

DAFTAR ISTILAH

- Bandwidth* : lebar pita, rentang frekuensi kerja
- Carrier aggregation* : suatu metode penggabungan *carrier*, baik yang bersebelahan maupun berjarak dan berada pada *band* frekuensi yang sama ataupun berbeda.
- Contiguous* : terletak persis bersebelahan.
- Overlap* : saling berhitmpitan atau bertumpuk.
- Simulasi Monte Carlo : metode yang digunakan untuk menghitung probabilitas *user rejected* pada *softwareAtoll RF Planning*.
- Threshold* : batas minimum/maksimum yang disyaratkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jumlah pelanggan seluler terus meningkat tajam selama satu dekade terakhir. Sampai tahun 2015 ini terdapat lebih dari tujuh milyar koneksi *mobile* termasuk teknologi *Machine to Machine* (M2M). [1] Sebagai organisasi yang mengembangkan teknologi seluler, 3rd*Generation Partnership Project* (3GPP) telah mempersiapkan *Long Term Evolution* (LTE) yang merupakan teknologi *release 8* berkapasitas tinggi.

Seperti yang kita ketahui bahwa saat ini di Indonesia teknologi LTE telah mendapat izin untuk dikomersialkan pada spektrum 900 MHz. [2] Keterbatasan kepemilikan *bandwidth* pada spektrum 900 MHz juga membatasi operator untuk memberikan performa jaringan LTE yang optimal. Secepatnya LTE juga akan dikomersialkan pada spektrum 1800 MHz. [3]

Pada awal tahun 2010, LTE berhasil dikembangkan 3GPP menjadi LTE-Advanced Rel.10 dengan tambahan beberapa fitur baru diantaranya adalah *Carrier aggregation* (CA). Fitur ini memungkinkan penggabungan dua atau lebih *component carrier* dengan *bandwidth* maksimum sebesar 20 MHz per *component carrier* baik dalam satu *band* frekuensi yang sama maupun yang berbeda. [4] *Carrier aggregation* diharapkan dapat mengoptimalkan penggunaan frekuensi yang dimiliki tanpa terhalang perbedaan *band*. Sehingga LTE dapat diimplementasikan pada frekuensi yang dimiliki secara optimal.

Oleh karena itu, fitur *Carrier aggregation* diharapkan dapat mengoptimalkan performa jaringan LTE-Advanced di Indonesia dengan menggabungkan frekuensi 1800 MHz dan 900 MHz. Perbandingan performa dilakukan antara jaringan yang menggunakan *bandwidth* 5 MHz pada spektrum 900 saja dan jaringan yang menggunakan tambahan *bandwidth* 5 MHz pada *band* 1800 dengan fitur CA. Selain itu untuk didapatkan skenario yang baik untuk mengoptimalkan penerapan CA dilakukan uji kelayakan skenario penerapan *secondary cell* (Scell) yang mengacu pada *Carrier aggregation Deployment Scenario 2* (CADS2) dan *Carrier aggregation Deployment Scenario 3* (CADS3).

Perancangan jaringan LTE-Advanced yang dilakukan berdasarkan *coverage* dan *capacity* dengan dilakukan pengujian pada parameter jumlah *site* yang dibutuhkan, nilai RSRP, nilai C/I, dan rata-rata persentase *user connected*. Sehingga dapat ditentukan kelayakan penerapan CA dan skenario Scell penerapannya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, dapat dirumuskan masalah-masalah yang akan dianalisis yaitu :

- a. Perancangan jaringan dengan penerapan fitur CA dan tanpa penerapan fitur CA berdasarkan luas area cakupan (*planning by coverage*) dengan mempertimbangkan radius sel berdasarkan *link budget calculation*,
- b. Perancangan jaringan dengan penerapan fitur CA dan tanpa penerapan fitur CA berdasarkan kapasitas sel (*planning by capacity*) dengan mempertimbangkan jumlah pelanggan dan kebutuhan trafiknya,
- c. Performa antara perancangan dengan penerapan fitur CA antara CADS2, CADS3 dan tanpa penerapan fitur CA berdasarkan simulasi *software*,

1.3 Batasan Masalah

Setelah dirumuskan masalah yang dibahas dalam tugas akhir ini, berikut adalah batasan-batasan yang membatasi pembahasan masalah:

- a. Perancangan yang menggunakan dua skenario yaitu: skenario pertama berupa perancangan dengan *bandwidth* 5 MHz pada *band* 3 (900 MHz) dan skenario kedua dan ketiga berupa perancangan dengan penerapan fitur *inter-band carrier aggregation* dengan *bandwidth* 5 MHz pada *band* 3 (900 MHz) dan 5 MHz pada *band* 8 (1800 MHz).
- b. Penerapan CA pada CADS2 dan CADS3 dibedakan pada penerapan *secondary cell* berupa posisi Scell .
- c. Perancangan hanya terbatas pada segi *Radio Access Network* (RAN) saja.
- d. Simulasi perancangan menggunakan *software* Atoll 3.2.1
- e. Analisis performa hasil perancangan dilakukan pada masing-masing skenario,
- f. Penelitian dilakukan dengan studi kasus wilayah DKI Jakarta dengan tinjauan frekuensi suatu operator seluler di Indonesia.

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini antara lain :

- a. mengetahui jumlah sel dan *site* yang dibutuhkan untuk menghasilkan jaringan optimal yang melingkupi seluruh daerah tinjauan dan memenuhi kebutuhan trafik para pelanggan pada daerah tinjauan pada skenario yang menerapkan fitur CA dan tanpa menerapkan fitur CA,
- b. menganalisis performa hasil perancangan jaringan berdasarkan hasil simulasi perancangan pada skenario tanpa CA, CADS2, dan CADS3

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Metode Historis, diterapkan metode historis dalam menganalisis pertumbuhan dan perkembangan teknologi seluler.
2. Metode Deskriptif, diterapkan metode deskriptif dalam menganalisis karakteristik wilayah dan penduduk di DKI Jakarta terhadap kebutuhan teknologi seluler. Dengan begitu peninjauan terhadap kebutuhan trafik sistem komunikasi seluler di wilayah tersebut dapat dilakukan dengan pengklasifikasian tipe daerah.
3. Metode Eksperimental, diterapkan metode eksperimental dalam menganalisis kelayakan penambahan *bandwidth* melalui penerapan fitur *carrier aggregation* dengan skenario *secondary cell* yang berbeda terhadap performa jaringan LTE-*Advanced* pada studi kasus wilayah DKI Jakarta.

1.6 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini ditulis dalam lima bab bahasan berbeda dengan penjelasan pada masing-masing bab adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang masalah, tujuan dan manfaat penulisan, perumusan masalah dan batasan pembahasan masalah, metodologi penelitian yang dilakukan, serta sistematika penulisan dalam tugas akhir ini.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini menguraikan teori-teori yang dijadikan sebagai referensi dalam penelitian maupun penulisan tugas akhir ini.

BAB III METODE PERANCANGAN DAN SIMULASI JARINGAN LTE-ADVANCED

Dalam bab ini diuraikan langkah kerja dalam perancangan jaringan LTE-Advanced dengan skenario-skenario yang diterapkan pada tugas akhir ini. Penulisan pada bab ini dilakukan untuk memberikan pemahaman secara komprehensif mengenai proses yang dilakukan pada tugas akhir ini.

BAB IV ANALISIS HASIL PERANCANGAN JARINGAN DAN SIMULASI

Bab ini menjelaskan analisis terhadap hasil keluaran dari langkah-langkah penelitian yang dilakukan dengan pengujian pada parameter-parameter tertentu.

BAB V PENUTUP

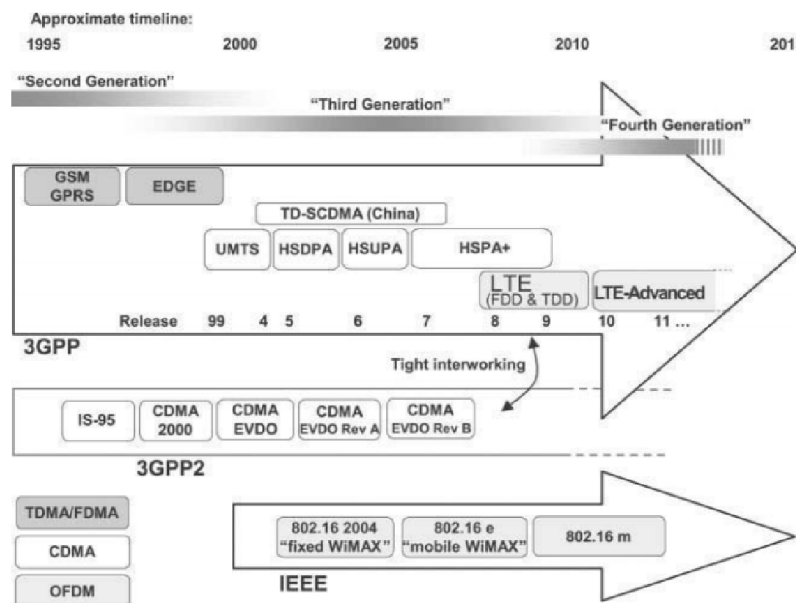
Bab ini membahas kesimpulan yang diperoleh sesuai dengan hasil analisis terhadap keluaran dan nilai parameter-parameter yang diuji serta saran bagi penelitian selanjutnya.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Perkembangan Teknologi Seluler [5]

Long Term Evolution (LTE) sebuah evolusi dari teknologi UMTS yang dipersiapkan sebagai langkah terbaru dalam sistem komunikasi bergerak. Dalam evolusi 3GPP, teknologi dibagi menjadi tiga jenis akses jamak : keluarga “Second Generation” (2G) GSM/GPRS/EDGE yang menggunakan Time- and frequency-Division Multiple Access (TDMA/FDMA); keluarga “Third Generation” (3G) UMTS ditandai dengan kedatangan Code Division Multiple Access (CDMA) pada evolusi 3GPP, menjadi dikenal dengan *Wideband* CDMA (karena menggunakan *bandwidth* 5MHz) atau disebut WCDMA; sampai yang terakhir LTE mengadopsi Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), yang merupakan evolusi teknologi akases yang mendominasi pada semua standar radio bergerak.



Gambar 2.1 *Roadmap* evolusi teknologi seluler

Dalam melanjutkan perkembangan teknologi dari GSM dan UMTS keluarga teknologi dalam 3GPP, sistem LTE dapat dilihat sebagai solusi untuk tren perluasan layanan, dari yang bermula terbatas layanan panggilan suara menuju multiple layanan. Sudah menjadi tujuan utama dari perkembangan UMTS dan GPRS /

EDGE, namun LTE dirancang dari awal dengan tujuan perkembangan akses radio teknologi berdasarkan pada layanan packet-switched, bukan lagi mengikuti model circuit-switched sistem sebelumnya. Selain itu, perkembangan LTE tidak terbatas pada aspek radio saja tapi juga didukung dengan jaringan inti sehingga disebut dengan istilah 'System Architecture Evolution' (SAE) yang meliputi jaringan Evolved Packet Core (EPC). Bersama-sama, LTE dan SAE terdiri dari Packet System Evolved (EPS), di mana kedua jaringan inti dan akses radio sepenuhnya packet-switched.

2.2 LTE dan LTE-Advanced

Pembangunan sistem *mobile broadband* 4G berdasarkan LTE yang didefinisikan oleh 3GPP saat ini sedang berlangsung dalam skala yang luas, dengan bahkan sudah berada beroperasi penuh secara komersial. Sistem yang menjadi rilis pertama LTE adalah 3GPP Rel-8, yang diselesaikan pada tahun 2008. Rel-8 dapat memberikan throughput downlink dan uplink mencapai 300 Mbit / s pada arah downlink dan 75 Mbit / s pada arah uplink, dengan latensi radio kurang dari 5 ms, dan peningkatan efisiensi spektrum yang signifikan. LTE menyediakan dukungan yang luas untuk fleksibilitas spektrum, mendukung FDD dan TDD, dan menargetkan evolusi yang lebih baik dari 3GPP sebelumnya seperti teknologi TD-SCDMA dan WCDMA / HSPA+ serta teknologi 3GPP2 seperti CDMA2000. [6]

Tabel 2.1 Perbandingan LTE dan LTE-Advanced [7]

System Performance		LTE	LTE Advanced
Peak Data Rate	Downlink	300 Mbps @20MHz	3 Gbps @100MHz
	uplink	75 Mbps @20MHz	1,5 Gbps @100MHz
Operating band		700 ; 850 ; 900 ; 1800 ; 2100 ; 2300 ; 2600 MHz	
Modulation		QPSK , 16QAM and 64QAM	
Channel bandwidth		1,4 ; 3 ; 5 ; 10 ; 15 ; 20 MHz	Continous spectrum @>20MHz, spectral convergence.Up to 100 MHz
Multiple access		OFDMA (DL) ; SC-FDMA(UL)	
Duplex mode		FDD and TDD	
Control-plane delay	Idle to connect	<100ms	<50ms
	Dormant to active	<50ms	<9,5ms
User-plan delay		<20ms	<9,1ms
Mobility		≤350Km/h	≤350km/h, ≤500 km/h @freq band

Teknologi radio akses LTE terus berkembang untuk memenuhi kebutuhan masa depan. Di Rel-9, yang selesai pada akhir tahun 2009, mensupport kemampuan Multi Broadcast Multi-Cast Service (MBMS) , layanan positioning, dan peningkatan pada fungsi panggilan darurat, serta perangkat tambahan untuk kemampuan dual-layer beamforming pada arah downlink. Baru-baru ini, 3GPP telah berhasil mendefinisikan LTE Rel-10, selesai pada akhir tahun 2010 yang memperluas kinerja dan kemampuan LTE luar Rel-9/8. Sebuah tujuan penting dari LTE Rel-10 adalah untuk memastikan bahwa LTE memenuhi semua persyaratan untuk IMT-Advanced seperti yang didefinisikan oleh ITU. Hubungan dengan IMT-Advanced juga merupakan alasan untuk nama "LTE-Advanced" yang diberikan kepada LTE Rel-10 dan seterusnya.

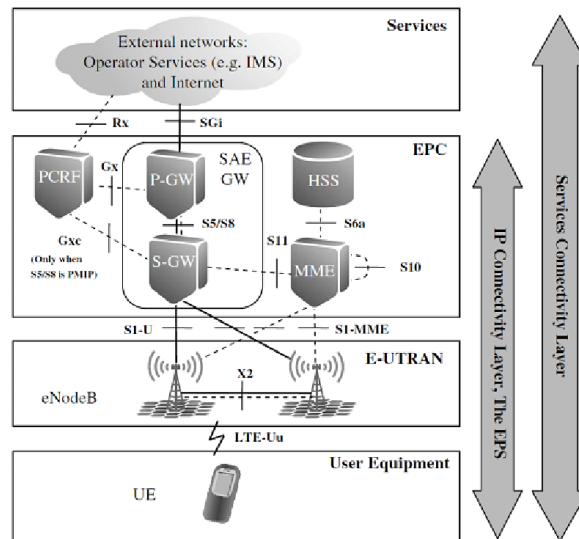
Tabel 2.2 Klasifikasi UE category [5]

Classification		LTE					LTE Advanced		
UE category		1	2	3	4	5	6	7	8
Peak Rate Mbps	DL	10	50	100	150	300	300	300	3000
	UL	5	25	50	50	75	50	100	1500
RF bandwidth		20 MHz					40 MHz		100 MHz
DL MIMO		optional	2x2	2x2	2x2	2x2	2x2 or 4x4	2x2 or 4x4	8x8
UL MIMO		no	no	no	no	no	no	2x2	4x4
64QAM support (QPSK, 16QAM)	DL	yes					Yes		
	UL	no				yes	no		yes

LTE Rel-10, dikenal sebagai LTE-Advanced, bukan teknologi radio-akses baru tetapi merupakan evolusi dari LTE untuk lebih meningkatkan kinerja. Sebagai evolusi LTE, Rel-10 mencakup semua fitur dari Rel-8/9 dan menambahkan beberapa fitur baru yang paling penting *carrier aggregation*, peningkatan multi-antena, meningkatkan kemampuan heterogenous network, dan relay node. Mengembangkan LTE lebih baik daripada merancang teknologi radio akses baru karena meminimalkan biaya investasi. Perangkat pada Rel-10 dapat langsung terhubung ke jaringan rilis sebelumnya, serta Rel-9/8 terminal dapat terhubung ke jaringan yang mendukung perangkat tambahan baru. Oleh karena itu, operator bisa membangun jaringan Rel-8 dan kemudian, ketika dibutuhkan upgrade ke Rel-10. Bahkan, sebagian besar Rel-10 fitur dapat dimasukkan ke dalam jaringan yang sederhana berupa upgrade software. [7]

2.2.1 Arsitektur Jaringan [5]

Arsitektur jaringan teknologi *LTE-Advanced* dibagi menjadi dua, yaitu *EPC (Evolved Packet Core)* dan *E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network)*.



Gambar 2.2 Arsitektur dan *interface* LTE

1. Core Network (EPC)

a. *Mobility Management Entity (MME)*

MME adalah pengontrol pada setiap *node* pada jaringan akses LTE. MME bertanggung jawab untuk *tracking* dan *paging* yang meliputi transmisi dalamnya, memilih SGW (melayani *SAE Gateway*) yang akan digunakan selama inisialisasi UE dan waktu untuk melakukan *intra-handover* LTE, serta sebagai *bearer control*.

b. *PCRF (Policy Control Rules Function)*

Berfungsi untuk menangani QoS serta *control rating*, *charging*, and *billing*.

c. *HSS (Home Subscriber Server)*

Berfungsi untuk manajemen dan keamanan pelanggan, merupakan kombinasi dari *Authentication Center* dan *Home Location Register*.

d. *PDN-GW (Packet Data Network-Gateway)*

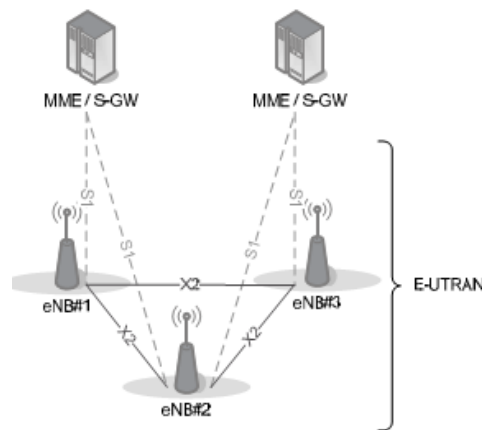
Berfungsi untuk menyediakan konektivitas antara UE dan jaringan paket serta hubungan antara teknologi LTE dengan teknologi non 3GPP (WiMAX) dan 3GPP2 (CDMA 20001X dan EVDO).

e. SGW (SAE-Gateway)

Berfungsi mengatur jalur dan meneruskan data dalam bentuk paket masing-masing pengguna, sebagai jangkar/penghubung antara UE dan *eNodeB* pada saat *handover*, sebagai *link* antara teknologi LTE 3GPP dengan teknologi 3GPP lainnya seperti 2G dan 3G.

2. Access Network (E-UTRAN)

Jaringan akses pada LTE (E-UTRAN) terdiri dari beberapa jaringan *eNodeB*.



Gambar 2.3 Arsitektur E-UTRAN

Sekumpulan *eNodeB* saling terhubung satu sama lain melalui *X2 interface*. Pada EPC, khususnya antara *eNodeB* ke MME melalui *S1-MME interface* sedangkan *eNodeB* dengan S-GW menggunakan *S1-U interface*. Protokol yang berjalan antara *eNodeB* dan UE dikenal sebagai protokol *Access Stratum (AS)*.

E-UTRAN bertanggung jawab untuk semua fungsi radio sebagai berikut:

- **Radio Resource Management**

Mencakup semua fungsi yang terkait dengan *radio bearers*, seperti *radio bearer control*, *radio admission control*, *radio mobility control*, *scheduling and dynamic allocation of resources* untuk UE pada sisi *uplink* dan *downlink*.

- **Header Compression**

Kompresi *header* paket IP yang bisa mewakili *overhead* yang signifikan terutama untuk paket kecil seperti VoIP.

- **Keamanan**

Proses enkripsi untuk pengiriman semua data melalui *interface* radio.

- **Positioning**

E-UTRAN menyediakan pengukuran yang diperlukan dan data lainnya ke E-SMLC dan membantu E-SMLC dalam menemukan posisi UE.

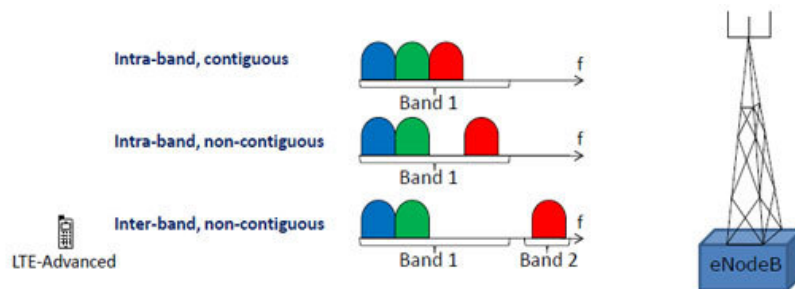
- **Connectivity to the EPC.**

Terdiri dari pensinyalan terhadap MME dan *bearer path* menuju S-GW.

2.2.2 Carrier aggregation

Untuk mencapai *peak data rate* yang disyaratkan oleh IMT-Advanced, 3GPP LTE Rilis 10 telah memperkenalkan *Carrier aggregation* (CA) sebagai salah satu fitur utama LTE-Advanced untuk skala *bandwidth* sistem lebih dari 20 MHz bahkan hingga 100 MHz. Namun, pada nyatanya kondisi spektrum yang kontinyu atau contiguous jarang tersedia. Oleh karena itu, LTE-Advanced menggunakan CA yang dapat menggabungkan sampai lima Components Carriers (CC) dengan masing-masing *bandwidth* 20 MHz, tergantung pada ketersediaan spektrum dan kemampuan UE. Selain itu, CA memungkinkan efisiensi penggunaan spektrum yang terfragmentasi, dengan mengabaikan *peak data rate*.

Secara umum, ada tiga skenario spektrum yang berbeda sebagai berikut :



Gambar 2.4 Skenario CA berdasarkan *band* [8]

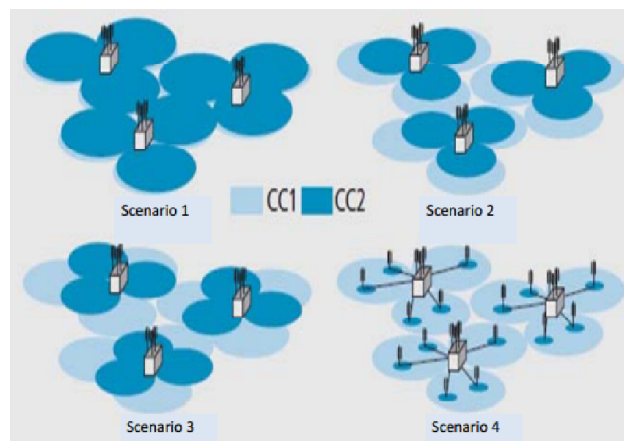
Intra-band contiguous Carrier Aggregation : Ini bentuk CA menggunakan single *band*. Ini adalah bentuk paling sederhana dari operator LTE untuk melaksanakan agregasi. Di sini frekuensi yang dimiliki operator berdekatan satu

sama lain. Jarak antara frekuensi CC saling berseblahan dikumpulkan merupakan kelipatan dari 300 kHz agar kompatibel dengan frekuensi 100 kHz dari raster Rilis 8/9 dan menjaga ortogonalitas dari subcarriers dengan spasi 15 kHz. [4]

Intra-band Non-contiguous carrier aggregation : Bentuk ini lebih rumit dari kasus pertama di mana frekuensi yang dimiliki operator saling berdekatan. Sinyal multi-carrier tidak bisa diperlakukan sebagai sinyal tunggal dan oleh karena itu dibutuhkan dua transceiver. Hal ini menambah kompleksitas yang signifikan, terutama untuk UE di mana ruang, daya dan biaya menjadi pertimbangan utama.

Inter-band non-contiguous: Jenis CA yang menggunakan *band* yang berbeda. Untuk UE yang dibutuhkan penggunaan beberapa transceiver dalam satu perangkat, dengan dampak seperti biasa yaitu biaya, kinerja dan daya.

Secara umum, tujuan dari CA adalah untuk meningkatkan data rate untuk pengguna yang berada dalam cakupan area banyak sel yang saling berhimpitan. Dengan CA, terdapat macam-macam cara penggelaran yang memungkinkan. Berikut adalah beberapa skenario yang mungkin digunakan dalam CA. Pada gambar skenario 2 hanya diasumsikan dua component carrier (CC) yang terdiri dari CC1 dan CC2.



Gambar 2.5 Carrier aggregation Deployment Scenario [9]

Carrier aggregation Deployment Scenario 1 (CADS1), salah satu skenario yang paling dipertimbangkan dimana antenna eNodeB berlokasi sama dan kedua *component carrier* memiliki arah pancaran yang sama, sehingga saling mendukung

luas coverage yang sama pada semua CC. Sel dengan CC1 dan CC2 berlokasi dan berada pada *band* yang sama. [9]

Carrier aggregation Deployment Scenario 2 (CADS2), secara praktik alokasi spektrum untuk sebuah operator biasanya tersebar pada *band* yang berbeda dan memiliki rentang yang jauh. Sel dengan CC1 dan CC2 berada pada *band* yang berbeda. Pada kasus tersebut, *coverage* untuk sebuah CC mungkin lebih kecil dari CC lainnya yang berada pada frekuensi yang lebih rendah. Dengan begitu CA memungkinkan throughput user meningkat pada daerah pada CC yang saling overlap.

Carrier aggregation Deployment Scenario 3 (CADS3), sel dengan CC1 dan CC2 berlokasi sama dengan CC1 dan CC2 berada pada *band* berbeda. Pada beberapa penggelaran antena eNodeB untuk CC yang berbeda memiliki arah pola pancaran berbeda dimana arah antena secara sengaja digeser untuk meningkatkan data rate dan throughput pada tepi sel. CA mendukung pada daerah CC yang saling overlap dari eNodeB yang sama.

Carrier aggregation Deployment Scenario 4 (CADS4), CC1 yaitu eNodeB biasa mendukung cakupan dari macrocell, dimana radio remote head (RRH) dengan CC2 digunakan untuk meningkatkan throughput pada area dengan kebutuhan trafik tinggi, sel RRH dihubungkan dengan eNodeB menggunakan serat optik sehingga memungkinkan agregasi CC antara macrocell dan RRH. Penggelaran skenario ini dapat meningkatkan throughput dengan memanfaatkan menggunakan perangkat RRH yang murah.

2.3 Coverage and Capacity planning

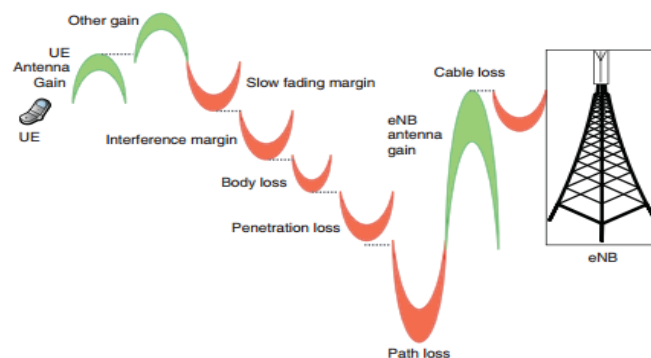
Sasaran dari perancangan jaringan radio harus seimbang antara *coverage*, *capacity*, kualitas, dan biaya. Perancang jaringan harus mempertimbangkan faktor-faktor ini selama fase perencanaan jaringan. Tujuan *coverage* harus dipilih dengan cara yang cerdas untuk memenuhi bisnis persyaratan dengan pengeluaran minimum. Di sisi lain, jaringan harus melalui proses *dimensioning* yang benar

untuk memenuhi kebutuhan kapasitas saat ini dan masa depan tanpa merendahkan atau menganggap terlalu tinggi pertumbuhan trafik.

2.3.1 Coverage planning [10]

Salah satu hal yang harus diperhitungkan dalam *coverage planning* adalah redaman yang terjadi sepanjang lintasan yang dilalui oleh gelombang antara *eNodeB* dengan UE. Redaman terbagi dua yaitu arah *uplink* dari UE ke *eNodeB* dan *downlink* dari *eNodeB* ke UE. [10]

Berikut ini adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung *link budget* arah *uplink* :



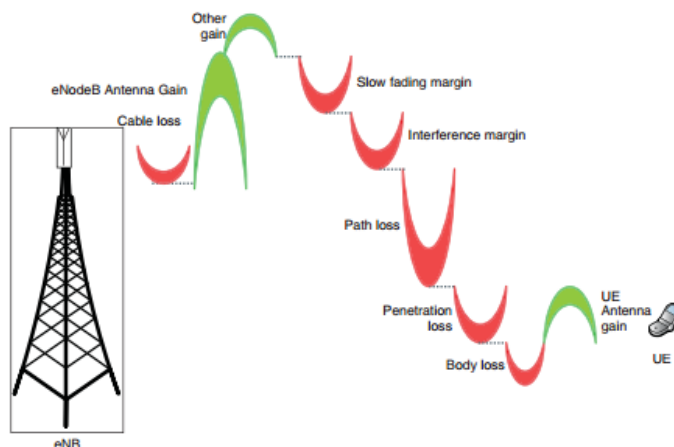
Gambar 2.6 Ilustrasi *link budget* arah *uplink*

$$EIRP_{UL} = P_{eNodeB} - G_{UE} - L_c \quad (2.1)$$

$$RX_{Sen} = SINR + R_{xNF} - N_{TH} + 10 \log(15000) \quad (2.2)$$

$$SR_{MINUL} = RX_{Sen} - G_{eNodeB} - L_b + IM \quad (2.3)$$

$$MAPL_{UL} = EIRP_{UL} - SR_{MINUL} - L_{indoor} - MSF \quad (2.4)$$



Gambar 2.7 Ilustrasi *link budget* arah *downlink*