

ANALISIS PERENCANAAN PERLUASAN *COVERAGE AREA*
PADA JARINGAN LTE DI AREA KABUPATEN KABUPATEN BANDUNG BARAT
PLANNING ANALYSIS OF COVERAGE AREA EXPANSION
ON LTE NETWORK IN BANDUNG BARAT DISTRICT

Nur Fathimah¹, Dr. Arfianto Fahmi, S.T., M.T.², Ir.Uke Kurniawan Usman, M.T.³

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

nui.nurfathimah@gmail.com, - arfiantof@telkomuniversity.ac.id, - usman.uke@gmail.com

Abstrak

Di Area Kabupaten Bandung Barat terdapat beberapa area yang belum *tercover* oleh jaringan LTE selain itu terdapat permasalahan *blank spot* (RSRP>-120 dBm) dengan kualitas sinyal yang kurang baik (SINR>-20 dB) serta *throughput* yang lambat di beberapa kecamatan.

Dalam menangani permasalahan yang terjadi di area Kabupaten Bandung Barat dilakukan perencanaan perluasan *coverage area* pada jaringan LTE dengan menggunakan dua skenario. Skenario pertama adalah perluasan *coverage area* menggunakan LTE (FDD) pada frekuensi 1800 MHz dan skenario kedua menggunakan LTE-A (*Carrier Aggregation*) yang dikombinasikan dengan SFR pada frekuensi 1800 – 850 MHz. Pada perencanaan perluasan *coverage area* di area Kabupaten Bandung Barat dilakukan analisis dan simulasi menggunakan *software* Atoll 3.3.

Pada Tugas Akhir ini, terjadi peningkatan *coverage area* di area Kabupaten Bandung Barat setelah dilakukan perluasan *coverage area* sebesar 143,136 km² dengan perolehan kualitas yang memenuhi nilai standar KPI. Hasil simulasi perencanaan perluasan *coverage area* menggunakan LTE (FDD) diperoleh total site sebanyak 35 site dengan nilai rata-rata parameter RSRP adalah -74,75 dBm, SINR adalah 23,96 dB, *throughput* adalah 18,971 Mbps dan *user connected* adalah 98,7%. Sedangkan Hasil simulasi perencanaan perluasan *coverage area* menggunakan LTE-A (*Carrier Aggregation*) yang dikombinasikan dengan SFR diperoleh total site sebanyak 31 site dengan nilai rata-rata parameter RSRP adalah -68,54 dBm, SINR adalah 26,72 dB, *throughput* adalah 31,236 Mbps dan *user connected* adalah 98,8%.

Kata Kunci : LTE, LTE-A *Carrier Aggregation*, SFR, RSRP, SINR, *Throughput*, *User Connected*, KPI.

Abstract

West Bandung regency there are some areas that have not been covered by LTE network in addition there is a problem spot blank (RSRP> -120 dBm) with poor signal quality (SINR> -20 dB) and the slow throughput in some districts.

In addressing the problems that occur in the area of West Bandung regency planning extension coverage area on the LTE network using two scenarios. The first scenario is the expansion of coverage area using LTE (FDD) at 1800 MHz frequency and second scenario using LTE-A (Carrier Aggregation) combined with SFR at frequency 1800 - 850 MHz. In planning of coverage area expansion in area of West Bandung regency analysis and simulation using software of Atoll 3.2.1

In this Final Project, there is an increase of coverage area in West Bandung regency area after expansion of coverage area is 143,136 km² with acquisition of quality fulfilling KPI standard value. The result of simulation planning of expansion of coverage area using LTE (FDD) obtained by total of 35 site with RSRP parameter value is -74,75 dBm, SINR is 23,96 dB, throughput is 18,971 Mbps and user connected is 98,7% . While the simulation result of coverage coverage planning using LTE-A (Carrier Aggregation) combined with SFR obtained total site as much as 31 sites with RSRP parameter value is -68,54 dBm, SINR is 26,72 dB, throughput is 31,236 Mbps and user connected is 98.8%.

Keyword : LTE, LTE-A *Carrier Aggregation*, SFR, RSRP, SINR, *Throughput*, *User Connected*, KPI.

1 Pendahuluan

Kebutuhan pelanggan akan informasi dan komunikasi yang semakin berkembang menuntut penyedia jasa layanan telekomunikasi seluler untuk semakin berkembang guna memenuhi kebutuhan konsumennya. Salah satu hal yang terlihat berkembang adalah kebutuhan akan paket data. *Long Term Evolution* adalah standar teknologi baru yang dikembangkan oleh 3GPP untuk mengatasi peningkatan permintaan kebutuhan akan layanan telekomunikasi yang merupakan perkembangan dari teknologi UMTS (3G) dan HSDPA (3.5G) yang menawarkan performansi yang lebih baik dari teknologi sebelumnya karena mampu memberikan *data rate* yang tinggi dan kapasitas yang besar. LTE mampu memberikan kecepatan *transfer* data mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink* dan 50 Mbps pada sisi *uplink*. Di kota-kota besar seperti Bandung, Jakarta, Surabaya dan lain-lain jaringan LTE sudah mulai berkembang namun belum sepenuhnya merata ke setiap daerah terutama area kabupaten yang memiliki lokasi-lokasi potensial market yang membutuhkan layanan jaringan LTE. Area Kabupaten Bandung Barat merupakan salah satu area wisata yang banyak dikunjungi setiap harinya terutama pada saat akhir pekan, banyak pengunjung dari dalam maupun luar Kota Bandung yang berdatangan ke tempat wisata yang berada di area Kabupaten Bandung Barat karena di area tersebut terdapat beberapa tempat wisata, *resort* dan *cafe* salah satunya adalah Dreamland,

Dusun Bambu, Lawang Wangi, Maribaya Lounge, D’Ranch dan masih banyak lagi. Namun kondisi performansi jaringan LTE di area Kabupaten Bandung Barat belum sepenuhnya merata dan performansi yang belum optimal diakibatkan pengguna layanan jaringan LTE yang semakin meningkat dan cakupan *coverage* yang belum maksimal. Berdasarkan hasil *survey* kondisi *existing*, diperoleh permasalahan *poor coverage* (RSRP > -120 dBm), kualitas sinyal yang kurang baik (SINR > -20 dB) dan *throughput data* yang lambat. Untuk menangani permasalahan yang terjadi di area Kabupaten Bandung Barat, dilakukan perencanaan perluasan *coverage* area menggunakan dua skenario. Skenario pertama dilakukan perluasan *coverage* area menggunakan LTE (FDD) sedangkan skenario kedua menggunakan LTE (*carrier aggregation*) yang dikombinasikan dengan SFR (*Soft Frequency Reuse*) sebagai metode manajemen interferensi. Pada Tugas Akhir ini, diharapkan adanya peningkatan kualitas layanan dan terpenuhinya performansi pada parameter jaringan LTE seperti *Reference Signal Receive Power* (RSRP), *Signal to Noise Ratio* (SINR), *throughput*, dan *user connected* yang sesuai dengan nilai standar KPI di area Kabupaten Bandung Barat.

2. Dasar Teori

2.1 Konsep Dasar Jaringan LTE

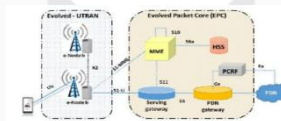
Teknologi jaringan LTE (*Long Term Evolution*) merupakan evolusi dari jaringan 3G (UMTS) dan HSDPA (3.5G) yang mana LTE disebut sebagai generasi ke-4 (4G). LTE memiliki kemampuan dalam memberikan kecepatan dalam hal *transfer data* mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink* dan 50 Mbps pada sisi *uplink* baik didalam ruangan maupun diluar ruangan dengan QoS (*Quality Of Service*) yang terjamin dan penyampaian informasi yang *real time* dimana pun dan kapan pun pelanggan berada.^[1] Teknologi jaringan LTE diharapkan dapat memenuhi kebutuhan akan aplikasi nirkabel seperti MMS, *video chatting*, *mobile TV*, *High Definition TV* (HDTV), *Digital Video Broadcasting* (DVB), kebutuhan komunikasi data seperti beberapa media sosial, serta pelayanan standar seperti layanan panggilan dengan suara yang lebih jernih dan jelas pada saat yang bersamaan (*real-time sistem*).^[2] LTE diciptakan untuk memperbaiki teknologi sebelumnya. Kemampuan dan keunggulan dari LTE terhadap teknologi sebelumnya selain kecepatan dalam *transfer data* juga dapat memberikan *coverage* dan kapasitas dari layanan yang lebih besar, mengurangi biaya operasional, mendukung penggunaan *multiple-antena*, *fleksible* dalam penggunaan *bandwidth* operasinya dan juga dapat terhubung atau terintegrasi dengan teknologi yang sudah ada.^[1]

2.2 Long Term Evolution-Advanced (LTE-A)

LTE-Advanced merupakan istilah yang digunakan untuk versi LTE yang membahas persyaratan lanjutan IMT, seperti yang ditentukan pada 3GPP Release 10 dan seterusnya. LTE-Advanced merupakan pengembangan lanjutan dari teknologi LTE yang memungkinkan jaringan memiliki pencapaian *coverage* area yang lebih besar, lebih stabil dan lebih cepat. Biasanya pengembangan ini dicapai dengan penggunaan teknik multi antena (MIMO), penggunaan *Carrier Aggregation*., dan penambahan *Relay Nodes*.^[10]

2.3 Arsitektur Jaringan LTE

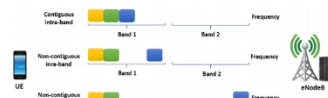
Dalam suatu konfigurasi jaringan telkomunikasi bergerak dalam hal ini LTE, diperkenalkan suatu jaringan baru yang diberi nama EPS (*Evolved Packet System*). EPS terdiri dari jaringan akses yang di sebut E-UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Access*) dan jaringan *core* menuju ke jaringan radio akses lain, yang disebut EPC (*Evolved Packet Core*). Gambar 2.1 menunjukkan arsitektur jaringan LTE.



Gambar 2.1 Arsitektur Jaringan LTE^[3]

2.4 Carrier Aggregation^[4]

Carrier aggregation adalah fitur utama pada teknologi LTE-A yang memungkinkan penggunaan satu sampai lima *component carrier* dengan besar *bandwidth* sebesar 20 MHz bahkan hingga mencapai 100 MHz. Semakin besarnya *bandwidth* yang dapat diakses maka *data rate* akan semakin meningkat pula. *Carrier aggregation* memungkinkan penggabungan *component carrier* dari spektrum yang sama maupun berbeda. Gambar 2.2 merupakan tiga skenario pada *carrier aggregation*.



Gambar 2.2 Jenis Carrier Aggregation^[11]

- *Intra-band contiguous carrier aggregation* merupakan penggabungan dua buah *carrier* atau lebih dengan posisi bersebelahan yang berada dalam satu *band frekuensi* yang sama.
- *Intra-band non contiguous carrier aggregation* merupakan penggabungan dua buah *carrier* atau lebih yang posisinya diselingi oleh *carrier* lain, namun masih berada dalam satu *band frekuensi* yang sama.

- *Inter-band contiguous* yaitu merupakan penggabungan dua buah *carrier* atau lebih yang berada pada *band frekuensi* yang berbeda.

2.5 Perencanaan Perluasan Berdasarkan Capacity Planning

Capacity planning merupakan suatu metode perencanaan jaringan yang mengutamakan terpenuhinya kebutuhan trafik user dengan memperhitungkan kualitas dan kapasitas sebuah jaringan. Banyaknya jumlah *user* dan permintaan layanan pada setiap daerah akan berbeda-beda tergantung klasifikasi daerah. Sehingga jumlah *site* pada perluasan jaringan LTE akan berbeda-beda pula.

Persamaan pada perencanaan perluasan berdasarkan *capacity planning* adalah sebagai berikut :

- Throughput = Bearer Rate x Session Time x Session Duty Ration x [1/(1-BLER)] (1)
- Single User Throughput = (Σ (Throughput/Session) x BHSA x Penetration Ratio x (1 + Peak to Average Ratio))/360 (2)
- UL Network Throughput = Total user number x UL Single user throughput (3)
- DL Network Throughput = Total user number x DL Single user throughput (4)
- DL Cell Capacity+CRC= (168- 36 -12)x(Code bits)x(Code rate) x Nrb x C x 1000 (5)
- UL Cell Capacity+CRC = (168 - 24) x (Code bits) x (Code rate) x Nrb x C x 1000 (6)
- UL Network Throughput (IP)= (UL Single User Throughput) x (Total Target User) (7)
- DL Network Throughput (IP)= (DL Single User Throughput) x (Total Target User) (8)
- UL Network Throughput (MAC LAYER)= UL Network Throughput (IP)/(AxB x C) (9)
- DL Network Throughput (MAC LAYER)= DL Network Throughput (IP) / (A x B x C) (10)
- DL Site Capacity = (DL Cell Capacity) x (Cell Sectors) (11)
- UL Site Capacity = (UL Cell Capacity) x (Cell Sectors) (12)
- Total Cell = *Network Throughput / Cell Average Throughput* (13)
- Jumlah Site = Jumlah Cell / 3 (14)

2.6 Perencanaan Perluasan Berdasarkan Coverage Planning

Pada tahapan ini dilakukan perencanaan perluasan jaringan LTE berdasarkan sisi *coverage*. Perhitungan *coverage planning* dilakukan untuk menentukan luas cakupan *cell* serta jumlah *cell*.

Persamaan pada perencanaan perluasan berdasarkan *coverage planning* adalah sebagai berikut :

- MAPL=EIRP - Min Signal Reception - Penetration loss - Shadow Fade Margin (15)
- EIRP = Subcarrier Power +Tx Antenna Gain -Tx cable loss -Tx body loss (16)
- Subcarrier Power = Max Total Tx Power - 10 Log (The Number of Subcarriers to Distribute Power) (17)
- Min Signal Reception = Rx Sensitivity - Rx Antenna Gain + Rx Cable Loss + Rx Body Loss + Margin (18)
- Receiver Sensitivity = Thermal noise per subcarrier + Noise figure of eNodeB + Required SINR (19)
- Thermal noise per subcarrier = 10 Log (K x T x W) (20)
- Luas *cell*=1.95 x d² (21)
- ΣLTE Site = Luas area/ Luas *cell* (22)

2.7 Model Propagasi

Model Propagasi yang digunakan untuk perencanaan perluasan *coverage area* pada jaringan LTE adalah model propagasi COST-231 dan model Okumura-Hatta. Model propagasi yang dipilih berfungsi untuk menentukan jari-jari *cell*. Berikut ini merupakan persamaan model propagasi Cost 231 dan Okumura-Hata.

Persamaan model propagasi Cost 231- Hata. $PL = 46,3 + 33,9 \log fc - 13,82 \log hb - a(hr) + (44,9-6,55 \log hb) \log d + CM$ (23)

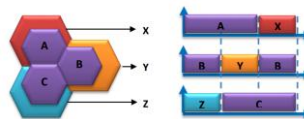
Persamaan model propagasi Okumura - Hata.

$PL = 69.55 + 26.16 \log fc - 13.82 \log hb - a(hm) + (44.9 - 6.55 \log hb) \log d$ (24)

Dimana: $a(hm) = (1,1 \log f - 0,7)hr - (1,56 \log f - 0,8)$ (25)

2.8 Soft Frequency Reuse

Soft Frequency Reuse adalah skema frekuensi *reuse* dimana area cakupan dibagi menjadi dua area yaitu *cell centre* dan *cell edge*. *Cell centre* adalah area cakupan dengan jari-jari sel dengan menggunakan *subband bandwidth* dengan menggunakan daya pancar. *Cell edge* adalah area cakupan sel dengan jari-jari sel dengan menggunakan skema frekuensi *reuse* lebih besar dari satu dan menggunakan daya pancar *cell centre* seperti pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Skema SFR (*Soft Frequency Reuse*) [7]

2.9 Key Performance Indicator

Key Performance Indicator (KPI) merupakan suatu indikator yang dapat menunjukkan kinerja setiap parameter yang dapat menentukan performansi pada sebuah jaringan. Setiap parameter memiliki nilai target KPI yang harus dicapai untuk memenuhi kualitas performansi suatu jaringan. Tabel 2.1 merupakan target KPI setiap parameter yang ingin dicapai pada Tugas Akhir ini.

Tabel 2.1 Target KPI Parameter

Objective	Parameter	Target KPI
Coverage	RSRP	90% ≥ -90 dBm
Kualitas Sinyal	SINR	90% ≥ 5 dB
Service Integrity	Mean Throughput	≥ 12 Mbps
Accessibility	User Connected	≥ 90%

2.10 Parameter Analisa

Untuk mengetahui kualitas jaringan dilakukan analisis beberapa parameter berdasarkan hasil *drivetest* yang telah dilakukan. Adapun parameter yang dianalisis untuk mengetahui kualitas jaringan di area Kabupaten Bandung Barat adalah sebagai berikut.

a. RSRP (Reference Signal Received Power)

Parameter RSRP merupakan level daya pancar sinyal *eNodeB* yang diterima oleh UE dalam frekuensi tertentu yang mengindikasikan semakin jauh jarak antara *eNodeB* dengan UE maka nilai RSRP yang diterima oleh UE semakin kecil. Tabel 2.2 merupakan standar nilai parameter RSRP pada operator Telkomsel.

Tabel 2.2 Standar Nilai Parameter RSRP^[8]

RSRP Range	Level (dBm)	Keterangan
	-70 to 0	Excellent
	-80 to -70	Very Good
	-91 to -80	Good
	-100 to -91	Fair
	-120 to -100	Poor

b. SINR (Signal to Interference Noise Ratio)

SINR merupakan merupakan *rasio* antara rata-rata *power* yang diterima dengan rata-rata interferensi dan *noise*. Tabel 2.3 merupakan nilai standar parameter SINR pada operator Telkomsel.

Tabel 2.3 Standar Nilai Parameter SINR^[8]

RSRP Range	Level (dBm)	Keterangan
	-70 to 0	Excellent
	-80 to -70	Very Good
	-91 to -80	Good
	-100 to -91	Fair
	-120 to -100	Poor

c. Throughput

Throughput merupakan parameter yang menunjukkan kecepatan *transfer* maksimum pada saat melakukan *transfer* data *upload* maupun *download* ke suatu *file server*. Tabel 2.4 menunjukkan standar nilai parameter *throughput* pada operator Telkomsel.

Tabel 2.4 Standar Nilai Parameter Throughput^[8]

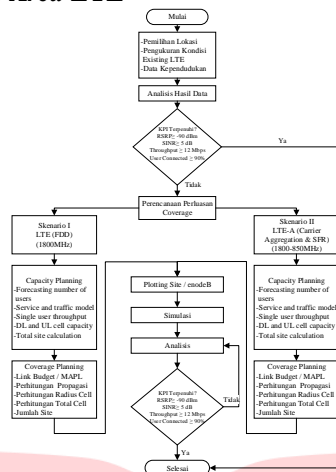
RSRP Range	Level (dBm)	Keterangan
	-70 to 0	Excellent
	-80 to -70	Very Good
	-91 to -80	Good
	-100 to -91	Fair
	-120 to -100	Poor

3. Tahap Perencanaan Perluasan Jaringan LTE

3.1 Pendahuluan

Pada Tugas Akhir ini, dilakukan analisis perencanaan perluasan *coverage area* pada jaringan LTE di area Kabupaten Bandung Barat menggunakan dua skenario yaitu LTE (FDD) dan LTE (*Carrier Aggregation*) dikombinasikan dengan SFR. Tahap awal yang dilakukan sebelum melakukan perencanaan perluasan *coverage* adalah melakukan pengukuran kondisi jaringan *existing* menggunakan metode *drivetest* untuk mengetahui performansi jaringan RF di area tersebut. Perencanaan perluasan jaringan LTE dilakukan berdasarkan perhitungan *coverage* dan *capacity*. Parameter yang dianalisis pada perencanaan perluasan *coverage* pada jaringan LTE ini adalah RSRP, SINR, *throughput*, *user connected* dan jumlah *site* yang diperlukan.

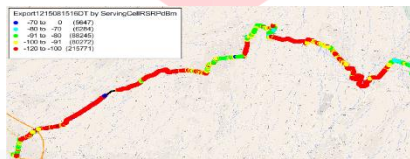
3.2 Alur Perencanaan Perluasan Coverage Area LTE



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Perencanaan Perluasan Coverage Area LTE

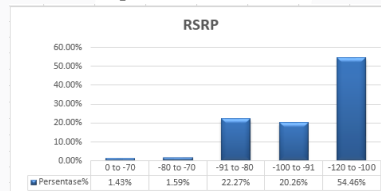
3.3 Pengukuran Kondisi Jaringan LTE Existing

Gambar 3.2 menunjukkan hasil pengukuran kualitas jaringan *existing* menggunakan metode *drivetest* pada parameter RSRP di area Kabupaten Bandung Barat.



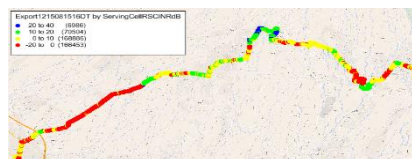
Gambar 3.2 Hasil Pengukuran Parameter RSRP

Berdasarkan gambar 3.2 diperoleh hasil pengukuran kualitas jaringan *existing* menggunakan metode *drivetest* pada parameter RSRP, terlihat bahwa jaringan LTE di area Kabupaten Bandung Barat belum sepenuhnya merata ke setiap kecamatan. Nilai RSRP yang diperoleh di beberapa area berada pada nilai -100 dBm hingga -120 dBm. Rendahnya nilai RSRP yang diperoleh menunjukkan *poor coverage* yang terjadi di area tersebut selain itu terlihat bahwa di kecamatan tersebut belum terdapat jaringan LTE atau yang disebut *blank spot*.



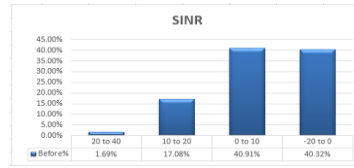
Gambar 3.3 Histogram Hasil Pengukuran Parameter RSRP

Gambar 3.3 menunjukkan histogram hasil pengukuran jaringan *existing* di area Kabupaten Bandung Barat berdasarkan parameter RSRP. Nilai yang diperoleh pada parameter RSRP adalah sebesar 45.55%. Nilai tersebut belum memenuhi nilai standar KPI pada parameter RSRP yaitu 90%. Hal tersebut menunjukkan bahwa cakupan sinyal belum sepenuhnya *cover* area tersebut oleh karena itu perlu dilakukan perluasan jaringan LTE pada sisi *coverage*. Gambar 3.4 merupakan hasil pengukuran kualitas jaringan *existing* menggunakan metode *drivetest* pada parameter SINR di area Kabupaten Bandung Barat.



Gambar 3.4 Hasil pengukuran parameter SINR

Berdasarkan gambar 3.4 diperoleh hasil pengukuran kualitas jaringan *existing* menggunakan metode *drivetest* pada parameter SINR, terlihat bahwa nilai SINR di beberapa kecamatan berada pada nilai 0 dBm sampai -20 dBm. Rendahnya nilai SINR yang diperoleh membuktikan bahwa di kecamatan tersebut belum terdapat jaringan LTE atau yang disebut *blank spot*.



Gambar 3.5 Histogram hasil pengukuran parameter SINR

Berdasarkan gambar 3.5 terlihat histogram yang menunjukkan bahwa rendahnya nilai rata-rata yang diperoleh pada parameter SINR yaitu 68,68%. Nilai tersebut berada dibawah nilai standar KPI operator pada parameter SINR yaitu 90%. Hal tersebut menunjukkan bahwa perlu dilakukan perluasan jaringan LTE di area Kabupaten Bandung Barat.

3.4 Perencanaan Perluasan Berdasarkan Capacity

3.4.1 Pertumbuhan Demand Existing

Pada Tugas Akhir ini dilakukan perhitungan jumlah pengguna jaringan LTE pada 5 kecamatan di area Kabupaten Bandung Barat yang dilakukan perluasan jaringan LTE untuk 5 tahun kedepan. Dibawah ini merupakan rincian prediksi jumlah pengguna jaringan LTE pada tahun 2022 yang akan datang menggunakan persamaan (2.1) di area Kabupaten Bandung Barat.

- Jumlah *user* jaringan LTE di area studi kasus tahun 2022 = 39.500 user
- Jumlah *user* jaringan LTE-A di area studi kasus tahun 2022 = 17.775 user

3.4.2 Service Model dan Trafik Model

Service model merupakan jumlah minimum *throughput* layanan agar *user* dapat mengakses layanan. Jumlah minimum *throughput* pada setiap layanan akan berbeda-beda. *Traffic model* merupakan model layanan yang bertujuan sebagai acuan untuk menghitung besarnya jumlah *single user throughput* pada setiap layanan. Nilai *throughput* dan *single user throughput* akan berbeda-beda hal tersebut dipengaruhi oleh penggunaan layanan pada setiap user pada jam sibuk (*busy hour*) akan berbeda-beda pula.

Tabel 3.1 Service Model dan Traffic Model

Trafik Parameter	Uplink	Downlink
	Throughput/ Session (kbps)	Throughput/ Session (kbps)
VoIP	869.49	869.49
Video Phone	4421.31	4421.31
Web Browsing	5684.55	22737.27
File Transfer	85272.73	454751.52
Email	7106.06	37895.96

3.4.3 Single User Throughput

Single user throughput merupakan jumlah minimum *throughput* yang dimiliki setiap *user* untuk mengakses semua layanan

Tabel 3.2 Single User Throughput

Traffic	Upload	Download
VoIP	1817.24	9240.54
Video Phone	765.99	765.99
Web Browsing	2188.55	8753.85
File Transfer	5628.00	30013.60
Email	1934.63	10317.18
Single User Throughput (Kbps)	23.4535	245.4331

3.4.5 Network Throughput

Network throughput merupakan jumlah *throughput* yang dibutuhkan oleh seluruh *user* untuk mengakses semua layanan. Nilai *network throughput* diperoleh dengan mengalikan nilai *single user throughput* dengan jumlah pengguna LTE dan LTE-A (*Carrier Aggregation*).

Tabel 3.3 Network Throughput

Parameter	LTE (FDD)		LTE-A (Carrier Aggregation)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Total Target User	39500		17775	
Single User Throughput (Kbps)	23.4535	241.3649	23.4535	241.3649
Network Throughput (IP) (Kbps)	926413.3	9533913.6	416886	4290261
Network Throughput (IP) (Mbps)	926.4133	9533.9136	416.886	4290.261

3.4.6 Radio Overhead

Radio Overhead berfungsi untuk mengkonversi nilai *network throughput* di layer IP ke layer MAC

Tabel 3.4 MAC Layer Throughput

LTE (FDD)		LTE-A (Carrier Aggregation)	
UL Network Throughput (Mbps)	DL Network Throughput (Mbps)	UL Network Throughput (Mbps)	DL Network Throughput (Mbps)
907.885	9343.2353	408.5482	4204.456

3.4.7 Cell Average Throughput SINR 1800 MHz dan 850 MHz

Tabel 3.5 Cell Average Throughput Pada Frekuensi 1800 MHz dan 850 MHz

(a) 1800 MHz									(b) 850 MHz														
Modulation	Code Bit	Code Rate	SINR (min) (dB)	SINR Probability (Pn)	DL Cell Throughput (Mbps) (Rn)	DL Cell Average Throughput (Mbps)	UL Cell Throughput (Mbps) (Rn)	UL Cell Average Throughput (Mbps)	Modulation	Code Bit	Code Rate	SINR (min) (dB)	SINR Probability (Pn)	DL Cell Throughput (Mbps) (Rn)	DL Cell Average Throughput (Mbps)	UL Cell Throughput (Mbps) (Rn)	UL Cell Average Throughput (Mbps)						
QPSK 1/3	2	0.3	-1.5 - 0.3	0.28	14.4	4	8.63	2.42	QPSK 1/3	2	0.3	-1.5 - 0.3	0.29	7.2	2.1	8.63	2.5						
QPSK 1/2	2	0.5	0.3 - 2	0.25	24	6	14.39	3.6	QPSK 1/2	2	0.5	0.3 - 2	0.27	12	3.2	14.39	3.88						
QPSK 2/3	2	0.67	2 - 4.5	0.17	32.2	5.5	19.29	3.28	QPSK 2/3	2	0.67	2 - 4.5	0.19	16.1	3.1	19.29	3.66						
16 QAM 1/2	4	0.5	4.5 - 6	0.13	48	6.2	28.79	3.744	16 QAM 1/2	4	0.5	4.5 - 6	0.15	24	3.6	28.79	4.31						
16 QAM 2/3	4	0.67	6 - 8.5	0.1	64.3	6.4	38.59	3.86	16 QAM 2/3	4	0.67	6 - 8.5	0.14	32.2	4.5	38.59	5.4						
16 QAM 4/5	4	0.8	8.5 - 10.8	0.05	76.8	3.8	46.07	2.305	16 QAM 4/5	4	0.8	8.5 - 10.8	0.09	38.4	3.5	46.07	4.14						
64 QAM 1/2	6	0.5	10.8 - 12.5	0.01	72	0.7	43.19	0.432	64 QAM 1/2	6	0.5	10.8 - 12.5	0.06	36	2.2	43.19	2.59						
64 QAM 2/3	6	0.67	12.5 - 13.5	0.01	48.2	0.5	57.9	0.579	64 QAM 2/3	6	0.67	12.5 - 13.5	0.05	48.2	2.4	57.88	2.89						
Cell Average Throughput (MAC) = $\sum P_n \times R_n$						33.7			20.22			Cell Average Throughput (MAC) = $\sum P_n \times R_n$						24.5			29.37		
Capacity per site						101.1			60.66			Capacity per site						73.5			88.11		

Berdasarkan tabel 3.5 diperoleh nilai *cell average throughput* pada frekuensi 1800 MHz pada arah *uplink* yaitu 20.22 Mbps dengan nilai kapasitas per *site* sebesar 60.66 Mbps dan pada arah *downlink* nilai *cell average throughput* yaitu 33.7 Mbps dengan nilai kapasitas per *site* sebesar 101.1 Mbps. Sedangkan pada frekuensi 850 MHz pada arah *uplink* yaitu 29.37 Mbps dengan nilai kapasitas per *site* sebesar 88.11 Mbps dan pada arah *downlink* nilai *cell average throughput* yaitu 24.5 Mbps dengan nilai kapasitas per *site* sebesar 73.5 Mbps

3.4.8 Perhitungan Total Site Berdasarkan Capacity

Berdasarkan hasil perhitungan berdasarkan *capacity* maka didapatkan jumlah *site* seperti pada tabel 3.6 dibawah ini.

Tabel 3.6 Jumlah Site Berdasarkan Capacity

Item	LTE (FDD)		LTE-A (Carrier Aggregation)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Area Wide (km ²)	143,136		143,136	
User	39.5		17.775	
Single User Throughput	23.4535	241.3649	23.4535	241.3649
Network Throughput (Mbps)	926.4133	9533.9136	416.886	4290.261
Cell Average Throughput MAC Layer (Mbps)	20.22	33.7	24.5	29.42
Site Capacity (Mbps)	60.66	101.1	88.24	73.5
Jumlah Site	6	31	1	6

Jumlah *site* yang diperoleh pada perencanaan perluasan *coverage area* pada jaringan LTE di sisi *uplink* yaitu 6 *site* dan pada sisi *downlink* yaitu 31 *site* sedangkan pada perencanaan menggunakan LTE-A (*carrier aggregation*) di sisi *uplink* yaitu 1 *site* dan pada sisi *downlink* yaitu 6 *site*.

3.5 Perencanaan Perluasan Berdasarkan Coverage

3.5.1 Link Budget

Maximum Allowable Pathloss (MAPL) merupakan nilai maksimum *loss* yang di perbolehkan pada sisi *uplink* untuk setiap *user*, ketika *user* mengalami *loss* yang lebih rendah nilainya dibandingkan nilai MAPL, maka *user* masih bisa mengakses layanan. Nilai MAPL pada setiap daerah akan berbeda-beda tergantung morfologi daerah. Dalam perhitungan MAPL diperlukan beberapa parameter seperti EIRP, MSRS dan *receiver sensitivity*.

Tabel 3.7 Maximum Allowable Pathloss (MAPL)^[8]

Parameter	LTE (FDD)		LTE-A (Carrier Aggregation)		Calculation
	Uplink Value	Downlink Value	Uplink Value	Downlink Value	
Transmitter	UE	eNodeB	UE	eNodeB	Formula
Tx Power (dBm)	23	43	23	46	a
RB to distributed power	3	100	3	100	b
Subcarriers to distributed power	36	1200	36	1200	c = 12*b
Subcarrier power (dBm)	7.437	12.208	7.437	12.208	d=a-10*log(c)
Antenna Gain (dB)	0	17	0	17	e
Cable Loss (dB)	0	0.5	0	0.5	f
EIRP (dBm)	7.437	28.708	7.437	28.708	g = d+e+f
Receiver	eNodeB		UE		
SINR (dB)	-6	-5	-6	-5	h
Noise Figure (dB)	2	3	2	3	i
Receiver Sensitivity (dBm)	-136.239	-134.239	-136.239	-134.239	j=h+i-174+10*log(15000)
Antenna Gain (dB)	17	0	17	0	k
Body Losses (dB)	2	2	2	2	l
Interference Margin (dB)	2	3.13	2	3.13	m
MSRS (dBm)	-132.239	-129.109	-132.239	-129.109	n=j+l+m
Path Loss					
Penetration Loss (dB)	10	10	11	11	o
Shadow Fading Margin (dB)	4	4	5	5	p
MAPL (dB)	142.676	143.817	132.676	133.817	q=g-k-o+p

3.5.2 Perhitungan Radius Cell

Perhitungan *radius cell* daerah sub urban pada frekuensi 1800 MHz menggunakan model propagasi COST-231 dan pada frekuensi 850 MHz menggunakan model propagasi Okumura – Hata.

Tabel.3.8 Cell Radius

Parameter	LTE (FDD)	LTE-A (Carrier Aggregation)
Tinggi Node B (m)	30	30
Tinggi UE (m)	1,5	1,5
Frekuensi (MHz)	1800	850
Radius Cell (km)	15,281	15,719

Berdasarkan tabel 3.8 diperoleh nilai *radius cell* pada frekuensi 1800 MHz adalah sebesar 1,5281 km sedangkan *radius cell* pada frekuensi 850 MHz adalah sebesar 1,5719 km.

3.5.3 Site Calculation

Setelah memperoleh hasil *radius cell* berdasarkan perhitungan, selanjutnya adalah menentukan jumlah *site* berdasarkan *coverage* pada perencanaan perluasan jaringan LTE di area Kabupaten Bandung Barat

Tabel.3.9 Total Site Berdasarkan Coverage

Kecamatan	Luas	LTE (FDD)		LTE-A (Carrier Aggregation)	
		Cell Coverage (km2)	Total Site	Cell Coverage (km2)	Total Site
Lembang	36,94	4,56	9	4,72	8
Parongpong	45,15	4,56	10	4,72	10
Cisarua	14,306	4,56	4	4,72	3
Ngamprah	27,898	4,56	5	4,72	4
Padalarang	18,842	4,56	7	4,72	6
Total	143,136	4,56	35	4,72	31

Berdasarkan tabel 3.9 ditunjukkan jumlah *site* yang diperlukan pada perluasan *coverage* pada jaringan LTE di area Kabupaten Bandung Barat. Total *site* yang diperoleh berdasarkan perhitungan *coverage* untuk LTE (FDD) adalah 35 *site*, sedangkan total *site* untuk LTE (*carrier aggregation*) adalah 31 *site*. Jumlah *site* yang digunakan pada simulasi adalah jumlah yang terbanyak karena untuk memperoleh kualitas sinyal yang baik.

4. Simulasi dan Analisis

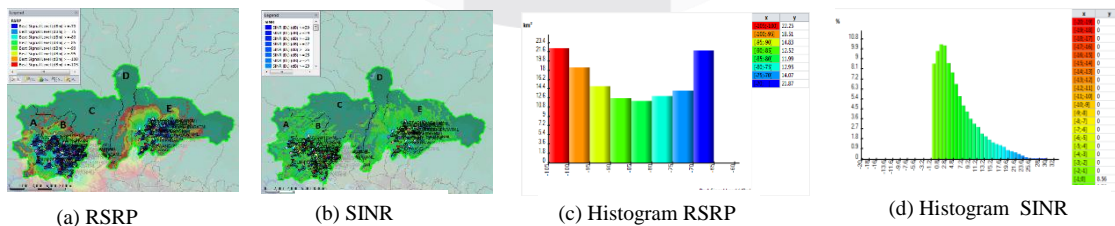
4.1 Simulasi Perencanaan Perluasan

Simulasi yang dilakukan pada perencanaan perluasan *coverage* pada jaringan LTE di area Kabupaten Bandung Barat dilakukan dengan menggunakan beberapa skenario yaitu simulasi pertama dilakukan berdasarkan pada kondisi jaringan *existing* di area Kabupaten Bandung Barat, simulasi kedua dilakukan berdasarkan perhitungan untuk jaringan LTE (FDD) dan simulasi ketiga dilakukan berdasarkan perhitungan untuk jaringan LTE-A (*Carrier Aggregation*) dengan penggabungan dengan manajemen interferensi SFR (*Soft Frequency Reuse*).

Simulasi perencanaan perluasan *coverage* pada jaringan LTE di area Kabupaten Bandung Barat dilakukan menggunakan *software* Atoll 3.2.1. Adapun parameter yang di analisis dalam perencanaan perluasan *coverage area* pada jaringan LTE di area Kabupaten Bandung Barat adalah RSRP, SINR, *Throughput* dan jumlah *user connected*.

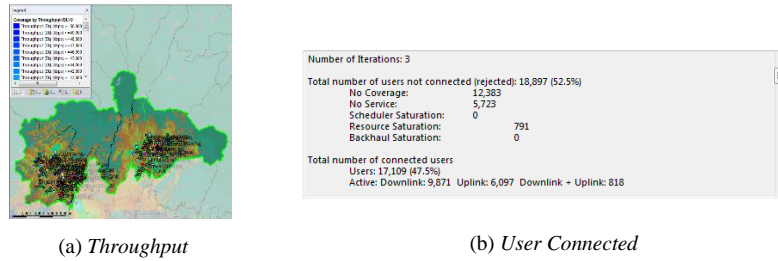
4.2 Simulasi Kondisi Awal Jaringan LTE

Simulasi peratama pada perencanaan perluasan *coverage area* pada jaringan LTE dilakukan berdasarkan data *existing* jaringan LTE operator PT.Telkomsel. Berdasarkan data *existing*, terdapat 42 *site* dengan jaringan LTE pada 5 kecamatan di area Kabupaten Bandung Barat yang. Perencanaan perluasan *coverage* dilakukan pada kecamatan Padalarang (A), Ngamprah (B), Cisarua (C), Parongpong (D), Lembang (E)



Gambar 4.1 Simulasi Kondisi Awal Jaringan LTE Parameter RSRP dan SINR

Gambar 4.1 merupakan hasil simulasi kondisi awal jaringan LTE di area Kabupaten Bandung Barat pada parameter RSRP dan SINR terlihat *blank spot* di beberapa kecamatan yang ditandai dengan huruf A, B, C, D dan E. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh nilai rata-rata parameter RSRP adalah -70,77 dBm dengan persentase sebesar 56,91% dan nilai rata-rata parameter SINR adalah 5,78 dB dengan persentase sebesar 44,88%.



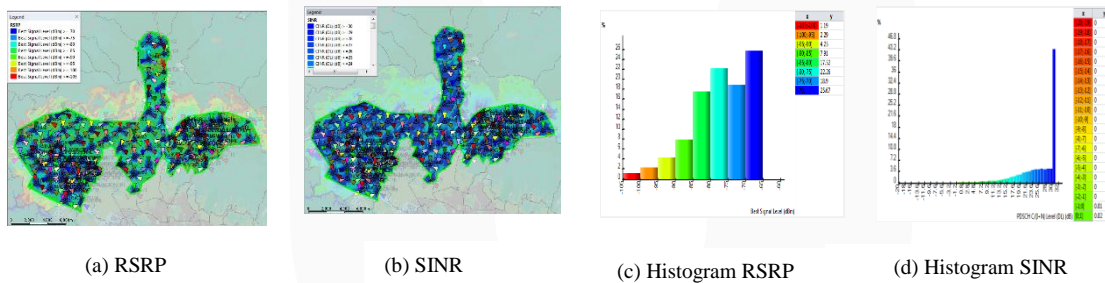
Gambar 4.2 Simulasi Kondisi Awal Jaringan LTE Parameter *Throughput* dan *User Connected*

Gambar 4.2 merupakan hasil simulasi *throughput* pada kondisi awal jaringan LTE di area Kabupaten Bandung Barat. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh nilai rata-rata *throughput* per *user* adalah sebesar 10,425 Mbps. Sedangkan persentase *user* yang berhasil terkoneksi (*user connected*) adalah sebesar 47,5 % dengan jumlah *user* *downlink* sebanyak 9.871 *user*, jumlah *user* *uplink* sebanyak 6.097 *user* serta jumlah *user* *uplink* dan *downlink* sebanyak 818 *user*. Sedangkan persentase *user* yang gagal terkoneksi yaitu sebesar 52,5 % dengan jumlah *user* 18.897 yang tidak memperoleh cakupan sinyal adalah sebanyak 12.383 *user* dan *user* yang tidak mendapatkan layanan sebanyak 5.723 *user*.

4.3 Simulasi Setelah Perencanaan Perluasan

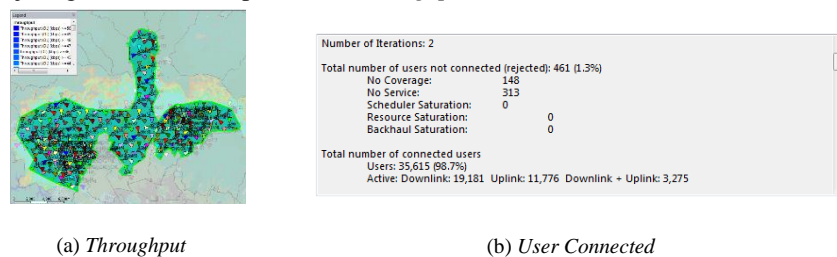
4.3.1 Simulasi LTE (FDD)

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh jumlah *site* untuk LTE (FDD) adalah 35 *site*. Gambar 4.3 merupakan hasil simulasi setelah dilakukan perencanaan perluasan *coverage area* jaringan LTE pada 5 kecamatan di area Kabupaten Bandung Barat.



Gambar 4.3 Simulasi RSRP dan SINR LTE (FDD)

Berdasarkan gambar 4.3 terlihat bahwa terjadinya perluasan *coverage* pada beberapa area pada 5 kecamatan di area Kabupaten Bandung Barat. Nilai rata-rata parameter RSRP setelah dilakukan perluasan jaringan LTE bernilai -74,75 dBm dengan persentase sebesar 92,26%. Sedangkan nilai rata-rata parameter SINR setelah dilakukan perluasan jaringan LTE bernilai 23,96 dB dengan persentase sebesar 99,3%. Selanjutnya parameter yang dianalisis berdasarkan hasil simulasi perluasan *coverage area* pada jaringan LTE adalah parameter *throughput* dan *user connected*.



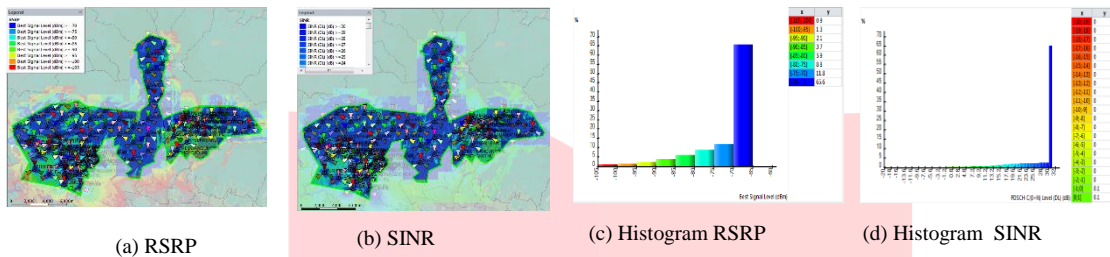
Gambar 4.4 Simulasi *Throughput* dan *User Connected* LTE (FDD)

Berdasarkan hasil simulasi *throughput* pada gambar 4.4 terlihat bahwa terjadinya perluasan *coverage* pada jaringan LTE (FDD) dengan perolehan nilai rata-rata *throughput* per *user* sebesar 18,971 Mbps. Nilai tersebut menunjukkan bahwa

perencanaan perluasan *coverage* dari sisi parameter *throughput* sudah baik. Sedangkan persentasi *user* yang berhasil terkoneksi (*user connected*) adalah sebesar 98,7 % dengan jumlah *user downlink* sebanyak 19.181 *user*, jumlah *user uplink* sebanyak 11.776 *user* serta jumlah *user uplink* dan *downlink* sebanyak 3.275 *user*. Sedangkan persentase *user* yang gagal terkoneksi yaitu sebesar 1,3 % dengan jumlah 461 *user* yang tidak memperoleh cakupan sinyal adalah sebanyak 148 *user* dan *user* yang tidak mendapatkan layanan sebanyak 313 *user*.

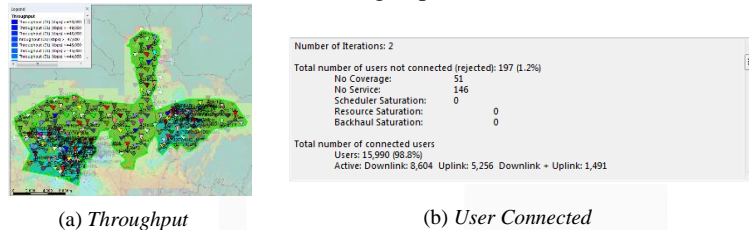
4.3.2 Simulasi LTE-A (Carrier Aggregation) dan SFR

Perencanaan perluasan *coverage area* untuk LTE (*Carrier Aggregation*) di area Kabupaten Bandung Barat disimulasikan berdasarkan hasil perhitungan site yang telah diperoleh dengan jumlah *site* adalah 31 *site*. Gambar 4.11 merupakan hasil simulasi setelah dilakukan perencanaan perluasan *coverage area* pada LTE (*Carrier Aggregation*) dan SFR pada 5 kecamatan di area Kabupaten Bandung Barat.



Gambar 4.5 Simulasi RSRP dan SINR LTE-A (*Carrier Aggregation*) dan SFR

Gambar 4.5 juga menunjukkan terjadinya peningkatan kualitas dengan adanya penambahan metode *carrier aggregation* dan SFR yang dapat dilihat berdasarkan nilai parameter RSRP dan SINR. Nilai rata-rata parameter RSRP setelah dilakukan perluasan *coverage* LTE (*Carrier Aggregation*) dan SFR bernilai -68,54 dBm dengan persentase sebesar 97,8%. Sedangkan nilai rata-rata parameter SINR bernilai 26,72 dB dengan persentase sebesar 99,81%



Gambar 4.6 Simulasi *Throughput* dan *User Connected* LTE-A (*Carrier Aggregation*) dan SFR

Berdasarkan hasil simulasi *throughput* pada gambar 4.13 terlihat bahwa terjadinya perluasan *coverage* LTE (*Carrier Aggregation*) dan SFR dengan perolehan nilai rata-rata *throughput* per *user* sebesar 35,574 Mbps. Nilai tersebut menunjukkan bahwa perencanaan perluasan *coverage* LTE (*Carrier Aggregation*) dan SFR dari sisi parameter *throughput* sudah baik dan terjadi peningkatan dibandingkan dengan hasil simulasi *throughput* LTE (FDD). Sedangkan persentasi *user* yang berhasil terkoneksi (*user connected*) adalah sebesar 98,8 % dengan jumlah *user downlink* sebanyak 8.604 *user*, jumlah *user uplink* sebanyak 5.256 *user* serta jumlah *user uplink* dan *downlink* sebanyak 1.491 *user*. Sedangkan persentase *user* yang gagal terkoneksi yaitu sebesar 1,2 % dengan jumlah 197 *user* yang tidak memperoleh cakupan sinyal adalah sebanyak 51 *user* dan *user* yang tidak mendapatkan layanan sebanyak 146 *user*.

4.4 Analisis Hasil Simulasi

Berdasarkan hasil simulasi dilakukan perbandingan antara kondisi awal jaringan LTE dengan hasil simulasi perluasan *coverage area* pada jaringan LTE di area Kabupaten Bandung Barat berdasarkan parameter RSRP, SINR dan jumlah *site* yang diperoleh yang dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Akhir Simulasi Perencanaan Perluasan *Coverage Area*

No.	Parameter	Kondisi LTE Awal	LTE (FDD)	LTE-A (Carrier Aggregation) dan SFR
1	RSRP (dBm)	-70,77	-74,75	-68,54
2	SINR (dB)	5,78	23,96	26,72
3	Throughput (Mbps)	10,425	18,971	31,236
4	User Connected (%)	47,5	98,7	98,8
5	Jumlah Site (site)	42	35	31
6	Luas Cakupan (km ²)	73,07	143,136	143,136
7	Jumlah Site Kumulatif (site) (Kondisi Awal + Perluasan)	42	77	73

Tabel 4.1 merupakan hasil simulasi yang menunjukkan peningkatan perluasan *coverage area* pada jaringan LTE di area Kabupaten Bandung Barat. Berdasarkan tabel 4.3 kondisi awal jaringan LTE di area Kabupaten Bandung Barat dengan jumlah *site* sebanyak 42 *site* hanya mampu mengcover luas area sebesar 73,07 km², setelah dilakukan perluasan *coverage*

area dengan LTE (FDD) dengan jumlah *site* perluasan sebanyak 35 *site* mampu mengcover luas area 143,136 km² dan selanjutnya setelah dilakukan perluasan *coverage area* menggunakan LTE-A (*Carrier Aggregation*) yang dikombinasikan dengan metode SFR dengan jumlah *site* sebanyak 31 *site* mampu mengcover luas area 143,136 km². Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi peningkatan *coverage area* di Kabupaten Bandung Barat setelah dilakukan perluasan dengan jumlah *site* kumulatif LTE (FDD) adalah sebanyak 77 *site* dan jumlah *site* kumulatif LTE-A (*Carrier Aggregation*) yang dikombinasikan dengan metode SFR adalah sebanyak 73 *site* mampu mengcover luas area sebesar 143,136 km².

Pada Tugas Akhir ini dipilih perencanaan perluasan *coverage area* di area Kabupaten Bandung Barat menggunakan LTE-A (*Carrier Aggregation*) yang dikombinasikan dengan SFR, hal ini dikarenakan:

- Penggunaan metode *carrier aggregation* pada band 3 (1800 MHz) dengan *bandwidth* 10 MHz dan band 5 (850 MHz) dengan *bandwidth* 5 MHz mampu meningkatkan nilai RSRP, SINR, *throughput*, dan *user connected*.
- Penggunaan manajemen interferensi *Soft Frequency Reuse* mampu meminimalisir interferensi pada *cell center* maupun *cell edge* selain itu setiap sektor dapat menggunakan semua *bandwidth* yang tersedia sehingga performansi jaringan tetap bagus walaupun *user* berada pada pinggir *cell*.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Adapun Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan perencanaan perluasan *coverage area* pada jaringan LTE di area Kabupaten Bandung Barat adalah sebagai berikut.

1. Jumlah *site* yang diperlukan untuk perencanaan perluasan *coverage area* pada jaringan LTE di area Kabupaten Bandung Barat menggunakan LTE (FDD) adalah sebanyak 35 *site* sedangkan untuk perluasan *coverage area* menggunakan LTE-A (*Carrier Aggregation*) yang dikombinasikan dengan SFR adalah sebanyak 31 *site*.
2. Hasil simulasi perluasan *coverage area* menggunakan LTE (FDD) di area Kabupaten Bandung Barat memperoleh nilai rata-rata parameter RSRP sebesar -74,75 dBm, parameter SINR sebesar 23,96 dB, *throughput* sebesar 18,971 Mbps dan *user connected* sebesar 98,7%.
3. Hasil simulasi perluasan *coverage area* menggunakan LTE-A (*Carrier Aggregation*) yang dikombinasikan dengan SFR di area Kabupaten Bandung Barat memperoleh nilai rata-rata parameter RSRP sebesar -68,54 dBm, parameter SINR sebesar 26,72 dB, *throughput* sebesar 31,236 Mbps dan *user connected* sebesar 98,8%.
4. Hasil simulasi perluasan *coverage area* di area Kabupaten Bandung Barat mengalami peningkatan *coverage area*. Luas *coverage area* sebelum dilakukan simulasi adalah sebesar 73,07 km² sedangkan setelah dilakukan simulasi perluasan *coverage area* menggunakan LTE (FDD) maupun LTE-A (*Carrier Aggregation*) mengalami peningkatan sebesar 143,136 km².
5. Pada Tugas Akhir ini dipilih perencanaan perluasan *coverage area* di area Kabupaten Bandung Barat menggunakan LTE-A (*Carrier Aggregation*) yang dikombinasikan dengan SFR sebagai rekomendasi implementasi. Hal tersebut berdasarkan pertimbangan jumlah *site* yang lebih sedikit yaitu 31 *site* sehingga dapat menghemat biaya dengan performansi jaringan yang lebih baik dengan perolehan nilai rata-rata parameter RSRP sebesar -68,54 dBm, parameter SINR sebesar 26,72 dB, *throughput* sebesar 31,236 Mbps dan *user connected* sebesar 98,8%.

5.2 Saran

1. Perencanaan perluasan *coverage area* pada jaringan LTE dapat diterapkan pada frekuensi yang berbeda.
2. Penggunaan *software* lain dalam perencanaan perluasan *coverage area* pada jaringan LTE seperti TCP (*Tem's Cell Planner*), *Genex Unet* dan lain sebagainya.
3. Penggunaan perangkat lain dalam melakukan pengukuran kondisi jaringan seperti *TEMS Pocket* dan lain sebagainya.
4. Analisis mengenai penggunaan manajemen interferensi lain seperti FFR (*Fractional Frequency Reuse*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Uke, Galuh dkk. 2012. Fundamental Teknologi Seluler LTE. Rekayasa Sains, Bandung
- [2] <https://student.unud.ac.id/nolaverli/news/36118>
- [3] *Mobilecomm Laboratory*.2016.LTE-Advanced Radio Network Planning With Channel Dimensioning & Basic Optimization Training
- [4] Al-shibly, Mohammed., Habeibi, Mohamed Hadi., Chebil Jalel. (2012). "Carrier Aggregation in Long Term Evolution-Advanced".
- [5] *Huawei Technologies Co. Ltd.*.2010. LTE Radio Network Capacity Dimensioning.
- [6] *Huawei Technologies Co. Ltd.*.2012. LTE Radio Network Coverage Dimensioning
- [7] <http://bandungbaratkab.go.id>
- [8] Lingga, Bagus dkk. 2014. 4G Handbook Edisi Bahasa Indonesia. www.nulisbuku.com, Jakarta
- [9] buku pelatihan ca
- [10] 4G.Americas .2014. LTE-Advanced Carrier Aggregation.
- [11] Rmania.2017.Analisis Perencanaan LTE Release 12 Menggunakan Tri-Band Carrier Aggregation Deployment Scenario di Kota Bandung. Bandung. Telkom University