

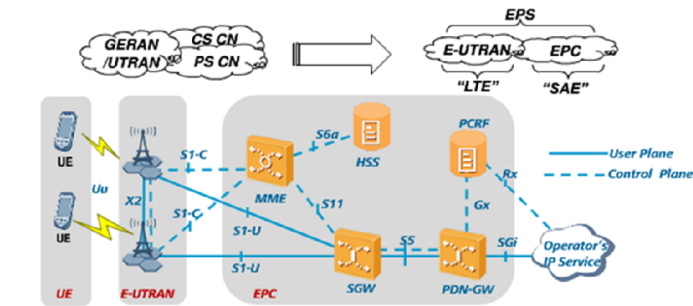
BAB II DASAR TEORI

2.1 Long Term Evolution (LTE)

2.1.1 Arsitektur Jaringan LTE

LTE adalah pengembangan jaringan akses radio keluaran dari 3rd Generation Partnership Project (3GPP). LTE merupakan kelanjutan dari teknologi generasi ketiga (3G) WCDMA – UMTS. Teknologi ini telah berhasil melewati pengujian secara komersial sejak tahun 2009.

Arsitektur LTE dikenal dengan istilah SAE (*System Architecture Evolution*) sebagai inti jaringan generasi keempat menurut standar 3GPP. LTE dikenal juga sebagai *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN) sementara SAE memiliki nama lain sebagai *Evolved Packet Core* (EPC). Sentral penyambungan EPC murni berdasarkan prinsip kerja *Packet Switch*, dan tidak memiliki penyambungan *Circuit Switch*. Arsitektur jaringan LTE terdiri dari dua bagian utama yakni E-UTRAN dan EPC. Hirarki arsitektur pada jaringan LTE ditunjukkan pada gambar 2.1. [2]



Gambar 2.1 Arsitektur Jaringan 4G [3]

Berikut ini adalah penjelasan masing – masing bagian tersebut :

1. User Equipment (UE) [2]

UE adalah perangkat LTE yang terletak paling ujung dan berdekatan dengan pengguna. Pada bagian UE terdapat dua bagian penyusun yaitu *Mobile Equipment* dan *Universal Integrated Circuit Card* (UICC).

2. Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) [2]

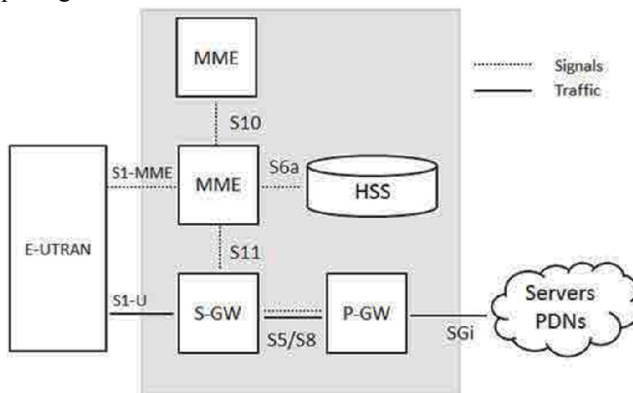
E-UTRAN adalah sistem arsitektur LTE yang berfungsi menangani komunikasi radio antara *User Equipment* (UE) dengan *Evolved Package Core* dan hanya memiliki satu komponen yaitu eNodeB (eNB). Setiap ENB adalah *base station* yang mengontrol satu atau beberapa UE dalam satu atau lebih sel.

eNB memiliki dua tugas utama yaitu sebagai *radio transmitter* dan *receiver* dan sebagai pengendali *low-level operation* semua UE dengan cara mengirim suatu sinyal tertentu berupa pesan seperti pada saat proses *handover*.

UE LTE berkomunikasi hanya dengan satu *base station* pada satu waktu. ENodeB (ENB) mengirim dan menerima transmisi radio untuk semua perangkat LTE dan ENB mengontrol pengoperasian dari semua UE seperti aplikasi *handover*, *scheduling* dll.

3. Evolved Packet Core (EPC) [2]

EPC adalah sebuah sistem yang baru dalam evolusi arsitektur komunikasi seluler, sebuah sistem dimana pada bagian *core network* menggunakan all-IP. EPC menyediakan fungsionalitas *core mobile* yang pada generasi sebelumnya (2G, 3G) yang memiliki dua bagian yang terpisah yaitu *Circuit switch* untuk *voice* dan *Packet Switch (PS)* untuk data. EPC sangat penting untuk layanan pengiriman IP secara *end to end* pada LTE. Skema jaringan pada EPC ditunjukkan pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Skema jaringan pada EPC [4]

EPC terdiri dari *Mobility Management Entity*, *Serving Gateway*, *Home Subscription Service*, *Policy and Charging Rules Function*, dan *Packet Data Network Gateway*. Berikut penjelasan singkatnya:

a. *Mobility Management Entity (MME)*

MME merupakan elemen pengendali utama dari setiap bagian dari LTE/SAE. Fungsi utama MME pada arsitektur jaringan LTE adalah sebagai *authentication* dan *security*, *mobility management*, *managing subscription profile* dan *service connectivity*.

b. *Home Subscription Service (HSS)*

Merupakan *database* pusat yang berisi informasi tentang semua pelanggan operator jaringan yang bersifat permanen. HSS merupakan *server database* yang dikendalikan secara terpusat. HSS menyimpan data utama profil pelanggan yang berisikan informasi tentang layanan yang akan diberikan ke pengguna.

c. *Serving Gateway (S-GW)*

Serving gateway berfungsi sebagai jembatan utama antara manajemen dan *switching user plane*. S-GW merupakan bagian dari infrastruktur jaringan sebagai pusat operasional dan *maintenance*. Peranan S-GW sangat sedikit pada fungsi pengontrolan. Hanya bertanggungjawab pada sumbernya sendiri dan mengalokasikannya berdasarkan permintaan MME, PDN-GW, atau PCRF.

d. *Packet Data Network Gateway (PGW)*

Sama halnya dengan SGW, PDN-GW adalah komponen penting pada LTE untuk melakukan terminasi dengan *Packet Data Network* (PDN). Adapun PDN GW mendukung *policy enforcement feature*, *packet filtering*, *charging support* pada LTE, trafik data dibawa oleh koneksi virtual yang disebut dengan *service data flows (SDFs)*.

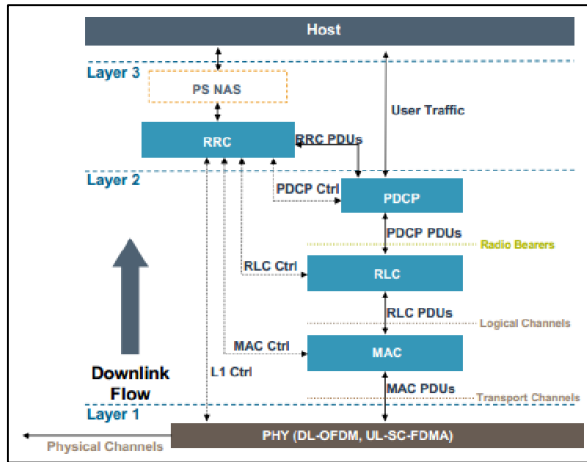
Secara khusus PGW mengalokasikan IP *address* ke UE dan UE dapat melakukan komunikasi dengan perangkat lain pada jaringan eksternal seperti internet. PGW juga memerlukan fungsi *Dynamic Host Configuration Protocol* (DHCP) atau mengirimkan pengalamatan kepada UE.

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

PCRF merupakan bagian dari arsitektur jaringan yang mengumpulkan informasi dari dan ke jaringan, sistem pendukung operasional, dan sumber lainnya seperti portal secara *real time*, yang mendukung pembentukan aturan dan kemudian secara otomatis membuat keputusan kebijakan untuk setiap pelanggan aktif di jaringan. Jaringan seperti ini mungkin menawarkan beberapa layanan dan kualitas layanan (*Quality of services*).

2.1.2 LTE Physical Layer [5]

Pada jaringan LTE, layer fisik bertugas untuk membawa informasi dari saluran komunikasi pada *radio interface*. Fungsi layer ini bertugas untuk melakukan kendali atas *link adaptation* (AMC), *power control*, dan fungsi lainnya dalam layer *Radio Resource Control* (RRC). Skema *Physical layer* pada jaringan LTE ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 LTE *Physical Layer* [5]

Berikut adalah penjelasan dari masing – masing layer tersebut :

1. *Media Access Control (MAC)*

Layer MAC bertugas untuk melakukan mapping antara logical channel dengan *transport channel* yang berfungsi secara otomatis pada level *transport block*. Layer ini memberikan pemilihan format tentang pengelolaan jaringan untuk melakukan kendali pada *radio resources* seperti *Modulation Coding Scheme (MCS)*.

2. *Radio Link Control (RLC)*

RLC Layer berfungsi untuk melakukan pengiriman dan melakukan koreksi atas kesalahan, melakukan penggabungan, segmentasi pada pengiriman *Packet Data Unit (PDU)*. Jika terdapat kesalahan RLC akan melakukan penataan data, menghapus data, atau melakukan pembentukan data kembali sebelum dikirimkan.

3. *Packet Data Convergence Protocol (PDCP)*

Layer PDCP bertugas melakukan kompresi dan dekompresi pada header data, melakukan transfer data (*user plane* atau *control plane*), melakukan Maintenance Sequence Number (SN) yaitu mengurutkan pengiriman layer atas (PDU). Pada layer ini adalah hasil keluaran atau *output* dalam saluran komunikasi pada *physical layer*.

2.2 Channel in LTE [6]

Channel pada LTE terdiri dari *Logical Channel*, *Transport Channel* dan *Physical Channel*. *Radio Link Control* (RLC) dan *Medium Access Control* (MAC) dihubungkan dengan *Logical Channel*. *Transport Channel* mendefinisikan bagaimana karakteristik dari data yang akan dikirimkan melalui *Physical Layer*. *Physical Layer* adalah bagian yang bertugas mengirimkan data atau sinyal yang memiliki karakteristik yang ditentukan oleh *Transport Channel* (*subcarrier, frekuensi, dll.*)

2.2.1 Logical Channel

Logical Channel terdiri dari dua bagian yaitu Control Channel dan Traffic Channel. Control Channel terdiri dari

- *Broadcast Control Channel* (BCCH)
- *Paging Control Channel* (PCCH)
- *Multicast Service point-to-point Control Channel* (MCCH)
- *Common Control Channel* (CCH), *Forward Access Channel* (FACH) dan *Random Access Channel* (RACH)
- *Dedicated Control Channel* (DCCH)
Sementara Traffic Channel Terdiri dari :
- *MBMS point to point Traffic Channel* (MTCH)
- *Dedicated Traffic Channel* (DTCH)

2.2.2 Transport Channel

Transport Channel terdiri dari dari :

- *Random Access Channel* (RACH)
- *Uplink Shared Channel* (UL-SCH)
- *Broadcast Channel* (BCH)
- *Paging Channel* (PCH)
- *Multicast Channel* (MCH)
- *Downlink Shared Channel* (DL-SCH)

2.2.3 Physical Channel

Physical Channel terdiri dari beberapa bagian antara lain :

- *Physical Random Access Channel* (PRACH)
- *Physical Uplink Control Channel* (PUCCH). PUCCH membawa CQI, MIMO feedback. ACK / NACK dan permintaan *scheduling*.
- *Physical Uplink Shared Channel* (PUSCH) membaa data *uplink* menggunakan AMC dari QPSK, 16QAM sampai 64QAM.

- *Physical Broadcast Channel*. PBCH menggunakan modulasi QPSK dan selalu menggunakan 72 *subcarrier* didalam DC *carrier*. PBCH hanya membawa *Master Information Block*.
- *Physical Downlink Control Channel* (PDCCH). PBCH membawa format *transport*, alokasi sumber daya, informasi HARQ untuk PCH, UL-PCH dan DL-SCH. Termasuk kendali daya untuk *uplink*.
- *Physical Control Format Indicator Channel* (PCFICH)
- *Physical HARQ Acknowledgement Indicator Channel* (PHICH)
- *Physical Downlink Shared Channel* (PDSCH) yang berfungsi sebagai pembawa data menggunakan *Adaptive Modulation Coding* (AMC)
- *Physical Multicast Channel* (PMCH)

2.2.4 *Physical Signals*

Physical Signals terdiri dari beberapa bagian antara lain :

- *Primary and Secondary Synchronization Signal* (*Primary SCH* dan *Secondary SCH*) yang berfungsi mengidentifikasi 168 *cell* identitas grup dengan masing – masing anggota berjumlah 3 anggota.
- *Downlink Reference Signal* (DL-RS) dialokasikan pada *subcarrier – subcarrier* tertentu pada simbol OFDM.
- *Uplink Reference Signal* (UL-RS) atau UL Pilot Symbol *Uplink Reference Signal* dialokasikan pada blok keempat simbol SC-FDMA pada plot UL-PUSCH. PUCCH dapat memiliki 2 atau 3 sinyal referensi.
- *Random Access Preamble* adalah bagian dari PRACH dan dihasilkan dari *sequence Zadoff-Chu*.
- *Sounding Signal* dikirimkan di bagian dari simbol akhir PUSCH. Permintaan dilakukan oleh ENB untuk mengakses kualitas kanal radio UE.

2.3 OFDMA [2]

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) merupakan suatu teknik transmisi data yang melewatkan data ke dalam *subcarrier* sempit yang saling *orthogonal*. OFDM disebut juga sebagai metode modulasi *multicarrier*

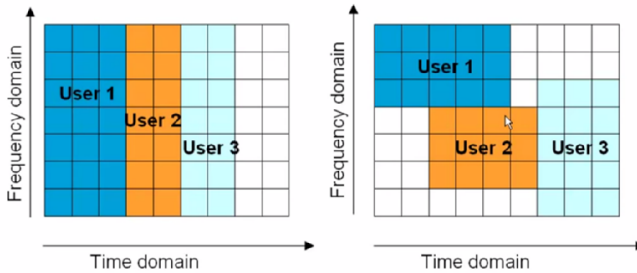
atau kombinasi dari modulasi dan *multiplexing*. Terdapat perbedaan antara OFDM dengan modulasi multicarrier antara lain :

- OFDM menggunakan sejumlah *subcarrier* berpita sempit yang relatif banyak. Berbeda dengan MCM yang membagi bandwidth total dengan pita yang cenderung besar.
- Menggunakan pulsa kotak sederhana.
- Menggunakan spasi yang sangat rapat $\Delta f = 1/T_{\mu}$, dengan T_{μ} adalah waktu modulasi simbol per *subcarrier*.

OFDMA sebelumnya telah diterapkan oleh beberapa teknologi lainnya seperti *Wireless Fidelity* (Wi-Fi IEEE 802.11 a, b, g, n) dan WiMax IEEE 802.16. Terdapat anggapan di masyarakat bahwa OFDM dan OFDMA adalah sama. Namun sesungguhnya terdapat beberapa perbedaan. Perbedaan terletak pada sisi penjadwalan (*Scheduling*).

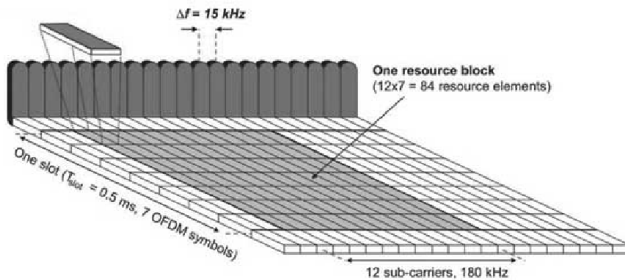
Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) merupakan teknik multiple access yang dikembangkan dari teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), tetapi OFDMA memiliki perbedaan dengan OFDM. Perbedaan yang mendasar antara OFDMA dengan OFDM adalah pada OFDMA dalam satu *subcarrier* diperbolehkan diduduki oleh satu atau beberapa *user* yang memiliki simbol OFDMA yang berbeda.

Sedangkan pada OFDM dalam satu *subcarrier* hanya diperbolehkan diduduki oleh *user* yang memiliki simbol OFDM yang sama. Perbedaan antara OFDMA dan OFDM ditunjukkan pada Gambar 2.4. OFDMA membagi bandwidth yang tersedia menjadi beberapa narrow-band *subcarrier* dan mengalokasikan *subcarrier* kepada pengguna yang aktif berdasarkan kriteria tertentu. Dalam OFDMA, satu resource *block* terdiri dari 12 subcarrier dengan lebar pita 15 kHz sehingga satu RB terdiri dari lebar pita sebesar 220 kHz dalam domain frekuensi. Sementara dalam domain waktu, satu frame terdiri dari 10 subframe dan 20 slot. Satu subframe terdiri dari waktu 1 ms yang akan dialokasikan kepada satu UE. Ilustrasi perbedaan antara OFDM dan OFDMA ditunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Perbedaan OFDM dengan OFDMA [7]

Dalam OFDM, simbol dikelompokkan ke dalam *resource block*. *Resource block* memiliki ukuran total 180 kHz dalam domain frekuensi dan 0.5ms dalam domain waktu. Setiap 1 ms *Time Transmission Interval* (TTI) terdiri dari dua slot (T slot). Ilustrasi *Resource Block* pada OFDM ditunjukkan pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Ilustrasi Resource block [8]

2.3.1 Cyclic Prefix (CP)

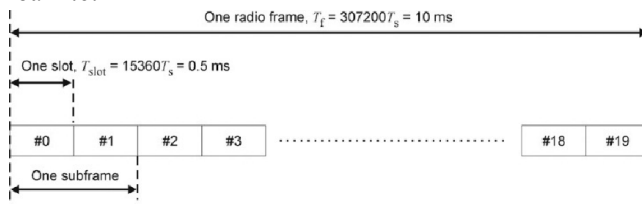
Salah satu keunggulan OFDM / OFDMA ialah lebih handal terhadap *Intersymbol Interference* (ISI) akibat *multipath delay spread* untuk meningkatkan level QoS. Cara yang digunakan pada OFDM/OFDMA selain mengirimkan data secara paralel adalah dengan menyisipkan suatu data khusus yang digunakan seperti *Guard Period* (GP), teknik ini disebut sebagai *Cyclic Prefix*. Pada GP transmitter tidak mengirimkan data apapun tapi CP menggunakan teknik duplikasi bagian akhir pada sebuah simbol untuk diletakkan pada bagian pertama simbol tersebut. Teknik ini memudahkan pemrosesan sinyal pada saat kondisi multipath dimana beberapa sinyal datang pada penerima antenna dengan amplitudo dan fase yang berbeda. LTE menggunakan CP paling cepat selama 4.7 μ s dan menurunkan kecepatan *data rate* sebesar 7% tetapi hal ini dapat digunakan untuk menghilangkan ISI. [2]

2.3.2 Frame Structure dan Resource Block [2]

Dalam transmisi *multicarrier* seperti OFDM, suatu data dikirim melalui suatu kanal paralel yang membawa data berkecepatan rendah. Suatu sinyal dalam suatu spektrum frekuensi khusus dapat dipisahkan menurut domain waktu dan domain frekuensi. Dalam suatu transmisi frekuensi radio dikenal sebutan *frame radio structure*. *Frame radio structure* merupakan suatu susunan data dalam domain waktu yang memuat pensinyalan informasi yang dikirimkan Transmitter kepada Receiver melalui kanal radio. Pada teknologi jaringan LTE dikenal juga suatu *radio frame* yang masing – masing berbeda menyesuaikan teknologi *duplexing* yang digunakan. LTE dapat menggunakan *Time Division Duplex* (TDD) dan *Frequency Division Duplex* (FDD). Masing – masing metode tersebut menggunakan struktur *frame* yang berbeda.

Pada mode TDD *frame* nomor 0 dan nomor 5 dipergunakan untuk operasi *downlink*, pada *frame* nomor 1 dan nomor 6 dipergunakan untuk operasi sinkronisasi dan alokasi *frame* yang digunakan dapat berubah menyesuaikan konfigurasi yang akan digunakan. Sementara pada struktur *frame* FDD, satu radio *frame* terdiri dari sepuluh (10) *subframe* yang nilainya adalah 10 ms. Dikarenakan pada FDD menggunakan dua jalur frekuensi yang berbeda untuk kanal unggah dan kanal unduh, maka struktur kedua *frame* jalur komunikasi tersebut adalah sama.

Satu radio *frame* pada OFDM terdiri atas 10 ms dengan 10 *subframe* dan 20 slot penyusun. Sehingga dalam satu detik waktu transmisi akan terdapat 1000 *subframe* yang dikirim. Ilustrasi *radio frame* dalam domain waktu ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Waktu dalam Satu *Radio Frame* [2]

Nilai 307200 merupakan nilai *sampling* yang digunakan pada satu satuan waktu. Satu slot pada radio *frame* OFDM bukanlah yang paling kecil pada domain waktu. Pada satu slot radio *frame* OFDM terdiri dari 7 simbol yang berada di dalamnya. Simbol inilah yang membawa data yang termodulasi.

Modulasi tersebut dapat berupa QPSK, 16QAM, 64QAM. Pada OFDM masing – masing simbol dimasukkan suatu informasi bersama CP untuk menghindari ISI dan ICI. CP yang digunakan pada OFDM memiliki dua tipe

yaitu normal CP atau yang juga disebut *Short CP* dan *Extended CP*. Short CP digunakan untuk komunikasi normal pada umumnya sedangkan *extended CP* digunakan untuk beberapa kondisi kanal tertentu yang cenderung tidak baik. Perbedaan di antara keduanya adalah panjang dan pendeknya durasi CP yang disisipkan.

Dalam sistem OFDMA dikenal sebuah istilah *Resource block (RB)*. RB adalah suatu blok transmisi pada OFDM yang disusun dari domain frekuensi dan domain waktu. Sebuah RB adalah blok yang menempati ukuran 12 *subcarrier* dalam 1 slot waktu. Satu RB pada LTE didefinisikan sebagai 12 *subcarrier* atau 180 kHz ($15 \text{ kHz} \times 12 \text{ subcarrier} = 180 \text{ kHz}$) dan satu slot *frame*. Bagian yang lebih kecil dari RB adalah *Resource Element (RE)*. RE terdiri dari 1 simbol dan 1 *subcarrier*. Sehingga satu RB terdapat $12 \times 7 = 84$ RE jika menggunakan *Short CP*.

Banyaknya jumlah *resource block* tergantung pada *bandwidth (BW)* yang digunakan. Dengan begitu, semakin besar sistem memiliki *resource block*, semakin besar pula maksimal *throughput* yang dihasilkan. Alokasi *bandwidth* yang fleksibel digunakan pada sistem LTE yaitu 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, dan 20 Mhz. Tabel 2.1 berikut menunjukkan pengaruh kapasitas *bandwidth (RB)* yang digunakan terhadap jumlah *resource block (RB)*

Tabel 2.1 *RB Number vs Channel Bandwidth*

<i>Channel bandwidth (MHz)</i>	1.4	3	5	10	15	20
<i>RB Number / Slot</i>	6	15	25	50	75	100

2.4 Radio Key Performance Indicator (KPI) Parameter [2]

2.4.1 Reference Signal Received Power (RSRP)

RSRP adalah daya dari sinyal referensi. Parameter ini adalah parameter spesifik yang digunakan pada *drivetest* 4G LTE dan digunakan perangkat untuk menentukan *handover*. Pada teknologi GSM parameter ini dianalogikan sebagai RxLevel dan pada teknologi 3G UMTS dianalogikan sebagai RSCP. RSRP adalah kuat sinyal yang diterima dengan *bandwidth* 15 kHz sedangkan RSCP menggunakan *bandwidth* 5 MHz. Tabel 2.2 berikut ini menunjukkan contoh range RSRP yang digunakan oleh suatu operator. [2]

Tabel 2.2 Nilai RSRP dan Keterangannya [2]

Nilai	Keterangan
-70 dBm s.d -90 dBm	Baik
-91 dBm s.d -110 dBm	Normal
-110 dBm s.d -130 dBm	Buruk

2.4.2 Signal to Noise Ratio (SINR)

SINR adalah perbandingan kekuatan sinyal dengan *interferensi*. Nilai SINR merupakan hasil dari persamaan xx.

$$\text{SINR} = S/(I+N) \dots\dots\dots(2-1) [2]$$

Dimana

S : Mengindikasikan daya dari sinyal yang diinginkan.

I : Mengindikasikan daya sinyal interferensi.

N : mengindikasikan *noise background* yang berkaitan dengan perhitungan *bandwidth* dan koefisien *noise* yang diterima.

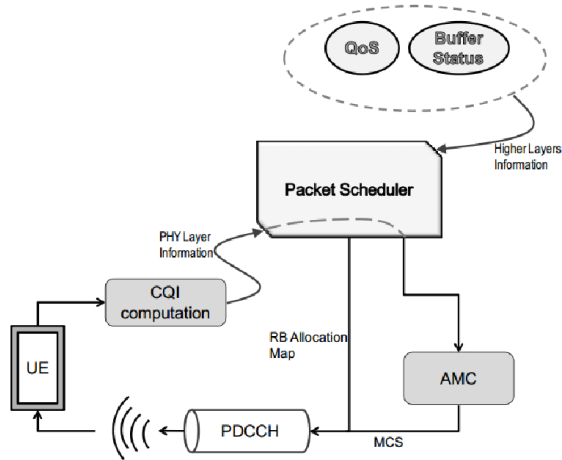
Pada teknologi 2G GSM parameter ini bisa dianalogikan sebagai RxQual sedangkan pada 3G UMTS dianalogikan sebagai Ec/No. Tabel 2.3 Berikut ini merupakan contoh range SINR yang digunakan oleh suatu operator.

Tabel 2.3 SINR dan Keterangannya [2]

SINR	Keterangan
16 dB s.d 30 dB	Baik
1 dB s.d 15 dB	Normal
- 10 dB s.d 0 dB	Buruk

2.5 Scheduling [1]

LTE adalah jaringan *wireless broadband* berbasis *Packet Switch* yang mendukung transmisi data dengan kecepatan tinggi. Sebagai jaringan *broadband* nirkabel, LTE mampu mengirimkan layanan *multimedia* dengan persyaratan QoS (*Quality of Service*) yang harus terjaga seperti layanan suara dan transfer data. Setiap pengguna yang terhubung dengan jaringan membutuhkan alokasi kanal tertentu dan diperlakukan sesuai dengan syarat QoS yang telah ditentukan. Sistem harus memiliki kemampuan untuk mengelola alokasi jaringan melalui algoritma *Scheduling*. Model *scheduling* ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Model *Scheduling* [9]

Sebuah algoritma *Scheduling* harus mampu mengatur distribusi saluran pada jaringan agar mampu mencapai efisiensi maksimum. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) pada sisi *downlink* jaringan LTE memberikan pilihan metode pengalokasian *bandwidth*. Domain waktu dan frekuensi dapat dialokasikan secara fleksibel dan dinamis dengan tujuan mencapai *maximum throughput*, *delay minimum* dan memenuhi persyaratan QoS.

Packet Scheduler (PS) berjalan di eNodeB jaringan LTE pada kedua sisi, yaitu *Downlink* dan *Uplink*. PS memiliki dua fungsi penting, yaitu memaksimalkan sistem efisiensi dengan mengalokasikan *Resource block* (RB) dan menjamin keadilan kepada setiap perangkat.

Packet scheduler adalah algoritma yang digunakan untuk mengalokasikan *resource block* dalam transmisi data ke *user*, *packet scheduler* bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan *bandwidth*, memberikan layanan data kepada UE dengan standar QoS dan tingkat keadilan *fairness* yang maksimal, dengan cara menentukan proses transmisi data berdasarkan hasil penghitungan algoritma yang disebut sebagai nilai *metric*.

2.5.1 *Throughput To Average* [10]

Prinsip kerja *Throughput to Average* melakukan kuantifikasi pengalokasian *Resource block* kepada semua pengguna yang tersambung, sehingga menjamin RB terbaik dialokasikan kepada setiap pengguna. Hasil uji yang diprediksi dari TTA adalah untuk memberikan *throughput* yang sama untuk

semua UE di dalam jaringan ENB, meskipun memiliki kondisi kanal yang sama maupun berbeda. *Metric* yang digunakan pada *scheduling* TTA ditunjukkan pada persamaan 2-2.

$$m_{i,k}^{TTA} = \operatorname{argmax} \left[\frac{d_k^i(t)}{d^i(t)} \right]; 1 \leq i \leq N \dots \dots \dots (2-2) [10]$$

Dimana $d_k^i(t)$ adalah kecepatan data yang diperkirakan untuk pengguna dalam waktu t . dan d^i adalah rata-rata kecepatan data yang diperkirakan untuk keseluruhan *user* dalam waktu t , dan N adalah jumlah pengguna.

2.5.2 Proportional Fair

Proportional Fair (PF) adalah *packet scheduler* yang bertujuan memaksimalkan *throughput cell* sekaligus meningkatkan nilai keadilan *fairness*. PF menghitung nilai *metric* berdasarkan penghitungan nilai data rate dan nilai *throughput* rata-rata yang diperoleh dari penghitungan *metric* terakhir oleh flow yang sama. [1] *Metric* yang digunakan pada *scheduling* TTA ditunjukkan pada persamaan 2-3.

$$p_{i,k}^{PF} = \operatorname{argmax} \left[\frac{d_k^i(t)}{R^t(t-1)} \right]; 1 < i < N \dots \dots \dots (2-3) [10]$$

Dimana i merupakan aliran paket data (flow), k merupakan *resource block*, d merupakan data rate, r merupakan nilai data rate yang telah diterima, R merupakan *throughput* rata-rata yang telah diterima, dan t merupakan waktu penghitungan *metric*. *Packet scheduler* PF lebih mengutamakan pengiriman data kepada UE yang memiliki nilai *throughput* rata-rata terendah

2.5.3 First In First Out [9]

First In First Out (FIFO) adalah algoritma *scheduling* paling sederhana dalam melayani alokasi pembagian radio resource. *Metric* yang digunakan dalam *scheduling* ini ditunjukkan pada persamaan 2-4.

$$m_{i,k}^{FIFO} = t - T_i \dots \dots \dots (2-4) [9]$$

Dimana t adalah waktu sekarang dan T_i adalah waktu ketika permintaan paket dilakukan oleh *user i*. Algoritma ini bekerja sesuai namanya yaitu paket yang diminta pertama kali akan keluar pada waktu pertama

2.5.4 Round Robin [9]

Algoritma *scheduling* ini melakukan keadilan pembagian *resources* di antara semua UE. Round Robin (RR) *metric* mirip dengan dengan algoritma

FIFO dengan sedikit perbedaan. Dimana T_i merujuk pada waktu terakhir ketika UE dilayani. Dalam konsep ini, keadilan pembagian *resource* berhubungan dengan waktu yang digunakan kanal ketika melayani pengguna. Tetapi tidak adil dalam pembagian *throughput* pengguna dikarenakan dalam sistem nirkabel keadilan berdasarkan pengalaman kondisi kanal dan bukan jumlah *resources* yang diberikan.

2.5.5 Max Throughput [10]

Max-Throughput (MT) adalah *scheduling* yang bertujuan mengalokasikan keseluruhan *throughput* dengan mengalokasikan setiap RB kepada UE dengan kondisi kanal baik. Dengan begitu, UE dengan kondisi kanal baik akan selalu mendapatkan alokasi *radio resources*. *Metric* pada *scheduling* ini ditunjukkan pada persamaan 2-5.

$$p_i^k = \operatorname{argmax} (d_k^i(t)); 1 < i < N \dots\dots\dots(2-5) [10]$$

Dimana $d_k^i(t)$ adalah nilai *data rate* untuk *user i* dalam satu waktu dan N adalah jumlah pengguna. Algoritma ini akan memaksimalkan *throughput* dalam satu sel tetapi akan menyebabkan ketidakadilan (*unfairness*) pembagian *resources* diantara UE.

2.6 Modulation Coding Scheme (MCS)

Pada jaringan LTE, dikenal teknik *link adaptation* yang berfungsi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan spektrum. *Link adaptation* akan menggunakan informasi kualitas kanal setiap pengguna selama jaringan terhubung dan memberikan MCS yang dinamis untuk setiap pengguna. MCS adalah skema modulasi yang akan dipergunakan berdasarkan kualitas kanal dari *Radio Access* kepada UE. Indeks nilai MCS dapat digunakan untuk menghitung nilai kecepatan maksimum yang tersedia. Indeks nilai MCS merangkum jenis tipe modulasi yang akan digunakan dan nilai *Physical Resource Block* (PRB) yang akan diberikan. Indeks nilai MCS yang lebih tinggi akan menawarkan efisiensi spektrum yang lebih tinggi tapi membutuhkan SINR lebih tinggi untuk mendukung teknik tersebut. [11]

Tabel MCS merujuk pada standar 3GPP TS 36.213 version 12.4.0 Release 12 Table 7.1.7.1-1 untuk teknologi LTE. Tabel MCS tersebut ditunjukkan pada tabel 2.4.

Table 2.4 Modulation and TBS index table for PDSCH [12]

MCS Index	Modulation Order	TBS Index
<i>I MCS</i>	<i>Qm</i>	<i>I tbs</i>
0	2	0
1	2	1
2	2	2
3	2	3
4	2	4
5	2	5
6	2	6
7	2	7
8	2	8
9	2	9
10	4	9
11	4	10
12	4	11
13	4	12
14	4	13
15	4	14
16	4	15
17	6	15
18	6	16
19	6	17
20	6	18
21	6	19
22	6	20
23	6	21
24	6	22
25	6	23
26	6	24
27	6	25
28	6	26
29	2	Reserved
30	4	
31	6	

Dimana MCS adalah indeks modulasi yang digunakan, Q_m adalah jenis modulasi yang digunakan yaitu berapa *bits* yang dibawa dalam satu simbol dan I_{tbs} adalah indeks ukuran *transport block* yang akan digunakan. Untuk melihat nilai PRB yang akan diberikan kita perlu mengetahui nilai *Transport Block Size*

(TBs) yang diberikan kepada setiap pengguna. Setelah nilai TBs diketahui kita dapat mengetahui jumlah PRB berdasarkan standar 3GPP TS 36.213 version 12.4.0 Release 12 tabel Table 7.1.7.2.1-1 yang ditunjukkan pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Transport Block Size Table [12]

<i>I_{ts}</i>	<i>N_{PRB}</i>									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	16	32	56	88	120	152	176	208	224	256
1	24	56	88	144	176	208	224	256	328	344
2	32	72	144	176	208	256	296	328	376	424
3	40	104	176	208	256	328	392	440	504	568
4	56	120	208	256	328	408	488	552	632	696
5	72	144	224	328	424	504	600	680	776	872
6	328	176	256	392	504	600	712	808	936	1032
7	104	224	328	472	584	712	840	968	1096	1224
8	120	256	392	536	680	808	968	1096	1256	1384
9	136	296	456	616	776	936	1096	1256	1416	1544
10	144	328	504	680	872	1032	1224	1384	1544	1736
11	176	376	584	776	1000	1192	1384	1608	1800	2024
12	208	440	680	904	1128	1352	1608	1800	2024	2280
13	224	488	744	1000	1256	1544	1800	2024	2280	2536
14	256	552	840	1128	1416	1736	1992	2280	2600	2856
15	280	600	904	1224	1544	1800	2152	2472	2728	3112
16	328	632	968	1288	1608	1928	2280	2600	2984	3240
17	336	696	1064	1416	1800	2152	2536	2856	3240	3624
18	376	776	1160	1544	1992	2344	2792	3112	3624	4008
19	408	840	1288	1736	2152	2600	2984	3496	3880	4264
20	440	904	1384	1864	2344	2792	3240	3752	4136	4584
21	488	1000	1480	1992	2472	2984	3496	4008	4584	4968
22	520	1064	1608	2152	2664	3240	3752	4264	4776	5352
23	552	1128	1736	2280	2856	3496	4008	4584	5160	5736
24	584	1192	1800	2408	2984	3624	4264	4968	5544	5992
25	616	1256	1864	2536	3112	3752	4392	5160	5736	6200

<i>I_{tbs}</i>	<i>N PRB</i>									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
26	712	1480	2216	2984	3752	4392	5160	5992	6712	7480

Dimana *I_{tbs}* adalah indeks dari ukuran transport block dan *N PRB* adalah jumlah Physical Resource Block (PRB) yang dialokasikan. Pada penelitian ini tabel 2.4 dan tabel 2.5 digunakan untuk mengamati jumlah resource block yang dialokasikan. Sebagai contoh UE yang mendapatkan Indeks MCS sebesar 28 dengan ukuran transport block sebesar 4791. Langkah pertama adalah melihat pada tabel 2.4 bahwa untuk Indeks MCS 28 memiliki Indeks TBS sebesar 26. Kemudian berdasarkan tabel 2.5 indeks TBS 26 yang mendekati angka 4791 yaitu 5160 dikarenakan pembulatan selalu dilakukan ke nilai yang lebih besar yaitu berada pada *N PRB* senilai 7. Berdasarkan contoh kasus tersebut, UE mendapatkan alokasi PRB sebesar 7.

2.7 User Datagram Protocol (UDP) [13]

Protokol UDP berjalan di atas jaringan IP. Dalam metode akses, UDP bersifat *Connectionless* yaitu tanpa autentikasi, pesan akan dikirim dalam bentuk Datagram. Berbeda dengan TCP yang dikenal dengan *3 way handshaking*. metode UDP tidak memiliki *handshaking* (tidak ada hubungan) yang berlangsung antara dua proses sebelum mentransfer data apapun pada sistem akhir.

UDP bersifat *unreliable* atau tidak dapat diandalkan. Hal ini dikarenakan paket yang dikirimkan menggunakan UDP tidak dijamin keutuhan dan keberhasilan pengiriman paket tersebut. Hal itu dikarenakan UDP digunakan untuk mengirimkan paket yang sensitif terhadap *delay* seperti panggilan suara atau *video call*. Paket – paket tersebut harus cepat sampai kepada pengguna tujuan tanpa memperdulikan kerusakan paket yang ditransmisikan. Paket yang rusak tidak akan ditransmisikan ulang dikarenakan tidak ada metode pengecekan kerusakan paket dalam UDP.

2.8 Parameter Analisis

2.8.1 Throughput^[1]

Throughput yaitu kecepatan (*rate*) transfer data efektif, yang diukur dalam satuan *bit per second*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *Throughput*

adalah jumlah paket data yang sampai ke tujuan dalam satuan waktu per detik. Untuk mengetahui nilai *throughput* dapat digunakan persamaan 2-6.

$$x = \frac{\sum_{i=0}^n RXi}{t} \dots\dots\dots(2-6) [1]$$

Dimana x merupakan nilai *throughput*, i merupakan pengguna, RX merupakan bit data yang diterima, n merupakan jumlah pengguna dan t adalah waktu simulasi.

2.8.2 Packet loss ratio (PLR) [1]

Packet loss ratio adalah nilai presentase data yang gagal dikirimkan selama proses pengiriman berlangsung. Nilai rasio yang digunakan adalah dengan membandingkan antara data yang dikirimkan dengan data yang berhasil sampai ke penerima. Untuk mengetahui nilai *packet loss ratio*, dapat menggunakan persamaan 2-7.

$$PLR = 1 - \frac{\sum_{i=0}^n RXi}{\sum_{i=0}^n TXi} \dots\dots\dots(2-7) [1]$$

Dimana n adalah jumlah pengguna, RX merupakan data yang berhasil diterima dan TX adalah data yang dikirimkan. Dimana penentuan indikator dalam PLR ditunjukkan dalam tabel 2.2

Tabel 2.2 Kategori *Packet Loss* [14]

Kategori <i>Packet Loss</i>	<i>Packet Loss</i> (%)
Sangat Bagus	0
Bagus	3
Sedang	15
Jelek	25

2.8.3 Delay

Delay adalah waktu yang dibutuhkan paket untuk mencapai tujuan, karena adanya antrian, atau mengambil rute yang lain untuk menghindari jalur tercepat. [14]

2.8.4 Jitter

Jitter merupakan variasi nilai *delay* yang diterima pada penerima. *Jitter* dapat ditentukan menggunakan kedatangan interval pada paket. Semakin besar nilai *jitter* maka menunjukkan jaringan yang tidak stabil. *Jitter* dihitung berdasarkan *delay* pada setiap pengiriman paket. Jika jaringan stabil maka nilai *jitter* akan konstan dan sebaliknya. *Jitter* yang baik adalah nilai *jitter* dengan nilai minimum. *Jitter* adalah nilai variasi *delay* atau waktu respon dalam satuan *millisecond* (ms). *Jitter* merupakan indikator dari kestabilan sebuah jaringan.

Nilai *jitter* yang semakin besar merupakan indikator bahwa *delay* yang terjadi dalam jaringan mengalami fluktuasi. [15]