

## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian Ayu Tika Permatasari pada tahun 2016 yang berjudul “ANALISIS PERENCANAAN JARINGAN LTE-ADVANCED MENGGUNAKAN METODE *FRACTIONAL FREQUENCY REUSE* DAN FITUR *CARRIER AGGREGATION* DI DKI JAKARTA” dilakukan dengan pemanfaatan skema *frequency reuse* pada fitur *carrier aggregation*. Dimana *frequency reuse* berfungsi sebagai *management interference*. Skema *frequency reuse* yang digunakan adalah FFR yaitu membagi sel menjadi dua arah, *cell edge* dan *cell centre* dengan menggunakan daya pancar yang berbeda. Sedangkan skema penerapan *carrier aggregation* yang digunakan adalah CDS 3 dengan menggunakan *dual band* frekuensi dan pola pancaran yang berbeda. Adapun parameter yang dianalisis pada penelitian ini adalah RSRP, CINR, *User Connected*, dan *Throughput*. Namun pada penelitian ini terjadi penurunan *throughput* dan *connected user* dikarenakan terdapat *bandwidth* yang tidak terpakai di tiap selnya. [5]

Penelitian selanjutnya yaitu oleh Sigit Dedi Purwanto pada tahun 2011 dengan judul penelitian “ANALISIS PERBANDINGAN PERENCANAAN FREKUENSI DENGAN METODE *SOFT FREQUENCY REUSE*, *FRACTIONAL FREQUENCY REUSE* DAN *REUSE 1* PADA JARINGAN *LONG TERM EVOLUTION* (LTE)”. Karena pemakaian *reuse 1* maka *inter-cell interference* (ICI) menjadi masalah yang signifikan pada OFDMA khususnya pada user yang berada pada pinggir sel (*cell edge*). Maka dibutuhkan manajemen interferensi untuk meningkatkan performansi *cell edge user* dengan teknik skema frekuensi *reuse*. Skema frekuensi *reuse* yang akan dibahas yaitu *reuse 3*, *fractional frequency reuse* (FFR), dan *soft frequency reuse* (SFR). *Reuse 2*, FFR, dan SFR bertujuan untuk meningkatkan performansi *cell edge user* (SINR, *data rate*) pada *reuse 1*. Dari hasil efisiensi spektral yang didapatkan frekuensi *reuse 1* mempunyai performansi paling

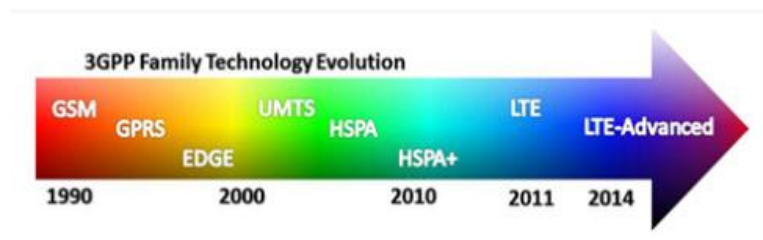
buruk, performansi paling bagus dicapai oleh frekuensi reuse 3 dan FFR sedangkan SFR mempunyai performansi diantara reuse 3 dan FFR. [6]

Untuk itu, pada penelitian ini penulis melakukan perancangan jaringan LTE-A pada fitur *Carrier Aggregation* dengan skema FFR dan SFR pada frekuensi 1800 MHz dengan *bandwidth* 15 MHz dan frekuensi 2300 MHz dengan *bandwidth* 20 MHz pada Operator X dengan parameter yang dianalisis yaitu RSRP, CINR, *throughput* dan persentase *user connected*.

## 2.2 DASAR TEORI

### 2.2.1 Perkembangan Teknologi Seluler

Standarisasi 3rd *Generation Partnership Project* (3GPP) merupakan organisasi komunikasi nirkabel global yang secara kolaboratif mengembangkan standar atau spesifikasi untuk radio, jaringan inti dan arsitektur layanan. 3GPP awalnya mengembangkan sistem global untuk komunikasi seluler GSM yang merupakan teknologi seluler yang paling banyak digunakan di dunia dengan pelanggan lebih dari 90 persen dan lebih dari 6.5 miliar langganan.



Gambar 2.1 3GPP Family Technology Evolution [7]

GSM dianggap sebagai teknologi generasi kedua (2G) yang menawarkan layanan data suara dan *circuit-switched* dan menjadi warisan ke generasi ke-3 (3G) yaitu teknologi *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS) atau sering disebut *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA). [7]

UMTS, *High Speed Packet Access* (HSPA) dan HSPA+ merupakan evolusi teknologi 3G dan teknologi *broadband* yang paling banyak digunakan di dunia. HSPA adalah terminologi yang digunakan ketika teknologi HSDPA (3GPP Release 5) dan HSUPA (3GPP Release 6). HSPA Plus (HSPA+ di 3GPP Release 7 dan seterusnya) juga merupakan bagian dari teknologi HSPA dan memperluas investasi operator di jaringan sebelum operator langkah selanjutnya ke 3GPP Long Term

Evolution (LTE atau 3GPP Release 8 dan seterusnya). Pada pertengahan 2014, lebih dari 550 jaringan HSPA dan HSPA + secara komersial tersedia di lebih dari 200 negara di seluruh dunia.

Generasi keempat (4G) dari teknologi 3GPP adalah LTE, yang telah menjadi teknologi seluler yang paling cepat berkembang. Penyebaran komersial cepat LTE mencapai lebih dari 300 jaringan komersial cepat LTE mencapai lebih dari 300 jaringan komersial di lebih dari 100 negara pada pertengahan 2014. Rilis 3GPP 10 LTE-Advanced mulai beroperasi secara komersial pada tahun 2014 dan diharapkan akan tersedia hingga 40 jaringan pada akhir tahun 2014. [7]

### **2.2.2 LTE (Long Term Evolution)**

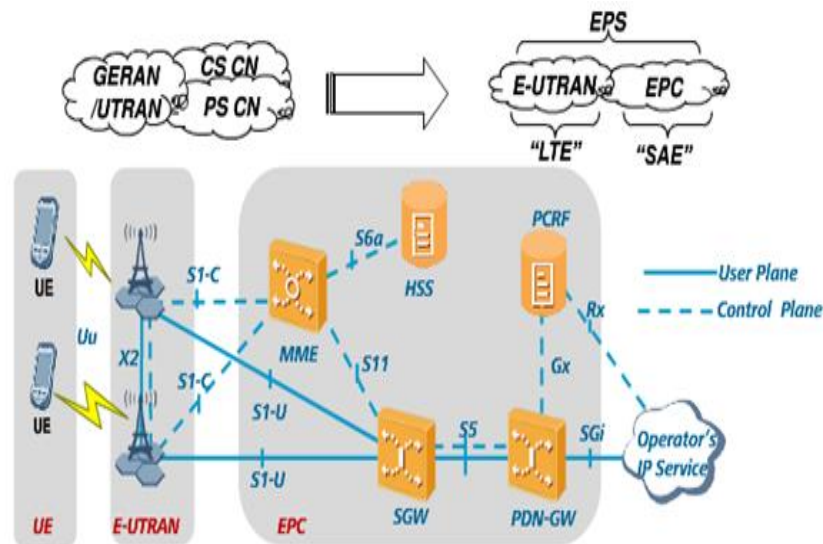
LTE adalah nama yang diberikan untuk standar teknologi komunikasi baru yang dikembangkan oleh 3GPP untuk mengatasi peningkatan permintaan kebutuhan akan layanan komunikasi, LTE adalah lanjutan dan evolusi 2G dan 3G sistem dan juga untuk menyediakan layanan tingkat kualitas yang sama dengan jaringan *wired*.

The *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) mulai bekerja pada evolusi sistem seluler 3G pada bulan November, 2004. 3GPP LTE dikembangkan untuk memberikan kecepatan data yang lebih tinggi, latency yang lebih rendah, spektrum yang lebih luas dan teknologi paket radio yang lebih optimal. *Long Term evolution* adalah sebuah nama yang diberikan pada sebuah proyek dan *Third Generation Partnership Project* (3GPP) untuk memperbaiki standar *mobile phone* generasi ke-3 (3G) yaitu UMTS WCDMA. LTE ini merupakan pengembangan dan teknologi sebelumnya, yaitu UMTS (3G) dan HSPA (3.5G) yang mana LTE disebut sebagai generasi ke-4 (4G). Pada UMTS kecepatan transfer data maksimum adalah 2 Mbps, pada HSPA kecepatan transfer data mencapai 14 Mbps pada sisi *downlink* dan 5.6 Mbps pada sisi *uplink*, pada LTE ini kemampuan dalam memberikan kecepatan dalam hal transfer data dapat mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink* dan 50 Mbps pada sisi *uplink*. Selain itu LTE ini mampu mendukung semua aplikasi yang ada baik voice, data, video, maupun IPTV. [8]

### **2.2.3 Arsitektur Jaringan LTE**

Arsitektur jaringan LTE terdiri dari tiga komponen utama, yaitu:

- User Equipment (UE)
- Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)
- Evolved Packet Core (EPC)



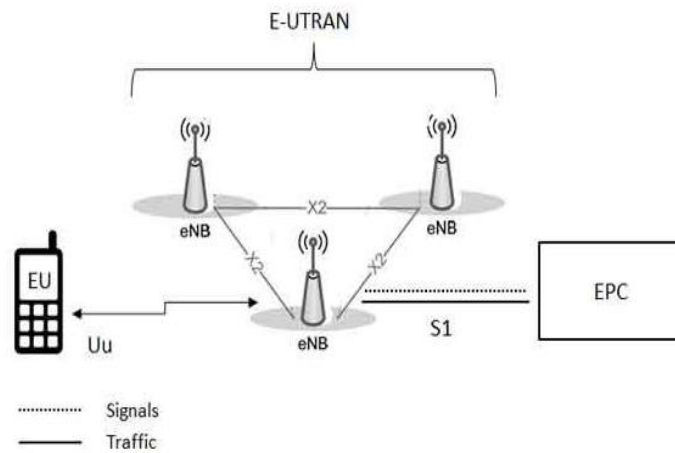
Gambar 2.2 Arsitektur Jaringan LTE [9]

## 1. UE

Arsitektur internal dari *user equipment* untuk LTE identik dengan yang digunakan oleh UMTS dan GSM yang sebenarnya adalah sebuah *Mobile Equipment* (ME) atau peralatan *mobile*. Peralatan *mobile* terdiri dari 3 modul penting, diantaranya *Mobile Termination* (MT), yang menangani semua fungsi komunikasi; *Terminal Equipment* (TE), yang mengakhiri aliran data; dan *Universal Integrated Circuit Card* (UICC), atau dikenal juga sebagai kartu SIM untuk peralatan LTE. Ini menjalankan aplikasi yang dikenal sebagai *Universal Subscriber Identity Module* (USIM). Sebuah USIM menyimpan data pengguna tertentu sama halnya dengan kartu SIM 3G. Kartu ini berisi informasi tentang nomor pengguna ponsel, identitas jaringan rumah, kunci keamanan dan lain-lain. [9]

## 2. E-UTRAN (Akses Jaringan)

Arsitektur *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN) telah diilustrasikan dalam gambar dibawah ini:



Gambar 2.3 Arsitektur E-UTRAN [9]

E-UTRAN menangani komunikasi radio antara ponsel dan *evolved packet core* dan hanya memiliki satu komponen, BTS *evolved*, yang disebut eNodeB atau eNB. Setiap eNB adalah BTS yang mengontrol ponsel dalam satu atau lebih sel. BTS yang berkomunikasi dengan ponsel dikenal sebagai eNB yang melayaninya.

Ponsel LTE berkomunikasi hanya dengan satu BTS dan satu sel pada satu waktu dan berikut adalah dua fungsi utama yang didukung oleh eNB:

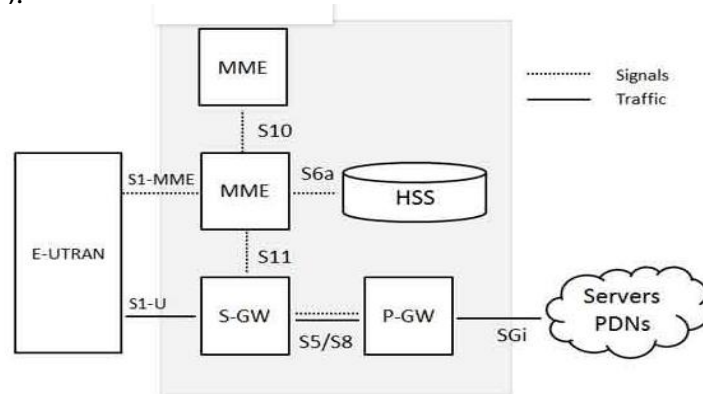
- eNB mengirim dan menerima transmisi radio untuk semua ponsel menggunakan analog dan fungsi pemrosesan sinyal digital dari antarmuka udara LTE.
- eNB mengontrol operasi tingkat rendah dari semua ponselnya, dengan mengirimkan sinyal pesan seperti perintah *handover*.

Setiap eNB dihubungkan ke EPC dengan menggunakan antarmuka S1 dan ini juga dapat terhubung ke BTS terdekat dengan antarmuka X2, yang utamanya digunakan untuk pemberian isyarat dan melanjutkan paket selama *handover*.

Sebuah home eNB (HeNB) adalah BTS yang telah dibeli oleh pengguna untuk menyediakan cakupan *femtocell* di dalam rumah. Sebuah home eNB dimiliki oleh sekelompok pelanggan tertutup (CSG) dan hanya dapat diakses oleh ponsel dengan USIM yang juga dimiliki oleh kelompok serupa. [9]

### 3. *Evolved Packet Core* (EPC)

Arsitektur *Evolved Packet Core* (EPC) telah digambarkan di bawah ini. Ada beberapa komponen lagi yang belum ditampilkan dalam diagram untuk membuatnya tetap sederhana. Komponen ini seperti Sistem Peringatan Gempa Bumi dan Tsunami (*Earthquake and Tsunami Warning System – ETWS*), *Equipment Identity Register* (EIR) dan *Policy Control and Charging Rules Function* (PCRF).



Gambar 2.4 Arsitektur EPC

Gambar 2.4 *Evolved Packet Core* (EPC) [9]

Berikut adalah penjelasan singkat dari masing-masing komponen yang ditampilkan dalam arsitektur di atas:

- Komponen *Home Subscriber Server* (HSS) telah diteruskan dari UMTS dan GSM dan merupakan *database* pusat yang berisi informasi tentang semua pelanggan operator jaringan.
- *Packet Data Network* (PDN) *Gateway* (P-GW) berkomunikasi dengan dunia luar seperti jaringan paket data PDN, menggunakan antarmuka SGI. Setiap PDN diidentifikasi oleh *access point* nama (APN). PDN *gateway* memiliki peran yang sama seperti *GPRS support node* (GGSN) dan *serving GPRS support node* (SGSN) dengan UMTS dan GSM.
- *Serving Gateway* (S-GW) bertindak sebagai *router*, dan meneruskan data antara BTS dan PDN *gateway*.
- *Mobility Management Entity* (MME) mengontrol operasi tingkat tinggi ponsel dengan cara memberikan pesan dan *Home Subscriber Server* (HSS).
- *Policy Control and Charging Rules Function* (PCRF) adalah komponen yang tidak ditampilkan dalam diagram di atas tetapi bertanggung jawab

untuk melakukan kontrol atas proses tertentu, serta menyediakan kebijakan pengaturan dan aliran keputusan untuk pembiayaan/*charging*.

Antarmuka antara *servicing* dan PDN *gateway* dikenal dengan S5/S8. Keduanya memiliki implementasi yang sedikit berbeda. Disebut S5 jika kedua perangkat berada dalam jaringan yang sama, dan S8 jika mereka berada di jaringan yang berbeda. [9]

#### 2.2.4 LTE – Advanced

LTE- *Advanced* diperkenalkan 3GPP dalam rilis 10 dan 11. LTE-*Advanced* merupakan teknologi terbaru sebagai evolusi dari LTE dan diharapkan mampu untuk memberikan kecepatan data rate yang lebih tinggi baik pada sisi *downlink* maupun di sisi *uplink*. Selain itu jaringan LTE – *Advanced* ini diharapkan juga dapat memberikan layanan yang efisien dalam penggunaan spectrum. Karena spectrum merupakan sumber daya terbatas dalam jaringan telekomunikasi. 3GPP mengembangkan kemampuan LTE- *Advanced* sesuai dengan spesifikasi *release 11* sebagai berikut: [10]

1. Dukungan bandwidth yang lebih besar hingga mencapai 100 Mhz melalui *carrier aggregation*
2. *Peak data rates* meningkatkan menjadi : 3Gbps di sisi *downlink* dan 1.5 Gbps disisi (*uplink*)
3. Efisiensi *spectrum* yang lebih tinggi, dari yang semula hanya 16 bps/Hz di *release 8* menjadi 30 bps/Hz di *release 10*
4. *Enhanced MIMO*

Teknologi LTE- *Advanced* bertujuan untuk memenuhi persyaratan teknologi *wireless next generation* atau yang biasa disebut dengan istilah IMT- *Advanced*. Pada table 2.1 dijelaskan mengenai persyaratan IMT – *Advanced* untuk LTE – *Advanced*. [11]

**Tabel 2. 1 IMT-*Advace* Requirment dan LTE-*Advanced* Project Capability [11]**

| Item | IMT – Advaced Requirment | LTE – Advanced |
|------|--------------------------|----------------|
|      |                          |                |

|                                   |              |                      |
|-----------------------------------|--------------|----------------------|
|                                   |              | Projected Capability |
| Peak Data Rate DL                 |              | 1 Gbps               |
| Peak Data Rate UL                 |              | 500 Mbps             |
| Spectrum Allocation               | Up to 40 Mhz | Up to 100 Mhz        |
| Latency User Plane                | 10 msec      | 10msec               |
| Latency Control Plane             | 100 msec     | 50 msec              |
| Peak Spectral Efficiency DL       | 15 bps/Hz    | 30 bps/Hz            |
| Peak Spectral Efficiency UL       | 6,75 bps/Hz  | 15 bps/Hz            |
| Cell- Edge Spectral Efficiency DL | 0,06 bps/Hz  | 0,09 bps/Hz          |
| Cell- Edge Spectral Efficiency UL | 0,03 bps /Hz | 0,07 bps/Hz          |

Fitur-fitur yang terdapat pada LTE Advanced adalah sebagai berikut: [12]

#### 2.2.4.1 Carrier Aggregation

Merupakan teknik penggunaan dua atau lebih *component carrier* (CC) secara bersamaan baik pada band frekuensi yang sama ataupun band frekuensi yang berbeda untuk memperbesar *bandwidth*.

#### 2.2.4.2 Relay Nodes

Merupakan BTS dengan konsumsi daya yang rendah. RNs menyediakan peningkatan *coverage* dan kapasitas *cell edges*. RNs terhubung dengan *Donoer eNodeB* (DeNB) via radio *interface*. Kegunaan RNs akan memiliki fungsi yang sama seperti eNodeB.

#### 2.2.4.3 Coordinated Multi Point operation (CoMP)

*Coordinated Multi Point operation* (CoMP) berfungsi untuk meningkatkan kinerja jaringan pada setiap sel. Dalam CoMP sejumlah TX (*Transmit*) menyediakan titik koordinasi pengiriman di sisi *downlink* dan sejumlah RX (*Receive*) menyediakan titik koordinasi penerimaan di sisi *uplink*.

#### 2.2.4.4 Multiple Input Multiple Output

MIMO digunakan untuk meningkatkan *bitrate* melalui transmisi dari dua atau lebih data *streams* yang berbeda pada dua atau lebih antena, yang



menggunakan sumber frekuensi dan waktu yang sama namun hanya berbeda sinyal *reference* yang diterima oleh dua atau lebih antena.

LTE *Advanced* diharapkan dapat memberikan efisiensi spektrum dan memiliki *bandwidth* hingga 100 MHz dengan menggunakan *Carrier Aggregation*. Teknologi ini memiliki kecepatan *transfer* data sebesar 3 Gbps untuk *downlink* dan 1,5 Gbps untuk *uplink*.

### 2.2.5 *Carrier Aggregation*

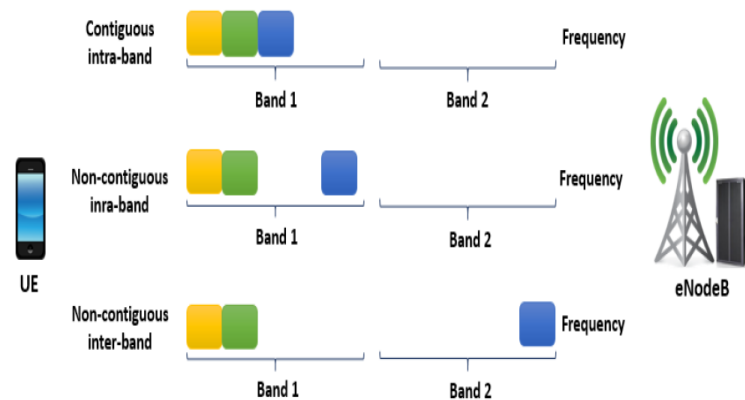
Untuk mencapai kecepatan data puncak yang dibutuhkan oleh IMT-Advanced, 3GPP LTE Release 10 telah memperkenalkan *Carrier Aggregation* (CA) sebagai salah satu fitur utama LTE-Advanced untuk skala *bandwidth* melampaui 20 MHz hingga 100 MHz. CA juga mendukung jaringan heterogen. Dengan masing-masing CC menjadi LTE kompatibel, CA memungkinkan operator untuk bermigrasi dari LTE ke LTE Advanced sambil terus melayani pengguna LTE. [13]

*Carrier aggregation* (CA) merupakan suatu teknik penggunaan dua atau lebih frekuensi carrier secara bersamaan baik pada band frekuensi yang sama maupun berbeda demi memperbesar penggunaan *bandwidth* sehingga peningkatan kapasitas jaringan dapat diciptakan. [14] Teknologi CA memungkinkan perluasan skalabilitas *bandwidth* efektif yang disediakan untuk terminal pengguna pemanfaatan simultan sumber daya radio di beberapa operator. *LTE Release 8* mempunyai *bandwidth* maksimum 20 Mhz dengan *Spatial Multiplexing* secara teoritis bisa mencapai *data rate* pada *downlink* 300 Mbps dan *Uplink* 75 Mbps. *Carrier Aggregation* merupakan salah satu teknologi utama dari LTE-Advanced dengan tujuan meningkatkan *bandwidth* yang selanjutnya dapat meningkatkan *data rate*. *Carrier Aggregation* bisa menggunakan baik TDD maupun FDD. *Carrier Aggregation* memungkinkan penggabungan *carrier* pada LTE dengan maksimum *bandwidth* 100 MHz. *Carrier* untuk digabungkan disebut sebagai *component carrier* (CC) dan satu CC bisa mempunyai *bandwidth* 1.4 , 3 , 5 , 10 , 15 atau 20 MHz. Misalkan lima CC yang masing-masing mempunyai *bandwidth* 20 MHz digabungkan, *bandwidth* total yang didapatkan adalah 100 MHz. [3]

Carrier agregation memiliki tiga fitur antara lain:

1. *Carrier Agregation intra-band contiogous*
2. *Carrier aggregation intra-band non-contiguous*
3. *Carrier aggregation inter-band non- contiguous*

Berikut adalah metode dalam menerapkan Carrier Agregation:



Gambar 2.5 Metode Carrier Aggregation [3]

### **2.2.5.1 Intra band contiguous carrier aggregation**

*Contiguous intra-band* yaitu jika *carrier* bersebelahan satu sama lain dan berada pada *band* yang sama. *Carriers* tersebut dipisahkan oleh beberapa pita 300 kHz sehingga *subcarrier-subcarriernya orthogonal* antara satu dengan lainnya dan tidak menginterferensi. Metode ini adalah metode yang paling mudah diterapkan.

### **2.2.5.2 Intra band non contiguous**

*Non-Contiguous intra-band* yaitu *carriers* berada pada band frekuensi yang sama tetapi tidak bersebelahan. Spektrum yang terpisah dengan total *bandwidth* yang lebar dapat dimanfaatkan oleh operator, tetapi alokasi spektrum *wide band* tunggal terbatas. Pada skenario ini UE harus menggunakan *transceiver* yang terpisah untuk tiap *carrier*.

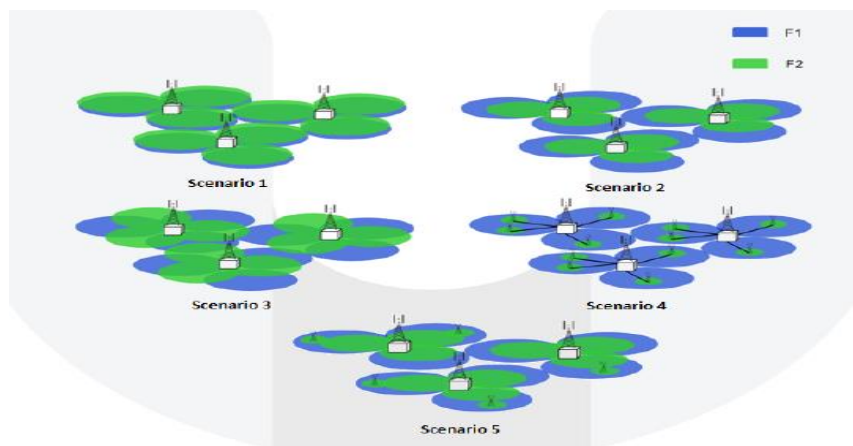
### **2.2.5.3 Inter band non contiguous**

*Inter-band Non Contiguous* dimana CC berada pada *band* frekuensi yang berbeda, misalkan pada frekuensi 1800 Mhz dan 2600 Mhz. Skenario ini sangat

bermanfaat untuk operator, tetapi juga tantangan untuk UE karena dibutuhkan sebuah *transceiver* untuk tiap *carrier* dan memastikan penggunaan efektif dari frekuensi *band* yang berbeda secara bersamaan. [3] Dengan jenis metode ini, ketahanan mobilitas dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan karakteristik propagasi radio berbeda *band* yang berbeda. [13]

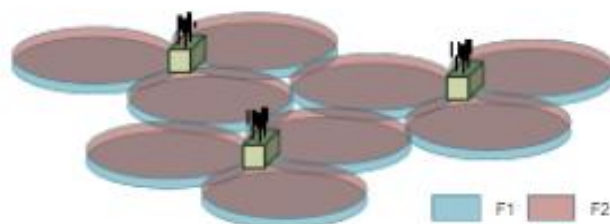
### 2.2.6 Carrier Agregation Deployment Scenario

Secara umum, tujuan dari sistem *Carrier Agregation* yaitu untuk meningkatkan kecepatan data (data rate) pada pengguna di dalam area sel yang bertumpuk. Dalam CA terdapat beberapa skenario penerapan *Dual-band Carrier Agregation* yang biasa disebut CADS (*Carrier Agregation Deployment Scenario*) seperti gambar berikut:



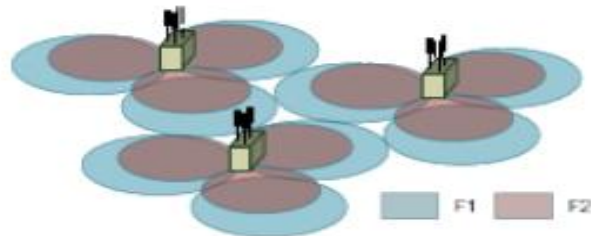
Gambar 2.6 *Carrier Agregation Scenario deployment* [3]

*Carrier Agregation Deployment Scenario 1* (CADS1) yaitu bila sel frekuensi 1 (F1) dengan sel frekuensi 2 (F2) berlokasi sama dan melapisi satu sama lain, menyediakan cakupan area yang sama. Skenario ini terjadi jika F1 dan F2 berada pada frekuensi *band* yang sama. [3]



Gambar 2.7 CADS 1 [15]

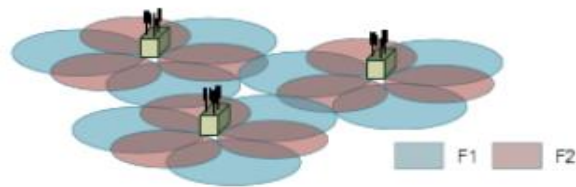
CADS2 yaitu bila sel F1 dan F2 berada pada lokasi yang sama dan melapisi satu sama lain, tetapi sel F2 memiliki cakupan yang lebih kecil. Hanya sel F1 yang menyediakan cakupan yang cukup dan F2 digunakan untuk meningkatkan *Throughput*. [3] Skenario ini terjadi jika F1 dan F2 berada pada frekuensi band yang



berbeda. [14]

Gambar 2.8 CADS 2 [15]

CADS3 yaitu sel F1 dan sel F2 berada di lokasi yang sama tetapi antena diarahkan ke tepi sel F1 jadi *throughput* di tepi sel meningkat. F1 menyediakan cakupan yang cukup tetapi sel F2 kemungkinan besar mempunyai daerah yang tidak tercapuk. Pada skenario ini sel F1 dan f2 berada pada *band* yang berbeda. [3]



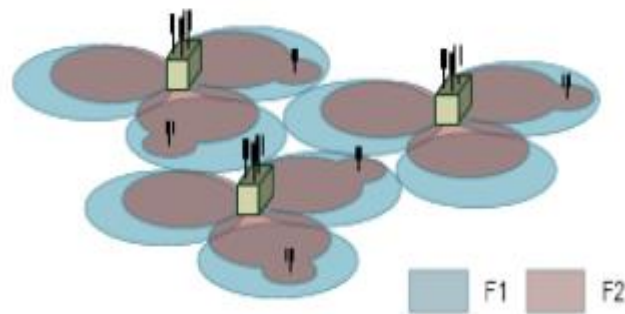
Gambar 2.9 CADS 3 [15]

CADS4 yaitu sel F1 menyediakan cakupan macrocell dan pada sel F2 digunakan *Remote Radio Head (RRH)* yaitu untuk meningkatkan *throughput*. Sel-sel RRH terhubung melalui serat optik ke eNodeB, dengan demikian pada F2 untuk meingkatkan *throughput*. [12]



Gambar 2.10 CADS 4 [15]

CADS5 hampir sama dengan CADS2, tetapi digunakan *frequency selective repeater* untuk memperluas cakupan salah satu frekuensi. [3]



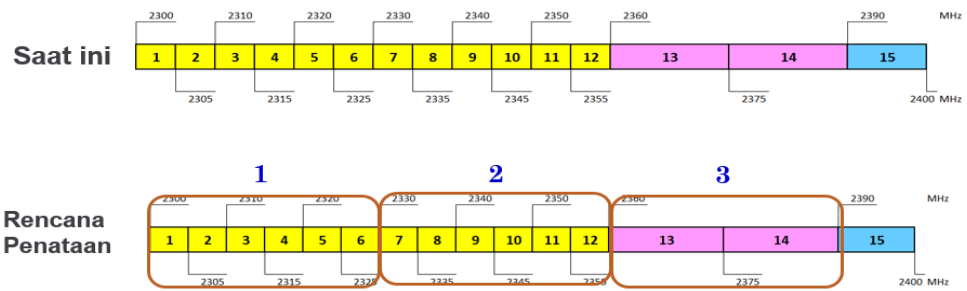
Gambar 2.11 CADS 5 [15]

### 2.2.7 Frekuensi Kerja Carrier Agregation

Pada perancangan ini frekuensi yang dipilih ialah 1800 dan 2300 MHz pada operator Telkomsel. Frekuensi 900 MHz tidak dipilih karena rentan frekuensi pada spektrum 900 MHz sangat terbatas sehingga akan membuat performa dari LTE tidak dapat bekerja secara optimal. Untuk frekuensi 1800 MHz dipilih karena memiliki spektrum yang lebar. Alasan lainnya yaitu setelah Menkominfo menandatangani surat edaran nomor 1 tahun 2015 tentang kebijakan penataan pita frekuensi radio 1800 MHz sehingga sejak tanggal 16 November 2015, proses refarming LTE pada frekuensi 1800 MHz telah dilaksanakan. Sehingga setiap operator memiliki pita frekuensi yang contiguous. Dengan begitu diharapkan akan mengoptimalkan penggelaran jaringan teknologi seluler di Indonesia.[8] Dan pada tahun 2017 Telkomsel resmi memiliki 2300 MHz yang memiliki bandwidth 30 Mhz dan pada frekuensi 1800 Mhz memiliki bandwidth 22,5 Mhz.



Gambar 2.12 Pita Frekuensi 1800 MHz [16]



Gambar 2.13 Pita Frekuensi 2300 MHz [17]

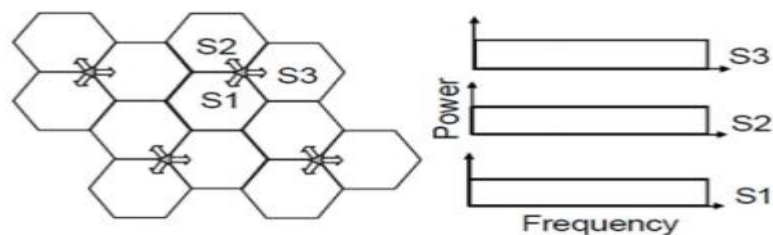
## 2.2.8 Frekuensi Reuse

*Frequency Reuse* adalah penggunaan ulang sebuah frekuensi pada suatu sel, dimana frekuensi tersebut sebelumnya sudah digunakan pada satu atau beberapa sel lainnya. Terbatasnya spektrum frekuensi yang dapat digunakan pada sistem komunikasi bergerak menyebabkan penggunaan spektrum frekuensi tersebut harus seefisien mungkin. Jarak antara 2 sel yang menggunakan frekuensi yang sama ini harus diatur sedemikian rupa sehingga tidak akan mengakibatkan interferensi. [18]

Ada beberapa skema yang dimiliki frekuensi reuse, diantaranya adalah:

### 2.2.8.1 *Frequency Reuse 1*

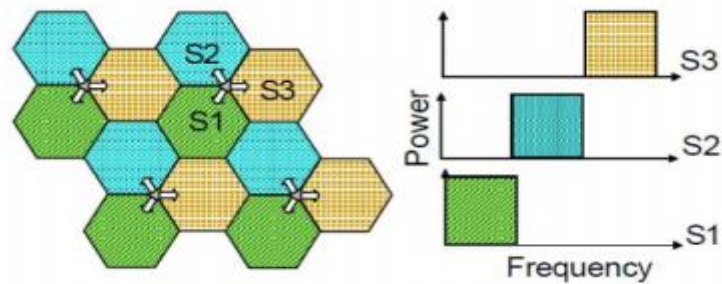
Skema frekuensi *reuse* yang paling sederhana adalah dengan memanfaatkan faktor frekuensi *reuse 1* (FR 1). Dalam FR1, total *bandwidth* yang tersedia digunakan kembali dalam setiap sel tanpa memperdulikan kendala pada alokasi daya atau penggunaan sumber daya frekuensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.18. Dengan skema ini, kapasitas sistem yang tinggi seperti puncak tertinggi data rate dapat dicapai, efisiensi *spectrum* yang tinggi, frekuensi reuse planning tidak rumit, dan kapasitas sel besar. Namun, interferensi di *cell edge* besar, performansi jaringan di *cell edge* buruk. [4]



Gambar 2.14 Frekuensi Reuse 1 [4]

### 2.2.8.2 Frequency Reuse 3

Dalam frekuensi *reuse 3* (FR3), total *bandwidth* dibagi menjadi 3, yaitu *equal*, *orthogonal subband* dan *sub-band* yang dialokasikan untuk sel sedemikian rupa dimana sel-sel yang berdekatan saling menyebarkan frekuensi yang berbeda (pada gambar 2.19). Skema ini bertujuan untuk menurunkan interferensi antar sel (*inter cell interferency* kecil), performansi di *cell edge* bagus, kualitas sinyal

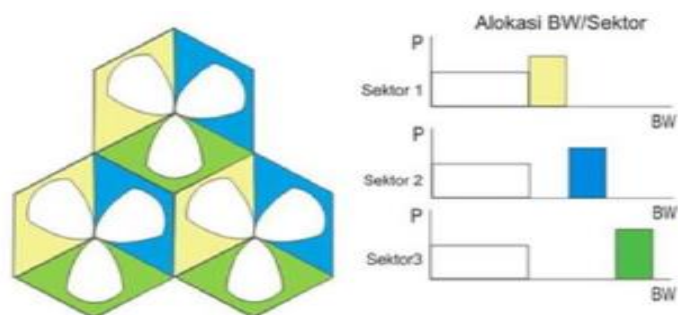


terima bagus. Namun, karena setiap sel menggunakan sepertiga dari total *bandwidth* yang tersedia, terdapat kerugian kapasitas yang besar sehingga kapasitas sel yang dihasilkan kecil.

Gambar 2.15 Frekuensi Reuse 3 [4]

### 2.2.8.3 Fractional Frequency Reuse

FFR adalah skema frekuensi *reuse* dimana satu sel dibagi menjadi tiga sektor, dimana setiap sektornya dibagi lagi dengan dua area cakupan. Daerah cakupan yang dekat dengan antenna pemancar disebut *cell centre*, sedangkan yang berada pada pinggiran sel disebut *cell edge*. Pada area pinggiran sel (*cell edge*) menggunakan frekuensi yang berbeda dengan area *cell centre* dan daya yang digunakan pada *cell edge* lebih besar dibandingkan dengan area *cell centre*.

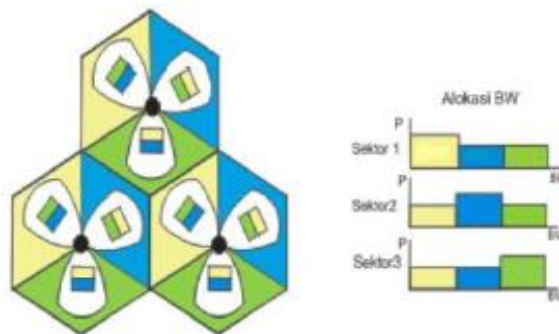


*Bandwith* di *cell edge* dibagi berdasarkan reuse factor N, maka jumlah total *sub-band* yang ada pada FFR adalah  $N+1$ . Keuntungan skema FFR yaitu mampu memberikan performansi yang bagus pada *user* yang berada pada *cell edge*.

Gambar 2.16 Alokasi Power dan Frekuensi pada FFR [4]

#### 2.2.8.4 Soft Frequency Reuse

Pada skema *soft frequency reuse* ini bertujuan untuk mrnghindari gangguan antar sel yang tinggi terkait dengan konfigurasi faktor *reuse* 1. Dalam SFR, masing-masing sel mrnggunakan totsl *bandwith* ysng tersedia. Untuk masing-masing sektor, pengguna tepi sel dialokasikan dalam fraksi *bandwith* dengan tingkat daya tertinggi dan pengguna pusat sel dialokasikan dengan daya lebih rendah dari seluruh pita frekuensi.



Gambar 2.17 Alokasi Power dan Frekuensi pada SFR [4]

Sama halnya dengan skema FFR, pada skema SFR ini, satu sel dibagi menjadi tiga sektor, dimana setiap sktornya dibagi lagi dengan dua area cakupan. Daerah cakupan yang dekat dengan antena pemancar disebut *cell centre*, sedangkan yang berada pada pinggiran sel disebut *cell edge*. Di skema ini seluruh frekuensi yang tersedia dipakai seluruhnya.

### 2.2.9 Perancangan Jaringan

#### 2.2.9.1 Coverage Planning

*Coverage Planning* merupakan metode perencanaan jaringan seluler untuk memastikan wilayah dan jumlah sel dimana sel tersebut dapat mencakup semua wilayah yang dituju dan memberi layanan kepada cakupan wilayah tersebut. Pada *coverage planning* ini memperhitungkan redaman sinyal yang terjadi sepanjang



jalur, baik dari sisi *uplink* maupun *downlink*. Redaman dan penguatan sinyal tersebut dapat dihitung dalam *link budget*. Perhitungan *Link Budget* ini bertujuan untuk mengetahui estimasi nilai maksimum dari pelemahan sinyal antara *UE (User Equipment)* dengan eNodeB. Nilai pelemahan sinyal sering disebut dengan MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*). Dalam melakukan perhitungan coverage planning, meliputi beberapa langkah-langkah yaitu menghitung *link budget*, penentuan model propagasi, perhitungan luas sel dan perhitungan jumlah site. [19]

#### A. *Link Budget*

Perhitungan *link budget* dimaksudkan untuk mengestimasi maksimum pelemahan sinyal yang dibolehkan antara *mobile* antena dan *base station* antena, sehingga kualitas sinyal di penerima memenuhi standar yang diinginkan. Nilai maksimum pelemahan sinyal ini biasa disebut dengan *Maximum Allowable Path Loss (MAPL)* yang juga menentukan untuk perhitungan jarak atau radius sel dalam menentukan coverage area, dan dapat mengetahui level daya yang diterima (*Received Signal Level*) yang diterima oleh penerima. *Link budget* terbagi pada dua arah yaitu *uplink* dari UE ke eNodeB dan *downlink* dari eNodeB ke UE. [3]

- Perhitungan MAPL [19]

Sehingga didapat perhitungan MAPL untuk arah *uplink* sebagai berikut :

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

$$RX_{sen} = SINR + RX_{NF} - N_{TH} + 10 \log (15000) \quad (2.2)$$

$$S_{RMINUL} = RX_{sen} - G_{eNodeB} - L_b + IM \quad (2.3)$$

$$MAPL_{UL} = EIRP_{UL} - S_{RMINUL} - L_{indoor} - M_{SF} \quad (2.4)$$

Sedangkan perhitngan MAPL untuk arah *downlink* sebagai berikut :

$$EIRP_{UL} = P_{UE} + G_{eNodeB} - L_b \quad (2.5)$$

$$S_{RMINDL} = RX_{sen} - L_c + IM \quad (2.6)$$

$$MAPL_{DL} = EIRP_{DL} - S_{RMINDL} - L_{indoor} - M_{SF} \quad (2.7)$$

Keterangan:

|              |   |       |
|--------------|---|-------|
| $P_{eNodeB}$ | : power <i>transmitter</i> dari eNodeB per RB | (dBm) |
| $P_{UE}$     | : power <i>transmitter</i> dari UE per RB     | (dBm) |
| $G_{UE}$     | : penguat antena UE ( <i>gain</i> )           | (dBi) |

|                |   |       |
|----------------|---|-------|
| $L_c$          | : feeder cable loss                                   | (dB)  |
| $L_b$          | : body loss   | (dB)  |
| $EIRP_{UL/DL}$ | : effective isorated radiated power uplink / downlink | (dB)  |
| $SINR$         | : signal to interference noise ratio                  | (dB)  |
| $R_{XNF}$      | : receiver noise figure                               | (dB)  |
| $N_{TH}$       | : thermal noise =-174dB                               |       |
| $R_{X_{sen}}$  | : receiver sensitivity                                | (dBm) |
| $S_{RMINUL}$   | : minimum signal reception uplink                     | (dB)  |
| $S_{RMINDL}$   | : minimum signal reception downlink                   | (dB)  |
| $IM$           | : interference margin                                 | (dB)  |
| $L_{indoor}$   | : indoor penetration loss                             | (dB)  |
| $M_{SF}$       | : shadow fading margin                                | (dB)  |
| $MAPL_{UL}$    | : maximum allowable pathloss uplink                   | (dBm) |
| $MAPL_{DL}$    | : maximum allowable pathloss downlink                 | (dBm) |

## B. Model Propagasi

Model Propagasi diperlukan dalam perancangan jaringan berdasarkan cakupannya, berikut ini adalah beberapa model propagasi yang digunakan dalam penelitian ini:

### a. Model Propagasi Cost 231

Merupakan pengembangan dari model propagasi okumura hatta. Model propagasi ini memiliki frekuensi kerja sampai dengan 2 GHz. Adapun persamaan propagasi cost 231 dapat diketahui dengan menggunakan persamaan: [20]

$$PL = 46,3 + 33,9 (\log f) - 13,82 \log h_{BS} - a(h_{MS}) + (44,9 - 6,55 \log h_{BS}) \log_{10} d + CM \quad (2.8)$$

$$a(hm) = (1,1 \log f - 0,7)h - (1,56 \log F - 0,8) \quad (2.9)$$

Keterangan:

$CM$  : 0 dB untuk ukuran medium kota dan daerah suburban

$CM$  : 3 dB untuk daerah pusat kota (metropolitan)

$f$  : frekuensi (1500 MHz sampai 2000 MHz)

$h_{BS}$  : base station antenna height (30 m sampai 200 m)

$h_{MS}$  : mobile station antenna height (1 m sampai 10 m)

d : *link distance* (1 km sampai 20 km)

b. Model Propagasi *Stanford University Interim* (SUI)

Model propagasi ini dikembangkan oleh IEEE 802.16 oleh *Stanford University*. Model propagasi ini digunakan untuk frekuensi diatas 1900 MHz dan cocok digunakan di Indonesia yang mempunyai demografi urban dan sub urban, dengan tinggi antenna 10-8- m dan jarak sel 0,1 – 10 km.

Dalam model propagasi ini, jenis *terrain* atau bidang yang berbeda dipertimbangkan. Ini disebut *terrain* A, B dan C. *Terrain* A mewakili area dengan maximum *Path Loss* yaitu daerah perbukitan dengan pepohonan yang tinggi. *Terrain* B mewakili area dengan taraf medium yaitu daerah dengan *terrain* dan densitas pepohonan antara A dan C. Sedangkan *terrain* C memiliki pathloss terkecil yaitu daerah dengan pepohonan yang jarang. [21]

Rumus *pathloss* model propagasi SUI:

$$PL = A + 10 \cdot \gamma \log \frac{d}{d_0} + X_f + X_h + s \quad (2.10)$$

Keterangan :

PL : *PathLoss* (dB)

A : *free space loss*

d : jarak antara transmitter dan receiver (m)

d<sub>0</sub> : 100 m (jarak referensi)

a(f) : faktor koreksi frekuensi

a (H<sub>R</sub>) : faktor koreksi untuk tinggi receiver

a (H<sub>BS</sub>): faktor koreksi tinggi antenna Base Station

s : shadow fading (8.2 dB – 10.6 dB)

$$\gamma = \alpha - b \cdot h_b + \frac{4\pi d_0}{\lambda} \quad (2.11)$$

Dimana h<sub>b</sub> merupakan tinggi base station dan a, b, c mewakili *terrain* yang ada.

$$A = 20 \log h + \frac{4\pi d_0}{\lambda} \quad (2.12)$$

Dimana A adalah *free space path loss* dan d<sub>0</sub> adalah jarak antara Tx dan Rx dan λ adalah panjang gelombang. Faktor koreksi frekuensi dan ketinggian base station untuk *Terrain* A dan B adalah sebagai berikut:

$$X_f = 6 \log \left( \frac{f}{2000} \right) \quad (2.13)$$

$$X_h = 10.8 \log \left( \frac{h_r}{2000} \right) \quad (2.14)$$

Dimana  $f$  adalah frekuensi dalam MHz dan  $h_r$  adalah tinggi antenna penerima. Faktor koreksi untuk *Terrain C* adalah sebagai berikut:

$$X_h = -20 \log \left( \frac{h_r}{2000} \right) \quad (2.15)$$

### C. Perhitungan Jumlah Sel

Dengan memperoleh hasil *link budget* dengan menggunakan *pathloss*, maka dapat dihitung *coverage range* dan jumlah site sel yang akan diperlukan untuk area tertentu. Selanjutnya untuk menghitung luas *site* menggunakan persamaan berikut : [22]

$$L = 1,95 \times 2,6 \times d^2 \quad ; \text{ untuk 3-sectoral} \quad (3.16)$$

Dimana :

$L$  = *coverage area*

$d$  = Jari-jari *site* atau radius sel

Jumlah sel yang akan dibutuhkan dapat diperoleh dengan hasil bagi antara luas daerah perencanaan dengan luas cakupan satu *site* sel, sehingga dapat diperoleh jumlah *site* sel yang akan dibutuhkan dengan persamaan sebagai berikut

$$\Sigma LTE Cell = \frac{Luas area}{Luas sel} \quad (2.17)$$

Dimana:

$\Sigma LTE Cell$  : Jumlah *site* LTE pada suatu daerah

Luas area : Luas daerah perencanaan

Luas sel : Luas *site* sel LTE

#### 2.2.9.2 Capacity Planning

Capacity Planning adalah metode dalam perencanaan kapasitas yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan trafik user. Jumlah user dan permintaan layanan pada setiap daerah memiliki klasifikasi yang berbeda-beda sehingga jumlah site pada setiap daerah juga berbeda beda pula. Untuk itu perlu adanya perencanaan kapasitas jaringan untuk memprediksi jumlah pelanggan kedepannya sehingga

kebutuhan trafik terpenuhi. Adapun parameter yang dapat diamati dalam perancangan berdasarkan kapasitas antara lain adalah : [22]

a. Estimasi Jumlah Pelanggan

Metode yang dapat digunakan untuk memprediksi jumlah pelanggan untuk beberapa tahun kedepan yaitu dengan menggunakan metode *Forecasting*.

$$P_n = P_0[(1+GF)]^n \quad (2.18)$$

Dimana:

$P_n$  = jumlah penduduk pada tahun ke- n

$GF$  = laju pertumbuhan penduduk

$P_0$  = jumlah penduduk pada tahun ke-0 (perencanaan)

$n$  = jumlah prediksi tahun

b. Kepadatan Trafik

Penentuan parameter dalam trafik dan model layanan yang digunakan pada LTE dapat memaksimalkan *throughput* yang ingin dicapai. Perhitungan *throughput per session* yang ingin dicapai berdasarkan parameter service model yang digunakan:

$$\text{Throughput} = \text{session time} \times \text{session duty ratio} \times \text{bearer rate} \times [1/(1-\text{BLER})] \quad (2.19)$$

Dimana:

*Session time* = durasi setiap layanan

*Session duty ratio* = data transmission ratio per session

*Bearer rate* = application layer bit rate

*BLER* = toleransi block error rate

c. *Single User Throughput*

Dalam perencanaan suatu jaringan, penentuan parameter model layanan dan trafik digunakan untuk menentukan *single user throughput* untuk memastikan seetiap user mendapatkan throughput maksimum yang diinginkan.

$$\text{Single User Throughput} = (\sum \text{Throughput} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{Peak to Average Ratio})) / 3600 \quad (2.20)$$

Dimana:

BHSA : *service attempt in busy hour*

*Penetration rate* : penetrasi jaringan tiap daerah

*Peak to Average Rate* : asumsi persentase tertinggi terjadinya beban berlebih pada jaringan atau nilai yang ditambahkan pada perhitungan untuk mengantisipasi terjadinya lonjakan trafik jaringan.

Setelah mendapatkan nilai *single user throughput*, kemudian menghitung *network throughput* untuk mengetahui total nilai *throughput* untuk semua user untuk sisi uplink dan downlink:

$$UL\ Network\ Throughput = Total\ user\ number \times Single\ User\ Throughput\ UL \quad (2.21)$$

$$DL\ Network\ Throughput = Total\ user\ number \times Single\ User\ Throughput\ DL \quad (2.22)$$

Dimana:

Total user number = *Forecasting number of user in a operator*

*UL Singel User Throughput* = total uplink throughput of a single user in desired service area  
(2.23)

*DL Singel User Throughput* = total downlink throughput of a single user in desired service area  
(2.24)

#### d. Throughput per Cell

Untuk memenuhi kebutuhan user, maka jaringan harus memiliki kapasitas sel yang memadai. Perhitungan throughput per cell bertujuan untuk mengetahui kapasitas UL dan DL pada suatu sel. Dalam menghitung *throughput per cell* dapat dicari menggunakan tabel MCS index dan TBS index dari 3GPP. Rumus yang digunakan pada sistem FDD dan TDD berbeda. Pada sistem FDD cara kerja pengiriman informasi menggunakan 2 frekuensi yang berbeda pada sisi UL dan DL. Sedangkan TDD menggunakan frekuensi yang sama untuk arah UL dan DL. Sistem TDD memiliki rasio pengiriman subframe. [23]

Berikut persamaan untuk menghitung *throughput per cell* pada sistem FDD :

$$Throughput\ UL/DL = Number\ of\ chains \times TB\ size \quad (2.25)$$

*Number of chains* merupakan angka yang diperoleh berdasarkan UE category.

Tabel 2.2 *Transport Block Size* [23]

| <b>I<sub>TBS</sub></b> |           |           | <b>N<sub>PRB</sub></b> |           |            |
|------------------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|------------|
|                        | <b>15</b> | <b>25</b> | <b>50</b>              | <b>75</b> | <b>100</b> |
| <b>1</b>               | 329       | 680       | 1384                   | 2088      | 2792       |
| <b>16</b>              | 4584      | 7992      | 16416                  | 24496     | 32856      |
| <b>26</b>              | 9912      | 16416     | 32856                  | 48396     | 75376      |

Dimana :

$I_{TBS}$  merupakan angka index transport block size modulasi yang digunakan.

$N_{PRB}$  merupakan jumlah RB

Untuk mencari *Transport Block Size* dapat dicari menggunakan tabel *index modulation coding scheduling*.

Tabel 2.3 *Indek Modulation Coding* [23]

| MCS Index<br>( $I_{MCS}$ ) | Modulation Order<br>( $Q_n$ ) | TBS Index<br>( $I_{TBS}$ ) |
|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 0                          | 2                             | 0                          |
| 1                          | 2                             | 1                          |
| 2                          | 2                             | 2                          |
| 3                          | 2                             | 3                          |

Tabel 2.3 *Indek Modulation Coding* [23]

| MCS Index<br>( $I_{MCS}$ ) | Modulation Order<br>( $Q_n$ ) | TBS Index<br>( $I_{TBS}$ ) |
|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 4                          | 2                             | 4                          |
| 5                          | 2                             | 5                          |
| 6                          | 2                             | 6                          |
| 7                          | 2                             | 7                          |
| 8                          | 2                             | 8                          |

|    |   |    |
|----|---|----|
| 9  | 2 | 9  |
| 10 | 4 | 10 |
| 11 | 4 | 11 |
| 12 | 4 | 12 |
| 13 | 4 | 13 |
| 14 | 4 | 14 |
| 15 | 4 | 15 |
| 16 | 4 | 15 |
| 17 | 6 | 16 |
| 18 | 6 | 16 |
| 19 | 6 | 17 |
| 20 | 6 | 18 |
| 21 | 6 | 19 |

Tabel 2.3 *Indek Modulation Coding* [23]

| MCS Index<br>( $I_{MCS}$ ) | Modulation Order<br>( $Q_n$ ) | TBS Index<br>( $I_{TBS}$ ) |
|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 22                         | 6                             | 20                         |
| 23                         | 6                             | 21                         |
| 24                         | 6                             | 22                         |
| 25                         | 6                             | 23                         |
| 26                         | 6                             | 24                         |
| 27                         | 6                             | 25                         |



|    |   |    |
|----|---|----|
| 28 | 6 | 26 |
| 29 | 2 |    |
| 30 | 4 |    |
| 31 | 6 |    |

Nilai throughput yang didapatkan dari persamaan diatas merupakan kapasitas suatu sel. Berdasarkan kapasitas sel tersebut, didapatkan jumlah sel yang dibutuhkan:

$$\text{Jumlah Sel} = \frac{\text{Network Throughput UL/DL}}{\text{Cell Capacity UL/DL}} \quad (2.26)$$

Dari jumlah sel tersebut dapat ditentukan jumlah site dengan menggunakan berapa banyak sektorisasi yang ingin digunakan:

$$\text{Jumlah Site} = \frac{\text{Jumlah cell}}{3} \quad (2.27)$$