

PERANCANGAN JARINGAN LTE-ADVANCED MENGGUNAKAN METODE CARRIER AGGREGATION INTER BAND NON-CONTIGUOUS

Hafiz Pradana Gemilang^[1], Linna Oktaviana Sari^[2]

^[1]Mahasiswa Program Studi Teknik Informatika S1, ^[2]Dosen Teknik Informatika
Laboratorium Teknik Elektro Universitas Riau
Program Studi Teknik Informatika S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

ABSTRACT

Long Term Evolution Advanced (LTE-A) is a technology based on designed IP as a fast communications service solution. LTE frequency allocation in Indonesia is very limited, so it required reusing or combining options of frequencies will be used. Purpose of this research is to know the comparison of network quality between Carrier Aggregation (CA) and non-Carrier Aggregation (Non-CA). CA is a feature can combine two or more carrier components with a maximum bandwidth 20 MHz. In this research, LTE-A network designed compare performance of frequency by using interband-non-contiguous CA technique and without CA. Frequency bands used are 900 MHz and 1800 MHz. The results of simulation show that CA Technique provide a throughput of 201,925 Mbps compare to 161,382 Mbps for non-CA at 900 MHz and 1800 MHz. The CA also provide the 100% of user connected. Coverage by signal level on CA Method is superior to 98.47% with signal value ≥ -80 dBm, whereas in non-CA technique, it has diverse result because using different propagation model produces different cell radius value. Some above parameters show that design result with CA technique is superior to Non-CA. So based on these parameters can be concluded that CA is suitable to be applied in Indonesia.

Keywords: LTE, LTE-A, Carrier Aggregation, Signal Level, Interband Non-Contiguous, Bandwidth.

1. PENDAHULUAN

Lonjakan jumlah pelanggan telekomunikasi cukup signifikan setiap tahunnya. penambahan jumlah pelanggan juga membawa konsekuensi serius bagi operator dalam menjamin kualitas jaringan yang diberikan kepada pengguna. Teknologi generasi keempat (4G) adalah teknologi yang baru memasuki tahap uji coba. Teknologi ini mendukung *service multimedia* interaktif, *bandwidth* yang lebar dan *bit rates* yang lebih besar dari teknologi 3G. Teknologi ini sepenuhnya pada jaringan *packet switched (All IP)*. Standar 3GPP *release 10*, *Long Term Evolution (LTE)* memberikan kecepatan uplink hingga 50 megabit per detik (Mbps) dan kecepatan *downlink* hingga 100 Mbps. *Bandwidth* LTE adalah dari 1,4 MHz hingga 20 MHz (Wardhana, Lingga, ST, 2014.). Penyedia layanan jaringan dapat memilih *bandwidth* yang berbeda dan memberikan layanan yang berbeda berdasarkan spektrum. *Data rate*

untuk *LTE-Advanced (LTE-A)* diharapkan mencapai 1 Gbps untuk sisi *downlink* dan 300 Mbps untuk sisi *uplink*. Salah satu faktor bertambahnya *data rate* adalah dengan teknik *Carrier Aggregation*. Namun untuk mencapai performansi yang maksimal pada jaringan LTE dapat terhambat karena permasalahan *co-channel interference*. Beberapa fitur dari LTE-A adalah *Carrier Aggregation (CA)*, *Multiple Input Multiple Output (MIMO)*, *Node Relay*, *Voice Over LTE (VoLTE)*, *Precoding*, *Coordinated Multipoint Operation (CoMP)*, *FemtoCells*. Salah satu fitur utama pada 3gpp *release 10* LTE-A yang penulis ingin teliti adalah *carrier aggregation*. *Carrier aggregation* memungkinkan operator membuat *bandwidth carrier "virtual"* yang lebih besar untuk layanan LTE, dengan mengkombinasikan alokasi spektrum yang terpisah. *Carrier aggregation* pada *release 10* memungkinkan kombinasi hingga lima komponen *carrier*, sehingga aggregasi *bandwidth* maksimal

yang dapat dicapai adalah sebesar 20-100 MHz (Wardhana, Lingga, ST, 2014.).

Perencanaan jaringan LTE-A di kota Pekanbaru diusulkan karena belum adanya penerapan teknologi LTE-A di Pekanbaru. Simulasi perancangan jaringan dilakukan menggunakan *software radio planning atoll*. *Atoll* adalah perangkat lunak yang dapat digunakan untuk mendesain sebuah jaringan telekomunikasi.

Metode *carrier aggregation* dapat digunakan untuk terbentuknya layanan LTE karena tujuan desain dari LTE yaitu untuk meningkatkan nilai spektrum yang berbeda pada jaringan, agar memungkinkan untuk menyediakan lebih banyak paket data pada suatu *bandwidth*. Berdasarkan hal tersebut, penulis akan melakukan penelitian dengan judul “Perancangan Jaringan LTE-Advanced Menggunakan Metode *Carrier Aggregation Inter Band Non-Contiguous*”.

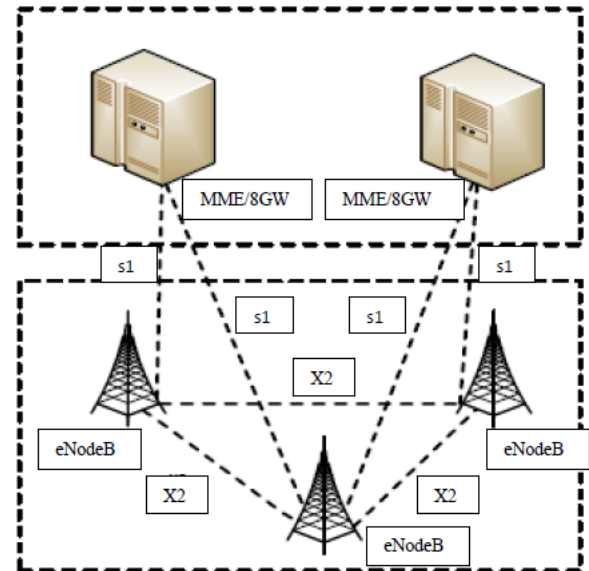
2. LANDASAN TEORI

2.1. Long Term Evolution

LTE merupakan sebutan yang diberikan untuk sebuah proyek dari 3GPP yang bertujuan untuk memperbaiki teknologi komunikasi seluler generasi sebelumnya (3G) yaitu UMTS (3G) dan HSPA (3.5G). Teknologi LTE atau 4G merupakan teknologi komunikasi seluler yang berbasis pada paket *switch*. Pada teknologi LTE terjadi peningkatan kecepatan *transfer data*, di mana pada UMTS kecepatan *transfer data* maksimum 2 Mbps, pada HSPA kecepatan *transfer data* mencapai 14 Mbps untuk *downlink* dan 5,6 Mbps di sisi *uplink*, sedangkan untuk LTE kecepatan *transfer data* mencapai 50 Mbps untuk sisi *uplink* dan dapat mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink*.

2.2. Arsitektur Sistem Jaringan Long Term Evolution

Arsitektur jaringan LTE dirancang dengan tujuan mendukung trafik *packet switching* dengan mobilitas tinggi, *quality of service* (QOS), dan latency yang kecil. Pendekatan *packet switching* memperbolehkan semua layanan termasuk layanan *voice* menggunakan koneksi paket.



Gambar 2.1 Arsitektur Jaringan LTE (Khan, 2009)

2.3. LTE-Advanced

Long Term Evolution adalah teknologi yang terstandarisasi oleh 3rd Generation Partnership Project (3GPP) dan dianggap dalam kondisi cukup. Sejak tahun 2009 teknologi LTE telah mengalami perkembangan yang pesat dengan GSM dan UMTS sebagai dasar pengembangan, *International Telecommunication Union* (ITU) menciptakan istilah LTE-A untuk sistem komunikasi yang melampaui kemampuan dari LTE.

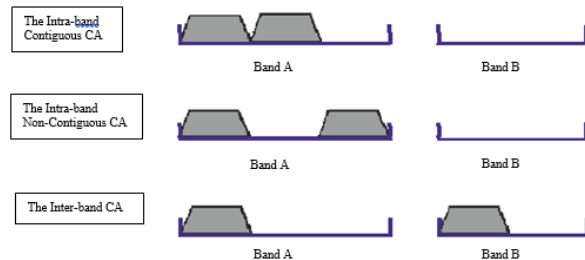
Band frekuensi diatas juga termasuk dapat bekerja pada 3GPP release 9 dan release 10. LTE-Advanced didesain beroperasi pada alokasi spektrum yang memiliki beda ukuran *band* termasuk pada alokasi *bandwidth* yang lebih besar dari 20 MHz demi mencapai performa yang tinggi dan peak data yang besar. Demi mencapai target terselenggaranya 4G LTE-Advanced ini maka beberapa metode ini dapat dilakukan agar layanan ini dapat dirancang yaitu: peningkatan akses pada sisi *uplink*, meningkatkan jumlah antena transmisi dan dengan metode *carrier aggregation*.

2.4. Carrier Aggregation

Carrier aggregation (CA) adalah salah satu fitur utama pada 4G LTE-Advanced. *Carrier aggregation* merupakan suatu metode

penggabungan dua atau lebih frekuensi *carrier* baik pada *band* frekuensi yang sama maupun *band* frekuensi yang berbeda guna memperbesar penggunaan *bandwidth* sehingga dapat memenuhi *peak data rates* yang ditetapkan oleh IMT Advanced (4G Americas, 2014). Fitur *carrier aggregation* terdiri dari tiga jenis yaitu:

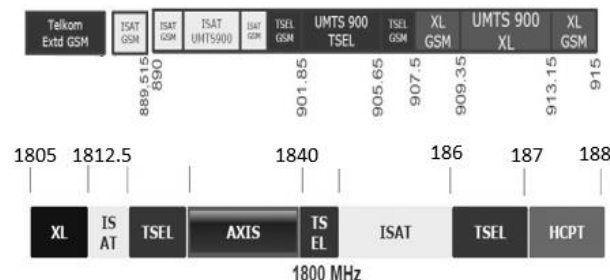
- *Carrier Aggregation Intra band contiguous*
- *Carrier Aggregation Intra band non-contiguous*
- *Carrier Aggregation Inter band non-contiguous*



Gambar 2.2 Jenis *Carrier Aggregation* (Al-Shibly, Habaebi, & Chebil, 2012)

2.5. Kondisi Spektrum di Indonesia

4G LTE merupakan teknologi komunikasi seluler terbaru yang menjanjikan komunikasi data bergerak super cepat. Penerapan teknologi ini terdapat beberapa persyaratan khusus yang ditetapkan oleh IMT-Advanced di antaranya lebar *bandwidth* untuk LTE adalah sebesar 20 MHz.



Gambar 2.3 Alokasi frekuensi pita GSM di Indonesia (Setiawan, D.D, 2013)

2.6. Planning by capacity

Planning by capacity adalah suatu teknik perencanaan jaringan untuk mengetahui jumlah *site* dengan memperhatikan dan mengakomodir seluruh kebutuhan trafik pelanggan di suatu daerah.

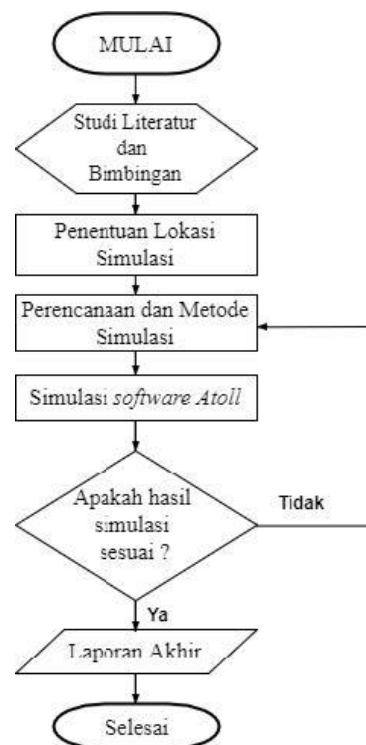
2.7. Planning by coverage

Planning by coverage merupakan sebuah teknik perencanaan untuk menghitung jumlah sel yang dibutuhkan untuk mencakup seluruh daerah perencanaan.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Flowchart Penelitian

Untuk mencapai tujuan yang diharapkan, maka perlu dilakukan beberapa tahap pengerjaan sebagai alur kerja. Gambar 3.1 merupakan alur kerja dalam pengerjaan skripsi ini



Gambar 3.1 Flow Chart Penelitian

3.1. Penentuan Lokasi Simulasi

Kota Pekanbaru adalah lokasi yang dipilih dalam simulasi yang akan dilakukan menggunakan metode *Carrier Agregation* dengan dua *band* frekuensi yang berbeda. Secara geografis Kota Pekanbaru terletak pada 101° 14' - 101° 34' Bujur Timur dan 0° 25' - 0° 45' Lintang Utara. Kota Pekanbaru memiliki luas wilayah 632,26 km² yang terdiri dari 12 kecamatan dan 83 kelurahan. Pada tahun 2016 jumlah penduduk Kota Pekanbaru

mencapai 1.064.566 jiwa dengan pertumbuhan penduduk 2.55 persen. Kecamatan yang ada pada Kota Pekanbaru memiliki luas wilayah dan kepadatan penduduk yang berbeda.

3.2. Perencanaan dan Metode Simulasi

Pada tahapan pengerjaan skripsi ini menggunakan dua perencanaan antara lain *planning by coverage* dan *planning by capacity* dengan parameter yang menentukan kualitas suau jaringan LTE. Metode yang digunakan adalah *carrier aggregation* dan *non-carrier aggregation* dengan penggunaan frekuensi pada 900 MHz dan 1800 MHz. Pada metode *carrier aggregation* ini digunakan konsep *carrier aggregation inter band-non-contiguous* dengan menggunakan *bandwidth* 5 MHz pada spektrum Frekuensi 900 MHz dan pada frekuensi 1800 MHz menggunakan *bandwidth* 5 MHz.

3.3. *Planning by capacity*

Setelah mendapatkan nilai kebutuhan *user* dan kapasitas jaringan pada masing-masing skenario *carrier aggregation*, maka dapat diketahui *network throughput* berdasarkan *capacity*.

3.4. *Planning by coverage*

Pada perancangan berdasarkan *Coverage*, *parameter* yang paling berpengaruh adalah *radio link budget* dan model propagasi Okumura-Hatta. Sehingga didapatkan jari-jari *site* dari sisi *coverage*.

Tabel 3.1 Jari-jari *site*

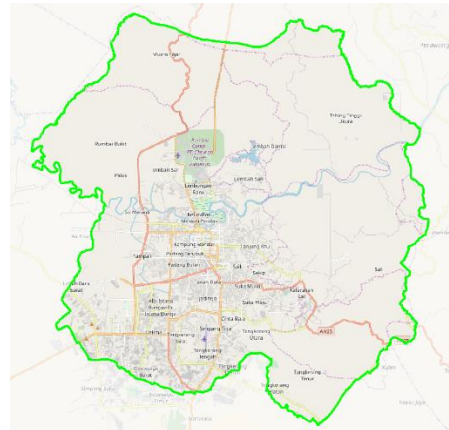
No	Frekuensi	Bandwidth	Jenis Propagasi	Jari-jari <i>site</i> (Km) (d)	Keterangan
1	900 Mhz	5 MHz	Okumura Hatta	1.28	Suburban
2	1800 MHz	5 MHz	Cost Hatta	0.52	Suburban

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Simulasi *Software Atoll*

Perhitungan *planning by capacity* dan *planning by coverage* akan di implementasikan di simulasi *software Atoll*. Adapun gambar peta dan posisi *site* pada

software Atoll ditunjukkan oleh gambar 4.1 dan 4.2:



Gambar 4.1 Peta Kota Pekanbaru pada *Atoll*



Gambar 4.2 Posisi *site* pada *map software Atoll*

4.2. Simulasi *Coverage by signal level*

Signal level adalah hal yang sangat penting diukur yaitu pada UE *physical layer*. Dengan mengetahui nilai *signal level* berarti UE mendapatkan informasi tentang kuat sinyal pada suatu sel menggunakan dasar perhitungan *path loss*. Pengukuran *signal level* pada skripsi ini digunakan fitur *predictions coverage by signal level* (DL) yang terdapat pada *software atoll*. Standar *signal level* yang digunakan untuk membandingkan nilai simulasi. *Coverage* yang dihasilkan memiliki tingkatan warna yang berbeda-beda tergantung dari nilai *signal level* yang dihasilkan. *Coverage* dengan

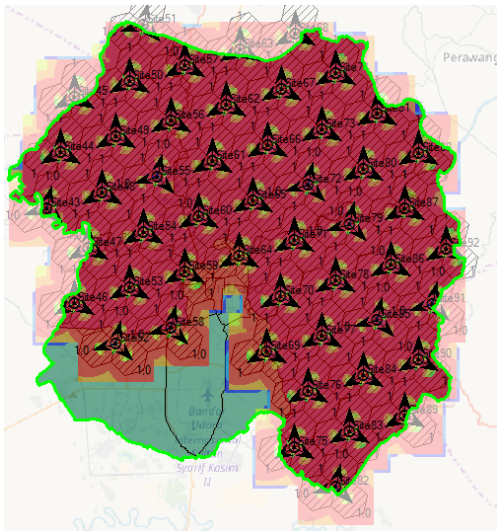
warna biru tua disisi terluar area perencanaan adalah *signal level* dengan nilai diatas -105 dBm. Untuk warna biru dan biru muda adalah *signal level* bernilai -105 sampai -95 dBm. *Coverage* dengan warna hijau menunjukan nilai *signal level* -95 sampai -80 dBm. Sementara *coverage* dengan warna kuning, jingga dan merah adalah nilai *signal level* dibawah -80 dBm. Untuk menentukan tingkat kualitas sinyal pada hasil simulasi, digunakan tabel acuan *signal level quality* yang ditunjukkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 *Signal level quality* (Huawei, 2011)

<i>Signal Level(dBm)</i>	$SL \geq -105$ dBm	$-105 \geq SL \geq -95$ Bm	$-95 \geq SL \geq -80$ dBm	$SL \leq -80$ dBm
<i>Quality</i>	VERY BAD	BAD	GOOD	VERY GOOD

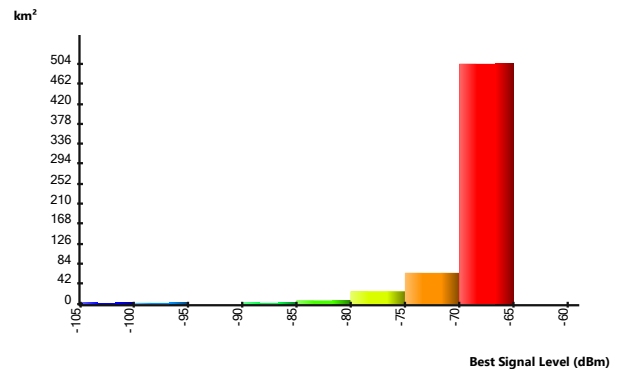
4.3. Simulasi *coverage by signal level carrier aggregation* kategori Suburban

Gambar 4.3 menunjukkan hasil simulasi *coverage by signal level* teknik *carrier aggregation interband non-contiguous* yang menggunakan frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz dengan total *bandwidth* 5 MHz pada 4 Kecamatan suburban di Pekanbaru.



Gambar 4.3 *Coverage by signal level CA* kategori suburban

Gambar 4.4 di bawah ini menunjukkan histogram *coverage by signal level* pada teknik *carrier aggregation* kategori suburban.

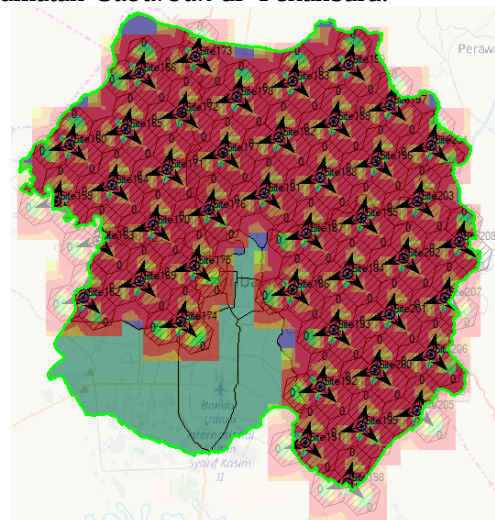


Gambar 4.4 Histogram *signal level CA* kategori suburban

Berdasarkan hasil histogram, ditunjukkan bahwa nilai *signal level* ≤ -80 dBm mendominasi sebesar 98.47% yang artinya hampir menjangkau dengan sangat baik seluruh area perencanaan. Adapun daerah 1.53% daerah perencanaan mendapatkan *signal level* ≥ -80 dBm, hal ini bisa saja terjadi karena faktor kontur daerah perencanaan

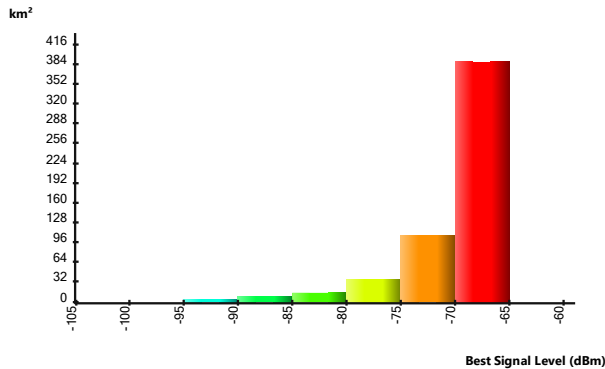
4.4. Simulasi *Coverage by Signal Level non-Carrier Aggregation 900 MHz bandwidth 5 MHz Suburban*

Gambar 4.5 menunjukkan hasil simulasi *coverage by signal level non-carrier aggregation* 900 MHz dengan *bandwidth* 5 MHz pada 4 Kecamatan Suburban di Pekanbaru.



Gambar 4.5 *Coverage by Signal Level non CA* Frekuensi 900 MHz Bandwidth 5 MHz Suburban

Gambar 4.6 di bawah ini menunjukkan histogram simulasi *coverage by signal level* untuk non-carrier aggregation dengan frekuensi 900 MHz bandwidth 5 MHz suburban.

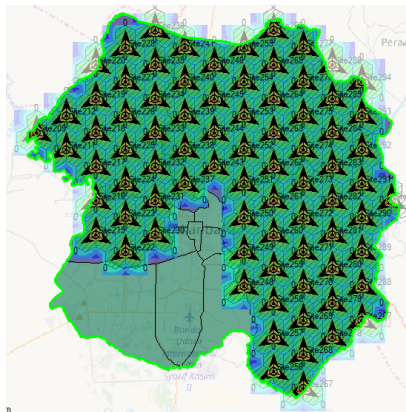


Gambar 4.6 Histogram *coverage by signal level* non-CA Frekuensi 900 MHz Bandwidth 5 MHz Suburban

Histogram menunjukkan bahwa nilai *signal level* ≤ -80 dBm mendominasi sebesar 95,54% yang artinya sebagian besar wilayah tercover dengan sangat baik. Adapun sebesar 4,46% mendapatkan nilai *signal level* ≥ -80 dBm. hal ini bisa saja terjadi karena faktor kontur daerah perencanaan.

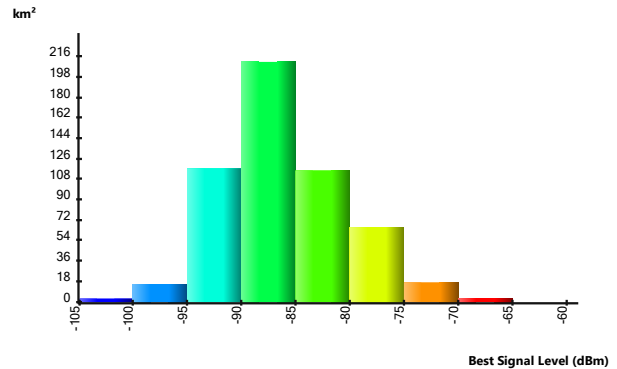
4.5. Simulasi *Coverage by Signal Level non-Carrier Aggregation 1800 MHz bandwidth 5 MHz Suburban*

Gambar 4.7 menunjukkan hasil simulasi *coverage by signal level non-carrier aggregation 1800 MHz* dengan *bandwidth 5 MHz* pada 4 Kecamatan Suburban di Pekanbaru.



Gambar 4.7 Coverage by Signal Level non CA Frekuensi 1800 MHz Bandwidth 5 MHz Suburban

Gambar 4.8 di bawah ini menunjukkan histogram simulasi *coverage by signal level* untuk non-carrier aggregation dengan frekuensi 1800 MHz bandwidth 5 MHz Suburban.



Gambar 4.8 Histogram *coverage by signal level* non-CA Frekuensi 1800 MHz Bandwidth 5 MHz Suburban

Histogram menunjukkan bahwa nilai *signal level* ≤ -80 dBm mendominasi sebesar 15,61% yang artinya sebagian besar wilayah tercover dengan tidak baik. Adapun sebesar 84,39% mendapatkan nilai *signal level* ≥ -80 dBm. hal ini bisa saja terjadi karena faktor kontur daerah perencanaan.

4.6. Perbandingan Berdasarkan Signal Level

Pada hasil simulasi *coverage by signal level* yang sudah dilakukan, terdapat perbedaan antara *signal level carrier-aggregation* dan *non-carrier aggregation*. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil *signal level CA*

Nilai <i>signal level</i>	<i>Carrier aggregation inter band non contiguous suburban</i>
≤ -80 dBm	98,47%
≥ -80 dBm	1,53%

Tabel 4.3 Hasil *signal level* Non-CA

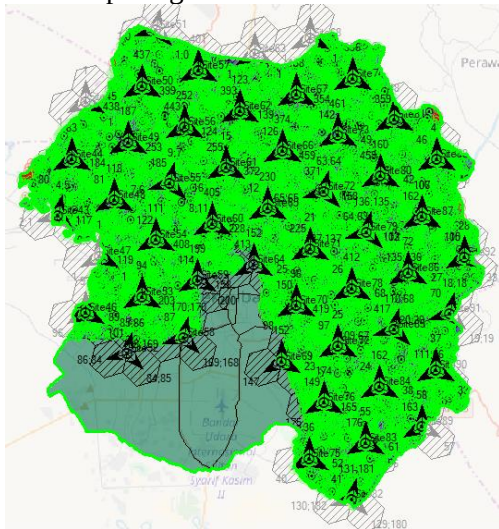
Nilai <i>signal level</i>	Non carrier aggregation 1800 MHz Suburban	Non carrier aggregation 900 MHz Suburban
	5 MHz	5 MHz
≤ -80 dBm	15,61%	95,54%
≥ -80 dBm	84,39%	4,46%

4.7. User Connected dan Throughput

Salah satu parameter penting dalam perbandingan jaringan adalah *user connected* dan *throughput*. Pada skripsi ini *user connected* dan *throughput* disimulasikan melalui fitur *simulations* pada *software atoll*. Simulasi ini biasa juga disebut dengan simulasi *monte carlo*. Simulasi *monte carlo* adalah suatu teknik yang dipakai untuk mengetahui probabilitas suatu hasil dengan melakukan percobaan berulang-ulang yang menggunakan variabel acak.

4.8. Simulasi Monte Carlo Carrier Aggregation kategori suburban

Hasil simulasi *monte carlo* pada *software atoll* dapat dilihat pada gambar 4.9



Gambar 4.9 Simulasi *monte carlo* untuk CA kategori suburban

Gambar 4.9 terlihat bahwa sebagian besar user yang ada di area tersebut terhubung (*connected*). Hal ini dapat dilihat dari banyak titik hijau yang ada pada gambar. Selain itu didapatkan pula beberapa user yang tertolak (*rejected*) karena keterbatasan

kemampuan jaringan. Simulasi ini dilakukan sebanyak empat kali pengulangan. Tabel 4.4 menunjukkan hasil dari simulasi *monte carlo* pada *carrier aggregation* kategori suburban

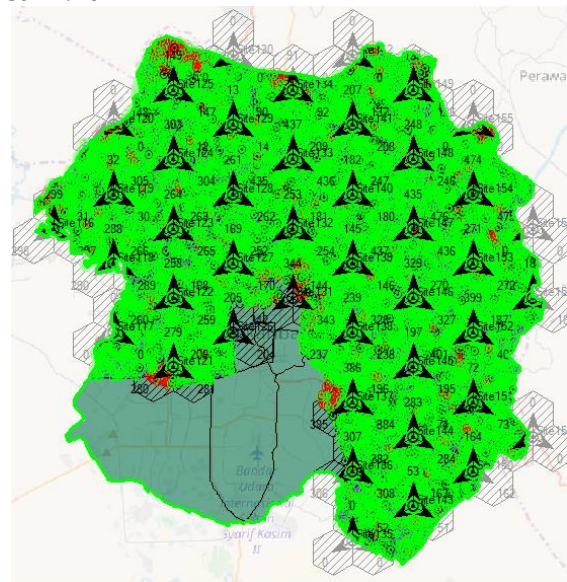
Tabel 4.4 Simulasi Monte Carlo CA kategori suburban

Simulasi	Jumlah User	User Connected	% Connected User	Throughput (Mbps)
1	3.744	3.737	99,80	204,7
2	3.678	3.676	99,9	202,6
3	3.672	3.666	99,8	198,48
4	3.781	3.774	99,8	201,92
Rata-rata	3.719	3.713	100	201,925

Berdasarkan hasil simulasi *Monte Carlo* di 4 Kecamatan di Pekanbaru kategori suburban, didapatkan hasil simulasi rata-rata *connected user* untuk *carrier aggregation* sebesar 100% dengan rata-rata *throughput* sebesar 201,925 Mbps.

4.9. Simulasi Monte Carlo Non-Carrier Aggregation 900 MHz & 1800 MHz bandwidth 5 MHz kategori Suburban

Hasil simulasi *non-Carrier aggregation* 900 MHz & 1800 MHz bandwidth 5 MHz kategori Suburban pada *software atoll* dapat dilihat pada gambar 4.10



Gambar 4.10 Simulasi Monte Carlo Non-CA Frekuensi 900 MHz & 1800 MHz bandwidth 5 MHz kategori Suburban

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa sebagian besar *user* yang ada di area tersebut terhubung (*connected*). Hal ini dapat dilihat dari banyaknya titik hijau yang ada pada gambar. Selain itu didapatkan pula sebagian *user* yang tertolak (*rejected*) karena keterbatasan kemampuan jaringan dan frekuensi yang tinggi. Simulasi ini dilakukan sebanyak empat kali pengulangan. Tabel 4.5 menunjukkan hasil dari simulasi *monte carlo* pada *non-carrier aggregation* frekuensi 900 MHz & 1800 MHz *bandwidth* 5 MHz kategori *Suburban*.

Tabel 4.5 Hasil Simulasi *Monte Carlo Non-CA* frekuensi 900 MHz & 1800 MHz *bandwidth* 5 MHz kategori *Suburban*

Simulasi	Jumlah User	User Connected	% Connected User	Throughput (Mbps)
1	3.615	3.475	96,10	158,8
2	3.652	3.536	96,8	158,9
3	3.674	3.563	97	168,15
4	3.600	3.483	96,8	159,68
Rata-rata	3.635	3.514	97	161,3825

Berdasarkan hasil simulasi *monte carlo* di 4 Kecamatan Suburban di Pekanbaru didapatkan hasil simulasi rata-rata *connected user* untuk *non-carrier aggregation* frekuensi 900 MHz & 1800 MHz *bandwidth* 5 MHz kategori *Suburban* 97% dengan rata-rata *throughput* sebesar 161,382 Mbps.

4.10. Perbandingan Hasil Simulasi

Perbandingan hasil simulasi *carrier aggregation*, *non-carrier aggregation* 900 MHz & 1800 MHz *bandwidth* 5 MHz kategori suburban dan *non-carrier aggregation* 900 MHz & 1800 MHz *bandwidth* 5 kategori suburban ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perbandingan Hasil *Monte Carlo*

Simulasi	Persentase Connected User	Throughput (Mbps)
CA Suburban	100 %	201,925 Mbps
Non-CA 900MHz & 1800MHz Suburban	97 %	161,382 Mbps

Pada teknik *carrier aggregation* menggunakan frekuensi *primary* 900 MHz dan frekuensi *secondary* 1800 MHz dengan total *Bandwidth* 5 MHz. Untuk teknik *non-carrier aggregation* menggunakan frekuensi 900 MHz & 1800 MHz

bandwidth 5 & 20 kategori suburban. Berdasarkan hasil simulasi di atas, *carrier aggregation* dapat dijadikan alternatif bagi operator untuk menjalankan layanan 4G LTE, walaupun operator tersebut tidak mempunyai *bandwidth* 20 MHz secara utuh sebagai syarat digelarnya layanan 4G LTE. Metode *carrier aggregation* juga dapat menekan biaya yang dikeluarkan operator untuk membeli lisensi penggunaan frekuensi, dan juga investasi infrastruktur. Namun, dalam skripsi ini tidak membahas mengenai analisa keuntungan penggunaan *carrier aggregation* dari sisi ekonomi.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan.

1. Berdasarkan hasil simulasi *coverage by signal level*, didapatkan bahwa nilai *signal level* ≤ -80 dBm untuk *carrier aggregation suburban* sebesar 96,09%, kemudian nilai *signal level* ≤ -80 dBm untuk *non carrier aggregation* frekuensi 900MHz *bandwidth* 5 MHz kategori suburban tidak jauh berbeda pada suburban untuk *bandwidth* 5 MHz sebesar 95,54% Namun, terjadi perbedaan yang cukup jauh ketika simulasi *non-carrier aggregation* frekuensi 1800 MHz *bandwidth* 5 MHz pada kategori suburban sebesar 15,61% pada *bandwidth* 5 MHz. Hal ini dikarenakan perbedaan penggunaan frekuensi. Untuk *carrier aggregation* digunakan frekuensi *primary* 900 Mhz, begitu pula untuk *non-carrier aggregation* yang memiliki *bandwidth* 5 MHz menggunakan frekuensi 900 MHz, sedangkan untuk *non-Carrier aggregation* dengan *bandwidth* 5 MHz frekuensi yang digunakan adalah 1800 MHz.
2. Berdasarkan hasil simulasi *monte carlo* didapatkan *connected user* pada mekanisme *carrier aggregation suburban* sebesar 100%. Lalu untuk *non carrier aggregation* dengan *bandwidth* 5 MHz & 20 MHz pada frekuensi 900MHz & 1800 Mhz kategori suburban sebesar 97%. Nilai *throughput* CA Suburban sebesar 201,925 Mbps. Lalu, untuk *non-carrier aggregation* pada frekuensi 900 MHz & 1800

MHz dengan *bandwidth* 5 MHz kategori *suburban* sebesar 161,382 Mbps.

06829-6

DAFTAR PUSTAKA

- 4G Americas. (2014). *LTE Carrier Aggregation Aggregation Technology Development and Deployment world wide*, (October), 1–53.
- Al-Shibly, M. A. M., Habaebi, M. H., & Chebil, J. (2012). Carrier aggregation in Long Term Evolution-Advanced. In *Proceedings - 2012 IEEE Control and System Graduate Research Colloquium, ICSGRC 2012* (pp. 154–159). <https://doi.org/10.1109/ICSGRC.2012.6287153>
- BPS, P. (2017). *Kota Pekanbaru Dalam Angka 2017*. (B.-S. of P. Municipality, Ed.). Pekanbaru: BPS Kota Pekanbaru. Retrieved from <http://pekanbarukota.bps.go.id>.
- Dahlman, E., Parkvall, S., & Skold, J. (2013). *4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband*. *4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband*. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-06829-6>
- Huawei (2013). *LTE Radio Network Capacity Dimensioning*. Huawei Technologies Co.
- Huawei (2013). *LTE Radio Network Coverage Dimensioning*. Huawei Technologies Co
- Khan, F. (2009). *LTE for 4G Mobile Broadband: Air Interface Technologies and Performance*. New York: Cambridge University Press. Retrieved from <http://www.cambridge.org/9780521882217>.
- Suyuti, S., & Syarif, S. (2011). Studi Perkembangan Teknologi 4G – LTE dan WiMAX di Indonesia. *Jurnal Ilmiah “Elektrikal Enjiniring” UNHAS*, 09(02), 60–65.
- Wardhana, L. (2014). *4G Handbook Edisi Bahasa Indonesia*. (L. Wardhana, Ed.) (Vol. 1). Jakarta: nulisbuku.