

ANALISIS PERFORMANSI TRAFFIC OFFLOAD DATA VIDEO STREAMING LTE KE WLAN 802.11n

Andreana Y Prasetya¹, Arfianto Fahmi², Uke K Usman³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹andreanayunioprasetya@gmail.com, ²arfiantof@telkomuniversity.ac.id

³ukeuseman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pertumbuhan pengguna layanan data jaringan seluler berkembang pesat yang mengakibatkan beban trafik semakin meningkat. Agar beban trafik tetap stabil dan performansi kapasitas jaringan meningkat, dapat menggunakan teknik traffic offload / data offload. Traffic offload / data offload adalah penggunaan teknologi jaringan yang saling melengkapi untuk memberikan akses data bagi pelanggan seluler. Pada penelitian ini dilakukan analisis dan simulasi traffic offload data dari jaringan LTE ke jaringan WLAN 802.11n dengan menggunakan tiga skenario. Skenario 1 yaitu pemodelan sel jaringan WLAN 802.11n berada didalam lingkup sel jaringan LTE, skenario 2 yaitu pemodelan sel jaringan WLAN 802.11n berisikan dengan lingkup sel jaringan LTE, dan skenario 3 yaitu pemodelan sel jaringan WLAN 802.11n berada diluar lingkup sel jaringan LTE. Analisis dilakukan dengan mengamati parameter Received Signal Strength (RSRP dan RSL), LTE user, Offload user, Drop user, Cell Capacity, dan Throughput. Hasil penelitian skenario 1 diperoleh jumlah user LTE sebanyak 613 user, user offload sebanyak 18 user, user Wi-Fi sebanyak 18 user, dan user drop sebanyak 104 user dari total 735 users. Dengan average capacity per user LTE meningkat sebesar 6.38% (0.113425 Mbps) dan LTE system capacity meningkat sebesar 3.34% (69.52943Mbps). Hasil penelitian skenario 2 diperoleh jumlah user LTE sebanyak 620 user, user offload sebanyak 11 user, user Wi-Fi sebanyak 19 user, dan user drop mengalami penurunan sebanyak 8 user menjadi 96 user dari total 735 users. Dengan average capacity per user LTE meningkat sebesar 3.8% (0.110679 Mbps) dan LTE system capacity meningkat sebesar 1.99% (68.6208 Mbps). Hasil penelitian skenario 3 diperoleh jumlah user LTE sebanyak 631 user, user offload sebanyak 0 user, user Wi-Fi sebanyak 13 user, dan user drop mengalami penurunan sebanyak 13 user menjadi 91 user dari total 735 users. Dengan average capacity per user LTE tidak mengalami peningkatan (0.106622 Mbps) dan LTE system capacity tidak mengalami peningkatan (67.2786 Mbps) dengan maksimum offload user untuk skenario 1, 2, dan 3 sebanyak 27 user.

Kata kunci: 4G(LTE), WLAN 802.11n, Traffic Offload, Data Offload.

1. Pendahuluan

Banyak operator telekomunikasi dunia sudah mengalami fenomena dimana pertumbuhan pelanggan data audio/video jauh mengalahkan layanan suara dan SMS ^[1]. Trafik jaringan untuk data audio/video tentunya membutuhkan bandwidth tinggi ^[4]. Sebenarnya 3G belum tuntas digelar di seluruh dunia namun sudah tidak mampu menjawab kebutuhan pesat data ini. Jika dahulu kita sudah cukup berbahagia dengan menjelajah halaman web dan membuka email, maka sekarang kita berharap dengan mudah mengirimkan gambar, suara, bahkan video dengan waktu yang singkat. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut operator terus mengembangkan infrastrukturnya ^[1].

Long Term Evolution (LTE) adalah jaringan akses radio evolusi jangka panjang keluaran dari 3rd Generation Partnership Project (3GPP) yang merupakan kelanjutan dari teknologi generasi ketiga (3G) WCDMA-UMTS. LTE release 8 dapat menjadi solusi dimana pesat data puncak downlink mencapai 300 Mbps dan uplink pesat data puncak mencapai 75 Mbps pada bandwidth 20MHz serta dapat meningkatkan layanan broadcast. Seiring dengan bertambahnya populasi penduduk dan permintaan akses data yang terus meningkat, tentunya akan mempengaruhi kapasitas sistem jaringan seluler itu sendiri. Ketika kapasitas sistem tersebut tidak mampu lagi menangani traffic user yang semakin meningkat, maka akan mengakibatkan adanya lonjakan trafik atau overload trafik yang berdampak buruk bagi kualitas sistem itu sendiri ^[1].

Menurut Cisco System, pada tahun 2015 kebutuhan trafik data akan mencapai 26 kali lebih tinggi dibandingkan tahun 2010, terutama untuk layanan mobile video ^[2]. Agar beban trafik tetap stabil dan performansi kapasitas jaringan meningkat, operator seluler dapat mengalihkan layanan datanya melewati jaringan Wi-Fi yang bisa disebut juga teknik traffic offload / data offload yang disediakan operator di tempat-tempat umum. Traffic offload / data offload merupakan teknik yang memanfaatkan jaringan teknologi lain untuk mengirim data ke pengguna seluler. Wi-Fi merupakan teknologi wireless standar IEEE 802.11 yang menyediakan komunikasi high speed internet, saat ini pengembangan Wi-Fi bervariasi dari 802.11a/b/g/n/ac sekaligus menawarkan data rate yang tinggi. Selain itu Wi-Fi memiliki bandwidth yang lebar, keamanan, dan Quality of Service (QoS) yang baik. Standar IEEE 802.11n mampu memberikan datarate teoritis maksimum hingga 600 Mbps ^[3].

Pada penelitian ini disusun suatu perencanaan traffic offload data video streaming LTE ke WLAN 802.11n. Kemudian dilakukan analisis dan simulasi performansi traffic offload / data offload antara LTE dengan WLAN 802.11n pada software MATLAB R2016a dengan arsitektur interworking Seamless Internetnetwork Flow Mobility (SIFM). Analisis dilakukan dengan mengamati parameter Received Signal Strength (RSRP & RSL), LTE User, Drop User, Cell Capacity dan Throughput.

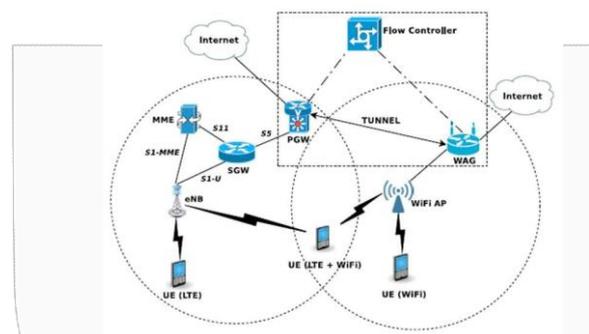
2. Dasar Teori

2.1 Konsep Dasar Traffic Offload^[4]

Traffic offload / data offloading adalah penggunaan teknologi jaringan yang saling melengkapi untuk memberikan akses data bagi pelanggan selular. Tujuan untuk melakukan traffic offload data / mobile data offloading didasarkan pada pengendalian biaya layanan data dan ketersediaan bandwidth yang lebih tinggi. Tujuan lainnya, untuk mengatasi collision pada jaringan selular. Teknologi jaringan utama yang saling melengkapi digunakan untuk traffic offload data / mobile data offloading adalah Wi-Fi, Femtocell, dan Broadcast Handphone Terpadu.

Wi-Fi kini digunakan untuk memperluas layanan dan fungsionalitas jaringan selular dengan memanfaatkan lingkungan akses Wi-Fi. Hal ini disebabkan oleh trafik data pada jaringan mobile yang meningkat pesat, dan operator selular harus mengatur jaringan mereka untuk memenuhi kebutuhan pelanggan. Wi-Fi juga memiliki kelebihan tersendiri bagi operator, yakni menawarkan kecepatan data yang tinggi dengan mobilitas yang rendah, ketersediaan standar untuk integrasi ke jaringan mobile core, dan efisiensi biaya dari segi spektrum frekuensi dan infrastruktur^[6]. Operator jaringan selular umumnya merancang jaringan LTE dengan menggunakan kombinasi antara macro cell dengan beberapa micro atau pico cell.

2.2 Arsitektur Performansi Traffic Offload antara LTE dengan Wi-Fi^[4]



Gambar 1 SIFM architecture for LTE and Wi-Fi network^[4]

SIFM merupakan suatu arsitektur baru (gambar 1) yang mengatasi kelemahan dari arsitektur yang sudah ada dengan memanfaatkan konsep dari PMIPv6 dan Software Defined Networking (SDN). Namun pada penelitian ini tidak akan membahas mengenai SDN. Tujuan dari arsitektur SIFM terdefinisi pada Flow Controller (FC), FC hanya melaksanakan fungsi mobilitas. PGW di jaringan LTE dan WAG di jaringan Wi-Fi bertindak sebagai openflowhybrid switch / MA (Mobility Agent) yang melakukan signalling terkait mobility untuk kepentingan UE. PGW dan WAG mengikuti instruksi dari FC ketika mobile node akan berpindah dari jaringan LTE ke jaringan Wi-Fi dengan tujuan untuk menyediakan seamless transition.

Pada gambar 1, terrepresentasikan arsitektur SIFM untuk jaringan LTE dan Wi-Fi. Pada sisi kiri arsitektur menunjukkan komponen-komponen EPC pada jaringan LTE sedangkan pada sisi kanan menunjukkan komponen pada jaringan Wi-Fi. Komponen utama pada SIFM ini adalah (1) Flow Controller (FC), (2) Mobility Agent (MA), (3) User Equipment (UE). Pada gambar 1, EPC packet gateway (PGW) dan wireless access gateway (WAG) bertindak sebagai MA. PGW dan WAG menghubungkan UE ke internet dan juga berkomunikasi dengan FC. Berdasarkan instruksi aliran yang diberikan oleh FC, mobile data dapat mengalir baik pada jaringan LTE atau di offload melalui tunnel antara PGW dan WAG untuk mencapai UE melalui jaringan Wi-Fi. Autentikasi diantara kedua jaringan ini sangat penting terhadap aspek offloading, namun pada penelitian ini tidak akan membahasnya. 3GPP standard TS 24.234 v12.2.0 mengusulkan EAP SIM dan EAP AKA yang dapat dijadikan dasar mekanisme autentikasi.

2.3 Model Sistem

Model yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi dua bagian. Model macro cell menggunakan LTE sistem dan pico sel menggunakan WLAN 802.11n sistem. Dengan detail sebagai berikut:

A. Distribusi User

Model distribusi user pada penelitian ini adalah random yang tersebar disekitar cakupan sel LTE dan WLAN 802.11n

B. LTE Propagation Model

Model propagasi yang digunakan adalah perhitungan Cost231, dengan perhitungan sebagai berikut:

f = Frek Carrier, h_b = Tinggi antenna BS, h_r = Tinggi antenna user, C_m = Urban area

$$L_{p,urban} = 46.3 + 33.9 \log_{10} f + 13.82 \log_{10} h_b + 44.9 + 6.55 \log_{10} \log_{10} f \quad [7]$$

$$L_{p,suburban} = 1.1 \log_{10} f + 0.7 \log_{10} h_b + 1.56 \log_{10} f + 0.8 \quad [7]$$

C. WLAN 802.11n Propagation Model

Model propagasi yang digunakan adalah perhitungan Cost231 multiwall, dikarenakan asumsi AP berada dalam indoor dengan perhitungan sebagai berikut:

f = Frek carrier, n_f = Lantai ke-, n_{wi} = jumlah dinding, L_{wi} = tipe dinding loss, L_f = Loss per lantai, b = Parameter empirik

$$L_{p,indoor} = 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} h_b + 32.5$$

D. Parameter Simulasi

Parameter input yang ditetapkan untuk simulasi menggunakan MATLAB R2016a berdasarkan perhitungan link budget pada LTE dan WLAN 802.11n adalah sebagai berikut.

Tabel 1 Parameter Input Simulasi

| Parameter | LTE | WLAN 1 | WLAN 2 | WLAN 3 |
|----------------------------|---------------------|-----------------|------------------|------------------|
| | Nilai | | | |
| Radius Sel (m) | 567,37 | 78,49 | | |
| Pusat koordinat (x,y)(m) | (567,37 567,37) | (990,76 811,81) | (851,06 1.058,7) | (567,37 1.213,2) |
| Power antenna (dBm) | 43 | 20 | | |
| Gain antenna Tx (dBi) | 18 | 4 | | |
| Gain antenna Rx (dBi) | 0 | 0 | | |
| RSS Treshold Minimal (dBm) | -94,1 -96,76 -99,02 | -90 | | |
| Frekuensi (MHz) | 1800 | 2400 | | |
| Kapasitas Sel | 1470 | 41 | | |
| Jumlah User | 735 | | | |

Pada Tabel 1 parameter simulasi untuk jaringan LTE dan WLAN 802.11n. Asumsi yang digunakan pada penelitian ini user secara simultan downloading yang memiliki akses dan prioritas yang sama (fair access) pada jaringan LTE maupun WLAN 802.11n.

Tabel 2 LTE & WLAN MCS Schemes^[5]

| MCS Index | Receive sensitivity (dBm) | Physical datarate (Mbps) LTE (20MHz) | MCS Index | Receive sensitivity (dBm) | Physical datarate (Mbps) 802.11n (20MHz) |
|-----------|---------------------------|--------------------------------------|-----------|---------------------------|--|
| MCS1 | -96 | 32 | MCS8 | -90 | 14.4 |
| MCS2 | -94.2 | 48 | MCS9 | -90 | 28.9 |
| MCS3 | -92.5 | 64 | MCS10 | -89 | 43.3 |
| MCS4 | -90 | 96 | MCS11 | -86 | 57.8 |
| MCS5 | -88.5 | 128 | MCS12 | -82 | 86.7 |
| MCS6 | -86 | 154 | MCS13 | -78 | 115.6 |
| MCS7 | -83.7 | 144 | MCS14 | -77 | 130 |
| MCS8 | -82 | 192 | MCS15 | -75 | 144.4 |

Tabel 2 menunjukkan modulation and coding schemes (MCS) yang digunakan disimulasi. Physical datarate pada LTE dan WLAN 802.11n menggunakan bandwidth 20 Mhz.

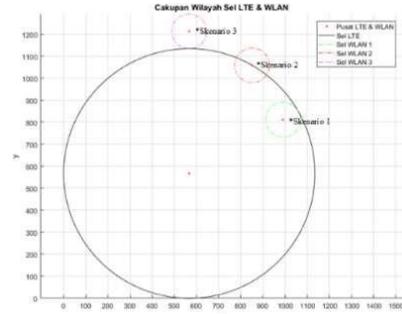
3. Pembahasan

3.1 Model Perancangan

Model perancangan dan simulasi yang digunakan penelitian ini dilakukan 3 skenario seperti pada gambar 2 yaitu:

A. Skenario 1

Pada skenario ini dilakukan pemodelan sel jaringan WLAN 802.11n berada secara menyeluruh dalam lingkup sel jaringan LTE (Gambar 2). Penyebaran user secara random dengan jarak maksimum 700 m dari pusat jaringan LTE. Selanjutnya menganalisis kondisi trafik LTE, LTE user, offload user, Wi-Fi user, drop user, dan throughput sebelum dan setelah terjadinya offload. Dengan nilai RSRPthrs = -94.1 dBm dan RSLthrs = -90.



Gambar 2 Skenario Simulasi

B. Skenario 2

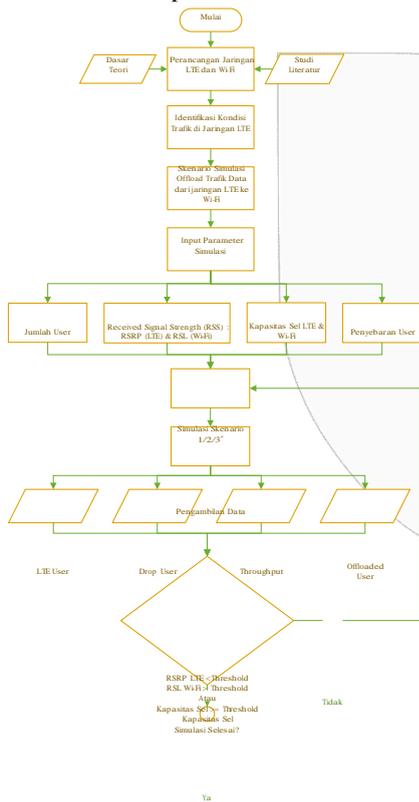
Pada skenario ini dilakukan pemodelan sel jaringan WLAN 802.11n beririsan dengan lingkup sel jaringan LTE (Gambar 2). Penyebaran user secara random dengan jarak maksimum 700 m dari pusat jaringan LTE. Selanjutnya menganalisis kondisi trafik LTE, LTE user, offload user, Wi-Fi user, drop user, dan throughput sebelum dan setelah terjadinya offload. Dengan nilai RSRPthrs = -96.7 dBm dan RSLthrs = -90.

C. Skenario 3

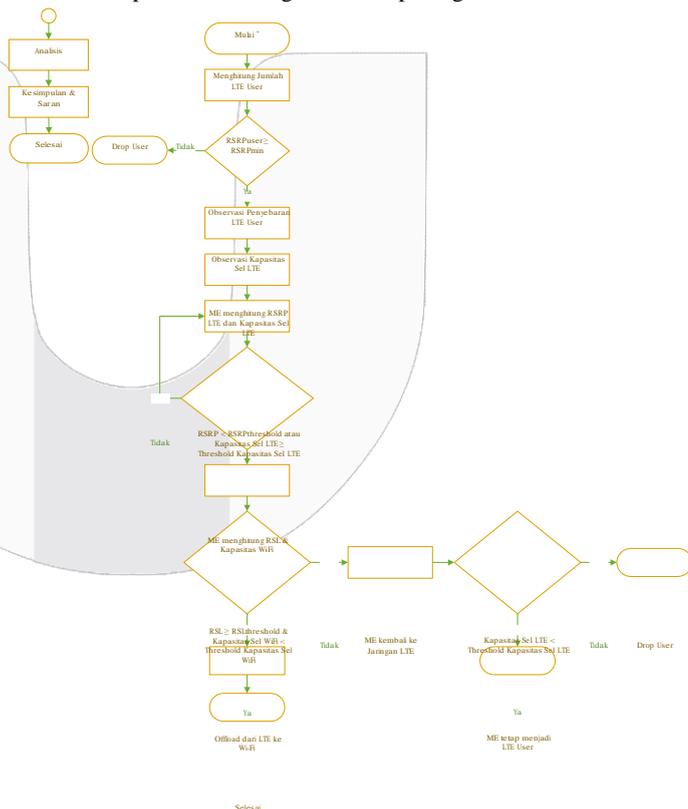
Pada skenario ini dilakukan pemodelan sel jaringan WLAN 802.11n berada diluar lingkup sel jaringan LTE (Gambar 2). Penyebaran user secara random dengan jarak maksimum 700 m dari pusat jaringan LTE. Selanjutnya menganalisis kondisi trafik LTE, LTE user, offload user, Wi-Fi user, drop user, dan throughput sebelum dan setelah terjadinya offload. Dengan nilai RSRPthrs = -99.017 dBm dan RSLthrs = -90.

3.2 Diagram Alir

Untuk mencapai tujuan penelitian ini maka diperlukan langkah-langkah yang sistematis dan terstruktur. Secara umum alur kerja digambarkan pada gambar 3 yang mencakup tahapan-tahapan kerja yang akan dilakukan dalam penelitian ini dan alur kerja secara rinci per skenario digambarkan pada gambar 4.



Gambar 3 Diagram Alir Sistem



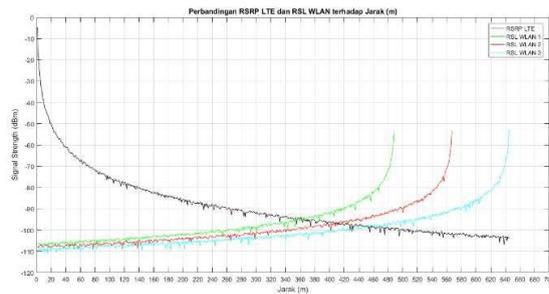
Gambar 4 Diagram Alir Skenario

3.3 Analisis Hasil Simulasi Pengaruh Jarak terhadap Nilai RSRP dan RSL

Dari hasil simulasi yang dilakukan, Reference Signal Received Power (LTE) dan Received Signal Level (WLAN 802.11n) dijadikan acuan utama dimana user dapat dilayani oleh suatu jaringan. Tentu berbagai macam

faktor dapat mempengaruhi suatu kualitas sinyal yang diterima oleh user. Seperti, rugi-rugi kanal, noise figure, interference, fading, penetration loss, dan juga jarak. Jarak dapat dijadikan suatu acuan dimana user memiliki

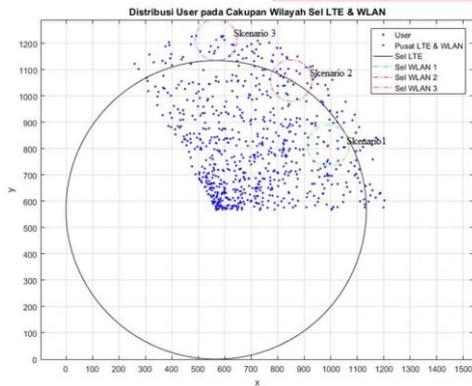
suatu nilai RSRP/RSL yang memodelkan modulasi bagi user tersebut seperti pada gambar 5 dibawah ini dan tipe modulasi (MCS) pada tabel 2.



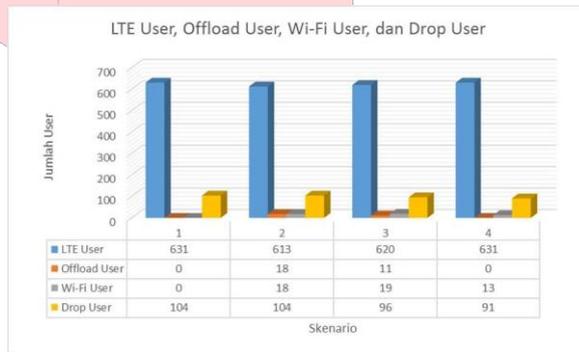
Gambar 5 Hasil Simulasi Pengaruh Jarak terhadap RSRP dan RSL

3.4 Analisis LTE User, Offload User, Wi-Fi User, dan Drop User

Simulasi Traffic Offload Data dari LTE ke WLAN 802.11n dilakukan dengan menggunakan software MATLAB R2016a dan mendapatkan hasil keluaran dari parameter yang telah ditentukan untuk dianalisis. Pelaksanaan simulasi dilakukan dengan terlebih dahulu memasukan parameter simulasi. Dari simulasi yang telah dilakukan, diperoleh LTE user, Offload user, Drop user, Received Signal Strength (RSRP & RSL), dan Throughput yang kemudian dianalisis. Skenario simulasi yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.



Gambar 6 Hasil Simulasi Distribusi User



Gambar 7 Grafik LTE, Offload, Wi-Fi, dan Drop user

A. Analisis Skenario 1

Dari hasil simulasi skenario 1 (skenario 2 pada gambar 7), diperoleh jumlah user LTE sebanyak 613 user (total user yang memiliki nilai RSRP ≥ -99.02 dBm), user offload sebanyak 18 user (total user yang memiliki nilai RSRP ≥ -99.02 dBm dan RSL1 ≥ 90 dBm), user Wi-Fi sebanyak 18 user, dan user drop sebanyak 104 user (total user yang memiliki nilai RSRP < -99.02 dBm dan RSL1 < 90 dBm) dari total 735 users. Mengacu pada skenario 1 (gambar 7) jumlah user LTE mengalami penurunan dikarenakan 18 user (offload user) yang sebelumnya terlayani oleh jaringan LTE berpindah ke jaringan WLAN 802.11n. Total user yang tersambung jangn jaringan Wi-Fi sebanyak 18 user, sama dengan jumlah offload user disebabkan sel Wi-Fi menyeluruh berada dalam sel LTE.

B. Analisis Skenario 2

Dari hasil simulasi skenario 2 (skenario 3 pada gambar 7), diperoleh jumlah user LTE sebanyak 620 user (total user yang memiliki nilai RSRP ≥ -99.02 dBm), user offload sebanyak 11 user (total user yang memiliki nilai RSRP ≥ -99.02 dBm dan RSL2 ≥ 90 dBm), user Wi-Fi sebanyak 19 user, dan user drop sebanyak 96 user (total user yang memiliki nilai RSRP < -99.02 dBm dan RSL2 < 90 dBm) dari total 735 users. Mengacu pada skenario 1 (gambar 7) jumlah user LTE mengalami penurunan sebanyak 11 user (offload user) dikarenakan sebelumnya terlayani oleh jaringan LTE berpindah ke jaringan WLAN 802.11n. Total user yang tersambung jangn jaringan WLAN 802.11n sebanyak 19 user, dan drop user mengalami penurunan menjadi 96 user. Berbeda dengan skenario 1 (skenario 2 pada gambar 7), user offload dengan user Wi-Fi memiliki selisih 8 user, itu dikarenakan 8 user (total user yang memiliki nilai RSRP < -99.02 dBm dan RSL1 ≥ 90 dBm) tersambung dengan jaringan Wi-Fi namun sebelumnya (skenario 1 pada gambar 7) berada diluar cakupan sel LTE.

C. Analisis Skenario 3

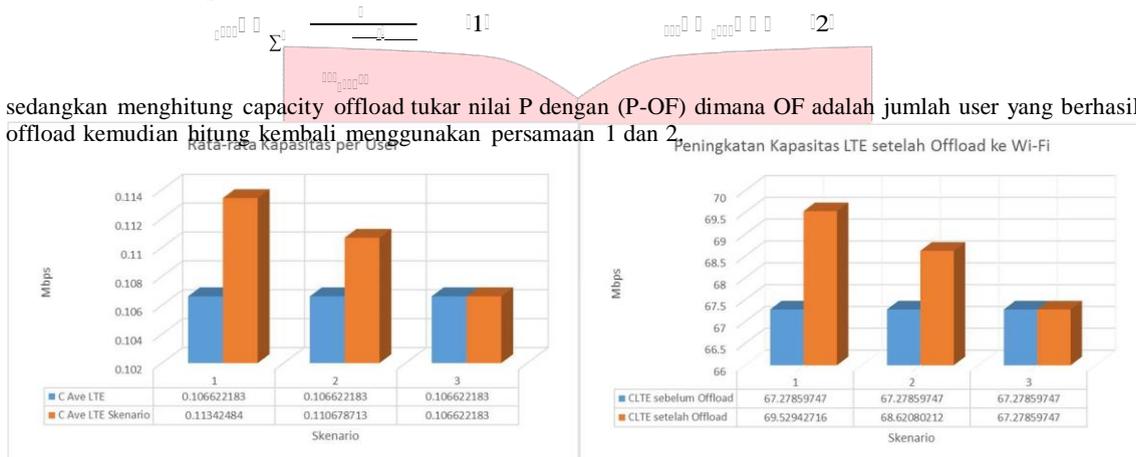
Dari hasil simulasi skenario 3 (skenario 4 pada gambar 7), diperoleh jumlah user LTE sebanyak 631 user (total user yang memiliki nilai RSRP ≥ -99.02 dBm, user offload sebanyak 0 user, user Wi-Fi sebanyak 13

user (total user yang memiliki nilai RSRP < -99.02 dBm dan RSL3>=-90 dBm), dan user drop (total user yang memiliki nilai RSRP < -99.02 dBm dan RSL3<-90 dBm) sebanyak 91 user dari total 735 users. Mengacu pada skenario 1 (gambar 7) jumlah user LTE tidak mengalami penurunan dikarenakan sel Wi-Fi berada di luar sel LTE yang menyebabkan tidak adanya user yang berpindah jaringan. Kemudian, user drop mengalami penurunan sebanyak 13 user itu dikarenakan 13 user yang sebelumnya tidak tersambung dengan jaringan LTE kini tersambung dengan jaringan WLAN 802.11n.

3.5 Analisis Kapasitas dan Throughput User

Pada simulasi yang dilakukan, total 735 user disebar secara random pada cakupan sel LTE dan WLAN 802.11n. Average physical data rate yang diperoleh oleh user bergantung pada jumlah user yang berada pada lingkup MCS yang sama. Average capacity per user dapat dihitung menggunakan persamaan 1 dan kapasitas sistem LTE menggunakan persamaan 2. Dari hasil simulasi yang dilakukan sebelum dilakukannya skenario offload, didapatkan average capacity per user sebesar 0.0748 Mbps (gambar 8) dan original LTE system capacity sebesar 51.6172 Mbps (gambar 9)

sedangkan menghitung capacity offload tukar nilai P dengan (P-OF) dimana OF adalah jumlah user yang berhasil offload kemudian hitung kembali menggunakan persamaan 1 dan 2,



Gambar 8 Rata-rata Kapasitas per User

Gambar 9 Peningkatan Kapasitas Sel LTE

A. Skenario 1

Dari hasil skenario 1 rata-rata kapasitas per user (gambar 8) mengalami peningkatan sebesar 6.38% menjadi 0.113425 Mbps dengan total 18 user offload, dan (gambar 9) kapasitas sistem LTE mengalami peningkatan menjadi 69.52943 Mbps. Dengan kata lain total kapasitas offload sistem LTE sebesar 2.25083 Mbps (3.34%).

B. Skenario 2

Dari hasil skenario 2 rata-rata kapasitas per user (gambar 8) mengalami peningkatan sebesar 3.8% menjadi 0.110679 Mbps dengan total 11 user offload, dan kapasitas sistem LTE (gambar 9) mengalami peningkatan menjadi 68.6208 Mbps. Dengan kata lain total kapasitas offload sistem LTE sebesar 1.342205 Mbps (1.99%).

C. Skenario 3

Dari hasil skenario 3 rata-rata kapasitas per user (gambar 8) dan kapasitas sistem LTE (gambar 9) tidak memiliki peningkatan, karena tidak adanya user yang mengalami offload.

D. Peningkatan Throughput User

Dari hasil simulasi kita dapat menganalisis peningkatan throughput user. Throughput per user (LTE) sebelum dilakukan skenario untuk MCS1=0.196319 Mbps, MCS2=0.941176 Mbps, MCS3= 1.066666 Mbps, MCS4=2.461538 Mbps, MCS5=2.245614 Mbps, MCS6=4.654545 Mbps, MCS7=7.999999 Mbps, dan MCS8=0.914286 Mbps. Pada skenario 1, setelah simulasi dilakukan terdapat peningkatan throughput per user untuk MCS1 sebesar 12.41% menjadi 0.220689 Mbps, dikarenakan 18 user offload yang sebelumnya berada pada MCS1 (LTE) berpindah ke jaringan WLAN 802.11n. Pada skenario 2, setelah simulasi dilakukan terdapat peningkatan throughput per user untuk MCS1 sebesar 7.24% menjadi 0.210526 Mbps, dikarenakan 11 user offload yang sebelumnya berada pada MCS1 (LTE) berpindah ke jaringan WLAN 802.11n. Sedangkan pada skenario 3 tidak terjadi perubahan throughput untuk setiap MCS dikarenakan tidak adanya offload user.

4. Kesimpulan

Simulasi dan analisis Traffic Offload Data dari LTE ke WLAN 802.11n sudah berhasil dilakukan sehingga dapat disimpulkan bahwa :

1. Reference Signal Received Power (LTE) dan Received Signal Level (WLAN 802.11n) dijadikan acuan utama dimana user dapat dilayani oleh suatu jaringan. Tentu berbagai macam faktor dapat mempengaruhi suatu kualitas sinyal yang diterima oleh user. Seperti, rugi-rugi kanal, noise figure, interference, fading, penetration loss, dan juga jarak.
2. LTE User, Offload User, Wi-Fi User, dan Drop User adalah sebagai berikut.
 - a. Pada skenario 1 traffic offload data dari jaringan LTE ke jaringan WLAN 802.11n memiliki RSRPthrs = -94.01 dBm dan RSLthrs = -90 dBm. Dari hasil simulasi skenario 1 diperoleh jumlah user LTE sebanyak 613 user, user offload sebanyak 18 user, user WLAN 802.11n sebanyak 18 user, dan user drop sebanyak 104 user dari total 735 users dengan kapasitas max offload user sebanyak 27 users.
 - b. Pada skenario 2 traffic offload data dari jaringan LTE ke jaringan WLAN 802.11n memiliki RSRPthrs = -96.75 dBm dan RSLthrs = -90 dBm. Dari hasil simulasi skenario 2 diperoleh jumlah user LTE sebanyak 620 user, user offload sebanyak 11 user, user WLAN 802.11n sebanyak 19 user, dan user drop mengalami penurunan sebanyak 8 users menjadi 96 user dari total 735 users dengan kapasitas max offload user sebanyak 27 users.
 - c. Pada skenario 3 traffic offload data dari jaringan LTE ke jaringan WLAN 802.11n memiliki RSRPthrs = -99.02 dBm dan RSLthrs = -90 dBm. Dari hasil simulasi skenario 3 diperoleh jumlah user LTE sebanyak 631 user, user offload sebanyak 0 user, user WLAN 802.11n sebanyak 13 user, dan user drop mengalami penurunan sebanyak 13 users menjadi 91 user dari total 735 users dengan kapasitas max offload user sebanyak 27 users.
 - d. Jika operator ingin mengurangi beban trafik secara signifikan skenario 1 adalah pilihannya, sedangkan jika operator ingin mengoptimisasi coverage holes dengan OPEX dan CAPEX yang lebih rendah dibandingkan dengan femtocell skenario 3 adalah pilihannya.
3. Kapasitas dan Throughput User

Dari hasil skenario 1 rata-rata kapasitas per user mengalami peningkatan sebesar 6.38% yang semula 0.106622 Mbps menjadi 0.113425 Mbps dengan total 18 user offload, dan kapasitas sistem LTE mengalami peningkatan yang semula 67.27859 Mbps menjadi 69.529427 Mbps. Dengan kata lain total kapasitas offload sistem LTE sebesar 2.25083 Mbps (3.34%). Selain itu terdapat peningkatan throughput per user untuk MCS1 sebesar 12.41% menjadi 0.220689 Mbps, dikarenakan 18 user offload yang sebelumnya berada pada MCS1 (LTE) berpindah ke jaringan WLAN 802.11n.

Dari hasil skenario 2 rata-rata kapasitas per user mengalami peningkatan sebesar 3.8% yang semula 0.106622 Mbps menjadi 0.110679 Mbps dengan total 11 user offload, dan kapasitas sistem LTE mengalami peningkatan yang semula 67.27859 Mbps menjadi 68.620802 Mbps. Dengan kata lain total kapasitas offload sistem LTE sebesar 1.342205 Mbps (1.99%). Selain itu terdapat peningkatan throughput per user untuk MCS1 sebesar 7.24% menjadi 0.210526 Mbps, dikarenakan 11 user offload yang sebelumnya berada pada MCS1 (LTE) berpindah ke jaringan WLAN 802.11n.

Dari hasil skenario 3 rata-rata kapasitas per user, kapasitas sistem LTE, dan throughput user tidak memiliki peningkatan, karena tidak adanya user yang mengalami offload. Dengan catatan penelitian ini memiliki acuan setiap user menggunakan parameter yang sama (alokasi RE, jenis layanan, QoS, access time).
4. Dengan adanya traffic offload data dari jaringan LTE ke jaringan WLAN 802.11n bisa menjadi solusi bagi operator, dikarenakan dapat meningkatkan kapasitas jaringan, meningkatkan throughput user, menghindari congestion pada jaringan, yang pada akhirnya meningkatkan experience user.

Daftar Pustaka:

- [1] Lingga Wardhana, 2014, 4G Handbook Edisi Bahasa Indonesia.
- [2] Budi, Agus Setiawan. Analisis Perencanaan jaringan heterogen 3G(UMTS/HSDPA) dan WLAN802.11n outdoor standar 3GPP UMA/GAN dikota Bandung. Tugas Akhir Fakultas Elektro Dan Komunikasi. Universitas Telkom. 2014
- [3] Thiagarajah, Siva Priya. User Data Rate Enhancement Using Heterogeneous LTE-802.11n Offloading in Urban Area. 2013
- [4] Dhathri R. Purohith, Network architecture supporting seamless flow mobility between LTE and WiFi networks, Paper. 2015
- [5] http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/3700-series-access-point/data_sheet_c78-729421.html
- [6] Architecture for Mobile Data Offload over Wi-Fi Access Networks, Cisco White Paper, 2012 Cisco and/or its affiliates, All rights reserved. This document is Cisco Public Information. 2015
- [7] Huawei Technologies Co.Ltd..2010. LTE Radio Network Capacity Dimensioning.Shenzen : Huawei