

BAB II

DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Nila Putri Mardela pada tahun 2013 dengan penelitiannya yang berjudul “*LTE LOAD BALANCING DENGAN SKENARIO GAME THEORY*” membahas mengenai penyeimbangan beban trafik pada sisi eNB dengan mengoptimalkan utilitas bandwidth yang belum terpakai agar dapat menanggulangi user baru yang akan meminta layanan. Metode *Load Balancing* yang digunakan yaitu *Cooperative Game* pada LTE dimana setiap tindakan yang dilakukan dalam rangka load balancing didasarkan terhadap nilai utilitas yang akan didapatkan, dan setiap eNB berhak memilih tindakan yang memiliki nilai utilitas maksimum. Efek dari *load balancing* yang diinginkan adalah penurunan jumlah *drop call*. [2]

Dengan menerapkan LTE Load Balancing dengan Skenario Game Theory ini maka dapat dicapai penurunan jumlah drop call sebesar 92,33%, peningkatan utilitas eNB penolong sebesar 41,24%, dan 0,249% untuk peningkatan utilitas eNB congested yang meminta bantuan. Apabila dalam skema handover user dari eNB cell sumber yang congested ke eNB cell tetangga yang tidak congested ditambahkan syarat bahwa RSRP user dari eNB cell tetangga lebih besar dari pada eNB cell sumber maka penurunan drop call yang dicapai adalah sebesar 37,12%, peningkatan utilitas eNB penolong adalah sebesar 9,375%, dan peningkatan utilitas eNB congested yang meminta bantuan adalah sebesar 0,249%.

2.2. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI SELULAR

Teknologi selular berkembang sangat pesat, mulai dari generasi pertama (1G) sampai sekarang ini yang sudah menggunakan generasi keempat (4G). Teknologi selular dibedakan menjadi 2 standar, yaitu standar 3GPP dan 3GPP2. Pada standar 3GPP, perkembangan teknologi dimulai dari AMPS yang

masih bersifat analog. Pada tahun 1991 mulai dikembangkan teknologi selular berbasis digital generasi kedua yaitu GSM yang telah menggunakan TDMA sebagai teknik *multiple* aksesnya. GSM hanya mendukung layanan berupa *voice* saja, sehingga muncul teknologi GPRS yang menambah layanan data hingga memiliki kecepatan transfer data hingga 160 kbps yang kemudian ditingkatkan dengan penambahan perangkat pada sisi radio aksesnya yang sering disebut dengan teknologi EDGE. Selanjutnya generasi ketiga muncul teknologi UMTS yang menggunakan teknik *multiple* akses WCDMA. Pada generasi ketiga mengalami perkembangan untuk meningkatkan kecepatan akses data dan *coverage* karena telah menggunakan sistem AMC (*Adaptive Modulasi and Coding*) pada sistem transmisi jaringan aksesnya. Untuk kedepannya, akan muncul teknologi berbasis *full IP* yang sering disebut LTE (*Long Term Evolution*) yang telah menggunakan OFDMA pada sistem transmisi arah *downlink* dan telah menggunakan *bandwidth* serta modulasi yang bervariasi sehingga akan meningkatkan kapasitas dan *coverage*-nye.[4]

2.3 Sejarah LTE

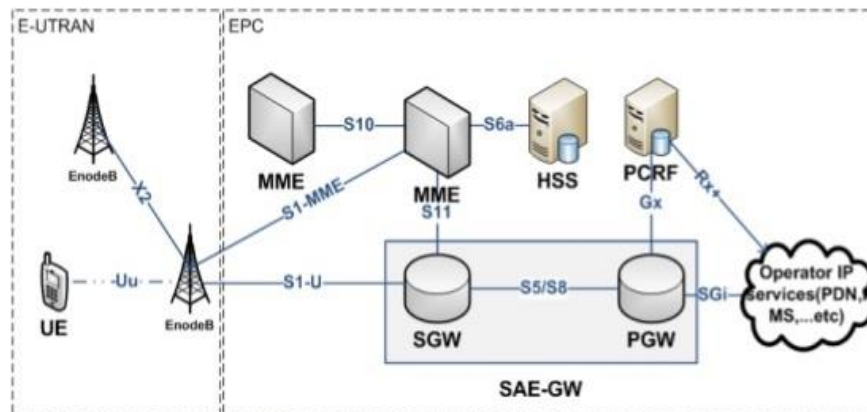
Radio Akses Network pada *network* SAE LTE atau sering disebut *Evolved-UMTS (E-UTRAN)* yang didiskusikan pada *RAN Evolution Workshop* November 2004. Pada *workshop* tersebut diidentifikasi beberapa garis besar kebutuhan (*high level requirement*) dari LTE yaitu[4]:

1. Mengurangi *cost per bit*
2. Meningkatkan pengadaan layanan
3. Penyederhanaan arsitektur, *open interface*
4. Penggunaan daya pada terminal yang *reasonable*
5. Fleksibilitas pada pemakaian pita frekuensi baru ataupun yang lama

Feasibility study pada E-UTRA dan E-UTRA mulai dikerjakan pada Desember 2004 dengan tujuan untuk membuat sebuah *framework* sebagai evolusi dari teknologi akses radio 3GPP sehingga didapatkan *data rate* yang tinggi, *low-latency* dan optimasi teknologi akses radio untuk paket *switched domain*. Pada Pertemuan bulan juni 2005, 3GPP RAN WG1 mulai melakukan evaluasi pada beberapa teknologi air *interface* baru yang akan dipakai sebagai *physical layer*

E-UTRA. 6 jenis *physical layer* yang berbasis WCDMA, SCDMA dan OFDMA. Pada tahun 2005 pula 3GPP RAN WG2 bertanggung jawab pada spesifikasi akses Radio *Layer 2* dan *Layer 3* mendiskusikan kesepakatan untuk protokol *air-interface* yang dipakai.

2.4. LTE SYSTEM ARCHITECTURE EVOLUTION



Gambar 2.1 Arsitektur SAE EPC.[4]

Sisi arsitektur LTE dikenal dengan suatu istilah SAE (*System Architecture Evolution*) yang menggambarkan suatu evolusi arsitektur dibandingkan dengan teknologi sebelumnya.[4] Secara keseluruhan *high level architecture* LTE mengadopsi teknologi *Evolved Packet System* didalamnya terdapat tiga komponen penting yakni *User Equipment* E-UTRAN dan EPC.

2.4.1 User Equipment (UE)

User Equipment adalah perangkat dalam LTE yang terletak paling ujung dan berdekatan dengan pengguna . Pada UE tersusun atas *mobile equipment* yang mempunyai fungsi untuk komunikasi radio dan SIM yang berisi nomor identitas pelanggan.[5]

2.4.2 E-UTRAN

E-UTRAN (*Evolved Terrestrial Radio Access Network*) adalah arsitektur LTE yang berfungsi menangani sisi radio akses dari UE ke jaringan

core. Pada teknologi sebelumnya, NodeB dan RNC dipisahkan menjadi elemen tersendiri, ini cukup berbeda di sistem LTE dimana E-UTRAN disatukan menjadi sebuah komponen yaitu *Evolved NodeB* atau eNB.

eNB secara fisik ialah suatu *base station* yang berada dipermukaan bumi atau diletakan di atas gedung – gedung. Pada eNB memungkinkan dilakukan *protocol control plane* dan *air interface user plane* secara bersamaan dalam satu unit tersebut sehingga perbedaan tersebut menghilangkan satu komponen dalam hirarki sisi *radio network*. Bila pada arsitektur *UTRAN*, NodeB hanya memiliki hubungan dengan RNC sehingga apabila NodeB ingin berkomunikasi dengan NodeB lainya wajib melewati RNC. Hal tersebut menimbulkan kurang efisien karena menyebabkan timbulnya *delay times*. Akan tetapi pada LTE hal itu bisa di minimalisir karena eNB terkoneksi langsung dengan eNB lainya melalui *interface logic*. eNB mempunyai dua *interface* sekaligus yaitu S1 untuk hubungan ke EPC, dan *interface X2* untuk menghubungkan langsung antar eNB. Fungsi utama dari *interface X2* ialah untuk mendukung akses komunikasi dan penerusan paket trafik pada saat UE melakukan *handover*. *Interface X2* ialah sebuah *logical interface* dan bukan berupa *physical interface*. [5]

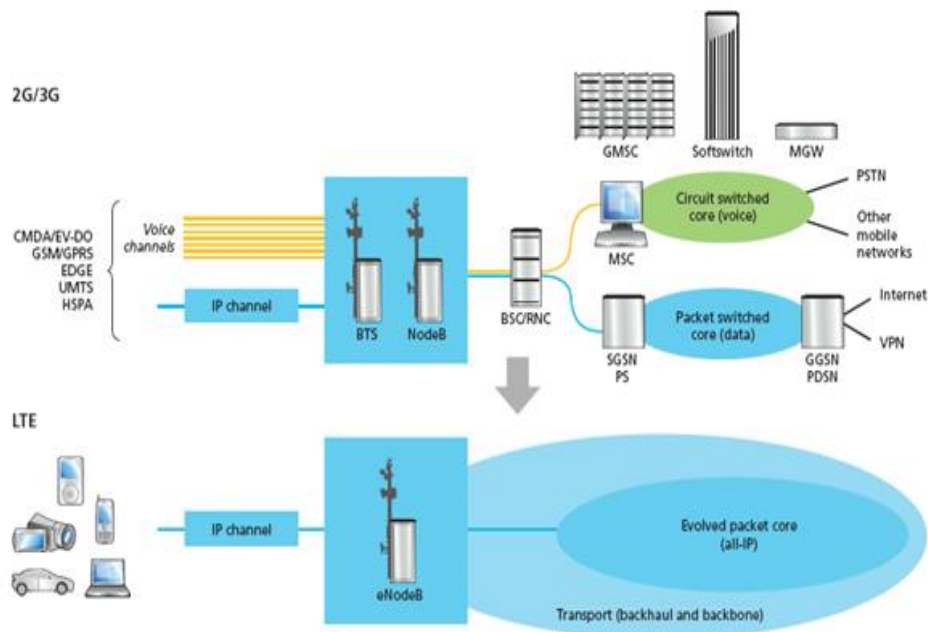
eNB mempunyai dua tugas yang amat penting, pertama yaitu sebagai *radio transmitter* dan *receiver* dan yang kedua ialah untuk mengontrol *low-level operation* semua *mobile user* seperti pada proses *handover*. Pada proses kedua eNB memakai prinsip seperti NodeB dan RNC di jaringan UMTS. Karena itu eNB bisa meningkatkan efisiensi dan optimalisasi dengan mengurangi *latency* yang timbul pada saat proses pertukaran informasi antara jaringan dengan UE pada saat *handover*.

2.4.3 Evolved Packet Core (EPC).

Evolved Packet Core (EPC) ialah suatu *system* baru pada evolusi arsitektur komunikasi selular, sebuah *system* dimana pada bagian *core network* memakai pengalamatan all-IP, sebuah kerangka konvergenensi yang berbasis *packet realtime* dan layanan *non-realtime* yang diciptakan oleh 3GPP *Realise 8* standar.[5] EPC menyediakan fungsionalitas *core mobile*

yang pada generasi 2G atau 3G mempunyai dua bagian yang terpisah yaitu sub-domain. *Packet Switched* dan *Circuit-Switched* untuk data seperti diperlihatkan pada gambar 2.1, dimana pengolahan dan *switching* antara *mobile voice* dan data, akan disatukan dalam domain IP tunggal. LTE akan menjadi sebuah sistem yang dari ujung node ke ujung node lainnya akan memakai pengalamatan full IP dari eNB, EPC dan sampai ke domain aplikasi (IMS atau non-IMS).

Peranan penting yang dimiliki EPC salah satunya ialah layanan pengiriman IP secara *end-to-end* pada *network* LTE. Dengan adanya peranan EPC yang mempunyai *high-performance* dan memiliki kapasitas *network* yang cukup besar di all-IP pada *core network*. menjadikan LTE memberikan layanan *realtime* yang lebih baik dan menyediakan berbagai layanan media yang beragam dengan adanya peningkatan *Quality of Experience*. EPC meningkatkan kinerja jaringan dengan memisahkan kontrol dan data melalui arsitektur IP yang ramping dimana akan mengurangi hirarki antara elemen data selular.



Gambar 2.2 Perbedaan *Core Mobile* pada 2G/3G dengan EPC.[5]

Perangkat - perangkat pada EPC dan arsitektur jaringan all – IP di jaringan LTE :

1. Layanan *Mobile*, seluruh layanan komunikasi data, video dan suara dibangun memakai protokol IP.
2. Arsitektur *Interworking* yang baru dari generasi *mobile* sebelumnya.
3. Skalabilitas diperlukan untuk mengatasi peningkatan koneksi pengguna, penggunaan *bandwidth* berlipat, dan mobilitas pengguna yang dapat bergerak secara dinamis.
4. *Availability* seluruh komponen untuk menjamin keberlangsungan layanan, EPC harus dapat berkomunikasi pada jaringan yang lama maupun yang baru.

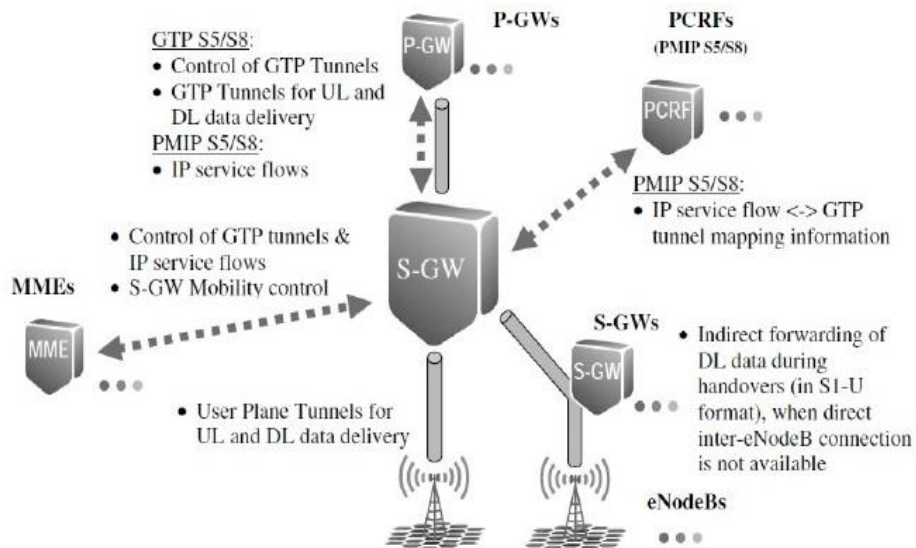
Pada EPC, terdapat 4 bagian utama yang mempunyai fungsi sangat penting di *network* LTE, yaitu S-GW, PGW, HSS dan MME.

2.4.4 Serving Gateway (S-GW)

S-GW memiliki fungsi untuk menjembatani antara manajemen dan *switching user plane*. S-GW ialah suatu bagian dari infrastruktur jaringan yang bekerja sebagai pusat *maintenance* dan oprasional. S-GW berperan relatif sedikit di bagian fungsi pengontrolan. S-GW hanya bertanggung jawab pada sumbernya sendiri, dan mengalokasikan berdasarkan permintaan dari MME, P-GW atau PCRF. Jika permintaan diterima oleh P-GW atau PCRF, S-GW akan memberitahu pada MME sehingga dapat mengontrol hubungan dengan eNB.[5]

Selama proses perpindahan diantara eNB, MME memberi perintah ke S-GW untuk membuat hubungan dari satu eNB ke eNB lain. Disamping itu MME juga mengirimkan permintaan ke S-GW untuk menyediakan *tunneling resources* untuk data *forwarding*, ketika diperlukan *forward data* dari sumber eNB ke eNB tujuan selama UE melaksanakan proses *handoff*. Skenario mobilitas juga termasuk ke dalam perubahan dari S-GW ke S-GW lainnya, MME mengontrol perubahan ini dengan menghapus *tunnel* pada S-GW yang lama dan mengaturnya pada S-GW yang baru. Pada semua aliran data yang masuk ke UE pada mode koneksi, S-GW menyampaikan data

antara eNB dan P-GW. Saat UE berada dalam kondisi *idle*, sumber dari eNB akan di diputuskan, dan laju data berakhir pada S-GW. Jika S-GW memperoleh paket data dari P-GW seperti *tunnel*, paket itu akan disimpan di *buffer*, kemudian MME akan menyampaikan permintaan untuk menisiasi *paging* pada UE. *Paging* tersebut menyebabkan UE terhubung kembali, dan ketika *tunnel* di hubungkan lagi, paket yang ada di *buffer* akan segera dikirim. S-GW akan memonitor data yang berada pada *tunnel*, dan mungkin juga diperlukan untuk pengumpulan data *accounting* dan *user charging*. Selain itu S-GW juga fungsi lain yaitu untuk *Lawfull Interception*, Yang artinya kemampuan untuk memonitor user dalam proses pengiriman data agar dapat dilakukan pemeriksaan lebih lanjut pada data tersebut.

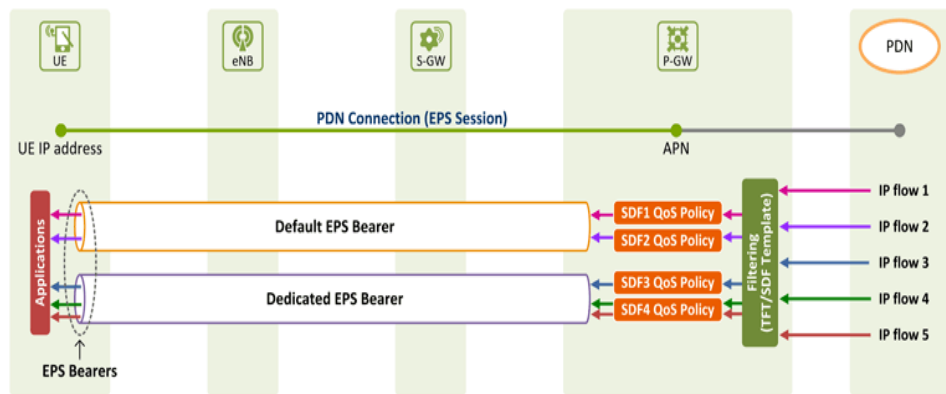


Gambar 2.4 Fungsi S-GW pada *network* LTE.[5]

Satu buah S-GW hanya dapat melayani sebuah area tertentu dengan jumlah perangkat eNB yang terbatas, dan juga dengan jumlah perangkat MME yang terbatas. S-GW yang berfungsi untuk mengontrol daerah tersebut. S-GW harusnya dapat menyambungkan ke banyak P-GW yang berada dalam satu *network*, karena P-GW tidak berubah selama UE mengalami perpindahan, sementara S-GW lokasinya dapat berubah, ketika UE mengalami perpindahan tempat. Untuk membuat koneksi ke sebuah UE maka S-GW akan selalu mengirim sinyal hanya dengan satu perangkat MME, dan *point user plane* ke sebuah eNB pada saat itu.

2.4.5 Packet Data Network Gateway (PDN-GW)

Packet Data Network Gateway (PDN-GW) ialah sebuah komponen yang berada di jaringan LTE yang memiliki fungsi untuk melakukan terminasi *Packet Data Network* (PDN). PDN-GW mendukung fitur seperti *policy enforcement features*, *packet filtering* dan *charging support*. Di LTE, trafik data diangkut oleh koneksi *virtual* yang disebut dengan *service data flows* (SDFs). Gambar 2.5 menunjukkan PDN-GW ialah sebuah *edge router* antara EPS dan *external packet data network*. [5] PDN-GW mempunyai level tertinggi pada *system*, biasanya memiliki peran sebagai pelengkap IP point pada UE. P-GW memiliki tugas untuk mengalokasikan *IP address* ke UE, agar UE dapat melakukan komunikasi dengan *IP host* lain pada *external network*, seperti internet.



Gambar 2.5 Koneksi SDF.[5]

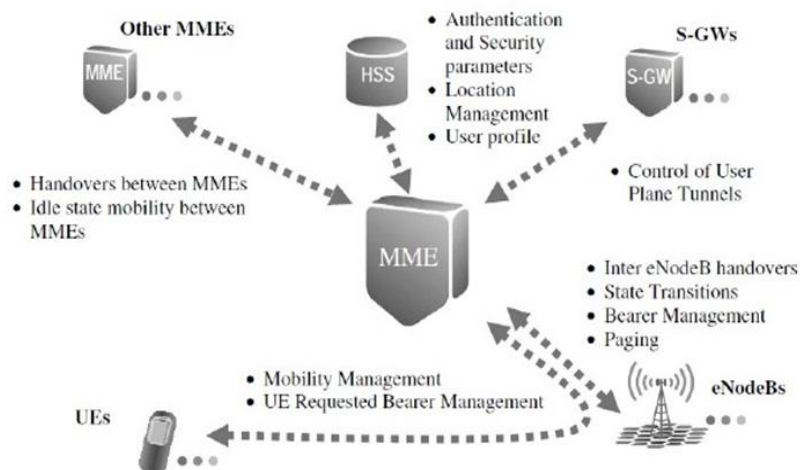
Biasanya *IP address* selalu dialokasikan ketika UE meminta koneksi ke PDN, ini karena ketika UE sedang terhubung ke jaringan dan juga pada saat diperlukannya koneksi baru ke PDN. Untuk menunjang performansi pada P-GW membutuhkan fungsi DHCP (*Dynamic Host Control Protocol*) yang berfungsi untuk mengirim pembagian IP otomatis ke UE. Traffik *user plane* antara P-GW dengan *external network* terbentuk dari variasi *IP service flow*. Disamping itu P-GW juga mempunyai fungsi lain sebagai *monitoring data flow* yang digunakan untuk *accounting*, sebagaimana *lawful interception*. P-GW merupakan level *mobility* tertinggi di sistem tersebut. Saat UE bergerak dari satu S-GW ke S-GW yang lainnya, *baerer* harus beralih dalam P-GW. P-

GW akan mendapatkan tanda untuk mengalihkan aliran dari S-GW yang baru. Setiap P-GW mungkin terkoneksi ke satu atau lebih PCRF, S-GW dan *external network*.

2.4.6 Home Subscription Service (HSS)

HSS ialah suatu tempat penyimpanan data pelanggan untuk semua data permanen pelanggan. HSS menyimpan *copy master* profil pelanggan, yang memuat informasi layanan yang pantas untuk diberikan pada pengguna tersebut, termasuk informasi mengenai diizinkan hubungannya ke PDN, dan *roaming* ke jaringan lain. Untuk mendukung antara *mobility non 3GPP*, HSS juga menyimpan identitas yang dipakai oleh P-GW.[5] Permanen *keys* dipakai untuk menghitung autentifikasi vektor yang dikirimkan ke jaringan yang dikunjungi oleh *user* untuk proses autentifikasi *user* dan menerima serangkaian *keys* untuk enkripsi dan proteksi integritas, disimpan dalam *Authentication Center* (AuC) yang menjadi bagian dari HSS.

2.4.7. Mobility Management Entity (MME).



Gambar 2.3 Fungsi dari MME.[5]

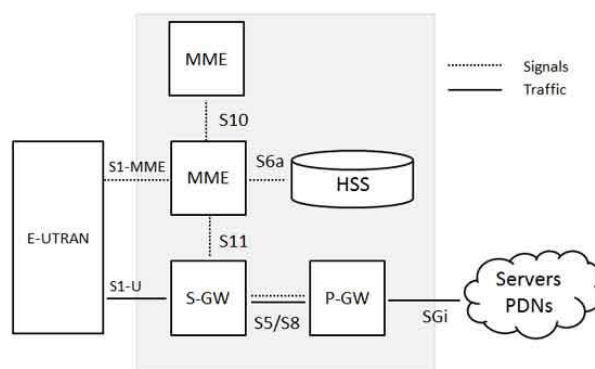
Mobility Management Entity (MME) adalah suatu elemen kontrol utama yang berada pada EPC. Biasanya MME menyediakan layanan

keamanan pada suatu operator. MME hanya bisa beroperasi pada *control plane* saja. Selain itu MME juga memiliki hubungan *control plane* langsung dengan UE, hubungan ini dipakai untuk *primary control channel*, yang digunakan menghubungkan antara UE dengan *network* LTE.[5] pada prinsipnya MME dihubungkan dengan MME lain pada sistem tersebut, akan tetapi hubungannya dibatasi hanya bisa ke satu operator jaringan saja. MME akan memakai *remote* koneksi ketika UE bergerak sangat jauh sementara *register* didapati terjadinya penurunan daya pada MME yang lama, setelah itu MME baru mendapat kembali identitas permanen dari pelanggan atau IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*), dari MME sebelumnya. Hubungan antar MME terjadi ketika UE mengalami proses perpindahan layanan atau *handoff*.

2.5 Interface pada Arsitektur LTE

Pada arsitektur LTE *interface* yang digunakan berupa *interface logic*. Terdapat berbagai *interface* yang berbeda pada *network* LTE yang berfungsi untuk menghubungkan perangkat satu sama lain. Pada arsitektur LTE dibagi menjadi 2 kelompokan *interface* Untuk mempermudah mempelajarinya

1. Arsitektur EPC (*Evolved Packet Core*)

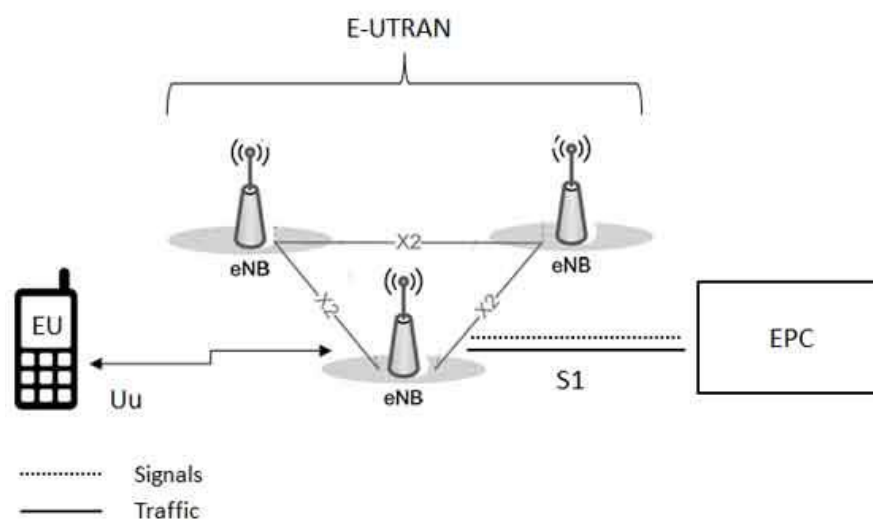


Gambar 2.6 Interface pada EPC [6]

Pada arsitektur EPC yang terlihat pada gambar 2.5 menunjukkan terdapat berbagai *interface* yang berbeda yang saling menghubungkan antar komponen pada EPC. Jaringan E-UTRAN dengan EPC dihubungkan dengan dua *interface* yang berbeda pada arsitektur LTE. Pertama *interface*

S1-UE yang menghubungkan antara E-UTRAN dengan S-GW, berfungsi untuk menangani trafik (*user plane*). Lalu yang kedua yaitu *interface* S1-MME yang menghubungkan antara E-UTRAN dengan MME, berfungsi untuk menangani *signaling message control plane*. Kemudian untuk menghubungkan S-GW dengan MME menggunakan *interface* S11, berfungsi untuk *session management*. *Interface* S5/S8 digunakan untuk menghubungkan S-GW dengan P-GW. *Interface* S8 digunakan saat S-GW dengan P-GW berada pada *network* yang berbeda sedangkan jika S-GW dengan P-GW berada pada *network* yang sama *Interface* S5 yang digunakan. *Interface* S6 digunakan untuk menghubungkan MME dengan HSS. Terakhir *Interface* SGi digunakan untuk menghubungkan EPC dengan PDN Gateway dan IMS.[6]

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



Gambar 2.7 Arsitektur E-UTRAN.[5]

Salah satu fungsi utama dari E-UTRAN adalah untuk menghubungkan antara eNB dengan EPC. Pada E-UTRAN terdapat 3 *interface* seperti terlihat pada gambar 2.6 yaitu *interface* S1 yang digunakan untuk menghubungkan eNB dengan EPC akan tetapi *interface* S1 merupakan sebuah *interface logical* bukan *interface physical*. *Interface* X2 digunakan untuk menghubungkan antar eNB, proses *handover* juga terjadi pada

interface ini. Terakhir yaitu *interface* Uu berfungsi untuk menghubungkan UE dengan eNB melalui *air interface*.

2.6 Downlink Physical Resources

2.6.1 Downlink Reference Signal.

Delapan *Resource Element* (RE) per *Resource Block* (RB) untuk membawa *Downlink Reference Signal* (RS) apabila sistem menggunakan 1 port antena. RS digunakan oleh UE untuk mengidentifikasi sel dan untuk melakukan estimasi kanal.[7] Pada sistem MIMO, RS memungkinkan UE untuk membedakan antara port antena yang satu dengan yang lain. Saat sebuah port antena mengirimkan sinyal RS, antena yang lain tidak akan mengirimkan data apapun, ini dapat diartikan bahwa total 16 RE yang diperlukan pada sistem MIMO 2x2. Dengan adanya DL *reference signal* dan alokasi RE untuk port antena yang lain maka jumlah RE yang tersedia untuk data pengguna per RB (1ms) berkurang menjadi:

- 1 Antena Port : $168 - 8 = 160$
- 2 Antena Port : $2*(168 - 16) = 304$
- 4 Antena Port : $4*(168 - 24) = 576$

2.6.2 Downlink Physical Broadcast Channel.

Broadcast Channel (BC) adalah *transport channel* yang digunakan untuk membawa sistem informasi bagi UE dalam keadaan *idle*. Sistem informasi ini dibagi menjadi MIB dan SIB. *Master Information Block* (MIB) mengandung SFN dan informasi sistem *bandwidth*. SIB membawa PLMN ID. Sisanya *System Information Block* (SIBs) membawa *dynamic system information*. [7]

Physical Broadcast Channel (PBCH) adalah *physical layer* yang membawa bagian dari BCH. PBCH yang hanya dikirim pada 72 pusat (DC+/- 36) *subcarrier* dan menggunakan empat simbol OFDM pertama pada slot kedua di *subframe* pertama dari setiap 10 ms *radio frame*. Namun kadang – kadang PBCH bertabrakan dengan *Reference Signal* dan RS

yang memiliki prioritas lebih tinggi daripada PBCH. Oleh karena itu, sistem selalu mengalokasikan *Resource Element* ke PBCH jika empat port antenna yang digunakan untuk menghindari tabrakan. Ini berarti bahwa akan ada jumlah tambahan lubang di mana PBCH di transmisikan.

2.6.3 Downlink User Data plane

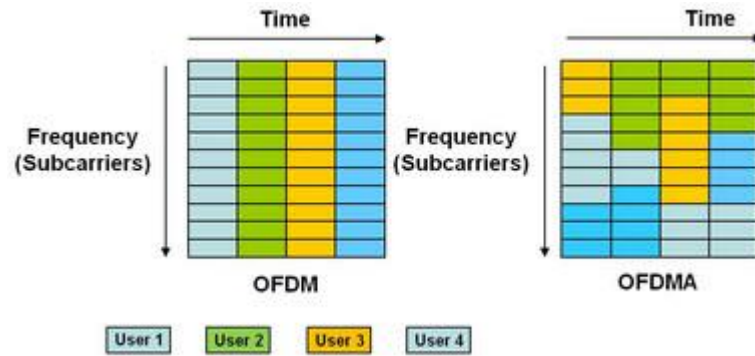
Jumlah user data yang dapat dibawa oleh RB (*resource block*) akan tergantung pada jumlah RE (*resource element*) yang tersisa setelah *reference signal*, *L1/L2 control signaling*, *synchronization signal*, PBCH, Teknik modulasi dan antenna yang digunakan. Tingkat data user plane tertinggi dicapai ketika *resource block* tidak membawa *reference signal*, *L1/L2 control signaling*, *synchronization signal* dan PBCH. [7]

Ketika 1 port antenna yang digunakan dalam RB memiliki 150 RE yang tersedia untuk *user data plane*. Maka user plane akan membawa 300,600, dan 900 bit dengan menggunakan modulasi QPSK, 16QAM atau 64QAM. Jumlah maksimum bit pada *physical data shared channel* (PDSCH) dalam satu RB adalah 1728 bit. Ini dicapai dengan mengirimkan data yang berbeda menggunakan 2 antenna port. Sedangkan jumlah minimum bit yang dapat dibawa pada PDSCH dalam satu RB adalah 88bit dengan menggunakan 1 port antenna. Perlu diingat bahwa PDSC sebenarnya merupakan campuran dari RB yang berbeda dan jumlah *L1/L2 control signaling* yang berbeda – beda dengan skema modulasi yang berbeda - beda juga.

2.7 OFDM dan OFDMA

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan sebuah teknik transmisi data yang melewatkan data ke dalam sebuah subcarrier sempit yang saling tegak lurus atau *orthogonal*. OFDM sering disebut juga sebagai metode kombinasi dari modulasi dan *multiplexing*. OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) ialah suatu teknik akses jamak yang dikembangkan dari teknologi OFDM, tetapi pada OFDMA memiliki suatu perbedaan yang mendasar ialah pada satu subcarrier

dapat digunakan oleh beberapa user yang mempunyai symbol OFDMA yang berbeda. Sedangkan pada OFDM dalam satu subcarrier hanya dapat digunakan oleh user yang mempunyai symbol OFDM yang sama. Perbedaan OFDM dengan OFDMA dapat dilihat di Gambar 2.7. [7]



Gambar 2.8 Perbedaan OFDM dengan OFDMA.[7]

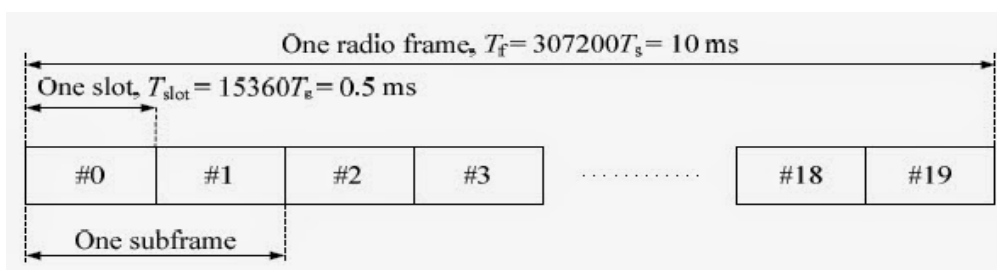
OFDM membagi bandwidth yang masih tersedia menjadi beberapa narrow-band subcarrier dan mengalokasikan subcarrier kepada pengguna yang aktif berdasarkan kriteria tertentu.

2.8 Frame Structure dan Resource Block

Pada transmisi *multicarrier* seperti OFDM, suatu data dikirim melalui sebuah kanal paralel yang membawa data berkecepatan rendah. Suatu sinyal dalam sebuah spektrum frekuensi khusus dapat dipisahkan menurut domain frekuensi dan domain waktu. Dalam sebuah transmisi frekuensi radio dikenal dengan *frame radio structure*. *Frame Radio Structure* merupakan suatu susunan data dalam domain waktu yang memuat pensinyalan informasi yang dikirim 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 TDD (*Time Division Duplex*) dan FDD (*Frequency Division Duplex*) secara fleksibel. Masing – masing metode tersebut menggunakan struktur *frame* yang berbeda.[7]

Pada mode TDD frame 0 dan 5 digunakan untuk operasi *downlink* sementara pada *frame* 1 dan 6 digunakan untuk sinkronisasi dan alokasi *frame*

yang dipergunakan dapat berubah menyesuaikan teknologi *duplexing* yang digunakan. Pada struktur *frame* FDD, 1 radio *frame* terdiri dari 10 *subframe* yang nilainya 10 ms. Dikarenakan pada FDD menggunakan dua jalur frekuensi yang berbeda untuk kanal *downlink* dan kanal *uplink*, maka struktur *frame* *uplink* dan *downlink* tetap sama. Satu radio *frame* pada OFDM terdiri atas 10 *subframe* dan 20 slot penyusun sehingga dalam satu detik waktu transmisi akan terdapat 1000 *subframe* yang dikirim ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Waktu dalam satu radio *frame*[6]

Nilai 307200 merupakan nilai sampling yang digunakan pada satu satuan waktu. Satu Slot di radio *frame* OFD terdiri dari 7 simbol yang berbeda di dalamnya. Simbol inilah yang memuat data yang sudah termodulasi. Modulasi tersebut dapat berupa 64QAM, 16QAM dan QPSK pada OFDM masing – masing simbol dimasukan suatu informasi Bersama CP untuk menghindari ICI dan ISI. CP yang digunakan pada OFDM memiliki dua tipe yaitu *extended* CP dan *short* CP. *Extended* CP digunakan untuk beberapa kondisi kanal tertentu yang cenderung buruk sedangkan *short* CP digunakan untuk komunikasi normal pada umumnya atau dengan kondisi kanal yang baik. Perbedaan pada *short* CP dan *extended* CP terletak pada Panjang dan pendeknya durasi CP yang disisipkan.

Dalam system OFDMA dikenal sebuah istilah *resource block* (RB). *Resource Block* adalah suatu blok transmisi pada OFDM yang disusun dari domain waktu dan domain frekuensi. Pada domain frekuensi satu RB terdiri dari 12 subcarrier dengan masing – masing subcarrier memiliki frekuensi sebesar 15 Khz sehingga dalam satu *resource blok* memuat *bandwidth* sebesar 180 Khz (15Khz x 12 *Subcarrier* = 180 Khz). Bagian yang lebih kecil

dari *resource blok* ialah *Resource Element*. RE terdiri dari 1 simbol dan 1 *subcarrier*, sehingga satu RB terdapat 84 RE jika menggunakan *short CP*. Banyaknya jumlah *resource block* tergantung pada *bandwidth* yang digunakan. Dengan begitu, semakin lebar *bandwidth* yang digunakan maka semakin banyak alokasi RB sehingga *throughput* yang didapatkan oleh *user* semakin tinggi. Alokasi *bandwidth* yang fleksible digunakan pada sistem LTE yaitu 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz dan 20 MHz. table 2.1 menunjukkan pengaruh kapasitas *bandwidth* (RB) yang digunakan terhadap RB (*Resource Block*)

Tabel 2.1 Perbandingan *Channel Bandwidth* dengan *RB Number*. [7]

Channel Bandwidth (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
RB Number / Slot	6	15	25	50	75	100

2.9 Parameter *Radio Key Performance Indicator* (KPI)

2.9.1 RSRP (*Reference Signal Recaive Power*)

RSRP adalah kuat daya rata – rata pada sebuah resource element yang membawa sinyal refensi sel spesifik di dalam bandwidth yang tersedia .Pada perancangan skema Mobility Load balancing parameter ini digunakan sebagai acuan untuk menentukan keputusan apakah sebuah UE layak untuk dilakukan handover ke sel tetangga atau tetap berada pada sel serving. [8]

2.9.2 RSRQ (*Reference Signal Recaive Quality*)

RSRQ didefinisikan sebagai rasio $N \times \text{RSRP} / (\text{pembawa RSSI E-UTRA})$, dimana N adalah jumlah RB dari bandwidth pengukuran RSSI E-UTRA carrier. Pengukuran pada pembilang dan penyebut harus dibuat di atas blok sumber yang sama . [9]

2.9.3 SINR (*Signal to Noise and Interference Ratio*)

SINR didefinisikan sebagai rata-rata linier daya *resource element* yang membawa sinyal referensi spesifik sel dibagi dengan rata-rata linier

noise dan interferensi daya terhadap *resource element* yang membawa sinyal referensi spesifik sel dalam bandwidth frekuensi yang sama .[9]

2.9.4 Throughput.

Throughput adalah jumlah paket data yang dikirim sampai ke tujuan dalam satuan waktu.[5]

$$x = \frac{\sum_{i=0}^n RXi}{t} \quad (2.1)$$

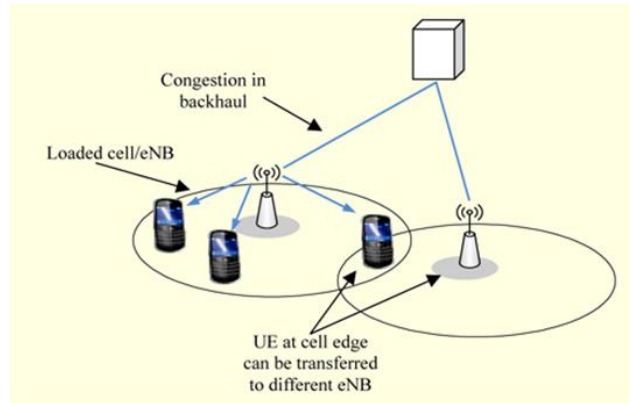
- x = *throughput*
- n = Jumlah pengguna
- i = pengguna
- RX = bit data yang diterima
- t = waktu simulasi

2.10 Load Balancing

Load Balancing adalah suatu teknik yang digunakan untuk mendistribusikan beban *traffic* pada dua atau lebih jalur transmisi secara seimbang, agar *traffic* dapat berjalan optimal, memaksimalkan *throughput* yang ada dan mempersingkat *delay* dan mencegah terjadinya *overload* pada salah satu jalur transmisi. Tujuan dilakukan *load balancing* pada jaringan LTE adalah untuk menyeimbangkan beban *traffic* pada sel-sel yang memiliki beban *traffic overload* di suatu wilayah tertentu dengan cara mengontrol parameter mobilitas dan konfigurasi ue termasuk nilai *threshold*.[9] *Load Balancing* pada LTE dapat dicapai dengan cara merubah parameter *mobility standart* dan konfigurasi parameter seperti *offset* dan *threshold* yang dipertukarkan antar eNB *Load balancing* sebenarnya sudah digunakan terlebih dahulu pada sistem selular generasi ke dua atau GSM dan 3G, tetapi pada dua generasi sebelumnya masih bersifat *static*. *Load balancing* harus dapat bereaksi secara dinamis terhadap situasi yang terjadi seperti perubahan kepadatan trafik pada suatu waktu di suatu wilayah. Efek *load balancing* didapatkan dengan mempertimbangkan kepadatan trafik yang di hasilkan

ketika mengkonfigurasi parameter *mobility*, baik ketika dalam tahap perencanaan jaringan, atau pada tahapan optimasi selama eNB beroperasi.

2.10.1 Mobility Load Balancing



Gambar 2.10 ilustrasi mobility load balancing.[9]

Pada sistem selular generasi ke empat atau LTE, *mobility load balancing* (MLB) adalah salah satu fungsi terpenting dari *self organizing network*. Pada jaringan selular permintaan lalu lintas trafik dapat berubah secara dinamis baik itu terhadap ruang dan waktu.[9] Kondisi seperti ini menyebabkan beberapa sel mengalami kepadatan trafik sedangkan ada beberapa sel yang tidak mengalami peningkatan trafik. Maka dari itu dilakukanlah konsep MLB untuk mendistribusikan kepadatan trafik secara merata ke sel – sel yang berdekatan, dengan cara melakukan proses *handover* pada UE yang berada pada ujung sel yang sangat padat ke sel tetangga yang memiliki beban trafik lebih sedikit.

Pada LTE terdapat dua skenario untuk dapat dilakukannya MLB sebagai berikut:

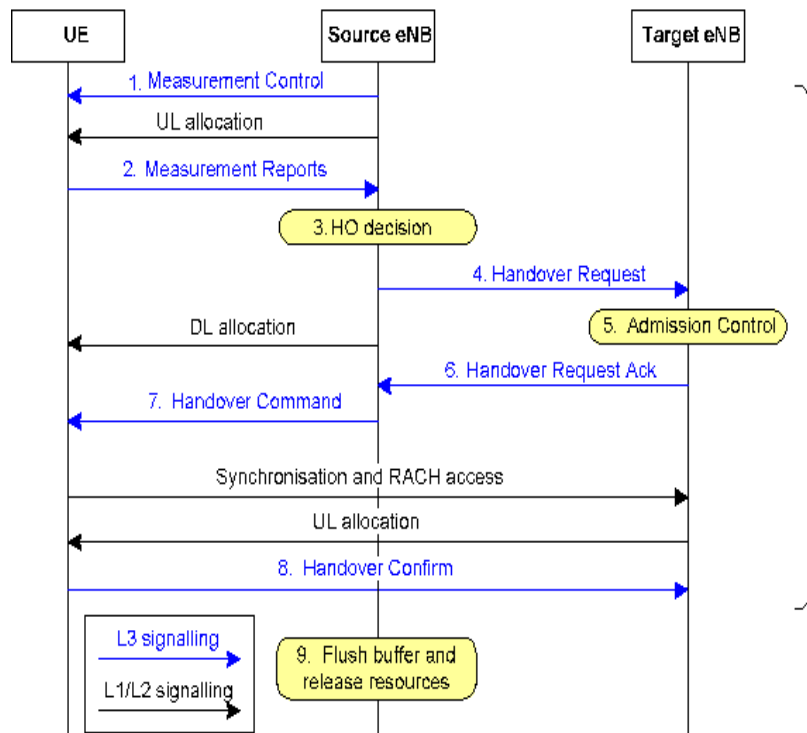
1. MLB Based on Handover pada LTE

Mobility load balancing based on handover atau sering disebut HO-MLB merupakan salah satu fitur yang dimiliki oleh *self organizing network* pada jaringan selular LTE. Cara kerja dari HO-MLB adalah dengan menurunkan nilai CIO (*Cell Individual Offset*) pada sel yang memiliki beban trafik padat agar UE yang berada di tepi sel dipaksa

handoff ke sell tetangga yang memiliki memiliki beban trafik lebih ringan untuk berbagi beban trafik.

a. Prosedur Handover pada LTE

Tahapan *Handover* (HO) pada 3GPP LTE dimulai dengan laporan pengukuran transmisi dari UE untuk sel sumbernya. UE secara berkala melakukan pengukuran saluran *downlink* berdasarkan simbol referensi sel-spesifik dan mengecek apakah kekuatan sinyal dan kualitas sinyal memenuhi kondisi tertentu.[] Lalu ketika UE mendapatkan kekuatan sinyal dan *power* yang kurang bagus dari eNB yang melayani UE, maka UE sudah memenuhi persyaratan untuk di *handover* ke eNB terdekat. untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.11



Gambar 2.11 prosedur Handover pada LTE.[4]

Prosedur Handoff pada LTE sebagai berikut

1. eNB *servin* akan mengirimkan pesan *Measurment Control* ke UE. Isinya beupa nilai ambang batas yang akan digunakan untuk *measurent report(MR)*.

2. Ketika kondisi tersebut terpenuhi, UE akan kembali mengirimkan pesan MR ke eNB *-serving*.
 3. eNB akan mengambil keputusan berdasarkan nilai UE *Report*.
 4. eNB *-serving* akan mengirimkan *handoff request* ke eNB target.
 5. eNB target akan mengoreksi pesan *request* yang masuk dari perintah *admission control*.
 6. eNB target akan mengirim pesan *Handoff Request Ack* ke eNB *-serving*.
 7. eNB *-serving* akan mengirimkan pesan *Handoff Command* pada UE dan eNB lalu eNB *-serving* akan mengirimkan paket *downlink* UE ke eNB target
 8. UE mengirimkan pesan *Handoff Confirm* ke eNB target sehingga UE bisa langsung dilayani oleh eNB target.
- b. Jenis - jenis Handover pada LTE

1. Intra Handover menggunakan Interface X2

Intra handover terjadi dalam satu E-UTRAN yang sama. *Intra Handover* dapat terjadi ketika eNB sumber terhubung langsung ke eNB target menggunakan *interface X2*. Proses *handover* dilakukan tanpa melibatkan EPC. Pesan persiapan *handover* di kirim langsung dari eNB sumber ke eNB target dan pesan pemutusan hubungan UE dengan eNB sumber dilakukan oleh eNB target.

2. Intra Handover menggunakan Interface S1

Handover jenis ini terjadi dalam satu *network* yang sama. *Handover* ini dapat terjadi ketika proses *handover* menggunakan *interface X2* gagal dilakukan. Contohnya ketika koneksi X2 dari eNB sumber ke eNB target tidak dapat dilakukan, lalu eNB sumber akan mendapat pesan indikasi kesalahan dari eNB target kemudian informasi tersebut dipelajari oleh eNB sumber menggunakan prosedur *STATUS TRANSFER*. eNB sumber akan melaporkan kegagalan ini ke MME. Jika hubungan langsung antar eNB tidak tersedia maka MME akan mengambil keputusan untuk menggunakan hubungan tidak langsung ke eNB target.

3. Inter MME *Handover* menggunakan *Interface S1*(tanpa perubahan S-GW)

Handover antar MME terjadi ketika UE bergerak dari satu daerah ke daerah lain yang memiliki MME yang berbeda. Tetapi kedua MME yang terlibat dalam proses *handover* masih terhubung ke S-GW yang sama.

4. Inter MME *Handover* menggunakan *Interface S1*

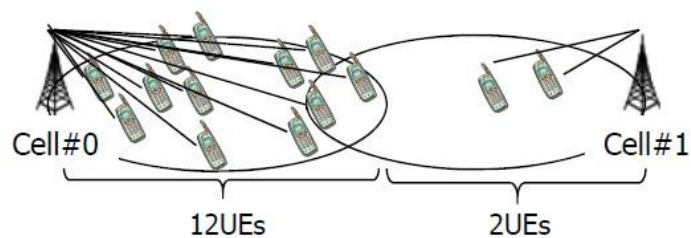
Handover jenis ini memiliki kesamaan dengan skenario *handover* sebelumnya hanya saja MME yang terlibat proses *handover* memiliki S-GW yang berbeda.

5. Inter-RAT *Handover*

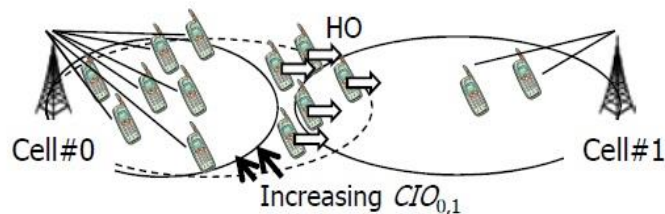
Inter-RAT Handover terjadi antara sel – sel yang memiliki dua teknologi akses radio yang berbeda. Contohnya ketika terjadi *handover* dari LTE ke WCDMA.

c. Skema *MLB Handover*.

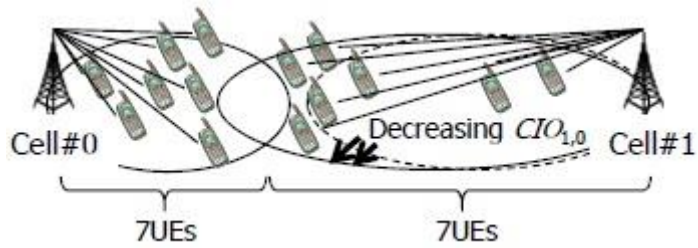
Cara kerja dari skema *MLB-Handover* diilustrasikan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.12(a) Sebelum dilakukanya MLB-HO.[10]



Gambar 2.12(b) Mengurangi Parameter CIO di sel#0.[10]



Gambar 2.12(c) Menambah Parameter CIO di sel#1.[10]

Pada gambar 2.12(a) diilustrasikan 12 UE sedang dilayani oleh sel 0 dan 2 UE dilayani oleh sel 1. Pada gambar 2.12(b) terlihat bagaimana skema MLB-HO bekerja dimana lima UE yang berada pada sel 0 berpindah layanan atau *Handover* ke sel 1 dengan mengurangi *coverage* sel 0 atau menurunkan nilai parameter CIO pada sel 0. Terakhir untuk menjaga agar lima UE yang sebelumnya telah di *handover* ke sel 1 tetap berada pada sel 1, sel 1 meningkatkan *coverage*-nya atau meningkatkan nilai parameter CIO pada sel 1 hal ini dilakukan bertujuan untuk mencegah efek *ping-pong* pada lima UE yang telah di *handover* ke sel 1 seperti ditunjukkan pada gambar 2.12(c).[10]

2. MLB Based on Cell Reselection pada LTE

- a. Prosedur *Cell Reselection* yang dikeluarkan oleh 3GPP bekerja sebagai berikut. UE sedang dalam keadaan *idle mode* Lalu RRC(*radio resource control*) secara periodik melakukan pengukuran *idle mode* terhadap UE. Bila UE telah lebih dari 1 detik dilayani oleh sel *-serving* dan mengikuti kondisi (5) terpenuhi selama interval waktu yang dari *TreselectionRAT*, UE yang dilayani Sel *-serving* akan melakukan *reselection* ke sel target.[10]

$$M_1 - M_0 > Q_{Hyst0} + Q_{Offset1} \quad (2.2)$$

Keterangan:

M_1 = eNB *target*

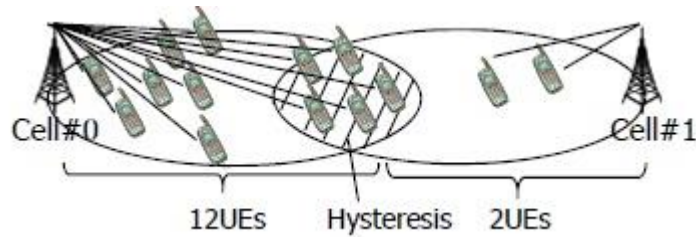
M_0 = eNB *-serving*

Q_{Hyst0} = Hysterisist parameter

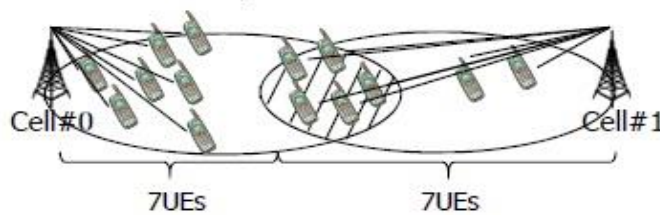
Q_{Offset_1} = Offset parameter

b. Skema MLB-Cell Reselection

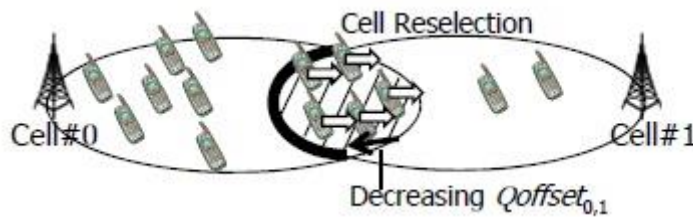
Gambar 2.13 mengilustrasikan cara kerja dari skema MLB-cell reselection.



Gambar 2.13(a) Sebelum dilakukanya CR-MLB.[10]



Gambar 2.13(b) CR-MLB menurunkan Q_{offset} sel 1 untuk memaksa UE dalam *RRC idle mode* di sekitar sel *edge* melakukan *reselection* ke sel 1.[10]



Gambar 2.13(c) 5 UE telah berpindah ke sel 1 setelah dilakukanya skema CR-MLB.[10]

Pada gambar 2.13(a) diilustrasikan 12 UE sedang dilayani oleh sel 0 dan 2 UE dilayani oleh sel 1, 12 UE dan 2 UE tersebut sedang dalam keadaan *RRC connected mode* ke sel 0 dan sel 1. Skema CR-MLB menurunkan Q_{offset} dari sel 1, untuk membuat waktu *cell reselection* dari sel 0 ke sel 1 seperti ditunjukkan pada gambar 2.13(b) UE pada sel 0 akan berganti dari *RRC connected mode* ke *RRC idle mode*, sehingga

UE yang berada di tepi sel 0 akan melakukan *cell reselection* ke sel 1. Kesimpulannya, jika UE masih dalam wilayah *hysteresis*, maka dapat berpotensi terhubung ke sel 0 dan sel 1. Setelah UE terhubung ke salah satu sel maka UE tidak memenuhi kondisi dilakukannya *handover* ke sel lain dan akan tetap dilayani oleh sel 1. CR-MLB memindahkan UE tersebut ke sel yang memiliki trafik rendah, ketika UE sedang dalam kondisi *RRC idle mode*. [10]

2.11 LTE Event

Dalam sistem LTE, pesan *RRC connection reconfiguration* digunakan untuk mengkonfigurasi UE *measurment reporting*. Ini menggantikan *measurment control message* yang digunakan dalam sistem UMTS. LTE *measurment reporting event* terdiri dari 5 *intra-system* dan 2 *inter-system event* seperti dijelaskan dibawah ini. LTE *event* A1, A2, A3, A4 dan A5 berdasarkan pada pesan dari kedua parameter RSRP dan RSRQ. Untuk *inter-system event* B1 dan B2 berdasarkan pada paramter CPICH RSCP atau CPICH Ec/Io untuk sistem UMTS, RSSI untuk GSM dan *pilot strength* untuk CDMA2000. Adapun kriteria untuk terjadinya *triggering* dan pembatalan setiap *event* akan dievaluasi setelah diterapkannya *filtering* di layer tiga. Kriteria untuk setiap *event* harus memuaskan selama berlangsungnya proses *time to trigger*. *time to trigger* dapat bebas dikonfigurasi untuk setiap *event*. Nilai – nilai yang dapat digunakan untuk menkonfigurasi waktu dari *time to trigger* adalah 0,40,64,80,100,128,160,256,320,480,512,640,1024 sampai 1280.[11]

1. LTE event A1

LTE *event* A1 dipicu ketika sel yang melayani menjadi lebih baik dari nilai *threshold*. *Event* ini dipicu ketika kondisi berikut ini terpenuhi:[11]

$$MEAS_{serv} - Hyst > Threshold \quad (2.3)$$

Event ini dapat dibatalkan ketika kondisi ini terjadi :

$$MEAS_{serv} + Hyst < Threshold \quad (2.4)$$

Keterangan

$MEAS_{serv}$ = Pengukuran daya terima pada UE dari sel *servicing*

$Hyst$ = Parameter *hysteresis* (0 sampai 30dB)

$Threshold$ = Nilai ambang batas yang di set pada suatu sel

2. LTE event A2

LTE event A2 dipicu ketika sel yang melayani menjadi lebih buruk dari nilai *threshold*. Event ini dipicu ketika kondisi berikut ini terpenuhi:[11]

$$MEAS_{serv} + Hyst < Threshold \quad (2.5)$$

Event ini dapat dibatalkan ketika kondisi ini terjadi :

$MEAS_{serv}$ = Pengukuran daya terima pada UE dari sel *servicing*

$Hyst$ = Parameter *hysteresis* (0 sampai 30dB)

$Threshold$ = Nilai ambang batas yang di set pada suatu sel

3. LTE event A3

LTE event A3 dipicu ketika sel *neighbouring* menjadi lebih baik dari sel *servicing* dengan mengatur parameter *offset*. Event ini dipicu ketika kondisi berikut ini terpenuhi:[11]

$$M_0 + Hys_0 + a3Offset_0 < M_1 + CIO \quad (2.6)$$

M_0 = eNB *servicing*

M_1 = eNB *target*

Hys_0 = nilai parameter *hysteresis*

$a3Offset_0$ = event A3 *offset*

$CIO_{0,1}$ = *Cell Individual Offset*

4. LTE event A4

LTE event A4 dipicu ketika sel *neighbouring* menjadi lebih baik dari nilai *threshold*. Event ini dipicu ketika kondisi berikut ini terpenuhi:[11]

$$MEAS_{neigh} + O_{neigh,freq} + O_{neigh,cell} - Hyst > Threshold \quad (2.7)$$

$MEAS_{neigh}$ = Pengukuran daya terima pada UE dari *neighbouring* sel

$O_{neigh,cell}$ = *neighbouring* sel

$O_{neigh,freq}$ = Frekuensi dari *neighbouring* sel

Hyst = Parameter *hysteresis* (0 sampai 30dB)

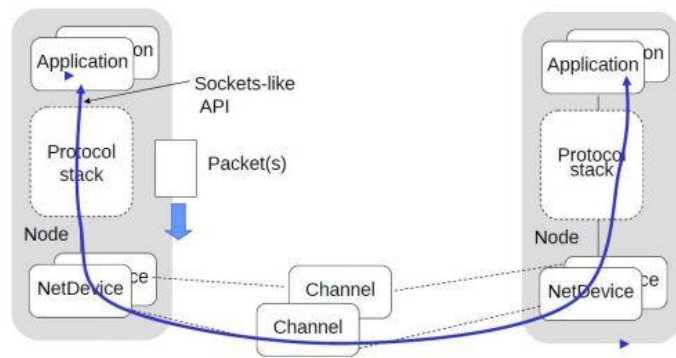
Threshold = Nilai ambang batas yang di set pada suatu sel

2.12 NETWORK SIMULATOR 3

NS-3 merupakan singkatan dari Network Simulator 3 adalah sebuah discrete event network Simulator yang digunakan untuk mempelajari *dynamic nature* dari *communication networks*. Simulasi dari *wireless* maupun *wired network* (TCP, UDP, routing algorithms, dll) dapat dilakukan dengan memakai NS3. NS3 mendukung pengembangan model Simulasi yang hampir mendekati kondisi nyata dan mempunyai karakteristik seperti emulator Jaringan. Selain dapat dipakai untuk Simulator Jaringan berbasis non-IP, NS3 juga dapat dipakai sebagai Simulator Jaringan berbasis IP.[12]

2.12.1 Konsep Dasar NS-3

Hal pertama yang harus dilakukan ialah mengenal terlebih dahulu beberapa konsep dan abstraksi NS-3. Pada bagian ini akan mempelajari mengenai beberapa istilah yang biasa dipakai pada jaringan, dimana mempunyai spesifikasi di NS-3. Perhatikan pada gambar 2.14.[12]



Gambar 2.14 UI NetAnim yang telah ter-*install*

1. *Node*

Sebuah computer yang terkoneksi pada sebuah *network* biasa disebut *host* atau *end system*. Karena NS-3 adalah sebuah *simulator* jaringan, bukan internet simulator, jadi untuk istilah *host* tidak digunakan, istilah *host* diganti dengan menggunakan istilah lain yaitu *the node*. Pada NS-3, sebuah perangkat jaringan sederhana ialah *node*. Abstraksi ini sering diperlihatkan oleh simulator NS-3 dengan kelas *node* pada bahasa pemrograman C++. Kelas ini untuk menggambarkan dari sebuah perangkat jaringan pada simulasi.

2. *Host*

Host dapat diartikan sebagai komputer, yang nantinya akan ditambahkan beberapa fitur-fitur pendukung yaitu seperti aplikasi, protokol internet dan beberapa penambahan fungsional lainnya yang dapat menunjang dari kinerja komputer tersebut.

3. *Application*

Aplikasi NS-3 berjalan pada *node* NS-3 untuk menjalankan simulasi, pada NS-3 abstraksi dapat diartikan sebagai program yang menghasilkan beberapa kegiatan yang akan disimulasikan adalah aplikasi.abstraksi diwakili dalam C++ oleh kelas *application*. Kelas *application* menyediakan metod untuk mengelola representasi versi NS-3 pada aplikasi *user* dalam simulasi.

4. *Channel*

Ialah sebuah media dimana aliran data pada jaringan mengalir disebut *channel*. Di NS-3 seseorang menghubungkan sebuah *node* ke node lain menggunakan *channel*, pada NS-3 *channel* menggambarkan sebuah saluran komunikasi.

5. *Net Device*

Supaya dapat terhubung dengan jaringan, komputer harus mempunyai *hardware* yang sering disebut dengan *peripheral card*. *Peripheral card* tersebut diterapkan beberapa fungsi jaringan, sehingga disebut *network interface card (NICs)*. NIC tidak akan bisa digunakan tanpa sebuah *software driver* untuk mengontrol *hardware*, disebut juga sebagai *device*. *Device* dikendalikan memakai *network device driver*, dan NIC dikendalikan menggunakan *network device driver network device* yang disebut dengan *net device*, di NS-3, *net device* meliputi *software driver* dan *hardware-nya*. Sebuah *net device* akan di install di sebuah *node* lainnya dengan simulasi melalui *channels*. Abstraksi *net device* digambarkan dengan C++ oleh kelas *net device*. Kelas *net device* menyediakan metode untuk mengatur koneksi ke objek *node* dan *channels*.

6. *Topology Helpers*.

Pada sebuah simulasi *network* yang besar dibutuhkan banyak hubungan untuk mengatur antar *node*, *net device* serta *channels*. NS-3 menyediakan apa yang disebut objek *topology helpers* untuk mengatur simulasi-simulasi jaringan semudah mungkin.

2.12.2 *NetAnim*

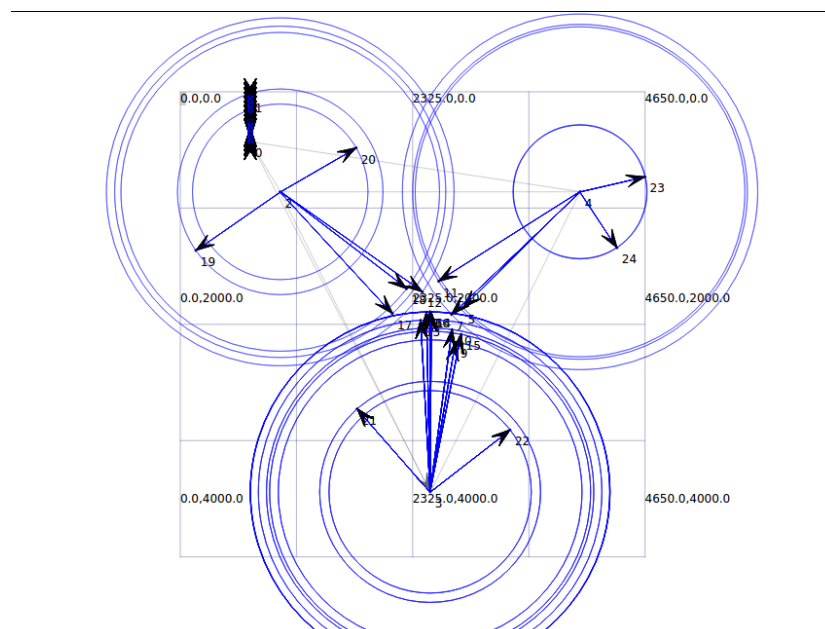
NetAnim merupakan sebuah aplikasi untuk menampilkan salah satu *output* dari simulasi pada NS-3. NetAnim akan membaca file yang berekstensi *.xml*, yang dimana untuk menghasilkan *Output*, suatu *script* yang akan dijalankan harus memiliki module untuk mendukung *script* netanim untuk simulasi nya. Agar lebih bisa dilihat contoh gambar 2.15.[12]

```
#include "ns3/netanim-module.h" //module untuk animasi netanim
+
+
+
AnimationInterface anim ("myfirst.xml");//membuat output file
netanim
+
+

Simulator::Run (); //simulator running
Simulator::Destroy (); //simulator destroy
return 0;
```

Gambar 2.15 contoh script untuk memunculkan NetAnim

Berdasarkan gambar diatas dapat dijelaskan, *module NetAnim* harus dipastikan telah terdeklarasi pada awal *script* beserta *module* lainnya untuk memastikan *library NetAnim* telah dimengerti ketika menjalankan *script*. *NetAnim* mengeluarkan *output file* dengan nama yang bisa diubah pada bagian perintah “*AnimationInterface anim (“myfirst.xml”);*.” Sedangkan perintah untuk membuat *file output* untuk animasi harus dideklarasikan sebelum baris “*Simulator::Run();*”. Tampilan dari *NetAnim* dapat dilihat seperti gambar 2.16.



Gambar 2.16 tampilan UI NetAnim

2.12.3 Flow Monitor

Untuk menampilkan hasil QoS pada NS-3, NS-3 memiliki *helper* yang bernama *flow monitor*. Hanya tinggal mengaktifkan *helper Flow Monitor*, maka akan terbentuk file *flow Monitor* yang bisa dibuka di *NetAnim*. Berikut adalah contoh *script* pada gambar 2.16.[12]

```
// Flow monitor
Ptr<FlowMonitor> flowMonitor;
FlowMonitorHelper flowHelper;
flowMonitor = flowHelper.InstallAll();
Simulator::Stop (Seconds(stop_time));
Simulator::Run ();
flowMonitor->SerializeToXmlFile("NameOfFile.xml", true, true);
```

Gambar 2.17 tampilan perintah *flow monitor*

2.13 Konsep Efisiensi

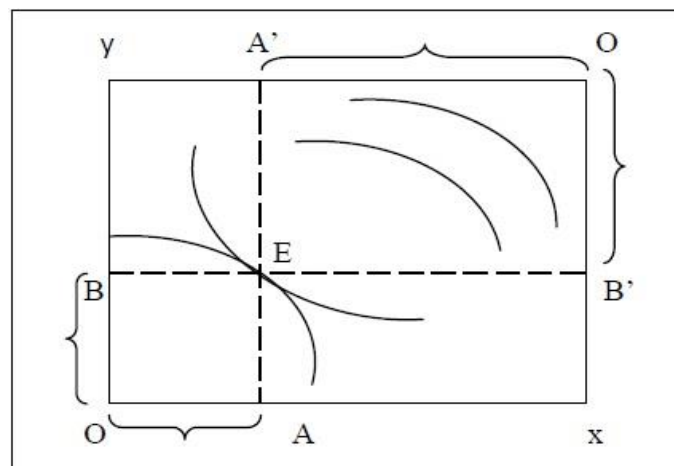
2.13.1 Efisiensi Pareto

Masalah dalam ekonomi adalah keterbatasan sumber daya. Dengan asumsi bahwa sumber daya terbatas untuk memenuhi kebutuhan yang terbatas maka ilmu ekonomi mempelajari alokasi sumber daya agar efisien. Dalam ilmu ekonomi dipelajari bagaimana keputusan ekonomi diambil oleh para pelaku ekonomi yang memaksimalkan tujuan melalui kompetisi di pasar, sehingga sumber daya dialokasikan secara efisien . Konsep efisiensi dalam literatur ekonomi, biasanya mengacu pada sebuah konsep yang disebut dengan efisiensi pareto atau pareto optimal . Pareto optimal didefinisikan sebagai sebuah kondisi di mana sudah tidak mungkin lagi mengubah alokasi sumber daya untuk meningkatkan kesejahteraan pelaku ekonomi (*better off*) tanpa mengorbankan pelaku ekonomi yang lain (*worse off*).[3] Dengan kata lain, kondisi pareto terjadi ketika semua pelaku ekonomi dalam kondisi kesejahteraan yang optimum. Dalam konteks kaitannya dengan penyediaan barang publik oleh pemerintah, maka yang menjadi tujuan akhir adalah meningkatkan kondisi pareto (*pareto improvement*) yang belum efisien. Contohnya, ketika pemerintah membangun jembatan, mereka berharap masyarakat yang menggunakan

jembatan tersebut dapat membayar sejumlah tarif yang ditentukan untuk menutup biaya konstruksi dan perawatan dari biaya jembatan tersebut. Kondisi tersebut menggambarkan kondisi peningkatan pareto yaitu perubahan di mana seseorang menjadi lebih baik dan pelaku ekonomi lainnya pun tidak dirugikan. Para ekonom percaya bahwa peningkatan pareto menjadi tujuan sehingga setiap kebijakan harus ditempatkan dalam tujuan untuk meningkatkan pareto yang disebut sebagai prinsip pareto (*pareto principle*) Kondisi dasar untuk efisiensi pareto meliputi:

1. Efisiensi Pertukaran (*exchange efficiency*)

Efisiensi pertukaran fokus pada distribusi barang, diasumsikan semua barang telah terdistribusi, sehingga dalam efisiensi pertukaran tidak ada pelaku ekonomi yang menjadi lebih baik (*better off*) tanpa mengorbankan pelaku ekonomi lainnya (*worse off*).[3] Efisiensi pertukaran juga berarti tidak ada cakupan untuk perdagangan atau bisa dikatakan pertukaran tersebut saling menguntungkan. Efisiensi pertukaran diilustrasikan dengan Gambar 2.17 atau yang biasa disebut *Edgeworth Bowley* diasumsikan bahwa OA dan OB merupakan konsumsi pelaku X dengan dua barang. Sedangkan OA' dan OB' merupakan konsumsi pelaku Y dengan dua barang. Pareto efisiensi merupakan tangen dari kurva indifferen (E) di mana marginal rate of substitution (MRS) dari kedua barang A atau B sama.



Gambar 2.18 edgeworth bowley box .[3]

