

BAB II DASAR TEORI

2.1 *Long Term Evolution (LTE)*

Long Term Evolution (LTE) secara resmi diluncurkan oleh *3rd Generation Partnership Project (3GPP)* melalui *Release 8* pada tahun 2008. Kemunculan LTE dilatarbelakangi oleh semakin tingginya kebutuhan transfer data dengan kecepatan tinggi dan juga keterbatasan sumberdaya *radio frequency* yang tersedia. Berikut adalah beberapa target utama yang terdapat pada *LTE Release 8*[1]:

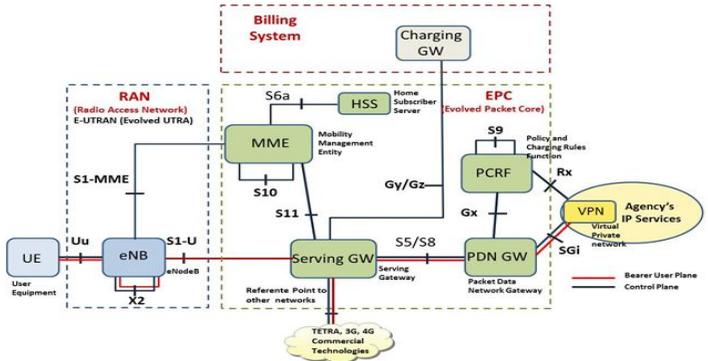
1. *Peak data rates* hingga 100Mbps pada sisi *downlink* dan 50 Mbps pada sisi *uplink*
2. *Bandwidth* LTE fleksibel dari 1,4MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, dan 20MHz
3. *Latency* lebih rendah dari generasi sebelumnya
4. Dapat beroperasi pada *paired spectrum (FDD)* dan *unpaired spectrum (TDD)*
5. Dapat bekerja sama (*Co-Exist*) dengan jaringan yang telah ada

Untuk memenuhi kebutuhan dari pengguna telekomunikasi yang semakin kompleks, 3GPP melakukan evolusi pada arsitektur jaringan LTE yang dikenal dengan istilah *System Architecture Evolution (SAE)*. Didalam arsitektur LTE pada sisi *Radio Access Network* dan *Core Network* juga mengalami evolusi yang disebut dengan *Evolved Packet System (EPS)*. Dengan semakin ringkasnya arsitektur pada jaringan LTE maka akan menghasilkan performa jaringan yang lebih maksimal serta lebih efisien terhadap pemanfaatan *spectrum* radio dan memperpendek durasi *Latency* pada jaringan. Selain evolusi pada arsitektur jaringan, LTE juga menggunakan *advanced antenna system* pada *Radio Access Network* dan *advanced adaptive modulation schemes*.

Pada *advanced antenna system* LTE menggunakan antena jenis MIMO 2x2, dan juga MIMO 4x4 yang dapat menghasilkan sebaran dari *local clutter* di udara (*Short Reflection*) untuk menciptakan *multiple parallel links* pada *air interface* dalam waktu, frekuensi, dan ruang yang sama, secara teori dapat menggandakan *throughput channel* (MIMO 2x2) dengan syarat UE berada pada lokasi dengan tingkat *scattering* yang cukup tinggi. Dengan menggunakan MIMO *adaptive modulation schemes* dapat mencapai 64QAM dan fleksibel *bandwidth* dari 1,4MHz hingga 20MHz. Pada MIMO 2x2 20MHz *peak data rate* pada sisi *downlink* mencapai 150

Mbps dan 75Mbps pada sisi *uplink*, sementara pada MIMO4x4 20MHz memiliki performa yang lebih unggul dengan *peak data rate* pada sisi *downlink* mencapai 300Mbps dan *uplink* 75Mbps.

2.1.1 LTE Network Elements[2]

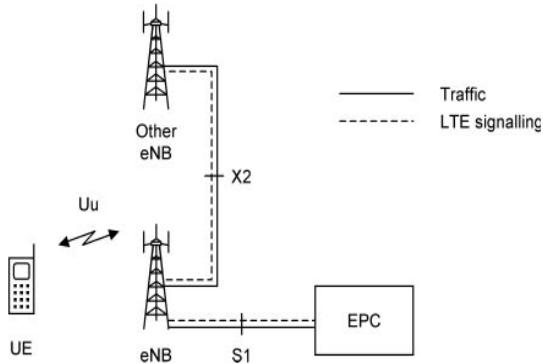


Gambar 2.1 Arsitektur jaringan LTE[6]

Pada *Long Term Evolution* (LTE), jaringan dituntut untuk dapat memberikan kecepatan transfer data yang tinggi. Untuk memenuhi tuntutan tersebut, jaringan pada LTE diubah menjadi lebih ringkas dibandingkan dengan arsitektur jaringan pada generasi yang sebelumnya. Jaringan LTE sudah tidak menggunakan *circuit switch*, sehingga LTE dapat memberikan layanan *seamless Internet Protocol connectivity* antara *User Equipment* (UE) dan *Packet Data Network* (PDN). Pada akses radio jaringan LTE, *eNodeB* akan terhubung secara langsung dengan *Core Network*.

Perubahan arsitektur pada LTE menghasilkan suatu sistem baru dalam dunia telekomunikasi yang disebut SAE (*System Architecture Evolution*). Selain SAE, pada arsitektur jaringan LTE terdapat EPS (*Evolved Packet System*) yang terdiri dari *User Equipment* (UE) *Radio Access Network* atau *Evolved UMTS Radio Access Network* (E-UTRAN) dan juga *Evolved Packet Core* (EPC). Berikut adalah susunan arsitektur LTE:

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

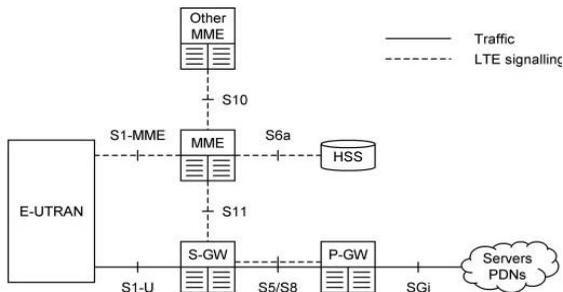


Gambar 2.2 Arsitektur E-UTRAN[2]

Komponen dari E-UTRAN terdiri dari sekumpulan eNodeB yang saling terhubung satu sama lain. Pada generasi yang sebelumnya disebut BTS (2G) dan NodeB (3G). E-UTRAN memiliki fungsi menangani UE untuk dapat terhubung dengan jaringan. eNodeB saling terhubung melalui *logical link X2 interface*. Proses *handover* pada jaringan terjadi pada E-UTRAN yang ditangani secara langsung oleh eNodeB.

2. *Evolved Packet Core (EPC)*

EPC memiliki fungsi utama pada jaringan LTE yakni menangani *mobility management* didalam jaringan dan menangani paket data berkecepatan tinggi. Elemen *core network* pada LTE menggunakan *all-IP* sehingga pada *core network* LTE hanya terdapat *Packet Switch* saja. EPS terdiri dari beberapa elemen yang memiliki fungsi yang berbeda-beda.



Gambar 2.3 Arsitektur EPC[2]

Mobility Management Entity (MME) adalah sebuah server database yang berperan sebagai pusat control untuk *access network* pada LTE. MME memiliki fungsi *authentication, authorization*, penentuan SGSN untuk melakukan *handovers* ke jaringan 2G atau 3G 3GPP *access network*, pemilihan MME untuk melakukan *handovers* ke sesama MME, melakukan pencarian *area list management*, pemilihan P-GW dan S-GW. Setiap UE akan terhubung dengan *servicing MME*, tetapi jika UE melakukan perpindahan dengan jarak yang cukup jauh maka akan terjadi *handover MME*. Dalam jaringan MME saling berkomunikasi dengan MME lain dengan interface S10, selain itu MME juga terhubung dengan E-UTRAN dengan interface S1-MME, S-GW dengan interface S11, HSS dengan interface S6a.

Home Subscriber Server (HSS) adalah pusat *database* yang didalamnya terdapat informasi mengenai semua pelanggan atau *user* dari suatu operator jaringan. HSS terhubung dengan MME dengan *interface S6a*.

Serving Gateway (S-GW) dalam jaringan LTE berperan sebagai router yang mengirimkan dan melakukan *routing* terhadap paket *user*. S-GW juga berperan sebagai penyedia *quality of service management* yang digunakan oleh elemen lain didalam jaringan. Fungsi lain dari S-GW diantaranya adalah bertanggung jawab untuk menangani *handover* antar eNodeB dan juga perpindahan *interface* ke jaringan lain seperti 2G dan 3G.

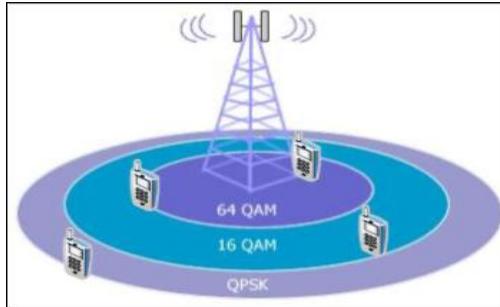
Packet Data Network Gateway (P-GW) merupakan ujung dari jaringan core network LTE yang akan terhubung dengan jaringan luar seperti IMS, internet, server jaringan dari operator lain. P-GW menyediakan layanan *filtering* data melalui *deep packet inspection*, selain itu P-GW juga berfungsi sebagai *anchor point* yang menangani *mobility management* atau *handover* ke jaringan non 3GPP seperti CDMA, WIMAX, dll.

Policy and Charging Rules Function (PCRF) adalah sebuah elemen penting didalam *core network* LTE yang menentukan *policy rules* didalam jaringan. PCRF berfungsi untuk mengumpulkan informasi dari dalam maupun luar jaringan, *operational support system*, menangani pembuatan

rules dan secara otomatis membuat *policy decision* untuk masing-masing *user* yang aktif didalam jaringan. Selain itu PCRF juga memberikan layanan *network diagnostic solution* untuk komunikasi *wireless* dan *wireline*.

2.1.2 Adaptive Modulation Scheme[2]

Modulasi secara singkat dapat diartikan sebagai proses penggabungan sinyal informasi dengan sinyal *carrier*. Ada dua jenis modulasi yang biasa digunakan dalam dunia telekomunikasi, yakni modulasi analog dan modulasi digital. Pada LTE, modulasi yang digunakan adalah modulasi digital, sehingga pada modulasi ini informasi akan diubah menjadi *bit stream* lalu digabungkan dengan sinyal *carrier*. Tujuan utama dari modulasi adalah untuk meningkatkan efisiensi throughput pada kanal radio.



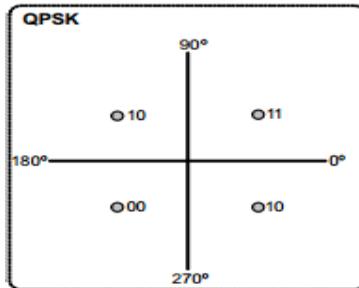
Gambar 2.4 Adaptive Modulation Scheme[7]

LTE menggunakan empat macam jenis modulasi yakni QPSK (2 *bits/symbol*), 16QAM (4 *bits/symbol*), dan 64QAM (6 *bits/symbol*). Dari keempat jenis modulasi tersebut, 64QAM digunakan ketika posisi user berada dekat dengan antena pemancar atau UE mendapatkan kualitas sinyal yang baik. Semakin menjauhi antena pemancar, maka akan terjadi penurunan kualitas sinyal sehingga pada LTE modulasi yang digunakan akan berubah mengikuti kualitas sinyal dengan urutan 64QAM digunakan pada saat kondisi *Best signal*, 16QAM digunakan pada saat kondisi *Fair signal*, dan QPSK digunakan pada saat kondisi *poor signal*. Semakin tinggi tingkatan modulasi yang digunakan, maka akan semakin cepat pula kecepatan data yang diperoleh oleh UE. *Adaptive modulation* akan secara otomatis diterapkan terhadap *user*, *system* akan secara otomatis beradaptasi dan menggunakan *modulation rate*

tertinggi yang paling memungkinkan berdasarkan kondisi sinyal yang diperoleh oleh *user*. Dengan menggunakan *adaptive modulation scheme* pada LTE maka kapasitas dari *throughput* dapat dimaksimalkan dan menjamin pemanfaatan kanal radio selalu optimal.

1. *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)*

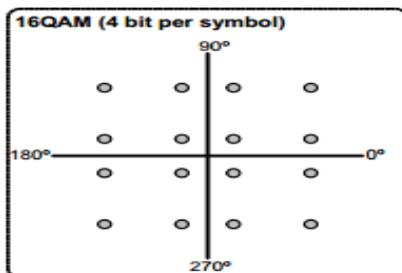
QPSK umumnya digunakan pada WCDMA (UMTS). QPSK memiliki kapasitas bit per *symbol* lebih baik dari BPSK yakni 2 bit per *symbol*. Pada QPSK terdapat empat buah simbol yang masing-masing dipisahkan beda *phase* 90° .



Gambar 2.5 *Quadrature Phase Shift Keying* [2]

2. *16 Quadrature Amplitude Modulation (16 QAM)*

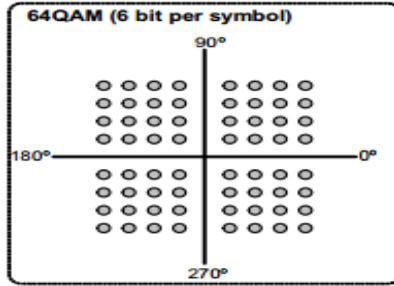
Modulasi 16QAM lebih tinggi dibandingkan dengan BPSK dan QPSK. Dengan menggunakan 16QAM sistem akan memiliki 4 bit per *symbol* dengan beda *phase* 45° . Untuk dapat menggunakan modulasi 16QAM dibutuhkan SNR yang baik, sehingga pada LTE, modulasi 16QAM digunakan pada saat sinyal yang diperoleh UE pada kondisi yang baik. Modulasi 16 QAM digunakan pada HSPA dan LTE.



Gambar 2.6 Modulasi 16 QAM[2]

3. *64 Quadrature Amplitude Modulation (64QAM)*

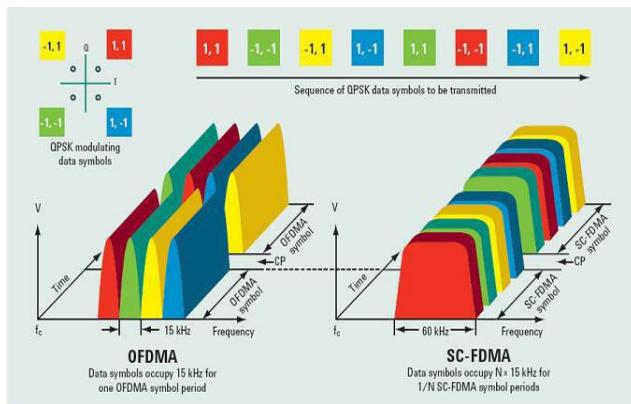
Pada LTE, modulasi tertinggi yang dapat digunakan adalah 64QAM. Dengan menggunakan 64QAM maka kapasitas dari *symbol* dapat berlipat ganda dari modulasi yang sebelumnya yakni 6 bit per *symbol*. Sama halnya dengan 16QAM, 64QAM membutuhkan SNR yang tinggi untuk dapat digunakan, sehingga 64QAM digunakan pada saat kondisi sinyal berada pada kualitas terbaik.



Gambar 2.7 Modulasi 64 QAM[2]

1.1.3 Teknik *Multiple Access*

Penggunaan *multiple access* pada jaringan telekomunikasi merupakan bagian penting yang tidak bisa dihilangkan. Dengan menggunakan *multiple access* maka akan memungkinkan sebuah spektrum radio dapat dibagi menjadi beberapa kanal sehingga kanal-kanal tersebut dapat digunakan oleh pengguna dengan jumlah semaksimal mungkin tanpa saling mengganggu satu sama lain. Teknik *multiple access* tradisional yang biasa ditemui adalah FDMA, TDMA, dan CDMA.



Gambar 2.8 OFDMA dan SC-FDMA[8]

Pada LTE, *multiple access* yang digunakan adalah OFDMA dan SC-FDMA. OFDMA digunakan pada sisi *downlink*, dan SC-FDMA pada sisi *uplink*. Dengan menggunakan OFDMA dan SC-FDMA pada LTE bertujuan untuk meningkatkan performa dari jaringan.

1. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*

OFDMA merupakan pengembangan dari teknik modulasi OFDM yang digabungkan dengan TDMA. Karena OFDMA merupakan hasil pengembangan dari OFDM maka OFDMA memiliki kelebihan dan kekurangan yang sama dengan FDMA, tetapi karakteristik OFDMA jauh berbeda dengan OFDM. Pada OFDM satu *sub-carrier* digunakan hanya untuk satu *user* dengan symbol OFDM yang sama, namun pada OFDMA satu *sub-carrier* dapat digunakan oleh banyak *user* dengan *symbol* OFDMA yang berbeda-beda secara orthogonal. Dalam OFDMA, *system* akan membagi *carrier* menjadi potongan-potongan *sub-carrier* yang masing-masing *sub-carrier* dipisahkan dengan jarak 15kHz. Masing-masing potongan tersebut akan dimodulasi menggunakan QPSK, 16QAM, dan 64QAM berdasarkan pada kualitas kanal radio. Dalam pembagian *resource*, OFDMA akan membagi rata seluruh *bandwidth* kepada setiap pengguna. OFDMA menetapkan kebutuhan *bandwidth* masing-masing pengguna sesuai dengan kebutuhan dari pengguna. Jika dalam pengalokasian *sub-carrier* terdapat *sub-carrier* yang kosong atau tidak terpakai, maka *sub-carrier* yang kosong tersebut tidak akan dikirimkan, sehingga akan berdampak pada penurunan *power* transmisi, mengurangi interferensi, dan penurunan konsumsi daya.

2. *Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)*

Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) umumnya digunakan pada LTE untuk akses *uplink*. SC-FDMA merupakan hasil pengembangan dari OFDMA yang telah ada sebelumnya, sehingga kelebihan yang ada pada OFDMA terdapat pada SC-FDMA. SC-FDMA merupakan teknik modulasi *hybrid* yang menggabungkan *low peak to average power ratio* dari *single-carrier system* dengan

multipath resistance dan fleksibilitas pengalokasian frekuensi *subcarrier* pada OFDM.

1.1.4 Handover pada LTE[9]

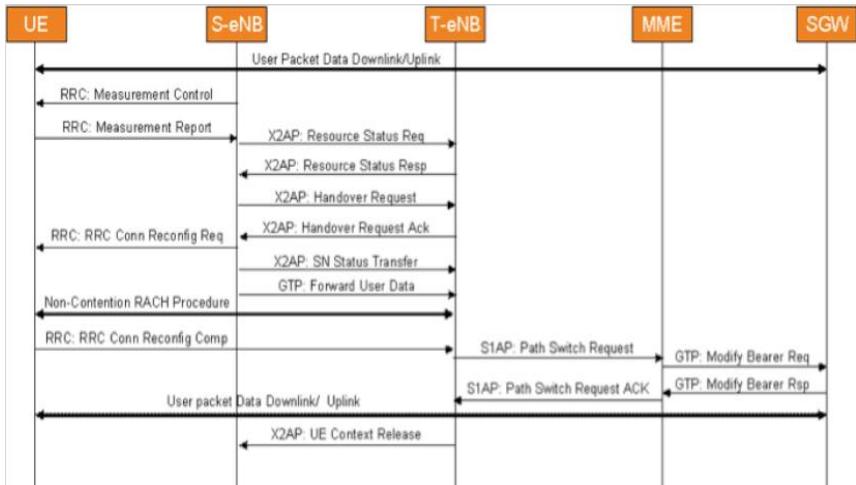
Handover merupakan suatu cara yang ditempuh untuk menjaga keterhubungan UE dengan *basestation* ketika UE dalam kondisi bergerak. Berdasarkan prosedurnya *Handover* dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

1. Intra-LTE *Handover*

Merupakan jenis *Handover* dimana *source* eNodeB (S-ENB) dan *target* eNodeB (T-ENB) dari *Handover* masih berada pada jaringan LTE yang sama atau masih dalam MME/SGW yang sama. *Handover* yang terjadi pada Intra-LTE ini dapat dibedakan lagi berdasarkan *interface* yang digunakan:

a. Intra-LTE *Handover* dengan *Interface X2*

Interface X2 merupakan *interface* yang digunakan untuk menghubungkan antar eNB. Untuk dapat melakukan *Handover* ini antara S-enb dan T-enb harus saling terhubung. Pada proses *Handover* ini tidak terjadi perpindahan MME/SGW yang melayani ENB. Berikut adalah prosedur dari Intra-LTE *Handover*:



Gambar 2.9 Intra-LTE *Handover Procedure*

1. Aliran data terbentuk antara UE, S-ENB, dan *network element*. Paket data dikirimkan/diterima oleh UE dari/ke jaringan dengan arah UL dan DL

2. Jaringan akan mengirimkan MEASUREMENT CONTROL REQ kepada UE untuk mengatur parameter yang digunakan untuk *Measure* (mengukur) dan mengatur *Threshold*. Tujuannya adalah apabila UE telah mendeteksi *threshold* maka akan mengirimkan MEASUREMENT REPORT.
3. UE mengirimkan MEASUREMENT REPORT kepada S-ENB setelah UE memenuhi kriteria dari measurement yang telah ditetapkan pada tahap sebelumnya. S-ENB akan membuat keputusan untuk melakukan *handoff* pada UE ke T-ENB dengan menggunakan algoritma *Handover*.
4. S-ENB akan mengirimkan RESOURCE STATUS REQUEST *message* kepada T-ENB untuk mengetahui load dari T-ENB. T-ENB akan mengirimkan RESOURCE STATUS RESPONSE kepada S-ENB yang akan digunakan oleh S-ENB untuk menentukan apakah akan melanjutkan proses *Handover* dengan menggunakan *interface X2* atau tidak.
5. S-ENB akan mengirimkan HANDOVE REQUEST *message* kepada T-ENB yang berisikan informasi yang dibutuhkan untuk mempersiapkan proses *Handover* pada T-ENB *info cell target*, *RB Mapping*, dan sebagainya.
6. T-ENB akan melakukan pengecekan terhadap ketersediaan *resouce* dan apabila tersedia *resource* yang cukup maka T-ENB akan mengirimkan *HANDOVER REQUEST ACKNOWLEDGE message* yang nantinya akan dikirimkan kepada UE sebagai *RRC message* untuk melakukan *Handover*.
7. S-ENB akan mebuat *RRC message* untuk melakukan *Handover* yakni *RRCCONNECTION RECONFIGURATION message* termasuk *mobility control information* yang akan dikirimkan kepada UE.
8. S-ENB akan mengirimkan ENB STATUS TRANSFER *message* kepada T-ENB untuk menyampaikan status PDCP dan HFN E-UTRAN *Radio Access Bearer* (E-RABs)

9. S-ENB akan memulai mengirimkan *downlink data packet* kepada T-ENB untuk seluruh data bearer.
 10. Sementara itu UE akan mencoba untuk mengakses T-ENB dengan menggunakan *non-contention-based Random Access Procedure*. Apabila UE berhasil dalam mengakses T-ENB, maka UE akan mengirimkan RRC CONNECTION RECONFIGURATION COMPLETE kepada T-ENB.
 11. T-ENB mengirimkan PATH SWITCH REQUEST *message* kepada MME untuk menginformasikan bahwa UE sudah berpindah cell, termasuk *Tracking Area Identity (TAI)+ E-UTRAN Cell Global Identifier (ECGI)* dari target. MME akan menentukan bahwa SGW dapat terus melayani UE.
 12. MME mengirimkan MODIFY BEARER REQUEST kepada SGW. Apabila PDN-GW meminta informasi lokasi UE maka MME akan menyertakan *User Location Information* didalamnya.
 13. SGW mengirimkan paket downlink kepada T-ENB menggunakan alamat yang terbaru dan TEIDs, serta MODIFY BEARER RESPONSE kepada MME.
 14. SGW mengirimkan satu atau beberapa paket *end marker* pada jalur lama menuju S-ENB dan dapat melepaskan user plane/TNL *resources* menuju S-ENB.
 15. MME akan mengirimkan PATH SWITCH REQ ACK *message* kepada T-ENB untuk memberi tahu bahwa *Handover* telah selesai.
 16. T-ENB melakukan request kepada S-ENB untuk melepaskan *resource* dengan menggunakan X2 UE CONTEXT RELEASE *message*. Dengan ini prosedur *Handover* telah selesai.
- b. Intra-LTE *Handover* dengan *Interface S1*
Handover dengan menggunakan *interface S1* terjadi apabila *Handover* dengan menggunakan *interface X2* tidak dapat dilakukan karena antara S-ENB dan T-ENB tidak saling terhubung secara langsung namun masih dalam satu cakupan MME dan SGW yang sama. S-ENB akan mengirimkan

Handover required message melalui *interface S1* ke MME. Pada prosesnya EPC tidak akan mempengaruhi pengambilan keputusan *Handover* yang dilakukan oleh S-ENB.

2. Inter-LTE Handover

Pada *Handover* ini akan melibatkan dua MME yang berbeda yakni S-MME dan T-MME. S-MME dan T-MME masih terhubung dengan SGW yang sama. *Handover Inter-LTE* terjadi ketika UE bergerak dari S-ENB yang berada di wilayah S-MME kearah T-ENB yang berada pada wilayah cakupan T-MME.

3. Inter RAT

Inter-Radio Access Technology merupakan suatu *Handover* yang dilakukan UE berpindah dari satu teknologi Radio ke teknologi yang lainnya seperti E-UTRAN to UTRAN atau sebaliknya.

Dalam melakukan *Handover*, UE harus memiliki suatu algoritma yang menjadi acuan untuk melakukan *Handover*. Didalam algoritma *Handover* tersebut umumnya terdapat parameter-parameter atau *event* yang harus terpenuhi terlebih dahulu sebelum *Handover* dieksekusi. Berikut adalah *events* yang dijadikan acuan untuk melakukan *Handover*:

Tabel 2.1 Handover Events

Event	Keterangan
A1	<i>Serving cell</i> menjadi lebih baik dari <i>threshold</i>
A2	<i>Serving cell</i> menjadi lebih buruk dari <i>threshold</i>
A3	<i>Neighbour cell RSRP</i> menjadi lebih baik dari <i>-serving cell</i>
A4	<i>Neighbour cell</i> menjadi lebih baik dari <i>threshold</i>
A5	<i>Serving cell</i> menjadi lebih buruk dari <i>threshold 1</i> saat <i>neighbor</i> menjadi lebih baik dari <i>threshold 2</i>
B1	<i>Inter-System cell</i> menjadi lebih baik dari <i>threshold</i>
B2	<i>Serving cell</i> menjadi lebih buruk dari <i>threshold 1</i> ketika <i>neighbor Inter-system cell</i> menjadi lebih baik dari <i>threshold 2</i>

Secara umum, algoritma *Handover* dibagi menjadi 3 jenis yakni:

1. No-Op

tempuh yang kecil. *Small-scale fading* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti :

1. Propagasi *Multipath*

Pada proses propagasi, gelombang radio akan mengalami *scattering*, *reflection*, *diffraction*, dan *refraction* yang menyebabkan sinyal dikirimkan akan sampai pada *receiver* melalui lintasan yang berbeda-beda.

2. Kecepatan bergerak UE

Pergerakan UE terhadap *Basestation* akan menimbulkan modulasi frekuensi secara acak yang disebabkan oleh *Doppler shift* pada tiap komponen *multipath*.

3. Kecepatan objek sekitar

Setiap pergerakan yang dilakukan oleh suatu objek pada kanal radio akan menimbulkan *Doppler shift* yang berubah terhadap waktu yang berbeda untuk tiap komponen *multipath*. Kecepatan objek disekitar UE yang lebih besar dibandingkan dengan kecepatan UE itu sendiri akan mendominasi *small-scale fading*.

Fenomena *multipath fading* pada kanal radio memiliki beberapa parameter seperti *delay spread* (T_m), *coherence bandwidth* (B_c), *Doppler spread* (B_D), dan *coherence time* (T_c).

1. *Coherence Bandwidth* (B_c)

Merupakan parameter ukur dalam suatu rentang frekuensi yang dapat dianggap *flat* yaitu semua komponen spektrum dalam rentang frekuensi tersebut mendapatkan *gain* dan fasa linier.

2. *Doppler Spread* (B_D)

Pergerakan yang dilakukan antara *transmitter* dan *receiver* akan menyebabkan suatu pelebaran spektrum yang disebabkan oleh laju perubahan waktu terhadap kanal. Pelebaran spektrum tersebut disebabkan oleh *Doppler shift* (f_d) yang merupakan fungsi dari kecepatan (v) dari UE yang melakukan pergerakan serta sudut θ antara arah pergerakan UE dengan arah kedatangan dari gelombang radio yang dihamburkan. Apabila suatu sinyal sinusoidal murni f_c dipancarkan, maka sinyal yang diterima oleh *receiver* memiliki rentang frekuensi $f_c - f_d$ hingga $f_c + f_d$.

3. *Delay Spread* (T_m)

Sinyal *multipath* akan sampai pada UE dengan waktu yang berbeda-beda tergantung pada jarak lintasan yang ditempuh. Perbedaan waktu tiba antara sinyal paling awal dengan sinyal

paling akhir akan menghasilkan *delay spread*. *Delay spread* dapat menyebabkan *Intersymbol Interference* (ISI) pada komunikasi bergerak.

4. *Coherence Time* (T_c)

Coherence Time merupakan domain waktu dari *Doppler shift* yang mengukur kesamaan dari respon kanal pada waktu yang berbeda. Sehingga apabila ada dua sinyal yang diterima dalam perbedaan waktu yang lebih besar dari T_c , maka akan diperlakukan berbeda oleh kanal radio bergerak.

2.2 *Indoor Radio Planning*

Indoor radio planning merupakan suatu perencanaan jaringan radio yang digunakan untuk memberikan cakupan layanan terhadap pengguna yang berada didalam ruangan. Sistem tersebut mampu untuk mengatasi permasalahan buruknya kualitas sinyal yang diterima oleh *user* dan juga *blankspot* yang disebabkan oleh sinyal yang dipancarkan oleh *macrocell* tidak mampu untuk mencakup user yang berada didalam bangunan. Ketidakmampuan *macrocell* untuk mencakup pengguna yang berada didalam ruangan disebabkan oleh *multipath fading* dan juga berbagai pelemahan sinyal yang terjadi selama proses propagasi. Karakteristik dari sel pada jaringan *indoor* adalah area cakupan sel kecil, sinyal yang dikeluarkan oleh antena terbatas hanya sampai pada sisi gedung, daya pemancar yang digunakan rendah, antena dipasang didalam gedung, ukuran dari antena relatif kecil. Perencanaan jaringan *indoor* dapat diterapkan pada bangunan seperti bandara, gedung bertingkat, sekolah, kampus, stadion, dan juga bangunan yang terletak dibawah tanah seperti stasiun kereta bawah tanah dan juga *railway tunnel*. Dalam perancangan jaringan *indoor*, ada beberapa sistem yang umumnya digunakan untuk memperluas cakupan area dari suatu *macrocell* yakni :

1. *Dedicated BTS* [6]

Dedicated BTS merupakan sebuah sistem perancangan jaringan *indoor* dengan menempatkan BTS didalam ruangan. *Dedicated BTS* digolongkan menjadi dua jenis yaitu:

a. *Picocell*

Perancangan dengan menempatkan satu antena utama didalam gedung dengan tujuan agar seluruh user didalam bangunan bangunan dapat ter-cover.

b. *Distributed Antenna System* (DAS)

Perencanaan jaringan dengan sistem DAS akan membutuhkan banyak antena yang didistribusikan didalam gedung agar cakupan yang diperoleh maksimal.

2. *Repeater*

Repeater digunakan untuk menguatkan sinyal yang ada didalam gedung tetapi *repeater* tidak digunakan untuk menangani kepadatan *traffic/user*

3. *Femtocell*

Femtocell atau *smallcell* umumnya dapat dilakukan dengan menempatkan BTS berukuran kecil *Femtocell Access Point* didalam ruangan.

4. *Leaky feeder*

Leaky feeder merupakan suatu sistem perencanaan jaringan *indoor* dengan menggunakan kabel *leaky* yang memancarkan sinyal kepenjuru ruangan. Namun pada sistem ini cenderung rumit dan performa yang diberikan kurang optimal.

2.2.1 *Distributed Antenna System (DAS)*[2]

Distributed Antenna System (DAS) merupakan suatu sistem yang digunakan untuk memperluas cakupan dan meningkatkan kapasitas dari suatu jaringan radio pada suatu ruangan yang tertutup atau terisolasi. DAS telah digunakan secara luas untuk menangani permasalahan *coverage* dan juga *capacity* dalam suatu jaringan radio, selain itu sebuah DAS mampu untuk menggunakan lebih dari satu band sehingga DAS dapat digunakan untuk menangani beberapa teknologi sekaligus meskipun berbeda operator. Dalam perancangan suatu jaringan dengan sistem DAS perlu diperhatikan jenis DAS yang akan diterapkan dalam suatu area, berikut adalah jenis-jenis DAS:

1. *Passive DAS*

Passive DAS umumnya digunakan untuk jaringan GSM. Pada *passive DAS*, pasif elemen dihubungkan dengan menggunakan kabel *coaxial*. *Passive DAS* tidak cukup handal jika diterapkan untuk jaringan yang membutuhkan kecepatan tinggi dengan latency yang rendah karena pada *Passive DAS* memiliki loss yang tinggi, dan tidak cukup praktis untuk digunakan menggunakan teknologi saat ini.

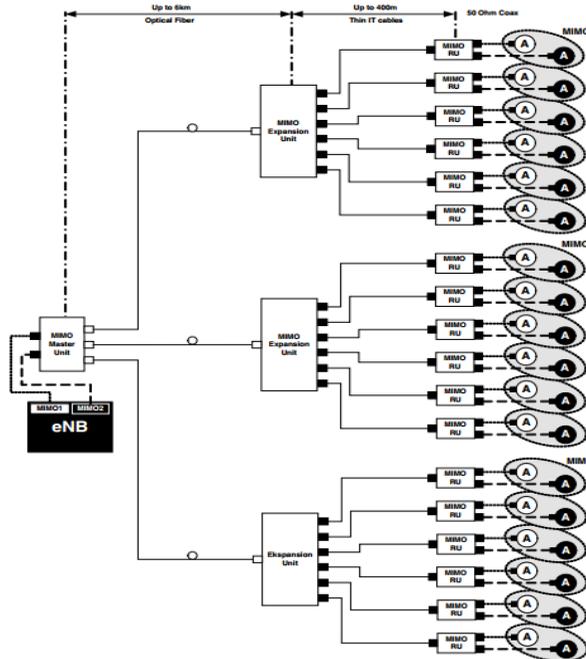
2. *Active DAS*

Teknologi 3G atau 4G LTE dapat diterapkan pada sistem *active DAS*. Pada *Active DAS* untuk menghubungkan antar elemen sudah menggunakan kabel *optic*. Kinerja dari antenna pada sistem *active DAS* sama meskipun jarak antenna terhadap eNodeB jauh dan mampu memberikan cakupan yang seragam di semua antenna pada area perencanaan.

3. Hybrid DAS

Hybrid DAS merupakan perpaduan antara *passive DAS* dengan *active DAS*.

2.2.2 Elemen Active DAS[2]



Gambar 2.11 Active DAS[2]

1. Main Unit / Master Unit (MU)

Main Unit terhubung dengan *base station* atau *repeater*. MU akan mendistribusikan seluruh sinyal yang diperoleh dari *base station* ke seluruh sistem melalui *expansion units* melalui kabel fiber. Pada sistem *active DAS*, MU berperan sebagai otak dari sistem yang menghasilkan dan mengontrol *internal calibration signal* dengan internal amplifier pada sistem, MU juga berperan untuk mengkonversi penyesuaian *gain* dan *level*.

MU pada sistem akan melakukan monitoring performa dari DAS, sehingga apabila terjadi kerusakan atau permasalahan didalam sistem MU akan mengirimkan sinyal alarm ke *base station* sehingga dapat dilakukan investigasi oleh operator untuk dapat segera menyelesaikan masalah yang terjadi.



Gambar 2.12 DCC[11]

Komponen pada main unit umumnya terdiri dari DAS *Carrier Conditioner* (DCC). Sebutan untuk nama perangkat setiap vendor memiliki nama dan spesifikasi yang berbeda-beda. Jumlah dan spesifikasi dari DCC disesuaikan dengan kebutuhan dari jaringan DAS yang akan dibuat. Umumnya DCC memiliki *input ports* 4-16 port dan *out port* 2-6 port. *Input ports* pada DCC terhubung dengan *Base-station* dan *output ports* dari DCC akan dihubungkan ke *Expansion Unit* atau *Optical Distribution Unit*. Dalam jaringan DAS dengan multi operator umumnya *bands* yang beroperasi berbeda-beda, sehingga perlu dilakukan *combining* pada *bands* yang berbeda-beda tersebut agar dapat menjadi satu, sehingga pada DCC ini bertugas untuk menggabungkan sinyal *transmit* dan *receive* dari masing-masing band yang berbeda menjadi satu^[6]. Perangkat DCC ini terhubung dengan DAS *Management System* yang memiliki fungsi sebagai pusat control dari sistem DAS yang dibuat. Seluruh pengaturan dari perangkat-perangkat yang ada pada sistem *Active DAS* akan dikonfigurasi melalui perangkat DAS *Management System*.

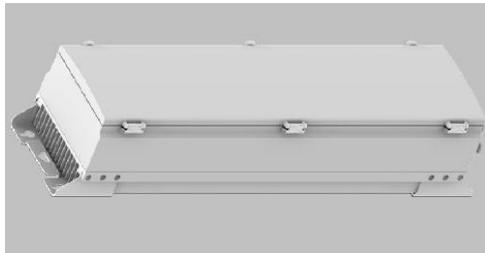
2. *Expansion Unit* (EU)



Gambar 2.13 EU[12]

EU umumnya diletakkan pada bangunan yang menggunakan sistem DAS. EU terhubung dengan MU dengan kabel optic yang dibagi untuk digunakan untuk UL dan DL. EU akan melakukan konversi sinyal optik dari MU menjadi sinyal elektrik yang selanjutnya akan dikirimkan ke elemen *Remote Unit*. Jumlah *port input* dan *output* dari EU berbeda-beda namun umumnya memiliki *input* 2 port dan *output* hingga 8 *port*. Port output pada EU akan dihubungkan dengan *Remote Unit* atau dihubungkan dengan EU lainnya.

3. *Remote Unit* (RU)



Gambar 2.14 RU[13]

RU terhubung dengan EU dengan kabel *coax* atau kabel CAT5. RU dipasang berdekatan dengan antenna dengan tujuan untuk memastikan agar performa yang diperoleh maksimal dan mendeteksi apakah antenna DAS tetap terhubung atau dalam kondisi terputus dari sistem. RU akan melakukan konversi terhadap sinyal yang diperoleh dari EU agar dapat digunakan sebagai sinyal DL dan mengkonversi sinyal UL yang diperoleh RU dari perangkat *user* agar dapat dikirimkan kembali ke EU.

4. Antena

Antena merupakan perangkat penting pada setiap komunikasi nirkabel. Fungsi dari antena ini adalah memancarkan gelombang radio ke ruang bebas dan menerima gelombang radio dari ruang bebas serta mengubah sinyal elektrik menjadi RF dan sebaliknya. Umumnya antena memiliki frekuensi kerja yang bervariasi yang disesuaikan dengan kegunaan dari antena tersebut. Pada sistem komunikasi DAS akan dilakukan penyebaran sejumlah antena pada titik tertentu untuk dapat memberikan cakupan layanan yang optimal kepada pengguna pada suatu tempat sehingga pemilihan antena yang tepat sangat berpengaruh terhadap performa DAS. Berdasarkan penempatan antena DAS dibagi menjadi dua jenis yakni

- a. *Indoor Antenna*



Gambar 2.15 *Indoor Antenna* [14]

Indoor antenna merupakan antena yang pemasangannya dikhususkan untuk jaringan *indoor*. Antena *indoor* memiliki dimensi yang lebih kecil jika dibandingkan dengan antena *outdoor*. Umumnya pemasangan dari antena *indoor* ditempatkan pada eternit suatu ruangan.

- b. *Outdoor Antenna*

Outdoor Antenna ditempatkan pada suatu tempat di luar ruangan. Pemasangan antena ini bisa diletakkan pada sebuah tiang penyangga. Dimensi dari antena *outdoor* lebih besar jika dibandingkan dengan antena *indoor*, selain itu gain yang dimiliki antena *outdoor* lebih besar dari antena *indoor*.



Gambar 2.16 *Outdoor antenna* [14]

Selain itu berdasarkan arah pancaran dari antenna dapat dibedakan menjadi:

a. Antena *Omni Directional*

Antena *Omni Directional* merupakan antenna dengan arah pancaran 360° sehingga dapat memancarkan sinyal ke segala arah, namun pada antenna ini cakupan yang didapat tidak terlalu luas.

b. Antena *Bi-Directional*

Antena *Bi-Directional* dapat memberikan pancaran ke 2 arah. Jenis antenna ini mirip dengan antenna *directional* namun dengan arah pancaran yang berbeda.

c. Antena *Directional*

Antena *directional* memiliki arah pancaran dengan sudut pancaran tertentu sehingga lebar beam dari antenna ini tidak seluas antenna *Omni directional*, namun antenna *directional* mampu memberikan jarak jangkauan yang lebih jauh jika dibandingkan dengan antenna *omnidirectional*. Sehingga antenna *directional* cocok digunakan untuk memberikan layanan pada bangunan dengan lorong yang cukup panjang seperti pada *tunnel* MRT.

5. Saluran Transmisi Kabel

Dalam mentransmisikan suatu informasi diperlukan suatu media sebagai perambatan sinyal yang dikirimkan, salah satu media yang cukup banyak digunakan adalah kabel. Jenis kabel sangat beragam, umunya dalam perancangan suatu jaringan

kabel yang digunakan adalah *coaxial* atau kabel tembaga dan *fiber optic*.

a. *Fiber Optic*

Fiber Optic merupakan media transmisi yang mampu mengirimkan data dengan kecepatan yang tinggi. *Fiber optic* terbuat dari serat kaca yang sangat halus, sinyal cahaya akan dikirimkan melalui serat tersebut. Umumnya sebuah serat *optic* memiliki diameter sangat kecil dengan nilai *loss* yang sangat rendah dan juga *bandwidht* yang besar sehingga membuat *fiber optic* sangat cocok untuk diterapkan pada jaringan yang membutuhkan *bandwidth* yang besar dengan *delay* yang rendah. Panjang segmen maksimal dari *fiber optic* dapat mencapai 50 km.

b. *Coaxial*

Coaxial merupakan media transmisi dengan bahan penyusun berupa tembaga. Umumnya kabel *coaxial* memiliki diameter $\frac{1}{2}$ " hingga $1\frac{5}{8}$ " dengan nilai *loss* yang beragam. *Bandwidth* yang dimiliki kabel *coaxial* sebagai media transmisi tidak sebesar *Fiber optic*. Panjang segmen maksimal dari kabel *coaxial* hingga 500 meter.

6. *Connector*

Connector merupakan perangkat yang digunakan untuk menghubungkan perangkat satu dengan lainnya, umumnya konektor terhubung dengan kabel sebagai media perambatan sinyal. Konektor memiliki nilai *loss* sebesar 0,3 dB

2.3 PROPAGASI INDOOR[3]

Model propagasi jaringan *indoor* ada 3 antara lain :

1. *One Slop Model*

One Slop Model merupakan model propagasi yang memperhatikan parameter yang mempengaruhi dari perhitungan *pathloss* eksponen. Dengan *pathloss*, model dikalibrasi untuk masing-masing skenario. Dinding dan elemen gedung lainnya tidak mempengaruhi pada model propagasi ini.

2. *Keenan Motley Model*

Keenan Motley Model merupakan suatu model propagasi jaringan *indoor* yang memperhitungkan seluruh dinding pada bidang vertikal antara *transmitter* dan *receiver*. Redaman untuk seluruh lantai

dianggap sama. Jenis dinding dan material untuk model propagasi ini dapat diperhitungkan.

3. COST 231 Multi-Wall Model

COST 231 Multi-Wall Model merupakan model propagasi dimana seluruh dinding pada bidang vertikal diantara *transmitter* dan *receiver* dipertimbangkan untuk masing-masing dinding dengan propertis materialnya diperhitungkan juga. Dengan bertambahnya dinding yang dilewati sinyal maka redaman dinding akan berkurang. Dengan menggunakan model ini akan didapatkan hasil yang persis dengan sedikit perhitungan.

$$LT = LFSL + LC + \sum_{i=1}^M nwi \cdot Lwi + nf^{\lfloor \frac{nf+2}{nf+1} - b \rfloor} Lf \quad (2.1)[3]$$

Keterangan :

L_{FLS} = *free space loss*

$LFSL = 20 \log f_{Mhz} + 20 \log d(km) + 32,5$

L_C = *constant loss* = 37 dB

nwi = nilai dari jenis *penetrated wall* (partisi bahan material dinding)

Lwi = *wall type loss*

$Lw1$ = *L Light Wall*

$Lw2$ = *L Heavy Wall*

L_f = *loss antar lantai yang saling berdekatan.*

b = *empirical parameter* (0,46)

M = *Number of wall type*

nf = nilai dari *penetrated floors*

Tabel 2.2 Nilai Redaman Material[3]

Material	Redaman (dB)
Kayu	2,5 - 3,4
Bidang Plesteran	0,2 - 3,5
Blok Beton	8,0 – 15
Lantai Beton	10
Brick	6,9
Glass	2,8

2.4 PERHITUNGAN *LINK BUDGET* [3]

Link budget merupakan perhitungan level daya yang digunakan untuk memperkirakan maksimum redaman yang diperbolehkan antara UE terhadap eNodeB[15]. Dengan melakukan perhitungan *link budget* maka dapat tercapai keseimbangan *gain* dan *loss* agar dapat mencapai nilai SNR yang diinginkan. Berikut adalah beberapa komponen pada perhitungan *link budget*:

a. *Line of Sight* (LOS)

Propagasi LOS berkaitan dengan antena yang saling terhubung tanpa adanya *obstacle* sama sekali pada lintasan. Pada perhitungan propagasi LOS akan diperoleh nilai penurunan daya gelombang radio selama merambat di dalam ruang bebas. Redaman LOS dipengaruhi oleh beberapa elemen seperti jarak dan frekuensi antara *receiver* dan *transmitter*. Berikut adalah persamaan untuk menghitung nilai LOS

$$FSL = 32,45 + 20 \log f \text{ (MHz)} + 20 \log d \text{ (km)} \quad (2.2)[3]$$

Keterangan:

f = frekuensi (MHz)

d = jarak antara pengirim dan penerima (km)

b. *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP)

EIRP merupakan besar daya pancar dari antena pemancar. Berikut adalah persamaan untuk menghitung EIRP

$$EIRP = Ptx + Gtx - Ltx \quad (2.3)[3]$$

Keterangan:

Ptx = daya pancar (dBm)

Gtx = *Gain*/penguatan antena pemancar (dB)

Ltx = rugi-rugi pada pemancar/*feeder loss* (dB)

c. *BS Power*

BS Power merupakan daya pancar yang dihasilkan oleh *base station*. Satuan dari *BS Power* adalah dBm.

d. *Feeder Loss*

Feeder Loss adalah atenuasi yang terjadi pada kabel *coaxial* yang menghubungkan *base station* dengan antena. Satuan dari *feeder loss* ini adalah dB. Nilai dari *feeder loss* dapat dilihat pada *datasheet* kabel yang digunakan.

e. *BS antenna gain*

Gain atau penguatan dari antenna pada *base station*. Satuan dari *gain* adalah dBi

f. MS antenna gain

MS antenna gain adalah penguatan pada antenna yang terdapat pada perangkat penerima atau *user*.

g. Signal to Noise Ratio (SNR)

SINR merupakan perbandingan kuat sinyal dengan *noise background*. *Derau* dan *interference* dapat mempengaruhi kualitas sinyal terima, yang juga dipengaruhi oleh rugi – rugi lintasan.

$$SINR = \frac{S}{(I+N)} \quad (2.4)[3]$$

Keterangan :

S = daya sinyal yang diinginkan

I = daya sinyal yang *terinterference* dari sel – sel lain

N = *Noise background*

Tabel 2.3 SINR dan Nilainya[3]

Nominal	Keterangan
16 dB - 30 dB	<i>Good</i>
1 dB - 15 dB	<i>Normal</i>
-10 dB - 0 dB	<i>Bad</i>

h. Mobile sensitivity

Untuk dapat mengetahui nilai *coverage* ialah menentukan nilai *Sensitivitas Receiver* (SR).

$$SR = kTB + NF + SNR + IM \quad (2.5)[3]$$

Keterangan:

k = Konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)

T = *Temperature* (290 K)

B = *Bandwidth* (Hz)

NF = *Noise Figure* (dB)

SNR = *Signal to Noise Ratio* (SNR)

IM = *Implementation Margin* (3dB)

L_T = *Loss Total* (dBm)

Selanjutnya setelah menentukan nilai SR, maka akan didapatkan perhitungan *Loss Total* (L_T) dengan memasukan nilai EIRP yang

merupakan jumlah daya yang dipancarkan oleh isotropik dengan persamaan sebagai berikut.

$$SR = EIRP - L_T \quad (2.6)[3]$$

i. *Body loss*

Body loss merupakan rugi-rugi yang disebabkan karena kontak sinyal yang dipancarkan oleh BS dengan tubuh dari *user*. Umumnya nilai dari *body loss* adalah 2-6 dB

j. *Reference Signal Received Power (RSRP)*

RSRP merupakan *power* dari sinyal *reference* dimana parameter ini adalah parameter yang digunakan oleh perangkat untuk menentukan titik *handover*. Pada 2G parameter ini di analogikan seperti RxLev dan pada 3G parameter ini dianalogikan seperti RSCP.

Tabel 2.4 RSRP dan Nilainya[3]

Nominal	Keterangan
-70 dBm to -90 dBm	<i>Good</i>
-91 dBm to -110 dBm	<i>Normal</i>
-110 dBm to -130 dBm	<i>Bad</i>

k. *DAS Noise figure*

DAS Noise figure dapat dilihat pada *datasheet* perangkat DAS yang digunakan.

l. *DAS Antenna gain*

Gain atau penguatan yang terdapat pada *antena* DAS dengan satuan dB

m. *Maximum allowable path loss (MAPL)*

MAPL adalah nilai maksimum *link loss* yang diijinkan

n. *Service radius from antenna*

Service radius merupakan luas cakupan layanan yang dapat dihasilkan oleh antena

o. *Overlapping Coverage*

Overlapping Coverage merupakan suatu cara yang digunakan untuk menjaga *connectivity* UE dengan jaringan. Coverage antara sel satu dengan lainnya akan saling beririsan. Untuk menentukan nilai *overlapping* dapat digunakan persamaan berikut.

$$S = 2R - (\%OC \times R) \quad (2.7)[4]$$

Keterangan:

S = Jarak antena

R = *Cell Radius*

OC = *Overlapping Coverage*

2.5 SOFTWARE SIMULATOR

Untuk membantu proses perencanaan digunakan software simulator yang akan digunakan untuk melakukan simulasi terhadap perencanaan *coverage* dan perencanaan *capacity*. Pada tahap perencanaan *coverage* menggunakan *software Radiowave Propagation Simulator (RPS)* dan pada tahap perencanaan akan menggunakan *software Network Simulator 3 (NS3)*.

2.5.1 *Radiowave Propagation Simulator (RPS)*

RPS merupakan software yang digunakan untuk melakukan simulasi perancangan jaringan radio *indoor* yang memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. RPS memiliki GUI yang sangat baik dengan analisis yang ekstensif dan fungsi presentasi.
2. Sangat handal dalam untuk menampilkan bentuk 3D *ray tracking* dan algoritma propagasi empiris.
3. Program *Ray tracking* yang dipararelkan dengan *load balancing* yang tinggi dan mode prediksi *hybrid* yang digunakan untuk memprediksi kinerja simulasi yang belum pernah terjadi sebelumnya.
4. RPS memiliki sistem arsitektur yang terbuka untuk berbagai data impor ataupun ekspor untuk konfigurasi jaringan, lingkungan, dan data kinerja jaringan. Propagasi berdasarkan algoritma dari *user*, *COM interface* untuk kontrol aplikasi *remote* dan integrasi sistem perencanaan.

RPS dapat diunduh dengan 2 versi yang tersedia yakni:

1. RPS *Enterprise*: RPS pada versi *enterprise* umumnya digunakan untuk organisasi yang lebih besar seperti operator jaringan, *service provider*, atau produsen sistem yang dituntut untuk memiliki performa dan akurasi yang tinggi pada kinerjanya. RPS *Enterprise* merupakan sistem perencanaan yang sangat efisien untuk berbagai macam teknologi nirkabel yang memungkinkan integrasi yang mudah dengan cara antar muka *COM*.
2. RPS *Professional*: versi RPS ini cocok untuk organisasi atau lembaga yang lebih kecil seperti operator lokal, konsultan, dan

akademis. RPS versi *professional* memiliki keunggulan yang sama dengan versi *enterprise*, hanya saja pada versi *professional* ini tidak terdapat fitur simulasi paralel dan dukungan sistem perencanaan terintegrasi.

Untuk dapat melakukan instalasi RPS pada komputer, ada beberapa persyaratan yang harus dimiliki oleh computer yakni:

- Windows NT/2000/XP
- Pentium class processor
- 256 MB RAM (512 MB -1 GB untuk lingkungan yang lebih besar)
- Sisa ruang hard disk minimal 100 MB
- Resolusi grafis dengan 65.536 warna dan OpenGL
- CD-ROM Drive (Untuk instalasi)
- USB Port
- TCP/IP Network (Untuk RPS versi *Enterprise*)

2.5.2 *Network Simulator 3 (NS3)*

Network Simulator 3 merupakan simulator *discrete-event* yang bersifat *open source* yang digunakan untuk penelitian jaringan dan edukasi. Secara keseluruhan simulasi dan model pada NS3 diimplementasikan dalam C++. NS3 dibangun sebagai perpustakaan yang dapat dengan dinamis ataupun statis terhubung dengan C++ program utama yang mendefinisikan topologi pada simulasi dan memulai simulator. NS3 juga mengeksport hampir semua API dengan *Phyton* yang memungkinkan program *phyton* untuk mengimpor modul NS3. Pada *software* NS3 terdapat susunan *software* yang terdiri dari *Core* (Inti) dari simulator. Pada *core* dari simulator terdapat elemen-elemen seperti komponen-komponen pada *protocol*, *hardware*, dan model lingkungan. *Core* dari simulasi diimplementasikan dalam *src/core*. *Packet* adalah objek fundamental dalam sebuah simulasi jaringan dan diimplementasikan dalam *src/network*. Kedua modul simulasi ini berfungsi untuk dapat digunakan oleh berbagai jenis jaringan, tidak hanya jaringan berbasis internet.