Jarak (meter)	Nilai Reliability (%)	
	Jaringan Wifi	Jaringan 5G
100	81.1285	91.1029
200	60.3766	65.4224
300	50.0237	52.7742
400	43.3418	44.6813
500	38.4998	38.8612
600	34.7497	34.2938
700	31.7173	30.714
800	29.1898	27.7548
900	27.0357	25.2549

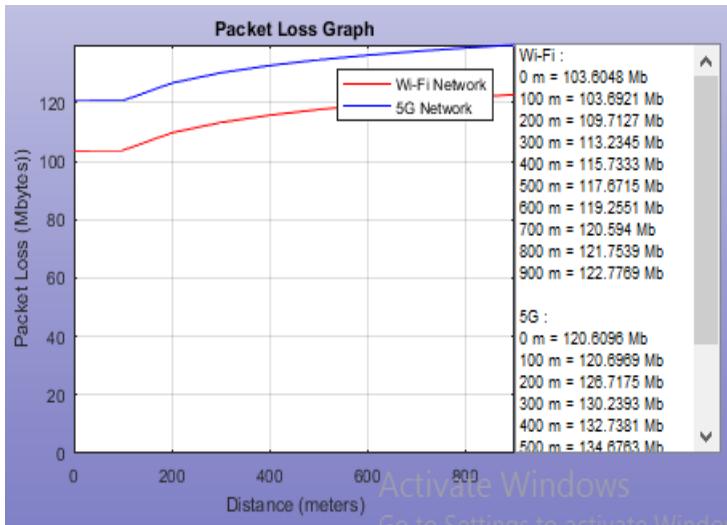
Dari hasil grafik di atas, untuk jaringan 5G dapat dilihat bahwa tingkat keandalan lebih besar dari jaringan Wifi pada jarak 100 meter dari pemancar, yaitu 91,1%.. Dengan kata lain, perangkat pengguna memiliki trafik data yang baik melalui *throughput* dan *delay* ketika berada di dekat *base station* pemancar. Tetapi, akan terjadi sebaliknya jika perangkat pengguna jaringan seluler jauh dari stasiun pemancar transmisi, nilai akan turun dengan selisih yang sangat besar yaitu mencapai nilai keandalan hanya 25,2% pada jarak 900 meter dari BTS. Nilai keandalan/*reliability* turun dengan drastis.

Hasil grafik di jaringan Wi-Fi terlihat lebih dapat diandalkan, yaitu jika pengguna hanya berjarak 100 meter dari Router Wi-Fi / Access Point, nilai keandalannya adalah 81%, dan kemudian menurun secara bertahap sehingga pada jarak 900 meter nilai reliabilitas yang didapat adalah 27% lebih baik dibandingkan dengan jaringan seluler 5G pada jarak tersebut.

Faktor keandalan adalah faktor pertama yang harus dipertimbangkan untuk menentukan kapan wi-fi offloading dilakukan untuk beradaptasi dengan kebutuhan pengguna. Ini dapat dianalisis bahwa nilai keandalan yang tinggi akan memberikan kondisi transmisi yang stabil pada perangkat pengguna untuk memenuhi kebutuhan mereka. Kondisi stabil ini diperlukan untuk memberikan pengalaman konektivitas yang nyaman bagi pengguna.

4.5 Nilai Packet Loss Setelah Implementasi Algoritma Wifi Offloading

Berikutnya adalah nilai packet loss dari hasil simulasi. Dapat dilihat bahwa packet loss pada jaringan Wi-Fi jauh lebih kecil daripada di area jaringan 5G. Kemungkinan karena adanya berbagai hal selama data menyebar di udara, interferensi elektromagnetik dan gangguan lainnya, sehingga mengakibatkan hilangnya paket pada jaringan 5G, yang memiliki teknologi broadband dibandingkan dengan jaringan Wi-Fi. Dari grafik dibawah dapat dilihat bahwa kedua jaringan memiliki tingkat kehilangan paket yang semakin besar jika semakin jauh dari transmiter. Namun, jaringan Wi-Fi memiliki nilai yang lebih baik daripada jaringan 5G.



Gambar 4.5 Grafik Hasil Nilai Offloading Packet Loss

Tabel 4.8 Hasil Packet Loss Jaringan Wifi dan 5G

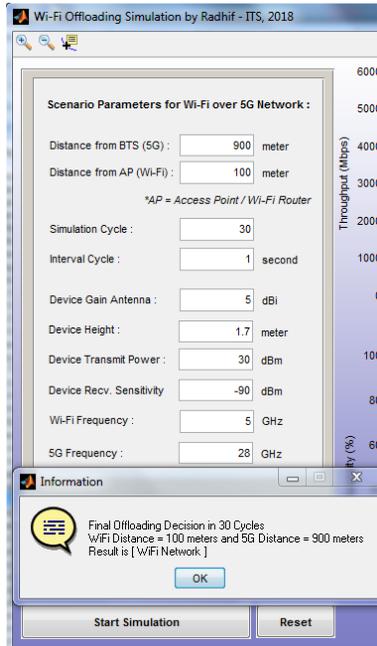
Jarak (meter)	Nilai Packet Loss (Mbytes)	
	Jaringan Wifi	Jaringan 5G
100	103.6921	120.6969
200	109.7127	126.7175
300	113.2345	130.2393

Jarak (meter)	Nilai <i>Packet Loss</i> (Mbytes)	
	Jaringan Wifi	Jaringan 5G
400	115.7333	132.7381
500	117.6715	134.6763
600	119.2551	136.2599
700	120.594	137.5989
800	121.7539	138.7587
900	122.7769	139.7818

Faktor kehilangan paket juga merupakan faktor penting karena terkait dengan batas kualitas layanan, dimana semakin besar nilai packet loss akan mempengaruhi penurunan jumlah data yang terkirim dalam transmisi data. Selain itu nilai packet loss juga mempengaruhi kemampuan untuk menentukan kapan teknologi wi-fi offloading harus dilakukan untuk beradaptasi dengan kebutuhan pengguna. Pengguna akan mengalami ketidaknyamanan dengan transmisi yang terputus atau terhambat jika nilai packet loss tinggi atau tidak dapat ditoleransi. Faktor nilai packet loss harus menjadi pertimbangan dalam menentukan proses offloading.

4.6 Penentuan Keputusan Hasil Implementasi Algoritma Adaptive Wi-fi Offloading pada Simulasi

Dari hasil *quality of service* implementasi algoritma adaptive wifi offloading, node user equipment mampu menentukan keputusan untuk melakukan migrasi ke jaringan wifi atau tetap pada jaringan 5G dengan membandingkan nilai kinerja yang dihasilkan sesuai dengan alur kerja algoritma adaptive wifi offloading. Simulasi dilakukan pada titik koordinat saat satu buah node berada pada 100 meter dari *access point wifi* dan 900 meter dari BTS jaringan 5G. Dan hasil keputusan algoritma adaptive wifi offloading pada jaringan dapat dilihat seperti gambar dibawah ini:



Gambar 4.6 Keputusan Algoritma Adaptive Wifi Offloading pada Simulasi

Gambar 4.6 memperlihatkan bahwa algoritma adaptive wifi offloading berhasil diimplementasikan didalam simulasi sistem pada titik 100 meter dari *access point wifi* dan 900 meter dari BTS jaringan 5G, yang menghasilkan keputusan untuk melakukan migrasi ke jaringan wifi. Hasil ini didapatkan setelah algoritma adaptive wifi offloading melakukan alur kerjanya dengan memilih nilai throughput jaringan wifi di jarak 100 meter yaitu sebesar 4563.8545 Mbps dibandingkan nilai throughput jaringan 5G pada jarak 900 meter yang berada pada nilai 1806.1668 Mbps. Berikutnya yaitu melakukan proses pemilihan dari hasil delay simulasi pada 100 meter jarak jaringan wifi sebesar 18.3626 ms dibandingkan dengan delay pada jarak 900 meter dari jaringan 5G yang bernilai 53.6324 ms. Selanjutnya dengan melihat kondisi nilai reliability dari jarak 100 meter pada jaringan wifi sebesar 81.1285% dan nilai reliability jarak 900 meter dari jaringan 5G yaitu 25.2549%. Setelah itu, alur berikutnya adalah memilih kondisi

packet loss jaringan wifi pada jarak 100 meter yaitu 103.6921 Mb dibandingkan dengan nilai packet loss jarak 900 meter dari jaringan 5G yang mengalami packet loss sebesar 139.7818 Mb. Sesuai alur kerja dari algoritma adaptive wifi offloading, kondisi tersebut menjadi acuan keputusan algoritma untuk melakukan migrasi ke jaringan wifi.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian Implementasi Algoritma *Adaptive Wi-Fi Offloading* pada Jaringan 5G ini adalah :

1. *Throughput*, *delay*, *reliability*, dan *packet loss* menjadi alur penentuan keputusan dilakukannya *offloading* dari jaringan 5G ke jaringan Wifi dan sebaliknya, melalui implementasi algoritma *adaptive wi-fi offloading* pada simulasi penelitian ini.
2. Penerapan algoritma *adaptive wifi offloading* mempunyai nilai *throughput* dan *reliability* yang lebih besar dibandingkan sebelum penerapan algoritma, dengan nilai parameter *reliability* sebesar 82%, dan nilai *throughput* terbesar yaitu 4564 Mbps > 4556 Mbps, serta memiliki *delay* yang lebih kecil jika dibandingkan dengan sebelum penerapan algoritma *adaptive wifi offloading* didalam simulasi penelitian ini, yaitu 18,3 ms < 94,3 ms. Dengan demikian, penerapan algoritma ini mampu menjadi pertimbangan untuk alternatif solusi permasalahan trafik data pada jaringan 5G di masa yang akan datang.

5.2 Saran

Untuk peningkatan hasil performansi maka perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan parameter yang lebih lengkap, dimana salah satunya melibatkan penggunaan sumber daya energi yang digunakan oleh perangkat untuk menjadi bagian dari penentuan keputusan serta acuan kapan proses offloading harus dilakukan.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alruhaili, T., Aldabbagh, G., Bouabdallah, F., Dimitrou, N., & Win, M., Performance Evaluation for Wi-Fi Offloading Schemes in LTE Networks. *International Journal of Computing & Information*. 2016.
- [2] Asvial, M., Budiyanto, S., & Gunawan, D., An Intelligent Load Balancing and Offloading in 3G - WiFi Offload Network Using Hybrid and Distance Vector Algorithm. Depok, Indonesia: Department of Electrical Engineering, University of Indonesia, IEEE. 2016
- [3] Chen, W.-H., Ren, Y., Chang, C.-W., & Chen, J.-C., Design and Analysis of Optimal Threshold Offloading Algorithm for LTE Femtocell/Macrocell Networks. Department of Computer Science, National Chiao Tung University, Hsinchu 300, Taiwan, IEEE. 2016
- [4] Cheng, N., Lu, N., Zhang, N., Xuemin, S. & Mark, J., Vehicular WiFi offloading: Challenges and solutions. Waterloo, Ontario, N2L 3G1, Canada: Department of Electrical and Computer Engineering, University of Waterloo. 2014
- [5] Gaspar, P., WiFi Offload Architectures. Cisco. 2011
- [6] Gusta, P. C., Data Communications And Computer Networks. New Delhi: Rajkarnal Electric Press. 2016
- [7] Hartpence, B., Packet Guide to Routing and Switching. O'Reilly Media Inc. 2012
- [8] Lee, K., Lee, J., Yi, Y., Rhee, I., & Chong, S., Mobile Data Offloading: How Much Can WiFi Deliver. *IEEE/ACM Transaction on Networking*, Vol. 21, No. 2. 2013
- [9] Melwin, S., Pengantar Jaringan Komputer. Yogyakarta: C.V. Andi Offset. 2015
- [10] Oppenheimer, P., Top Down Network Design (4th edition). Cisco Press. 2012
- [11] Pachauri, A. K., 5G Network a New Look into the Future: Beyond all Generation Networks. *American Journal of Systems and Software*. 2014, Vol. 2 - Science and Education Publishing. 2014
- [12] Rappaport, T. S., Wireless Communication Principle and Practice. Singapore: Pearson Pte. Ltd. 2016

- [13] Rohde&Schwarz GmbH & Co. KG [DE]., WLAN Traffic Offload in LTE. GSMA MWC. 2013
- [14] Solekan, Sistem Telekomunikasi, Telkom University, Bandung. 2012
- [15] Suh, D., Ko, H., & Pack, S., Efficiency Analysis of WiFi Offloading Techniques. The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2016
- [16] Usman, MT., I., & Rahmatillah, F., Performance Analysis of Data Traffic Offload Between 3G and Wifi, Universitas Telkom Journal, Bandung, 2015

LAMPIRAN

A. Lembar Pengesahan Proposal Tugas Akhir

Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro - ITS

EE 194801 TUGAS AKHIR - 6 SKS

Nama Mahasiswa : Radhif Irzan Musyafa
Nomer Pokok : 07111340000167
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Ganjil 2018/2019
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Endroyono, DEA.
Judul Tugas Akhir : **Implementasi Algoritma Adaptive Wi-Fi Offloading Pada Jaringan 5G**
(*Implementation Of Adaptive Wi-Fi Offloading Algorithm On 5G Networks*)

04 SEP 2018

Uraian Tugas Akhir :

Jaringan 5G adalah generasi terbaru dari konektivitas internet seluler yang menawarkan kecepatan yang lebih cepat dan koneksi yang lebih andal pada *smartphone* dan perangkat lain daripada sebelumnya, dengan menggabungkan teknologi jaringan terkini dengan penelitian yang paling mutakhir. Teknologi 5G menawarkan koneksi yang lebih cepat daripada saat ini, dengan kecepatan unduh rata-rata yang mencapai 1 Gbps yang diharapkan segera menjadi standar.

Saat ini lalu lintas data seluler global sedang mengalami peningkatan yang luar biasa dan tidak menunjukkan tanda perlambatan, karena peningkatan kecepatan akan berdampak pada penggunaan data seluler yang lebih tinggi di masa mendatang. Yang menjadi pertimbangan adalah meningkatnya penggunaan jumlah trafik data yang sangat besar secara signifikan. Hal ini merupakan kendala utama yang harus disediakan oleh penyedia layanan untuk memenuhi permintaan yang terus meningkat.

Teknologi Wi-Fi Offloading adalah alternatif solusi yang dapat digunakan untuk menangani masalah peningkatan trafik data pada jaringan seluler (Cheng, Lu, Zhang, Xuemin, & Mark, 2014), yaitu dengan memigrasikan lalu lintas data dari jaringan seluler yang membutuhkan biaya besar, ke infrastruktur Wi-Fi yang sederhana.

Namun penerapan Wi-Fi Offloading bukan tanpa masalah, pada Wi-Fi Global Congress 2015 yang diselenggarakan beberapa tahun yang lalu, beberapa operator layanan Wi-Fi memperingatkan bahwa kapasitas untuk layanan suara pada Wi-Fi sangat terbatas. Dengan kondisi yang terbatas tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk meramu algoritma yang efisien, agar teknologi Wi-Fi Offloading dapat digunakan dengan andal dan dapat beradaptasi dengan kebutuhan pengguna, yang secara cerdas mampu melakukan migrasi otomatis dari jaringan seluler ke jaringan Wi-Fi.

Dosen Pembimbing,

Dr. Ir. Endroyono, DEA.
NIP. 196504041991021001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dedet C. Riawan, ST, M.Eng, Ph.D.
NIP. 197309271998031004

Menyetujui,
Kepala Laboratorium Komunikasi
Multimedia

Dr. Ir. Endroyono, DEA.
NIP. 196504041991021001

B. List Program Penelitian Implementasi Algoritma *Adaptive Wifi Offloading* pada Jaringan 5G

File: cell area calculation.m

```
function [ CellArea ] =  
cell_area_calculation( d )  
%AREA_CALCULATION Summary of this function  
goes here  
% Detailed explanation goes here  
  
CellArea = 2.6 * (d ^ 2);  
End
```

File: cell calculation.m

```
function [ AmountCell ] = cell_calculation(  
Area, CellArea )  
%CELL_CALCULATION Summary of this function  
goes here  
% Detailed explanation goes here  
  
AmountCell = Area / CellArea;  
end
```

File: cell radius.m

```
function [ d ] = cell_radius( NLos,  
Distance2, Frequency5G, FreqCorrection,  
AntennaRecvCorrection, PathLossExponent )  
%CELL_RADIUS Summary of this function goes  
here  
% Detailed explanation goes here  
  
b1 = (4 * pi) * Distance2 * Frequency5G *  
(10^9);
```

```

b2 = 3 * (10^8);
b = b1/b2;

a = NLos - (20 * log10(b))-
FreqCorrection+(AntennaRecvCorrection);
c = 10 * PathLossExponent;

d = abs(10*(a/c))*100;
end

```

File: coverage_planning.m

```

function [ RData ] = coverage_planning( Dist
)
%CV_CALC Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here

%% --- Parameters of Simulator Scenario
global Frequency5G;
global RSUHeight;
global OBUHeight;
global Area;

%% --- Parameters of Parameter downlink new
radio enode B to RSU
global MaxTxPower;
global TxAntennaGain;
global TxAntennaHeight;
global CableLoss;
global ReceiverSensitivity;
global InterfaceMargin;
global ControlChannel;
global ReceiverAntennaGain;
global BodyLoss;

%% --- Parameters of Cell Radius Calculation
global FreqCorrection;
global AntennaRecvCorrection;

```

```

global PathLossExponent;

%% --- EIRP Calculation
[ EIRP ] = eirp_calculation( MaxTxPower,
TxAntennaGain, CableLoss )

%% --- MAPL Calculation
[ MAPL ] = mapl_calculation( EIRP,
ReceiverSensitivity, InterfaceMargin,
ControlChannel, ReceiverAntennaGain, BodyLoss
)

%% --- NLos Calculation
[ NLos ] = nlos_calculation( Dist,
Frequency5G, TxAntennaHeight, OBUHeight )

%% --- Cell Radius Calculation
[ d ] = cell_radius( NLos, Dist, Frequency5G,
FreqCorrection, AntennaRecvCorrection,
PathLossExponent )

%% --- Cell Area Calculation (in KM sq.)
[ CellArea ] = cell_area_calculation( d );

% convert to KM sq.
CellArea = CellArea / 1000000

%% --- Amount Cell Calculation (Round Up)
[ AmountCell ] = cell_calculation( Area,
CellArea );
AmountCell = ceil(AmountCell)

%% --- Datarate Calculation
[ RData ] = datarate_calculation()

```

```
end
```

File: datarate calculation.m

```
function [ RData ] = datarate_calculation(
input_args )
%DATA_RATE_CALCULATION Summary of this
function goes here
% Detailed explanation goes here
RData = (log2(64) * (1/2) * 52)/8;
```

```
end
```

File: eirp calculation.m

```
function [ EIRP ] = eirp_calculation(
MaxTxPower, TxAntennaGain, CableLoss )
%EIRP_CALC Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
```

```
EIRP = MaxTxPower + TxAntennaGain -
CableLoss;
```

```
end
```

File: link budget 5G.m

```
function [ SNR, Pr, l ] = link_budget_5G(
Dist )
%CV_CALC Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
```

```
%% --- Coverage Planning Calculation for
Parameter downlink RSU to OBU
```

```
%% --- Parameters of Simulator Scenario
```

```

global MaxTxPower;
global TxAntennaGain;
global OBUGainAntenna;

%% --- Propagation Radio Calculation
[ Pr ] = propagation_radio_calculation(
MaxTxPower, TxAntennaGain, OBUGainAntenna,
Dist );

% convert to dbm
Pr = 10 * log10(Pr)

%% --- Loss Propagation Calculation
[ l ] = loss_propagation_calculation( Pr,
MaxTxPower, TxAntennaGain, OBUGainAntenna )

%% --- SNR Calculation
[ SNR ] = SNR_calculation( l, MaxTxPower,
OBUGainAntenna )
end

```

File: link budget wifi.m

```

function [ SNR, Pr, l ] = link_budget_wifi(
Dist )
%CV_CALC Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here

%% --- Parameters of Simulator Scenario
global DSRCTransmitPower;
global DSRCGainAntenna;
global OBUGainAntenna;

%% --- Propagation Radio Calculation
[ Pr ] = propagation_radio_calculation(
DSRCTransmitPower, DSRCGainAntenna,
OBUGainAntenna, Dist );

```

```

% convert to dbm
Pr = 10 * log10(Pr)

%% --- Loss Propagation Calculation
[ l ] = loss_propagation_calculation( Pr,
DSRCTransmitPower, DSRCGainAntenna,
OBUGainAntenna )

%% --- SNR Calculation
[ SNR ] = SNR_calculation( l,
DSRCTransmitPower, OBUGainAntenna )
end

```

File: loss_propagation_calculation.m

```

function [ l ] =
loss_propagation_calculation( Pr,
DSRCTransmitPower, DSRCGainAntenna,
OBUGainAntenna )
%LOSS_PROPAGATION_CALCULATION Summary of this
function goes here
% Detailed explanation goes here

l = DSRCTransmitPower - (Pr) +
DSRCGainAntenna + OBUGainAntenna;
end

```

File: main.m

```

clc;
clear;

%% --- Parameters of Simulator Scenario
global Frequency5G;
global DSRCFrequency;

```

```

global RSUHeight;
global DSRCTransmitPower;
global DSRCGainAntenna;
global DSRCRecvSensitivity;
global OBUGainAntenna;
global OBUHeight;
global OBUTransmitPower;
global OBURecvSensitivity;
global Bandwidth;
global Distance;
global VehicleSpeed;
global Area;
global Latency;

%% --- Parameters of Parameter downlink new
radio enode B to RSU
global Bandwidth1;
global DataRate;
global MaxTxPower;
global TxAntennaGain;
global TxAntennaHeight;
global CableLoss;
global SINR;
global ReceiverSensitivity;
global InterfaceMargin;
global ControlChannel;
global ReceiverAntennaGain;
global BodyLoss;

%% --- Parameters of Cell Radius Calculation
global FreqCorrection;
global AntennaRecvCorrection;
global PathLossExponent;

%% --- Default Values of Parameters of
Simulation Scenario
Frequency5G = 28;
DSRCFrequency = 5.9;

```

```

RSUHeight = 7;
DSRCTransmitPower = 33;
DSRCGainAntenna = 10;
DSRCRecvSensitivity = -95;
OBUGainAntenna = 5;
OBUHeight = 1.7;
OBUTransmitPower = 30;
OBURecvSensitivity = -90;
TxAntennaHeight = 20;
Distance = 900;
VehicleSpeed = 10;
Area = 1;
Latency = 0.5;

%% --- Default Values of Parameters of
Parameter downlink new radio enode B to RSU
Bandwidth = 20;
DataRate = 1024;
MaxTxPower = 46;
TxAntennaGain = 18;
CableLoss = 2;
SINR = -9;
ReceiverSensitivity = -95;
InterfaceMargin = 3;
ControlChannel = 20;
ReceiverAntennaGain = 10;
BodyLoss = 0;

%% --- Default Values of Cell Radius
Calculation
FreqCorrection = 6.63;
AntennaRecvCorrection = -5.87;
PathLossExponent = 4.79;

% Start Simulation GUI
sim_gui;

```

File: mapl calculation.m

```
function [ MAPL ] = mapl_calculation( EIRP,
ReceiverSensitivity, InterfaceMargin,
ControlChannel, ReceiverAntennaGain, BodyLoss
)
%MAPL_CALC Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here

MAPL = EIRP - ReceiverSensitivity -
InterfaceMargin - (ControlChannel/100) +
ReceiverAntennaGain - BodyLoss;
end
```

File: nlos calculation.m

```
function [ NLos ] = nlos_calculation(
Distance2, Frequency5G, RSUHeight, OBUHeight
)
%NLOS Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here

NLos = 35.3 * log10(Distance2) + 22.4 + 21.3
* log10(Frequency5G) - 0.3 * (RSUHeight -
OBUHeight);
end
```

File: output calculation.m

```
function [ C, Rl, t] = output_calculation(
SNR, Pr, RData, Bandwidth )
%OUTPUT_CALCULATION Summary of this function
goes here
% Detailed explanation goes here

%% --- Output Calculation for Analysis
Simulation
```

```

%% --- Parameters of Simulator Scenario
global Frequency5G;

%% --- Throughput Calculation

% convert SNR to numeric
SNRnum = 10^(SNR/10);
t = log2(1 + SNRnum);
C = RData * (Bandwidth) * t

%% --- Reliability Calculation
Rl = ((C + Pr)/Pr) * 1 % percentage
Rl = Rl * 0.99
Rl = 0.99 - Rl
end

```

File: propagation radio calculation.m

```

function [ Pr ] =
propagation_radio_calculation(
DSRCTransmitPower, DSRCGainAntenna,
OBUGainAntenna, Distance )
%PROPAGATION_RADIO_CALCULATION Summary of
this function goes here
% Detailed explanation goes here

a = DSRCTransmitPower * DSRCGainAntenna *
OBUGainAntenna * 0.0508^2;
b = ((4*pi)^2) * (Distance^2) * 1;

Pr = a/b;

end

```

File: SNR calculation.m

```
function [ SNR ] = SNR_calculation( l,  
DSRCTransmitPower, OBUGainAntenna )  
%SNR Summary of this function goes here  
% Detailed explanation goes here  
  
SNR = DSRCTransmitPower - (-110) - l -  
OBUGainAntenna;  
end
```

RIWAYAT PENULIS



Radhif Irzan Musyafa, lahir di Pekalongan tanggal 25 Januari 1995. Menempuh pendidikan formal lulusan SD Negeri 02 OKU Sumatera Selatan tahun 2007, SMP Negeri 1 Palembang tahun 2010, dan SMA Plus Negeri 17 Palembang lulus pada tahun 2013. Setelah lulus dari SMA, penulis memilih melanjutkan pendidikan di S1 Teknik Elektro, pada bidang studi Telekomunikasi dan Multimedia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama menempuh Pendidikan, penulis aktif pada berbagai kegiatan dalam bidang akademik dan non-akademik meliputi kepanitiaan seperti Koordinator Acara di event terbesar KM-ITS yaitu ITS Expo, aktif sebagai profesional MC, penyiar radio, dan berbagai macam kegiatan lain. Penulis dapat dihubungi melalui kontak e-mail: radhif.irzan@gmail.com