

# PERENCANAAN JARINGAN LTE-ADVANCED PRO MENGGUNAKAN METODE LICENSED ASSISTED ACCESS DENGAN MENGGABUNGAN SPECTRUM LICENSED DI FREQUENCY 1800 MHZ DAN UNLICENSED DI 5 GHZ

*LTE-Advanced pro network planning using licensed assisted access method combining spectrum licensed in frequency 1800 Mhz and unlicensed at 5 Ghz*

Arif Mubarak <sup>1</sup>, Ir. Uke Kurniawan Usman M.T <sup>2</sup>, Galih Purnomo Fitrianto, S.T., MBA. <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

arifmubarak10@gmail.com, ukeusman@telkomuniversity.ac.id, galih\_p\_fitrianto@telkomsel.co.id

## Abstrak

Penggunaan internet mobile terus meningkat dengan rata-rata usia produktif menghabiskan 3 jam per hari melalui perangkat mobile. Banyaknya aktivitas didalam ruangan semakin banyak jumlah smartphone dan trafik yang berarti lonjakan besar pada langganan seluler. Seiring dengan meningkatnya lalu lintas data yang sangat besar dan kelangkaan spektrum yang tersedia serta beban biaya lisensi tinggi, penyedia layanan nirkabel merespons dengan melakukan penyesuaian terhadap teknologi LTE. Dengan hadirnya LTE-AP yang didukung spektrum unlicensed operator telkomsel bisa menikmati spectrum unlicensed untuk meningkatkan kapasitas dan throughput.

Pada tugas akhir ini dilakukan perencanaan jaringan LTE-Advanced Pro menggunakan metode Licensed Assisted Access dengan menggabungkan spectrum unlicensed 20 MHz di band 36 (5180 MHz) dan spectrum licensed 20 MHz di band 3 (1800 MHz). Untuk melihat peningkatan performansi penggunaan Licensed Assisted Access, dilakukan perencanaan Jaringan LTE-Advanced Pro non Licensed Assisted Access pada bandwidth 20 MHz di band 3 (1800 MHz). Dalam melakukan perencanaan jaringan LTE-AP, dilakukan analisis dan simulasi menggunakan software U-Net V500.

Hasil simulasi untuk perencanaan jaringan LTE didapat nilai rata-rata RSRP  $\geq -77.71$  dBm, SINR  $\geq 11.88$  dB, Throughput  $\geq 37.079$  Mbps dan User connected = 98.00%, sedangkan LTE-AP didapatkan nilai rata-rata RSRP  $\geq -73.51$  dBm, SINR  $\geq 17.02$  dB, Throughput  $\geq 49.739$  Mbps dan User connected = 100,00%. Berdasarkan standart key performance indicators (KPI) operator Telkomsel, Dari hasil simulasi menggunakan software U-Net v500 perencanaan jaringan LTE dan LTE-AP mencapai standart KPI yaitu rata-rata throughput mencapai  $\geq 12$  Mbps dan user connected  $\geq 90\%$ . Berdasarkan hasil simulasi, perencanaan jaringan LTE-AP sangat baik untuk di implementasikan di kota bandung, karena dapat menjadi solusi keterbatasan spektrum operator serta performansi jaringan yang dihasilkan sangat baik dari sisi coverage dan capacity.

**Kata kunci :** LTE-Advanced Pro, LTE\_ Licensed Assisted Access, RSRP, SINR, Throughput, user connected.

## Abstract

Mobile Internet usage continues to increase with an average age of productive spending 3 hours per day via a mobile device. The number of activities in the room, the more the number of smartphones and traffic which means a big spike in mobile subscriptions. Along with the increasing data traffic is very large and the limited spectrum available for wireless service providers to respond by making adjustments to the LTE technology. With the presence of LTE-AP supported spectrum unlicensed operator Telkomsel can enjoy the spectrum unlicensed to increase capacity and throughput.

In this final project LTE-Advanced Pro network planning using Licensed Assisted Access method by combining 20 MHz spectrum unlicensed in band 36 (5180 MHz) and spectrum licensed 20 MHz in band 3 (1800 MHz). To see the improved performance of Licensed Assisted Access usage, LTE Network planning is done using 20 MHz bandwidth in band 3 (1800 MHz). In conducting LTE-AP network planning, analysis and simulation using U-Net software V500.

The simulation result for LTE network planning got the average value of RSRP  $\geq -77.71$  dBm, SINR  $\geq 11.88$  dB, Throughput  $\geq 37,079$  Mbps and User connected = 98.00%, while LTE-AP got the average RSRP  $\geq -73.51$  dBm, SINR nilai 17.02 dB, Throughput  $\geq 49.739$  Mbps and User connected = 100.00%. Based on the standard key performance indicators (KPI) Telkomsel operators, From the simulation results using U-Net v500 software LTE and LTE-AP network planning reached the standard of KPI that average throughput reaches  $\geq 12$  Mbps and user connected  $\geq 90\%$ . Based on the simulation results of LTE and LTE-AP network planning, LTE-AP network planning is better to be implemented in bandung city, because it can be a solution to the limitations of the operator spectrum and the network performance is very good in terms of coverage and capacity.

**Kata kunci :** LTE-Advanced Pro, LTE\_ Licensed Assisted Access, Reference Signal Received Power.

**1. Pendahuluan**

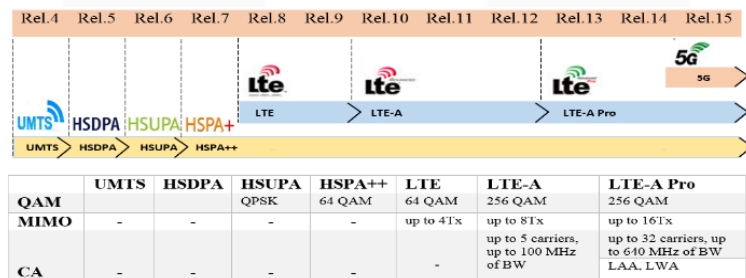
Perkembangan teknologi saat ini semakin pesat, sehingga kebutuhan user yang semakin meningkat khususnya teknologi seluler berbasis wireless. Semakin banyak kebutuhan dan jumlah user maka semakin padat lalu lintas data. Sampai akhir tahun 2014, setidaknya ada sekitar 7.2 miliar pengguna mobile di seluruh dunia. Sementara itu, jumlah pengguna layanan mobile selama ini tumbuh tiap tahunnya. diperkirakan pada 2022 nanti ada 9 miliar pengguna internet mobile di dunia. Angka itu melebihi jumlah penduduk bumi saat ini yang hanya berkisar 7,5 miliar orang. Indonesia sendiri berkontribusi secara signifikan dalam menunjang pertumbuhan pengguna internet mobile di dunia. Selama kuartal pertama 2017, ada lebih dari 10 juta pengguna internet mobile baru yang berasal dari Tanah Air. Angka itu menjadikan Indonesia sebagai negara ketiga dengan pertumbuhan pengguna internet mobile terbesar. Salah satu yang mendorong masifnya konsumsi internet adalah video. Menurut laporan Ericsson, saat ini 50 persen konsumsi internet mobile mengalir ke video. Persentase itu diprediksi meningkat menjadi 75 persen pada 2022 mendatang. Konsekuensinya, kebutuhan data rata-rata pengguna internet mobile yang saat ini hanya 2,1 GB per bulan diramalkan bakal meningkat menjadi 12 GB per bulan. Maka dari itu teknologi seluler dituntut untuk meningkatkan kapasitas user dan kualitas layanan dengan datarate yang tinggi, bandwidth yang besar dan coverage yang luas.

Penggunaan spectrum frequency menjadi faktor permasalahan utama dalam penerapan 4G, pemerintah mendorong operator seluler untuk menyediakan frekuensi 1800 MHz untuk slot bagi 4G. Tapi, lebar pita yang dimiliki masing-masing operator di frekuensi tersebut cukup terbatas karena sebagian sudah digunakan untuk jaringan 3G. Untuk mengatasi masalah tersebut 3GPP merelease teknologi terbaru yaitu LTE-Advanced pro release 13 yang mendukung fitur spektrum unlicensed atau License Assisted Access. License Assisted Access adalah fitur LTE yang memanfaatkan pita tanpa izin 5 GHz yang dikombinasikan dengan spektrum berlisensi untuk memberikan dorongan kinerja bagi pengguna perangkat mobile. Dengan adanya fitur yang mendukung License Assisted Access, teknologi LTE-Advanced pro semakin optimal dengan penggunaan spektrum tanpa izin di 5GHz untuk indoor dan digabungkan dengan spectrum licensed 1800 MHz outdoor. Perencanaan jaringan LTE-Advanced pro dengan menggunakan fitur License Assisted Access dilakukan berdasarkan perhitungan coverage dan capacity. Parameter-parameter yang dipergunakan untuk analisa adalah RSRP, RSSI, SINR, Throughput dan user connected.

**2. Dasar Teori**

**2.1 LTE - Advanced Pro (LTE-AP)**

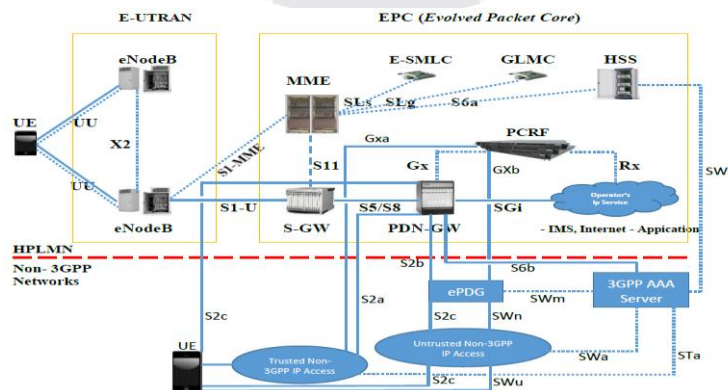
SK Telecom baru saja selesai membentuk sebuah evolusi LTE yaitu 4.5G. Standar 3GPP dikelola sebagai Releases. Seri LTE, yang diklasifikasikan sebagai LTE, LTE-Advanced (LTE-A) dan LTE-Advanced Pro (LTE-A Pro), didefinisikan dalam Release 8 sampai Release 14, dan standar 5G dimulai dari Release 15.



Gambar 2.1 Evolution 3GPP

3GPP mengembangkan kemampuan berikut untuk LTE-Advanced Pro dengan spesifikasi di Release 13 dan dianggap sebagai fitur yang paling penting untuk LTE-Advanced Pro. Adapun fitur yang dimiliki oleh LTE-Advanced dengan spesifikasi Release 10 adalah Dukungan bandwidth mencapai 640 MHz, Enhanced MIMO, 3D-MIMO dan Interworking with Wi-Fi and such as D2D dan licensed assisted access (at 5 GHz).

**2.2 Arsitektur LTE-Advanced Pro (LTE-AP)**

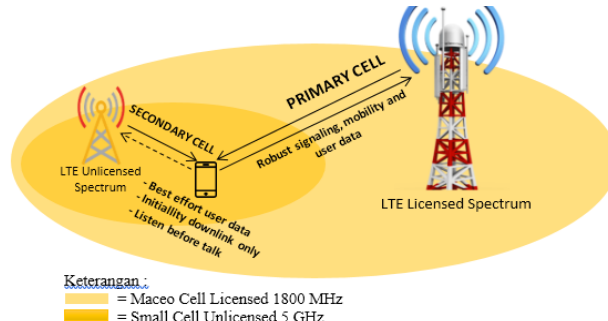


Gambar 2.2 Arsitektur LTE-A

Dalam arsitektur jaringan LTE-Advanced pro terdapat 3 bagian yang masing-masing mempunyai kegunaan yang berbeda beda yaitu : EPC (Evolved Packet Core) dan E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network). E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) berfungsi untuk menghubungkan antara mobile dengan EPC. E-UTRAN terdiri dari satu komponen yaitu evolved Node B (eNB). Jika melihat ke teknologi sebelumnya (3G), di bagian ini terdiri dari dua komponen yaitu Node B dan RNC. Di jaringan 4G, eNB memiliki fungsi keduanya, yaitu fungsi dari Node B dan RNC. Ini semakin mempersingkat waktu komunikasi antara mobile dengan base station tersebut, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk Handover misalnya, semakin jauh lebih cepat.

**2.3 LAA (Licensed Assisted Acces)**

Prinsip dasar LAA adalah bahwa layanan LTE-Advanced pro tetap menggunakan spektrum berlisensi, dengan frekuensi unlicensed digunakan secara oportunistik untuk meningkatkan throughput dan kapasitas. Pendekatan ini diilustrasikan pada gambar di bawah ini, di mana sel primer menggunakan spektrum berlisensi untuk menyediakan koneksi yang kuat untuk sinyal kontrol, mobilitas dan data pengguna, dan sel sekunder menggunakan spektrum unlicensed untuk membawa data pengguna, ini merupakan cara terbaik untuk memberikan dorongan kecepatan datarate yang tinggi.

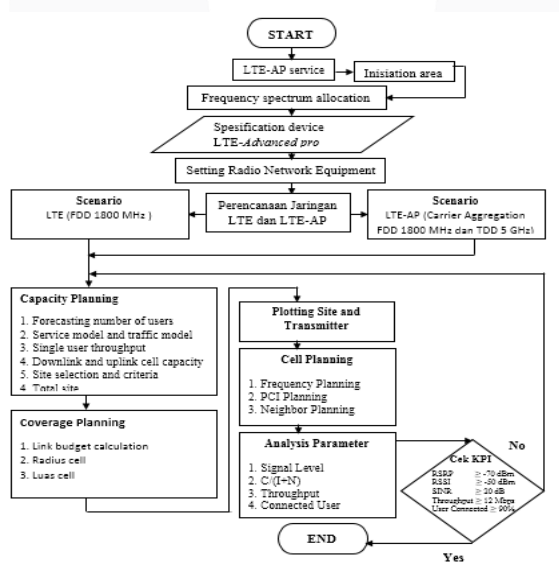


Gambar 2.3 Konsep LAA

**3. Proses Perencanaan Jaringan LTE dan LTE-AP**

**3.1 Diagram Alir**

Secara umum alur kerja digambarkan pada Gambar 3.1 yang mencakup tahap-tahap kerja yang dilakukan dalam proyek akhir ini:



Gambar 2.4 Diagram Alir Perencanaan

**3.2 Analisis Area**

Pada perencanaan jaringan LTE-AP baik itu macro cell dan small cell hal yang pertama kali dilakukan adalah melakukan survei di daerah tinjauan untuk mendapatkan informasi tentang kota bandung seperti meninjau daerah daerah padat penduduk seperti mall, wisata, hotel, gedung pemerintahan dll. Ini dilakukan untuk menentukan spesifikasi dalam perencanaan jaringan LTE-AP seperti: frekuensi, model propagasi, bandwidth, dan perangkat yang digunakan.

**3.3 Coverage Planning**

Coverage Planning adalah planning yang dilakukan berdasarkan tinjauan luas area yaitu, dengan cara memperhitungkan nilai MAPL (Maximum Allowed Path Loss) untuk mendapatkan besarnya coverage/radius cell dari suatu site sehingga seluruh area tinjauan dapat di cover dengan baik.

### 3.3.1 MAPL Frequency 1800 MHz dan 5 GHz

Langah berikutnya menghitung nilai pathloss Tx dan Rx untuk frequency 1800 MHz. Berikut nilai MAPL uplink dan downlink:

**Tabel 2.1 MAPL Frequency 1800 MHz**

| Tx                                  | UL     | DL      | Formula                     |
|-------------------------------------|--------|---------|-----------------------------|
| Max Total Tx Power (dBm)            | 23.00  | 43.00   | A                           |
| RB to Distribute Power              | 10     | 100     | C                           |
| Subcarriers to Distribute Power     | 120    | 1200    | D = 12*C                    |
| Subcarrier Power (dBm)              | 2.20   | 12.2    | E = A-10*Log10(D)           |
| Tx Antenna Gain (dBi)               | 0.00   | 17.00   | G                           |
| Tx Cable Loss (dB)                  | 0.00   | 0.50    | H                           |
| Tx Body loss (dB)                   | 0.00   | 0.00    | I                           |
| EIRP per Subcarrier (dBm)           | 2.20   | 28.7    | J = E+G-H-I                 |
| Rx                                  | UL     | DL      | Formula                     |
| SINR (dB)                           | -1.50  | -1.68   | K                           |
| Rx Noise Figure (dB)                | 2.90   | 7.00    | L                           |
| Receiver Sensitivity (dBm)          | -130.8 | -126.92 | M = K+L-174+10*Log10(15000) |
| Rx Antenna Gain (dBi)               | 17.00  | 0.00    | N                           |
| Rx Cable Loss (dB)                  | 0.50   | 0.00    | O                           |
| Rx Body loss (dB)                   | 0.00   | 0.00    | P                           |
| Neighbor Load                       | 50.00% | 70.00%  |                             |
| Interference Margin (dB)            | 0.80   | 8.11    | Q                           |
| Min Signal Reception Strength (dBm) | -145.7 | -118.81 | R = M-N+O+P+Q               |

**Tabel 2.2 MAPL Frequency 5 Ghz**

| Tx                                  | UL     | DL      | Formula                     |
|-------------------------------------|--------|---------|-----------------------------|
| Max Total Tx Power (dBm)            | 23.00  | 43.00   | A                           |
| RB to Distribute Power              | 10     | 100     | C                           |
| Subcarriers to Distribute Power     | 120    | 1200    | D = 12*C                    |
| Subcarrier Power (dBm)              | 2.20   | 12.2    | E = A-10*Log10(D)           |
| Tx Antenna Gain (dBi)               | 0.00   | 11.00   | G                           |
| Tx Cable Loss (dB)                  | 0.00   | 0.50    | H                           |
| Tx Body loss (dB)                   | 0.00   | 0.00    | I                           |
| EIRP per Subcarrier (dBm)           | 2.20   | 22.7    | J = E+G-H-I                 |
| Rx                                  | UL     | DL      | Formula                     |
| SINR (dB)                           | -1.50  | -1.68   | K                           |
| Rx Noise Figure (dB)                | 2.90   | 7.00    | L                           |
| Receiver Sensitivity (dBm)          | -130.8 | -126.92 | M = K+L-174+10*Log10(15000) |
| Rx Antenna Gain (dBi)               | 11.00  | 0.00    | N                           |
| Rx Cable Loss (dB)                  | 0.50   | 0.00    | O                           |
| Rx Body loss (dB)                   | 0.00   | 0.00    | P                           |
| Neighbor Load                       | 50.00% | 70.00%  |                             |
| Interference Margin (dB)            | 0.20   | 3.10    | Q                           |
| Min Signal Reception Strength (dBm) | -141.1 | -123.82 | R = M-N+O+P+Q               |

MAPL ini digunakan untuk menghitung nilai radius suatu cell Setelah didapat besarnya nilai radius *cell* dari suatu site, maka dapat diperoleh jumlah site yang dibutuhkan agar dapat men-coverage seluruh area tinjauan. Hal yang menjadi prioritas utama dalam *coverage planning* ini adalah, seluruh sisi area tinjauan dapat ter-coverage oleh sinyal, namun tanpa memperhatikan nilai *throughput* yang didapatkan oleh tiap *user*. Didapatkan nilain MAPL *downlink* dan *uplink* seperti Tabel 3.15 dibawah ini :

**Tabel 2.3 Nilai Pathloss**

| Path Loss & Cell Radius   | 1800 MHz |        | 5 GHz  |        | Formula     |
|---------------------------|----------|--------|--------|--------|-------------|
|                           | UL       | DL     | UL     | DL     |             |
| Penetration Loss (dB)     | 20.00    | 20.00  | 14.00  | 14.00  | S           |
| Std.of Shadow Fading (dB) | 9.40     | 9.40   | 9.40   | 9.40   |             |
| Area Coverage Probability | 90.00%   | 90.00% | 90.00% | 90.00% |             |
| Shadow Fading Margin (dB) | 4.24     | 4.24   | 2.00   | 2.00   | T           |
| Path Loss (dB)            | 123.66   | 117.27 | 127.3  | 130.52 | U = J-R-S-T |

### 3.3.2 Perhitungan Radius Cell Frequency 1800 MHz

Perhitungan *radius cell* daerah sub urban pada frekuensi 1800 MHz menggunakan model propagasi COST-231.

**Tabel 2.4 Cell Radius**

| Cell Radius-                 | URBAN        |      |                       |       |
|------------------------------|--------------|------|-----------------------|-------|
|                              | UL           | DL   | UL                    | DL    |
| Propagation Model            | Cost231-Hata |      | Erceg-Greenstein(SUI) |       |
| eNodeB/UE Antenna Height (m) | 30.00        | 1.50 | 3.00                  | 1.50  |
| Frequency (MHz)              | 1800         |      | 5150                  |       |
| Cell Radius (m)              | 921          | 883  | 82.4                  | 164.4 |

Didapatkan *cell radius* untuk wilayah urban dengan penggunaan 2 model propagasi, penggunaan 2 *model propagasi* ini dimaksudkan untuk penggunaan metode LAA.

### 3.4 Capacity Planning

Pada tahap ini dilakukan prediksi jumlah pelanggan untuk 5 tahun kedepan pada kota bandung yang kemudian dilakukan perencanaan jaringan LTE-AP. Berikut adalah rincian prediksi jumlah pelanggan yang telah dihitung menggunakan persamaan(2.1).

- Usia Produktif kota Bandung 80% = 2.080.561
- Pelanggan 2G/3G Operator Telkomsel 45 % = 1.144.308
- 4G LTE Operator Telkomsel 10 % = 114.430
- Pelanggan LTE-Advanced pro Operator Telkomsel 50 % = 57.215

#### 3.4.1 Service model parameter

Tabel traffic model dibawah ini merupakan parameter model trafik yang nilainya ditentukan oleh operator dan vendor dengan pertimbangan pengembangan layanan dan strategi pemasaran.

**Tabel 2.5 Service Model Hasil Perhitungan**

| Traffic parameters | UL                          | DL                          |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                    | Throughput / Session (Kbps) | Throughput / Session (Kbps) |
| VoIP               | 869.49                      | 869.49                      |
| Video Phone        | 4421.31                     | 4421.31                     |
| Video Conference   | 113690.91                   | 113690.91                   |
| Real Time Gaming   | 11367.27                    | 90952.73                    |
| Streaming Media    | 5683.64                     | 864016.36                   |
| IMS Signaling      | 22.10                       | 22.10                       |
| Web Browser        | 5684.55                     | 22737.27                    |
| File Transfer      | 85266.67                    | 454751.52                   |
| Email              | 7105.55                     | 37895.96                    |
| P2P File Sharing   | 303151.52                   | 909503.03                   |

Setiap jenis layanan memiliki standard throughput berbeda untuk dapat diakses atau disebut dengan bearer rate. Selain memiliki standard throughput berbeda tiap layanan memiliki standard block erro rate (BLER) yang berbeda pula. Setelah didapatkan Throughput/Session langkah selanjutnya yaitu menghitung single user throughput berdasarkan trafik model, setiap daerah memiliki karakteristik yang berbeda beda tergantung seberapa sering layanan tersebut sering di akses.

### 3.4.2 Single User Throughput

Jumlah minimum throughput untuk semua layanan agar user dapat mengakses semua layanan yang tersedia, Klasifikasi kondisi disetiap area berbeda-beda penggunaannya dan juga mempengaruhi nilai minimum throughput disetiap daerah tersebut.

**Tabel 2.6 Single user throughput**

| Traffic | VoIP   | Video Phone | Video Conference | Real Time Gaming | Streaming Media | IMS Signaling | Web Browsing | File Transfer | E-Mail | P2P File Sharing | Total    | Single User Throughput (Kbps) |
|---------|--------|-------------|------------------|------------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|--------|------------------|----------|-------------------------------|
| UL      | 1356.4 | 169         | 3069             | 545.62           | 153.45          | 31            | 2728.5       | 4092.8        | 255.8  | 21.827.8         | 34231.7  | 9.5088                        |
| DL      | 1356.4 | 169         | 3069             | 4365.7           | 23328.4         | 31            | 10913.9      | 21828.1       | 409.2  | 65484.2          | 130957.3 | 36.3770                       |

### 3.4.3 Network Throughput

Network throughput adalah jumlah throughput yang dibutuhkan untuk keseluruhan jumlah pengguna yang direncanakan dalam mengakses semua layanan. Network throughput diperoleh dengan mengalikan nilai single user throughput dengan 35.711 pengguna untuk jaringan LTE (FDD) dan 16.070 pengguna untuk jaringan LTE-AP (carrier aggregation).

**Tabel 2.7 Network Throughput**

| ITEM                           | LTE(FDD)      |                 | LTE-Advanced pro (LAA) |                 |
|--------------------------------|---------------|-----------------|------------------------|-----------------|
|                                | Uplink (kbps) | Downlink (kbps) | Uplink (kbps)          | Downlink (kbps) |
| Total target user              | 114.430       |                 | 57.215                 |                 |
| Single User Throughput (kbps)  | 9.5088        | 36.3770         | 9.5088                 | 36.3770         |
| Network Throughput (ip) (kbps) | 1,088,091.98  | 4,162,620.11    | 544,045.99             | 2,081,310.05    |
| Network Throughput (ip) (Mbps) | 1,088.09      | 4,162.62        | 544.04                 | 2,081.31        |

### 3.4.4 Radio Overhead

Nilai throughput di layer ip tidak bisa dirasakan oleh user karena user bisa merasakan throughput tersebut di layer MAC. Adanya radio overhead adalah mengkonversi layer IP ke MAC, Disetiap penurunan layer ada penambahan header 0,993377483.

**Tabel 2.8 Radio Overhead**

| LTE(FDD)                     |                              | LTE-AP (Licensed Assisted Access) |                              |
|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| DL Network Throughput (Mbps) | UL Network Throughput (Mbps) | DL Network Throughput (Mbps)      | UL Network Throughput (Mbps) |
| 4,247.57                     | 1,110.29                     | 2,123.78                          | 555.14                       |

### 3.4.5 Distribusi Rata-rata SINR 5 GHz dan 1800 MHz

Tabel 2.9 dibawah ini menunjukan jumlah troughput dalam satu cell untuk frekuensi 5 GHz dan 1800 MHz..

**Tabel 2.9 Distribusi Rata-Rata SINR 5 GHz**

| Modulation                                    | Code bit | Code rate | SINR (min) (dB) | SINR Probability (Pn) | DL cell average throughput (Mbps) (Rn) | DL cell average throughput (Mbps) | UL cell average throughput (Mbps) (Rn) | UL cell average throughput (Mbps) |
|---|----------|-----------|-----------------|-----------------------|--|-----------------------------------|--|-----------------------------------|
| QPSK  | 2        | 1/3       | -1.5 - 0.3      | 0.29                  | 7.1                                    | 2.0                               | 8.6                                    | 2.5                               |
| QPSK  | 2        | 1/2       | 0.3 - 2         | 0.27                  | 11.9                                   | 3.2                               | 14.3                                   | 3.8                               |
| QPSK  | 2        | 2/3       | 2 - 4.5         | 0.19                  | 16.0                                   | 3.0                               | 19.2                                   | 3.6                               |
| 16 QAM  | 4        | 1/2       | 4.5 - 6         | 0.15                  | 23.9                                   | 3.6                               | 28.7                                   | 4.3                               |
| 16 QAM  | 4        | 2/3       | 6 - 8.5         | 0.14                  | 32.1                                   | 4.5                               | 38.5                                   | 5.4                               |
| 16 QAM  | 4        | 4/6       | 8.5 - 10.8      | 0.09                  | 38.3                                   | 3.4                               | 46.0                                   | 4.1                               |
| 64 QAM  | 6        | 1/2       | 10.8 - 12.5     | 0.06                  | 35.9                                   | 2.1                               | 43.1                                   | 2.5                               |
| 64 QAM  | 6        | 2/3       | 12.5 - 13.5     | 0.05                  | 48.2                                   | 2.4                               | 57.8                                   | 2.8                               |
| Average throughput (MAC) $\sum(Pn \times Rn)$ |          |           |                 |                       | 24.5                                   |                                   | 29.4                                   |                                   |
| Capacity per site                             |          |           |                 |                       | 73.5                                   |                                   | 88.2                                   |                                   |

**Tabel 2.10 Distribusi Rata-Rata SINR 1800 MHz**

| Modulation   | Code bit | Code rate | SINR (min) (dB) | SINR Probability (Pn) | DL cell average throughput (Mbps) (Rn) | DL cell average throughput (Mbps) | UL cell average throughput (Mbps) (Rn) | UL cell average throughput (Mbps) |
|--|----------|-----------|-----------------|-----------------------|--|-----------------------------------|--|-----------------------------------|
| QPSK   | 2        | 1/3       | -1.5 - 0.3      | 0.28                  | 32.0                                   | 9.0                               | 38.4                                   | 10.8                              |
| QPSK   | 2        | 1/2       | 0.3 - 2         | 0.25                  | 48.0                                   | 12.0                              | 57.6                                   | 14.4                              |
| QPSK   | 2        | 2/3       | 2 - 4.5         | 0.17                  | 64.0                                   | 10.9                              | 76.8                                   | 13.1                              |
| 16 QAM   | 4        | 1/2       | 4.5 - 6         | 0.13                  | 96.0                                   | 12.5                              | 115.2                                  | 15.0                              |
| 16 QAM   | 4        | 2/3       | 6 - 8.5         | 0.1                   | 128.0                                  | 12.8                              | 153.6                                  | 15.4                              |
| 16 QAM   | 4        | 4/6       | 8.5 - 10.8      | 0.05                  | 153.6                                  | 7.7                               | 184.3                                  | 9.2                               |
| 64 QAM   | 6        | 1/2       | 10.8 - 12.5     | 0.01                  | 144.0                                  | 1.4                               | 172.8                                  | 1.7                               |
| 64 QAM   | 6        | 2/3       | 12.5 - 13.5     | 0.01                  | 192.0                                  | 1.9                               | 230.4                                  | 2.3                               |
| Cell Average throughput (MAC) $\sum(Pn \times Rn)$ |          |           |                 |                       | 68.2                                   |                                   | 81.8                                   |                                   |
| Capacity per site                                  |          |           |                 |                       | 204.6                                  |                                   | 245.4                                  |                                   |

Berdasarkan tabel 2.9 di atas dapat ditunjukkan bahwa nilai throughput rata-rata dalam satu cell pada arah downlink adalah sebesar 24.5 Mbps sedangkan nilai throughput rata-rata dalam satu cell pada uplink adalah sebesar 29.4 Mbps. Kemudian dapat diketahui kapasitas site throughput arah downlink sebesar 73.5 Mbps dan arah uplink sebesar 88.2 Mbps. Berdasarkan tabel 2.10 di atas dapat ditunjukkan bahwa nilai throughput rata-rata dalam satu cell pada arah downlink adalah sebesar 68.2 Mbps sedangkan nilai throughput rata-rata dalam satu cell pada uplink adalah sebesar 81.8 Mbps. Kemudian dapat diketahui kapasitas site throughput arah downlink sebesar 204.6 Mbps dan arah uplink sebesar 245.4 Mbps.

### 3.4.6 Pemilihan Site

Setelah semua data di kumpulkan, kemudia untuk menentukan jumlah site digunakan beberapa kriteria seperti tabel di bawah ini dengan tujuan pemilihan site untuk penerapan LTE dan LTE-Advanced pro bisa sangat akurat atau sesuai dengan standart oprator. Berikut jumlah site yang dibutuhkan berdasarkan kriteria standart operator telkomsel.

Tabel 3.23 Kriteria Site LTE dan LTE-AP

**Tabel 2.11 Site selection and criteria**

| Criteria LTE   |  | No of Site |          |
|--|--|------------|----------|
| Payload > 30 GB+4G Handset > 150                         |  | 62         |          |
| POI + VIP  |  | 24         |          |
| Payload > 30 GB+4G Handset > 150+Transport Readiness     |  | 9          |          |
| POI + Payload > 30 GB                                    |  | 35         |          |
| POI+Payload < 30 GB+4G Handset < 150+Transport Readiness |  | 17         |          |
| POI+Payload > 30 GB+4G Handset >150+Transport Readiness  |  | 8          |          |
| Total Site   |  | 156        |          |
| Criteria LTE-AP (LAA)                                    |  | No of Site | New cell |
| Payload > 50 GB+4G Handset > 250                         |  | 10         | 9        |
| POI + VIP  |  | 24         | 23       |
| Payload > 50 GB+4G Handset > 250+Transport Readiness     |  | 3          | 3        |
| POI + Payload > 50 GB                                    |  | 4          | 4        |
| POI+Payload < 50 GB+4G Handset < 250+Transport Readiness |  | 9          | 9        |
| POI+Payload > 50 GB+4G Handset >250+Transport Readiness  |  | 6          | 6        |
| Total  |  | 56 Site    | 54 Cell  |

Bisa dilihat pada Tabel 3.11 bahwa site terbanyak untuk penggelaran jaringan LTE yaitu 156 site sedangkan untuk LTE-Advanced pro hanya 56 site dengan penambahan device baru untuk small cell sebanyak 54 cell, Hal tersebut dikarenakan ada beberapa criteria yang belum memenuhi standart penggelaran LTE-Advanced pro terutama criteria penggunaan smartphone dan 3G payload, setelah ditinjau penggunaan Smartphone yang suport 4G LTE category 12 hanya sedikit dibanding Smartphone yang suport 4G LTE category 5 kebawah.

**4. Simulasi dan Analisis Hasil Perencanaan**

**4.1 Simulasi Hasil Perencanaan**

Hasil perencanaan jaringan LTE dan LTE-AP yang telah dilakukan kemudian di simulasikan menggunakan software Planning yaitu, U-Net V500 untuk menguji performansi jaringan LTE dan LTE-AP yang telah direncanakan. Ada dua skema yang digunakan dalam simulasi jaringan LTE dan LTE-AP pada U-Net V500 yaitu dengan cara melakukan prediksi coverage dari jaringan LTE dan kemudian melakukan prediksi jaringan LTE-AP dengan menggunakan carrier aggregation. Setelah memprediksi coverage kemudian dilakukan simulasi kapasitas untuk melihat kemampuan jaringan LTE dan LTE-AP dengan menggunakan carrier aggregation juga menguji kualitas masing masing jaringan. Untuk meningkatkan SINR dan Throughput pada perencanaan jaringan LTE dan LTE-AP digunakan Skema PCI dan SFR. Kemudian kombinasi penggunaan skema ini akan di uji baik dari sisi coverage maupun capacity.

**4.1.1 Hasil Prediction Coverage LTE dan LTE-AP**

Untuk melihat performansi penggunaan licensed assisted access dengan menggunakan carrier aggregation pada perencanaan jaringan LTE-AP maka pada Tabel 4.3 dilakukan perbandingan antara perencanaan jaringan LTE-AP dan LTE, Berikut hasil simulaisnya :

**Tabel 4.1** Perbandingan Coverage LTE dan LTE-AP

| Parameter                        |                                   |         | Skenario I    | Skenario II      |
|----------------------------------|-----------------------------------|---------|---------------|------------------|
|                                  |                                   |         | LTE (PCI+SFR) | LTE-AP (PCI+SFR) |
| Signal Level                     | DL RSRP (dBm)                     | Average | -77.71        | -73.51           |
|                                  |                                   | edge    | -93.61        | -87.53           |
|                                  | DL Bandwidth RSRP >~65 (dBm)      |         | 89.44%        | 92.97%           |
|                                  | RSSI >~50 (dBm)                   |         | 62.68%        | 78.81%           |
| DL PDSCH Signal Level >~80 (dBm) |                                   | 73.03%  | 78.59%        |                  |
| C/(I+N)                          | DL RS SINR (dB)                   | Average | 11.88         | 17.02            |
|                                  |                                   | edge    | -1.52         | 2.79             |
|                                  | DL PDSCH SINR >20 (dB)            |         | 30.75%        | 45.88%           |
|                                  | RS Interference Margin >~80 (dBm) |         | 2.23%         | 1.26%            |
| Throughput                       | DL MAC Peak                       | Average | 37079.66      | 49739.90         |
|                                  | Throughput (Kbps)                 | Edge    | 7879.90       | 11507.95         |

Dapat dilihat pada tabel diatas perbandingan performansi LTE dengan antenna mimo 4x4 dan LTE-AP dengan metode carrier anggeagtion antara spektrum berlisensi dan tidak berlisensi, LTE-AP lebih unggul daripada LTE walaupun menggunakan antenna mimo 2x2. Signal level yang dihasilkan LTE-AP lebih tinggi dari pada LTE saja. Misalkan nilai signal level pada RSRP LTE-AP mencapai rata-rata -73.51 dBm dengan nilai cell edge yang didapat -87.53 ini berpengaruh pada kualitas jaringan atau C/(I+N) dan nilai Throughput yang didapat nantinya. Seperti tabel diatas nilai SINR pada LTE-AP sangat bagus dengan rata-rata 17.02 dB dengan nilai maksimum 20-25 dB untuk 43.12 % area. Besarnya nilai SINR ini dipengaruhi oleh beberapa kondisi seperti seberapa besar interferensi yang terjadi dan penggunaan CQI. Penggunaan CQI tergantung pada kondisi user, ketika user dalam konsisi bagus maka CQI yang digunakan besar. Besarnya nilai CQI mempresentasikan penggunaan modulasi dan code ratenya. Pada tabel diatas interferensi yang terjadi pada LTE-AP sangat kecil, terdapat 1.26% area terjadi interferensi pada power yang lebih besar dari -80 dBm sehingga nilai SINR meningkat daripada pada jaringan LTE.

Pada tabel diatas Nilai Throughput pada LTE-AP jauh lebih besar dibandingkan pada LTE. Besarnya nilai throughput ini dipengaruhi oleh beberapa kondisi seperti penggunaan bandwidth, penggunaan antenna, besarnya interferensi, UE category dll. Pada tabel diatas throughput yang didapat LTE-AP mencapai rata-rata 49.739 Mbps dengan menerapkan metode carrier aggregation antara frekuensi berlisensi dan tidak berlisensi dengan total bandwidth yang digunakan 40 Mbps. Ini sangat menguntungkan bagi operator TELKOMSEL untuk menerapkan metode ini untuk mengatasi keterbatasan spektrum frekuensi. Sedangkan pada jaringan LTE mendapatkan throughput rata-rata sebesar 37.076 Mbps jauh lebih kecil dibandingkan dengan LTE-AP walaupun menggunakan antenna MIMO 4x4 dengan bandwidth 20 Mbps.

**4.1.2 Hasil Capacity Simulation LTE dan LTE-AP**

Untuk meninjau kemampuan dan performansi LTE-AP dengan menggunakan metode licensed assisted access antara frekuensi lisensi dan tidak berlisensi maka perlu dilakukan simulasi perbandingan antara LTE dan LTE-AP seperti tabel dibawah ini :

A. Analysis User Rejected

**Tabel 4.2** User Rejected LTE dan LTE-AP

|                           | Demand | Jumlah site | No Access | Rejected    |         | Presentase User Rejected | Presentase User Connected |
|---------------------------|--------|-------------|-----------|-------------|---------|--------------------------|---------------------------|
|                           |        |             |           | No Coverage | Offline |                          |                           |
| LTE dengan PCI dan SFR    | 94000  | 156         | 0         | 0           | 1961    | 1.95%                    | 98.05 %                   |
| LTE-AP dengan PCI dan SFR | 45000  | 74          | 0         | 0           | 0       | 0%                       | 100 %                     |

Dapat dilihat pada tabel diatas presentase user connected pada LTE-AP mencapai 100% ,sedangkan LTE dengan mimo 4x4 hanya 98.05% .ini menunjukkan bahwa penggunaan metode carrier aggregation antara frekuensi berlisensi dan tidak

berlisensi berhasil dan sangat baik digunakan karena selagi dapat mengatasi keterbatasan spektrum operator LTE-AP dapat melayani user dengan kapasitas besar dengan power yang kuat dan SINR yang dihasilkan juga sangat bagus.

**B. DL RS SINR Distribution**

Tabel dibawah menunjukkan perbandingan distribusi SINR dari sinyal referensi downlink yang diterima oleh pengguna atau user baik pada LTE dan LTE-AP. Berikut nilai DL RS SINR Distribution :

**Tabel 4.3 SINR Distribution LTE dan LTE-AP**

| RS SINR (dB)            | Jumlah User LTE<br>(Skenario I) | Jumlah User LTE-AP<br>(Skenario II) |
|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
|                         | Menggunakan PCI dan SFR         |                                     |
| 25 < RS SINR (dB) <= 60 | 16.821 = 16.71%                 | 19.274 = 43.45%                     |
| 20 < RS SINR (dB) <= 25 | 16.498 = 16.39%                 | 8.215 = 18.52%                      |
| 15 < RS SINR (dB) <= 20 | 18.805 = 18.68%                 | 6.972 = 15.72%                      |
| 10 < RS SINR (dB) <= 15 | 18.952 = 18.83%                 | 5.047 = 11.38%                      |
| 5 < RS SINR (dB) <= 10  | 16.079 = 15.98%                 | 3.105 = 7.00%                       |
| 0 < RS SINR (dB) <= 5   | 10.945 = 10.87%                 | 1.525 = 3.44%                       |
| -5 < RS SINR (dB) <= 0  | 2.516 = 2.50%                   | 212 = 0.48%                         |
| RS SINR (dB) <= -5      | 33 = 0.03%                      | 7 = 0.02%                           |

Jika dibandingkan kualitas antara LTE dan LTE-A terlihat pada tabel diatas jumlah user dengan persentase paling tinggi yang mendapatkan RS SINR 25 sampai 60 dB jumlah user pada LTE-AP mencapai 43.45%. jika dilihat pada kondisi coverage prediction nilai RS SINR untuk LTE-AP mencapai rata-rata 17.02 dB dengan cell edge 2.79 dB sedangkan nilai RS SINR pada LTE hanya rata-rata 11.88 dB dengan cell edge -1.52 dB. Salah satu faktor nilai RS SINR tinggi adalah interferensi yang kecil.

**4.2 Hasil Akhir Simulasi Coverage dan Capacity**

Perbandingan coverage antara LTE menggunakan mimo 4x4 dengan LTE-AP menggunakan mimo 2x2 dan carrier aggregation, beserta penggunaan beberapa fitur seperti PCI sebagai identifikasi cell dengan sinkronisasi waktu dan frekuensi dan SFR sebagai manajemen interferensi. Dari Analisa simulasi yang telah dilakukan, didapatkan rangkuman hasil akhir sebagai berikut :

**Tabel 4.5 Hasil Akhir Perbandingan LTE dan LTE-AP**

| Parameter                                 | LTE (Skenario I)            |            |            | LTE-AP (Skenario II)           |            |            |
|---|-----------------------------|------------|------------|--------------------------------|------------|------------|
|   | Non PCI dan SFR             | Dengan PCI | Dengan SFR | Non PCI dan SFR                | Dengan PCI | Dengan SFR |
|   | Menggunakan mimo 4x4 non CA |            |            | Menggunakan mimo 2x2 dengan CA |            |            |
| Jumlah User                               | 94000                       |            |            | 45000                          |            |            |
| Jumlah Site                               | 156                         |            |            | 74                             |            |            |
| Jumlah User/Site                          | 602                         |            |            | 608                            |            |            |
| Average RSRP (dBm)                        | - 77.71                     |            |            | - 73.49                        |            |            |
| Average SINR (dB)                         | 1.9                         | 0.17       | 11.88      | 6.35                           | 6.89       | 16.77      |
| RS Interferensi pada nilai SINR > -80 dBm | 37.43%                      | 48.54%     | 2.23%      | 42.77%                         | 39.29%     | 1.53%      |
| Average Throughput (Mbps)                 | 15.513                      | 13,793     | 38.210     | 30.942                         | 31.144     | 49.569     |
| 25 < RS SINR Distribution (dB) <= 60      | 0.12%                       | 0.33%      | 13.72%     | 13.02%                         | 20.61%     | 35.27%     |
| User Connected                            | 97.09%                      | 97.42%     | 98.00%     | 100%                           |            |            |

Berdasarkan tabel diatas, skenario II yaitu perencanaan jaringan LTE-AP lebih unggul dibandingkan skenario I yaitu perencanaan jaringan LTE, walaupun menggunakan mimo 2x2 LTE-AP tetap lebih baik daripada LTE karena LTE-AP memanfaatkan fitur LAA dengan menggabungkan antara frekuensi unlicensed dan licensed sehingga dari sisi kapasitas lebih besar dan throughput lebih tinggi serta kondisi jaringan yang stabil baik didalam ruangan maupun diluar ruangan. Untuk rekomendasi operator telkomsel dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4.6 Hasil akhir simulasi coverage dan capacity**

| Parameter                 | LTE (Skenario I)   | LTE-AP (Skenario II) | KPI TELKOMSEL |
|---------------------------|--------------------|----------------------|---------------|
|                           | Dengan PCI dan SFR |                      |               |
| Average RSRP (dBm)        | - 77.71            | - 73.51              | -90 dBm > 90% |
| Average SINR (dB)         | 11,88              | 17,02                | 90% > 5 dB    |
| Average Throughput (Mbps) | 37,079             | 49,739               | > 15 dBm      |
| User Connected            | 98.05%             | 100 %                | 90%           |

Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan hasil simulasi coverage dan capacity yang telah dilakukan, sebagai rekomendasi bagi operator Telkomsel, yang lebih baik untuk diimplementasikan di daerah Bandung adalah LTE-AP (LAA) dengan PCI dan SFR. Hal ini dikarenakan pertimbangan efisiensi biaya untuk jumlah site yang dibangun lebih sedikit yaitu sebanyak 74 site serta efektif dalam memanfaatkan bandwidth unlicensed 20 MHz pada band 36 ( 5180 MHz) sehingga dapat mengefisiensi spektrum frekuensi yang terbatas dan performansi jaringan yang lebih baik dari sisi coverage dengan RSRP rata-rata -73,49 dBm, serta kualitas jaringan yang lebih baik dengan SINR rata-rata 17,02 dB, rata-rata throughput 49,739 Mbps, dan user connected 100%.

**5. Penutup**

Berdasarkan penjelasan yang telah dipaparkan pada bab-bab sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan mengenai perencanaan jaringan LTE dan LTE-AP di daerah kota Bandung, yaitu :  
Kesimpulan :

1. Metode pemilihan site berdasarkan criteria dibagi menjadi 4 yaitu berdasarkan 3G payload >30GB/hari, handset > 150 /Site, POI and VIP, Transport Readiness. Berdasarkan metode tersebut didapatkan jumlah site LTE = 156 Site, sedangkan untuk LTE-AP didapatkan 74 Site.

2. Hasil simulasi perencanaan jaringan LTE di daerah Bandung menggunakan LTE (FDD), didapatkan nilai parameter RSRP rata-rata -77.71 dBm, SINR rata-rata 1.09 dB, rata-rata throughput 15.513 Mbps, dan user connected 97.09%. Sedangkan hasil simulasi Perencanaan jaringan LTE-AP di daerah Bandung menggunakan Carrier Aggregation didapatkan nilai parameter RSRP rata-rata -73.49 dBm, SINR rata-rata 6.35 dB, rata-rata throughput 30.942 Mbps, dan user connected 100%.
3. Hasil simulasi perencanaan jaringan LTE dan LTE-AP menggunakan PCI juga meningkatkan beberapa parameter seperti SINR, Throughput dan User connected. SINR untuk LTE-AP dengan mimo 2x2 non PCI didapat rata-rata 6.35 dB setelah menggunakan PCI meningkat menjadi 6.89, nilai rata-rata throughput juga meningkat dari 30.942 Mbps setelah menggunakan PCI didapat 31.144 Mbps dan user connected 100%. Berbeda ketika penerapan PCI pada antenna mimo 4x4 ini berdampak negatif karena pengalokasian antar referensi sinyal dan pengalokasian pci maka semakin banyak sehingga interferensi antar symbol pada masing masing port lebih sering terjadi sehingga SINR menurun dan throughput juga menurun, seperti yang sudah dilakukan simulasi coverage prediction nilai SINR non PCI adalah rata-rata 1.9 dB ketika menggunakan PCI berkurang menjadi 0.17 dB, rata-rata throughput juga berkurang dari 15.13 Mbps setelah diterapkan PCI menjadi 13.793 Mbps tetapi untuk user connected meningkat dari 97.09% menjadi 97.42%.
4. Hasil simulasi perencanaan jaringan LTE dan LTE-AP menggunakan SFR juga meningkatkan beberapa parameter terutama SINR dan Throughput. Seperti hasil simulasi yang sudah dilakukan untuk nilai SINR pada LTE non SFR rata-rata 1.9 dB meningkat setelah menggunakan SFR menjadi 11.88 dB, rata-rata throughput juga meningkat dari 15.513 Mbps setelah menggunakan SFR menjadi 38.210 Mbps dan user connected juga meningkat dari 97.09% menjadi 98.00%. Begitu juga pada SINR LTE-AP non SFR adalah rata-rata 6.35 dB setelah menggunakan SFR menjadi 16.77 dB, rata-rata throughput juga meningkat dari 30.942 Mbps setelah menggunakan SFR meningkat menjadi 49.569 Mbps dan user connected tetap 100%.
5. Perencanaan jaringan antara LTE dan LTE-AP yang lebih baik untuk diimplementasikan di daerah Bandung adalah perencanaan jaringan LTE-AP menggunakan PCI dan SFR. Hal ini dikarenakan pertimbangan efisiensi biaya untuk jumlah site yang dibangun lebih sedikit yaitu sebanyak 74 site serta efektif dalam memanfaatkan bandwidth unlicensed 20 MHz pada band 36 ( 5180 MHz) sehingga dapat mengefisiensi spektrum frekuensi yang terbatas dan performansi jaringan yang lebih baik dari sisi coverage dengan RSRP rata-rata -73,49 dBm, serta kualitas jaringan yang lebih baik dengan SINR rata-rata 17,02 dB, rata-rata throughput 49,739 Mbps, dan user connected 100%.

Saran :

1. Perlu adanya penelitian selanjutnya untuk menganalisis kembali penggunaan carrier aggregation antara spektrum licensed dan unlicensed agar menjadikan akses yang adil.
2. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai kombinasi antara carrier aggregation dengan fractional frequency reuse sehingga interferensi semakin kecil.
3. Perlu adanya penelitian tentang pengaruh skema CA antara spektrum licensed dan unlicensed.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dr. Michelle M. Do. Netmanias .2017. LTE 4.5G Evolution Roadmap.
- [2] 4G.Americas .2014. LTE-Advanced Carrier Aggregation.
- [3] S. Sesia, I. Toufik and M. Barker, UMTS Long Term Evolution Second Edition From Theory to Practice, Chichester: John Wiley & Sons, 2011.
- [4] Tech-invite .2017. 3GPP architecture evolution release 13.
- [5] I. F. Akyildiz, D. M. Gutierrez-Estevez and E. C. Reyes, "The Evolution of 4G Cellular Systems: LTE-Advanced," Physical Communication, pp. 2010.
- [6] E. Dahlman, S. Parkvall and J. Skold. 2011. 4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband, Oxford: Academic Press.
- [7] Ericsson .2017. LAA benefits all consumers and business users on smartphones and other mobile devices.
- [8] Monica Paolini, Senza Fili .2015. LTE unlicensed and Wi-Fi: moving beyond coexistence.
- [9] Radio-Electronics. LTE frequency band spectrum allocations for 3G & 4G LTE TDD and FDD.
- [10] 4GAmericas .2014. LTE Carrier Aggregation technology development and deployment worldwide.
- [10] <https://www.slideshare.net/DyanElf4ever/alokasi-frekuensi>
- [11] Jabbusch Jennifer, 2013.Chanel allocation frequency 5 GHz.
- [12] Huawei technologies Co.Ltd.2010.Lte Radio Network Planning.
- [13] Huawei technologies Co.Ltd.2010.Lte Radio Network Capacity Dimensioning
- [14] Huawei technologies Co.Ltd.2013.Lte Radio Network Capacity Dimensioning
- [15] Huawei technologies Co.Ltd.2010.Lte Radio Network Coverage Dimensioning
- [16] Huawei technologies Co.Ltd.2018.Lte Radio Network Capacity Dimensioning
- [17] Huawei technologies Co.Ltd.2010.Lte Radio Network Coverage Dimensioning
- [18] Telkomsel Key Performance Indicator
- [19] <https://ppdbkotabandung.wordpress.com/pustaka/peta-kota-bandung/>
- [20] Telkomsel Network Coverage and Capacity Planning