

BAB II

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Dalam penulisan skripsi ini penulis memperoleh referensi tentang pembahasan topik dari penelitian – penelitian sebelumnya. Hal ini dapat dijadikan sebagai bahan perbandingan baik dari sisi kekurangan maupun kelebihan.

Pada tahun 2016 penelitian yang dilakukan oleh Dheni Kuncoro Adri Saputro yang berjudul “Analisis Perencanaan Jaringan LTE di Pita Frekuensi 3500 MHz dengan Mode TDD dan FDD” membahas mengenai penggunaan mode FDD yang mendapatkan hasil lebih baik daripada TDD dimana dengan mode FDD memiliki nilai *Throughput* yang jauh lebih besar dan nilai SINR yang lebih baik. Untuk nilai RSRP memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan antara mode TDD dan FDD walaupun dengan mode TDD [5].

Pada tahun 2017, Deok Won Yun dan Won Cheol Lee melakukan penelitian dengan judul “*LTE-TDD Interference Analysis in Spatial, Time and Frequency Domain*” meneliti tentang konfigurasi TDD DL / UL yang dilakukan analisis interferensi dalam ruang, frekuensi dan domain waktu jika terjadi layanan antara skenario operasi yang dipertimbangkan dalam 3GPP *Release 12*. Bahwa kriteria koeksistensi dari domain Multi-dimensi termasuk waktu, ruang dan domain frekuensi antara layanan komunikasi seluler berdasarkan LTE-TDD dan juga konfigurasi DL / UL untuk pembentukan LTE-TDD yang stabil [6].

Sedangkan pada tahun 2018 penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Hilmy Aziz yang berjudul “Analisis Perbandingan Kinerja Jaringan LTE *Release 12* Dengan Teknik FDD-FDD dan FDD-TDD *Carrier Aggregation*” membahas tentang performansi jaringan LTE-A menggunakan skenario *Carrier Aggregation* pada mode FDD-FDD dan FDD-TDD. Dengan menggunakan skenario pertama mendapatkan hasil performa layanan yang baik bersifat *real time*, sedangkan skenario kedua memberikan performa layanan yang bersifat *non real time*.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Long Term Evolution (LTE)

LTE merupakan suatu jaringan telekomunikasi generasi ke-4 yang dikembangkan dari jaringan UMTS (3G) dan HSPA (3,5G). Pada teknologi ini mempunyai kelebihan utama yaitu dengan memiliki efisiensi spektrum yang tinggi, kecepatan pengiriman data serta *bandwidth* yang tinggi [4].

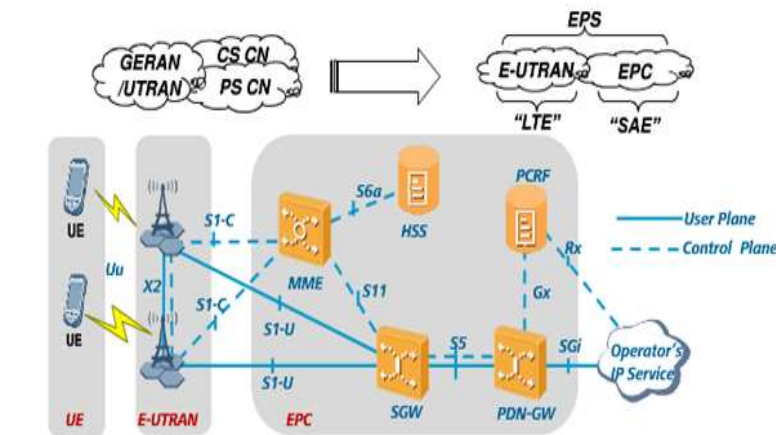
Tabel 2.1 Spesifikasi LTE [8]

Parameter	Uplink	Downlink
Peak data rate	75 Mbps	150 Mbps
Transmission bandwidth	20 MHz	20 MHz
Multiple access scheme	SC-FDMA	OFDMA
Duplex	FDD & TDD	
Mobility	Target: up to 350 km/h	
Modulation	QPSK, 16-QAM, 64-QAM(optional)	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Advanced support antenna	1x2, 1x4, 2x2, 2x4	2x2, 2x4, 4x2, 4x4

2.2.2 Arsitektur Jaringan LTE

Arsitektur pada jaringan LTE yang telah dirancang memiliki tujuan untuk *packet switching* dengan mobilitas tinggi, *quality of service* (QOS) dan juga *latency* yang kecil. Pada arsitektur jaringan LTE terdiri dari tiga komponen utama, yaitu :

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



Gambar 2.1 Arsitektur Jaringan LTE [9]

1. *User Equipment (UE)*

User equipment adalah sebuah perangkat pada LTE yang terletak di paling ujung dan berdekatan dengan *user*. UE untuk LTE biasa digunakan oleh UMTS dan GSM yang merupakan sebuah *Mobile Equipment (ME)*, ME memiliki fungsi sebagai terminal radio untuk komunikasi melalui radio. Pada UE dilengkapi dengan *smart card* atau yang biasa dikenal dengan nama *UMTS Subscriber Identity Module (USIM)*, dan memiliki fungsi menyimpan nomor identitas pelanggan serta algoritma *security* untuk keamanan [10].

2. *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)*

E-UTRAN merupakan arsitektur LTE yang berfungsi menangani sisi radio akses dari UE ke jaringan *core*. Pada sistem LTE E-UTRAN berbeda dengan teknologi sebelumnya, sistem ini hanya terdapat satu komponen yaitu, *Evolved Node B (eNodeB)* yang telah menggabungkan teknologi dari sebelumnya dengan sekarang. eNodeB merupakan suatu *base station* yang terletak atau ditempatkan diatas gedung - gedung (*BTS Rooftop*).

3. *Evolved Packet Core (EPC)*

EPC merupakan sebuah sistem baru dalam evolusi arsitektur komunikasi seluler dimana pada *core network* menggunakan all-IP. *EPC* juga menyediakan fungsionalitas *core mobile* pada generasi sebelumnya (2G, 3G) dan memiliki dua bagian terpisah yaitu *Circuit Switch (CS)* untuk *voice* dan *Packet Switch (PS)* untuk data. Pada *Evolved Packet Core (EPC)* terdiri dari lima komponen, yaitu :

a. *Mobility Management Entity (MME)*

MME merupakan elemen utama pada *EPC*, biasanya pelayanan *MME* pada lokasi keamanan operator. Pada arsitektur jaringan *LTE*, *MME* berfungsi sebagai *authentication* dan *security*, *mobility management*, *managing subscription profile* dan *service connectivity*.

b. *Serving Gateway (S-GW)*

S-GW merupakan bagian dari infrastruktur jaringan sebagai pusat operasional dan *maintenance*. *S-GW* berfungsi sebagai jembatan antara manajemen dan *switching user plane*.

c. *Home Subscription Service (HSS)*

HSS merupakan tempat penyimpanan data pelanggan untuk semua data permanen *user*.

d. *Policy and Charging Rules Function (PCRF)*

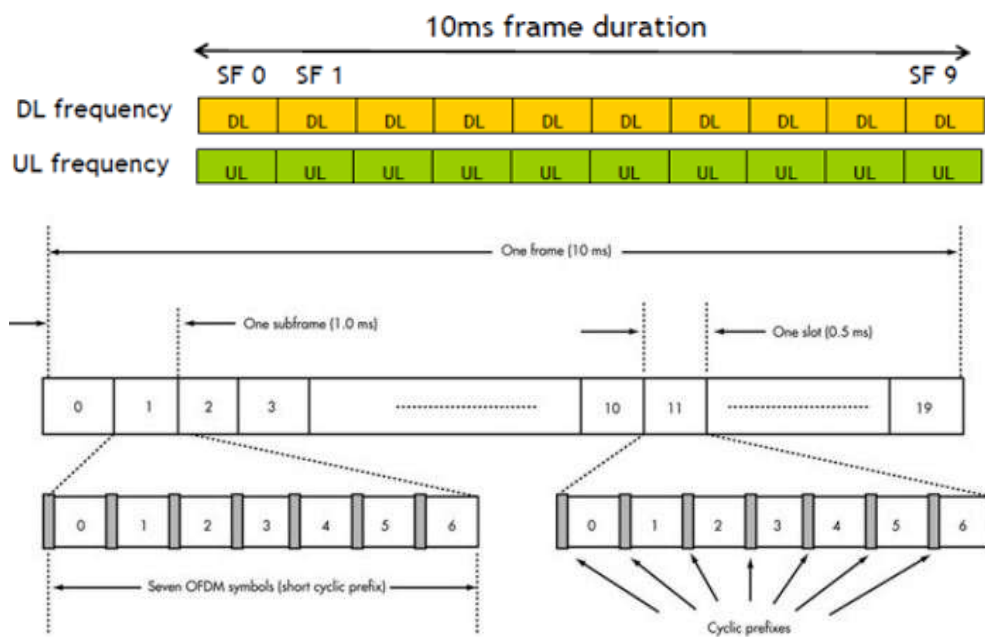
PCRF merupakan sebuah bagian dari arsitektur jaringan yang mengumpulkan informasi dari dan ke jaringan. *PCRF* dapat menyediakan jaringan solusi *wireline* dan *wireless*.

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

PDN-GW adalah sebuah komponen penting pada jaringan *LTE* untuk melakukan terminasi dengan *Packet Data Network (PDN)*.

2.2.3 *Frequency Division Duplex (FDD)*

FDD adalah teknik duplex menggunakan frekuensi pada komunikasi secara dua arah yang memungkinkan perangkat dalam mengirim dan menerima data secara bersamaan [2]. Dalam sistem *FDD* *uplink* dan *downlink* berbeda kanal yang memungkinkan perangkat untuk mengirimkan dan menerima data pada saat yang sama [5]. Struktur *frame* pada mode *FDD* dibagi menjadi 20 slot dimana tiap slot memiliki durasi waktu 0,5 ms. *Transmission Time Interval (TTI)* terdiri dari 2 slot atau yang sering disebut dengan satu *subframe*.



Gambar 2.2 Struktur *Frame* LTE FDD [11]

Tabel 2.2 Alokasi Frekuensi FDD [12]

<i>FDD LTE Band and Frequency</i>					
<i>LTE Band Number</i>	<i>Uplink (MHz)</i>	<i>Downlink (MHz)</i>	<i>Width of Band (MHz)</i>	<i>Duplex Spacing (MHz)</i>	<i>Band Gap (MHz)</i>
1	1920-1980	2110-2170	60	190	130
2	1850-1910	1930-1990	60	80	20
3	1710-1785	1805-1880	75	95	20
4	1710-1755	2110-2155	45	400	355
5	824-849	869-894	25	45	20
.
.
31	452,5-457,5	462-467,5	5	10	5

2.2.4 Time Division Duplex (TDD)

TDD merupakan teknik *duplex* yang menggunakan frekuensi tunggal dan frekuensi tersebut digunakan oleh semua kanal untuk melakukan pengiriman dan penerimaan data. Setiap kanal tersebut di-*multiplexing* dengan menggunakan basis waktu sehingga setiap kanal memiliki time slot yang berbeda [2].

Pada teknik TDD menggunakan *unpaired spectrum* untuk DL dan UL yang sama namun dibedakan berdasarkan waktu sehingga tidak memerlukan *duplexer* pada *transmitter* dan *receiver*. Proses transmisi memiliki perbedaan pada konfigurasi *TDD subframe* nya.

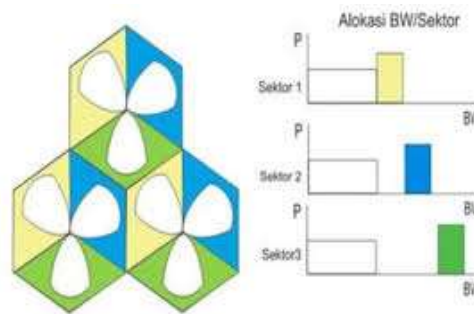
Config	Period (ms)	SF 0	SF 1	SF 2	SF 3	SF 4	SF 5	SF 6	SF 7	SF 8	SF 9
0	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1		D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2		D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4		D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5		D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

Gambar 2.3 Konfigurasi Struktur *TDD Subframe* [13]

2.2.5 Fractional Frequency Reuse (FFR)

Fractional Frequency Reuse merupakan skema pengulangan frekuensi yang sama pada sistem telekomunikasi seluler. *Frekuensi reuse* digunakan untuk penghematan sumber frekuensi dan untuk menentukan performansi jaringan dari kualitas sinyal, cakupan area, dan kapasitas sel [3]. Penggunaan skema *fractional frequency reuse* memiliki kelebihan dan kekurangan, yaitu sebagai berikut :

1. Kelebihan
 - a. *Intercell interference* yang rendah
 - b. Memiliki kelebihan tingkat performa yang baik pada *user* dipinggir sel
2. Kekurangan
 - a. Ada sebagian *bandwidth* yang tidak terpakai pada setiap sektor
 - b. Maksimum kapasitas per sektornya kecil



Gambar 2.4 Fractional Frequency Reuse [4]

Pada skema ini, satu sel dibagi menjadi tiga sektor, dimana setiap sektornya dibagi lagi dengan dua area cakupan. Cakupan yang berdekatan dengan antenna pemancar disebut dengan *cell centre*, sedangkan daerah cakupan yang berada pada pinggir sel disebut dengan *cell edge*.

Tabel 2.3 Alokasi frekuensi FFR [4]

Sektor	Area	BW Channel	Frekuensi
1, 2, 3	<i>Cell Centre</i>	15	2300 MHz
1	<i>Cell Edge</i>	5	905 – 910 MHz
2		5	910 – 915 MHz
3		5	915 – 920 MHz

2.2.6 OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access*)

OFDMA merupakan sebuah versi dari skema modulasi digital OFDM yang bekerja dengan cara mengalokasikan sub bagian dari sub kanal pada pengguna. Metode ini memungkinkan OFDMA melakukan transmisi data dengan kecepatan rendah untuk beberapa pengguna. Teknik *multiple access* memungkinkan pengguna membagi *bandwidth* yang tersedia dengan mengalokasikan beberapa bagian dari sumber daya yang tersedia pada masing - masing *user*. OFDMA juga dapat dideskripsikan sebagai kombinasi dari domain frekuensi dan domain waktu, dimana sumber daya di partisi dalam domain ruang waktu dan frekuensi, dan slot dialokasikan pada indeks simbol OFDM-TDMA dan juga pada *indeks* subkanal OFDM-TDMA [14].

2.2.7 Coverage Planning

Coverage Planning merupakan sebuah metode perencanaan jaringan seluler untuk memastikan bahwa seluruh wilayah sudah dilayani oleh *base station*. Pada *coverage planning* digunakan parameter RSRP dan CINR. Redaman sinyal *coverage planning* selalu diperhitungkan baik pada *uplink* maupun *downlink*. Untuk mengetahui redaman atau penguatan sinyal dapat dilihat pada *link budget*. *Link Budget* merupakan perhitungan untuk memastikan bahwa level daya yang diterima lebih besar atau sama dari yang dikirim dengan tujuan untuk menjaga keseimbangan antara *gain* dan *loss* dari pemancar ke penerima. Dalam melakukan perhitungan *coverage planning* harus dilakukan perhitungan *link budget* dan penentuan model propagasi.

A. Link Budget

Perhitungan *link budget* ini dilakukan untuk mengestimasi maksimum daya sinyal antara mobile dan *base station* antena, sehingga kualitas sinyal pada sisi penerima dapat terpenuhi. Tujuan dari penghitungan radio *link budget* adalah unruk mendapatkan jangkauan wilayah dari sebuah sel yang berdasarkan pada nilai *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL) atau nilai *path loss* maximum yang diperbolehkan dan memenuhi standar antara *transmitter* dan *receiver*. Setelah nilai MAPL didapatkan, maka dilakukan perhitungan menggunakan model propagasi. *Link budget* terbagi menjadi dua arah yaitu *uplink* dan *downlink* [15].

Perhitungan MAPL dari arah *uplink* dan *downlink* :

Downlink :

$$\text{MAPL} = \text{EIRP}_{\text{DL}} - \text{S}_{\text{UE}} - \text{LNF} - \text{IM}_{\text{DL}} - \text{L}_{\text{pen}} - \text{L}_{\text{body Loss}} + \text{G}_{\text{EU Antena}} \quad (2.1)$$

Dimana :

MAPL : *Maximum Allowable Path Loss*

EIRP : *Equipment Isotropic Radiated Power*

S_{UE} : *Receiver Sensitivity UE (User Equipment)*

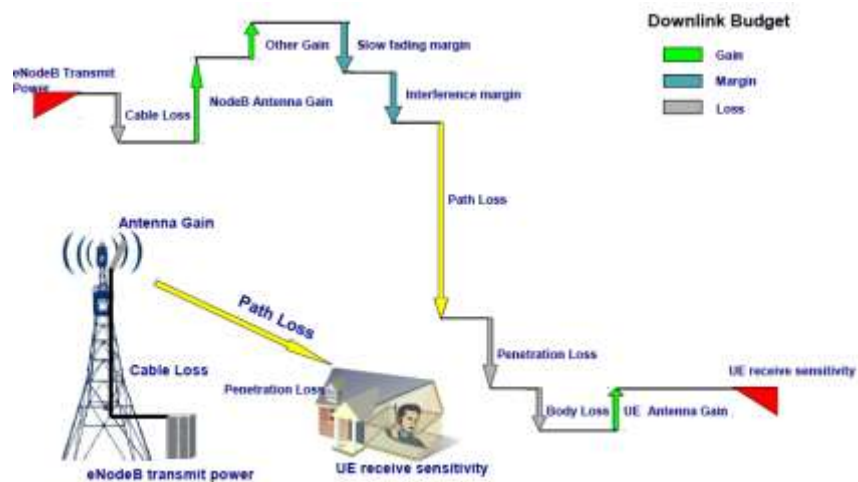
LNF : *Log normal fading margin*

IM : *Interference Margin*

L_{pen} : *Penetration Loss*

L_{Body Loss} : *BodyLoss*

G-antena : *Antena gain*



Gambar 2. 5 *Link Budget Downlink* [15]

Uplink :

$$\text{MAPL} = \text{EIRP}_{\text{UL}} - \text{S}_{\text{eNB}} - \text{LNF} - \text{IM}_{\text{UL}} - \text{L}_{\text{pen}} - \text{L}_{\text{bodyLoss}} + \text{G}_{\text{eNB Antena}} + \text{G}_{\text{eNB TMA}} \quad (2.2)$$

Dimana :

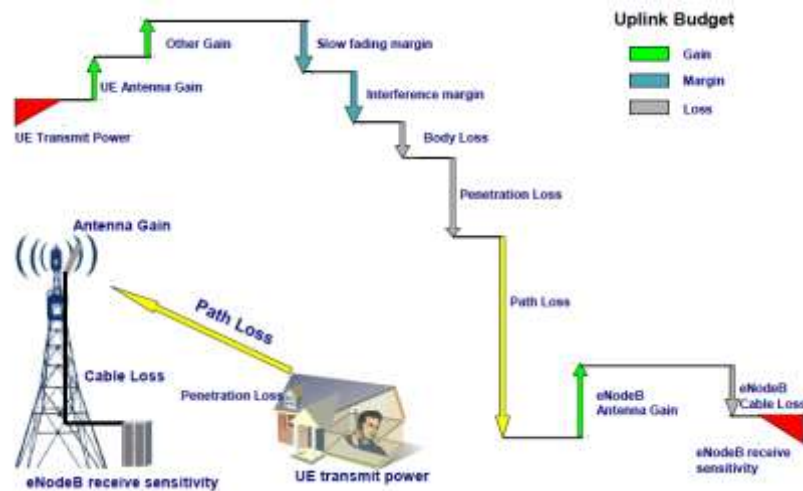
MAPL : *Maximum Allowable Path Loss*

EIRP : *Equipment Isotropic Radiated Power*

S_{eNB} : *Receiver Sensitivity eNodeB (BTS)*

LNF : *Log normal fading margin*

- IM : *Interference Margin*
- G-antena : *Antena gain*
- G-shad : *Gain Against Shadowing*
- L_{pen} : *Penetration Loss*
- L_{BodyLoss} : *Body Loss*



Gambar 2. 6 Link Budget Uplink [15]

B. Model Propagasi

Pada sebuah perancangan jaringan berdasarkan cakupan dibutuhkan model propagasi. Berikut adalah model propagasi yang digunakan dalam penelitian ini :

a). Propagasi Okumura-Hatta

Model Propagasi Hatta merupakan sebuah model empiris yang dapat diaplikasikan untuk prediksi *pathloss* dari hasil pengukuran level daya terhadap perubahan jarak, dan propagasi ini biasa digunakan pada frekuensi 150 MHz – 1500 MHz [5]. Berikut adalah persamaan dari propagasi Okumura Hatta :

$$a(h_{re}) = 3,2 \log (11,75 h_{re})^2 - 4,97 \text{ dB} \quad (2.3)$$

$$L_{urban} \text{ (dB)} =$$

$$69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_{te} - a (h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log h_{te}) \log d \quad (2.4)$$

$$L_{sub} \text{ (dB)} = L_{urban} - 2 \left[\log \left(\frac{f_c}{28} \right) \right]^2 - 5,4 \quad (2.5)$$

Dimana :

f_c : frekuensi dari 150 MHz sampai 1500 MHz

h_{te} : tinggi efektif antena pemancar (*base station* dalam meter) berkisar 30 m sampai 200 m

h_{re} : tinggi efektif antena penerima (dalam meter) berkisar 1m sampai 10 m

d : jarak antara pemancar dan penerima, dan $a(h_{re})$ merupakan faktor koreksi untuk tinggi efektif *mobile*

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

SUI adalah model propagasi yang direkomendasikan untuk standar IEEE 802.16. Model propagasi ini digunakan pada frekuensi diatas 1900 MHz, model ini juga cocok diterapkan di Indonesia yang mempunyai tipe demografi *urban* dan *sub urban*.

Dalam model propagasi ini dibagi menjadi tiga kategori, yaitu *terrain A*, *B*, dan *C*. *Terrain A* mewakili daerah atau area dengan maksimum *Path Loss*, yaitu daerah dengan perbukitan dan pepohonan yang tinggi. *Terrain B* mewakili area dengan keadaan medium atau sedang, yaitu antara *terrain A* dan *C*. *Terrain C* merupakan daerah dengan pepohonan yang jarang dan memiliki *path loss* yang kecil [16].

Persamaan model propagasi SUI adalah :

$$PL = Lu - a(hm) \quad (2.6)$$

$$Lu = -7,366 + 26 \times \log f_c + a(hb) \times (1 + \log d)$$

Keterangan :

PL : *PathLoss* (dB)

f_c : Frekuensi Kerja (MHz)

hb : Tinggi Antena *Transmitter* (m)

hm : Tinggi Antena *Receiver* (m)

$a(hb)$: Faktor Koreksi untuk Tinggi Efektif Antena Pengirim

$a(hm)$: Faktor Koreksi untuk Tinggi Efektif Antena Penerima

Faktor koreksi untuk tinggi antena pengirim dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$a(hb) = a - b \times (hb) + \left(\frac{c}{hb}\right) \quad (2.7)$$

Untuk mengetahui faktor koreksi pada tinggi efektif antenna penerima dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$a(hm) = 10,8 \log \left(\frac{hm}{2}\right) \quad (2.8)$$

Nilai a, b, c merupakan daerah yang akan dilayani berdasarkan tipe pepohonan atau bangunan yang ada di daerah tersebut. Adapun nilai dari a, b, c dapat dilihat dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.4 *Parameter Terrain* [16]

Model Parameter	Type A (<i>Heavy Multipath</i>)	Type B (<i>Intermediate Multipath</i>)	Type C (<i>Few Multipath</i>)
a	4.6	4	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20
<i>Shadowing Margin</i>	10.6	9.4	8.52

Selanjutnya setelah mendapatkan perhitungan *Link Budget* dengan menggunakan persamaan (2.1), maka dapat dihitung cakupannya. Kemudian dapat menghitung jumlah sel yang mencakup pada daerah perencanaan. Perhitungan jumlah sel berdasarkan radius jangkauan dengan menggunakan luas daerah yang dicakup terhadap luas daerah tinjauan. *Coverage area* untuk satu sel *trisectoral* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$L = 2,6 * d^2 \quad (2.9)$$

Dimana :

L : *Coverage area*

d : Radius sel

Kemudian setelah mendapatkan hasil *coverage area*, maka dapat menghitung jumlah sel yang dibutuhkan pada daerah penelitian. Perhitungan jumlah sel menggunakan persamaan :

$$\sum LTE Cell = \frac{\text{Luas area layanan}}{L_{cell}} \quad (2.10)$$

Dimana :

$\sum LTE\ Cell$: Jumlah site pada suatu daerah

Luas area : Luas daerah perencanaan

$L\ cell$: Luas sel

2.2.8 Capacity Planning

Capacity Planning adalah perencanaan jaringan seluler yang bertujuan untuk memperoleh jumlah cell yang melayani kebutuhan trafik pelanggan. Pada *Capacity Planning* dilakukan beberapa langkah, yaitu :

1. Melakukan *forecasting* jumlah *user*, yaitu dengan melakukan peramalan pertumbuhan jumlah user seluler untuk beberapa tahun kedepan. Hal ini penting untuk dilakukan karena berdampak dalam pada perencanaan suatu jaringan. Dengan adanya *forecasting* dapat membantu untuk menghitung berapa jumlah trafik layanan yang perlu disediakan untuk *user* [7].

$$U_n = U_o \times (1 + F_p)^n \quad (2.11)$$

Dimana :

U_n : Jumlah penduduk pada tahun ke-n

U_o : Jumlah penduduk pada tahun acuan

F_p : Faktor pertumbuhan penduduk

n : Tahun yang akan diprediksi

2. Perhitungan *Network Throughput* dilakukan untuk mengetahui jumlah *throughput* yang dibutuhkan oleh setiap pelanggan. Dalam melakukan perhitungan *network throughput* dengan cara menggunakan parameter *service model*. Pada tabel 2.5 menunjukkan *service model* dengan parameternya.

Tabel 2.5 *Service Model* [17]

<i>Traffic Parameter</i>	UL				DL			
	<i>Bearer Rate</i> (kbps)	<i>PPP Sesion Time</i> (s)	<i>PPP Sesion Duty Ratio</i>	BLER	<i>Bearer Rate</i> (kbps)	<i>PPP Sesion Time</i> (s)	<i>PPP Sesion Duty Ratio</i>	BLER
<i>VoIP</i>	26.90	80	0.4	1 %	26.90	80	0.4	1 %

Traffic Parameter	UL				DL			
	Bearer Rate (kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BLER	Bearer Rate (kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BLER
Video Phone	62.53	70	1	1 %	62.53	70	1	1 %
Video Conference	62.53	1800	1	1 %	62.53	1800	1	1 %
Real Time Gaming	31.26	1800	0.2	1 %	125.06	1800	0.2	1 %
Streaming Media	31.26	3600	0.05	1 %	250.11	3600	0.95	1 %
IMS Signalling	15.63	7	0.2	1 %	15.63	7	0.2	1 %
Web Browsing	62.53	1800	0.05	1 %	250.11	1800	0.05	1 %
File Transfer	140.69	600	1	1 %	750.34	600	1	1 %
Email	140.69	50	1	1 %	750.34	15	1	1 %
P2P file sharing	250.11	1200	1	1 %	750.34	1200	1	1 %

Pada *Throughput per session* terdapat persamaan untuk melakukan perhitungan, yaitu :

$$\text{Throughput Session} = \text{Bearer rate} \times \text{PPP Session time} \times \quad (2.12)$$

$$\text{PPP Session duty ratio} \times \left[\frac{1}{1-\text{BLER}} \right]$$

Throughput per Session : *Throughput* minimal yang disediakan jaringan agar kualitas layanan berjalan baik (Kbit)

Bearer Rate : data rate yang harus disediakan oleh *service application* layer (IP) (Kbps)

PPP Session Time : rata-rata durasi pada setiap layanan (s)

PPP Session Duty Ratio : rasio data yang dikirimkan pada setiap sesi

BLER : *Block error rate* yang diizinkan dalam satu sesi

3. Single User Throughput

Single user throughput merupakan banyaknya *throughput* yang dibutuhkan pada masing-masing layanan. Pada perhitungan *Single User Throughput* berdasarkan parameter trafik dari setiap daerah, dan juga menggunakan parameter *peak to average ratio* dimana asumsi dengan presentase tertinggi atau untuk mengantisipasi apabila trafik terdapat lonjakan yang tinggi .

Tabel 2.6 Model Trafik [17]

Traffic Parameter	Sub Urban		Urban	
	Traffic Penetration Ratio	BHSA	Traffic Penetration Ratio	BHSA
VoIP	50 %	1	100 %	1.3
Video Phone	10 %	0.1	20 %	0.16
Video Conference	10 %	0.1	15 %	0.15
Real Time Gaming	10 %	0.1	20 %	0.2
Streaming Media	5 %	0.1	15 %	0.15
IMS Signalling	25 %	3	30 %	4
Web Browsing	40 %	0.3	100 %	0.4
File Transfer	20 %	0.2	20 %	0.2
Email	10 %	0.2	10 %	0.3
P2P file sharing	20 %	0.2	20 %	0.3

Tabel 2.7 Peak to Average Ratio masing-masing tipe area [17]

Morphology	Dense Urban	Urban	Sub Urban	Rural Area
Peak to Average	40 %	20 %	10 %	0 %

Single user throughput

$$= \frac{\Sigma \left(\frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \right) \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{Peak Average Ratio})}{3600} \quad (2.13)$$

Keterangan :

BHSA : *service attempt in busy hour*

Penetration rate : penetrasi suatu layanan berdasarkan daerah

Peak to average ratio : asumsi presentase tertinggi kelebihan beban pada suatu jaringan

Setelah mendapatkan hasil dari perhitungan *Single User Throughput*, maka nilai total *throughput* dari *uplink* dan *downlink* dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$UL\ Network\ Throughput\ (IP) = Total\ user\ number\ x\ UL\ Single\ user\ throughput \quad (2.14)$$

$$DL\ Network\ Throughput\ (IP) = Total\ user\ number\ x\ DL\ Single\ user\ throughput \quad (2.15)$$

4. Perhitungan *Throughput* tiap *cell*

Perhitungan ini untuk mengetahui kapasitas dari *uplink* atau *downlink* pada suatu *cell* dengan cara menghitung *uplink* dan *downlink* pada MAC layer *throughput*. Untuk *uplink* dan *downlink* dilakukan perhitungan dengan persamaan :

$$UL\ MAC\ layer\ throughput\ +\ CRC = (168 - 24) \times Code\ bits \times Code\ rate \times Nrb \times C \times 1000 \quad (2.16)$$

$$DL\ MAC\ layer\ throughput\ +\ CRC = (168 - 36 - 12) \times Code\ bits \times Code\ rate \times Nrb \times C \times 1000 \quad (2.17)$$

Keterangan :

CRC : jumlah bit untuk mengecek kesalahan pada pentransmisian data

168 : jumlah *resource element* (RE) dalam 1 ms

36 : jumlah *control channel* RE dalam 1 ms

12 : jumlah *reference signal* RE dalam 1 ms

24 : jumlah *reference signal* RE dalam 1 ms pada *uplink*

Code bits : *modulation efficiency*

Code rate : *channel coding rate*

Nrb : jumlah *Resource Block* yang digunakan

C : mode antena *MIMO*

Cell Average Throughput berdasarkan *Average SINR Distribution*

$$\text{Cell average throughput (MAC)} = \sum_{n=1}^{n=8} P_n \times R_n \quad (2.18)$$

Dimana :

n : Jumlah *DL Cell Throughput*

P_n : *SINR Probability*

R_n : *DL Cell Throughput*

5. Perhitungan Jumlah *cell*

Setelah dilakukan perhitungan dan mendapatkan hasil dari *network throughput* dan *throughput* tiap *cell*, maka jumlah *cell* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

Jumlah *cell downlink* :

$$\text{Number of Cell} = \frac{\text{Downlink Network Throughput}}{\text{Throughput tiap cell}} \quad (2.19)$$

Jumlah *cell uplink* :

$$\text{Number of Cell} = \frac{\text{Uplink Network Throughput}}{\text{Throughput tiap cell}} \quad (2.20)$$

Kemudian didapat jumlah *site* yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Number of Site} = \frac{\text{Number of cell}}{3} \quad (2.21)$$