

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Teknologi telekomunikasi yang dikembangkan oleh 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Project*) telah berevolusi menjadi jaringan LTE (*Long Term Evolution*) yang diperkenalkan sebagai 3GPP *release* 8. Saat ini 3GPP telah menyelesaikan LTE *release* 10 yang dikenal sebagai LTE-A (*Long Term Evolution-Advanced*) pada akhir tahun 2010, selain pengembangan dari *release* sebelumnya *release* ini juga lebih memastikan bahwa LTE-A telah memenuhi persyaratan minimum pada *IMT-Advanced* yang telah dibuat oleh ITU. Tujuan dari evolusi yang berkelanjutan adalah untuk menyediakan komunikasi data dengan kecepatan yang lebih tinggi dan *latency* yang rendah.

LTE *release* 8 dan LTE *release* 10 atau biasa disebut sebagai LTE-A menggunakan teknik OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) pada sisi *downlink* untuk menyediakan efisiensi spektrum yang lebih baik dan mampu melakukan pengiriman data berkapasitas besar dengan *data rate* yang tinggi. LTE dirancang untuk menghasilkan kapasitas kanal yang besar dengan menggunakan teknologi multi antena yaitu MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). MIMO pada LTE digunakan pada kanal *downlink* sehingga dikombinasikan dengan teknologi OFDMA. Kombinasi MIMO-OFDMA memberikan LTE kemampuan untuk lebih meningkatkan kinerja sistem dan kapasitas kanal, serta lebih efisien untuk memproses sinyal.

Pada bab ini akan dijelaskan teori penunjang mengenai teknologi LTE *Advanced*, teknologi *multiple access* OFDMA, dan teknologi multi antena, khususnya teknologi MIMO, serta parameter-parameter yang digunakan untuk mengetahui performansi LTE *Advanced*.

2.2 LTE-A (*Long Term Evolution-Advanced*)

LTE adalah proyek berbasis OFDMA yang dikembangkan oleh 3GPP dalam rangka mengakomodasi peningkatan penggunaan *mobile data* dan aplikasi baru multimedia. Radio akses OFDMA pada LTE disebut sebagai E-UTRAN

(*Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access Network*). Keseluruhan arsitektur LTE disebut sebagai 3GPP EPS (*Evolved Packet System*), yang sebelumnya disebut arsitektur SAE (*System Architecture Evolution*).

LTE-A menggunakan teknologi yang sama dengan LTE *release 8* yaitu teknologi OFDMA pada sisi *downlink* dan SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) pada sisi *uplink*, sehingga LTE memiliki kemampuan mengirimkan data dengan kecepatan tinggi mencapai 1 Gbps untuk *downlink* dan 500 Mbps untuk *uplink*. Peningkatan kecepatan ini juga disebabkan kemampuan penggunaan teknologi MIMO pada LTE. Perbedaan utama antara LTE *release 8* dengan LTE *release 10* atau yang biasa disebut LTE-A adalah pada lebar pita yang lebih ditingkatkan dengan cara *carrier aggregation* (CA) dimana berbagai komponen *carrier* dikumpulkan dan digabungkan untuk dapat digunakan sebagai kanal transmisi dari terminal tunggal. Hingga lima komponen *carrier* dapat digabungkan, sehingga dapat mentransmisikan pita hingga 100 MHz. LTE dirancang untuk meningkatkan *throughput*, meningkatkan kapasitas *base station*, mengurangi *latency*, dan beroperasi baik untuk mobilitas penuh.

2.2.1 Spesifikasi Teknis LTE-A

Teknologi LTE-A memiliki nilai spesifikasi teknis yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknologi sebelumnya. Tabel 2.1 menunjukkan perbedaan spesifikasi teknis untuk teknologi LTE *rel. 8* dengan LTE-A *rel. 10*.

Tabel 2.1 Spesifikasi Teknis LTE

Parameter Spesifikasi Teknis	LTE 3GPP Release 8	LTE Advanced 3GPP Release 10
Peak data rates	100 Mbit/s for downlink; 50 Mbit/s for uplink	1 Gbit/s for downlink; 500 Mbit/s for uplink
Average user throughput per MHz than HSPA Release 6	3-4 higher for downlink; 2-3 higher for uplink	3 times higher than that in LTE
Mobility	0-15 km/h (optimum); 15-120 km/h (high	Same as that LTE rel. 8

	<i>performance guaranteed</i>); 120-350 km/h (<i>connection maintained</i>)	
<i>Bandwidth</i>	1.25-20 MHz	6-100 MHz
<i>Spectrum allocation</i>	<i>Operation in paired spectrum (FDD) and unpaired spectrum (TDD) should be supported</i>	<i>Operation in paired spectrum (FDD) and unpaired spectrum (TDD) should be supported</i>
<i>Multiple access</i>	OFDMA (<i>downlink</i>) SC-FDMA (<i>uplink</i>)	OFDMA (<i>downlink</i>) SC-FDMA (<i>uplink</i>)
<i>MIMO</i>	<i>Downlink 2x2, 4x2, 4x4</i> <i>Uplink 1x2, 1x4</i>	<i>Downlink 2x2, 4x2, 4x4, 8x8</i> <i>Uplink 1x2, 1x4</i>
<i>Modulation</i>	<i>QPSK, 16-QAM, 64-QAM</i>	<i>QPSK, 16-QAM, 64-QAM</i>
<i>Latency</i>	<i>5ms user-plane latency at IP layer, for one-way 100 ms control-plane latency from idle to active state</i>	<i>C-plane from Idle (with IP address allocated) to Connected in <50 ms and U-plane latency shorter than 5ms one way in RAN taking into 30% retransmission (FSS).</i>
<i>Link spectral efficiency (b/s/Hz)</i>	<i>Downlink 16.1</i> <i>Uplink 4</i>	<i>Downlink 16.1 [30]</i> <i>Uplink 8.1 [16.1]</i>

(Sumber: Agilent Technologies, 2011)

2.2.2 Alokasi Spektrum Pada LTE

Secara umum, alokasi spektrum pada LTE ditunjukkan pada Tabel 2.2. Berdasarkan ketentuan 3GPP, terdapat 17 *bands* untuk FDD dan 8 *bands* untuk TDD. Saat ini, beberapa *band* telah digunakan oleh teknologi lain dan LTE dapat beroperasi secara bersama-sama dengan teknologi tersebut. [H. Holma dan A. Toskala, 2009 : 8]

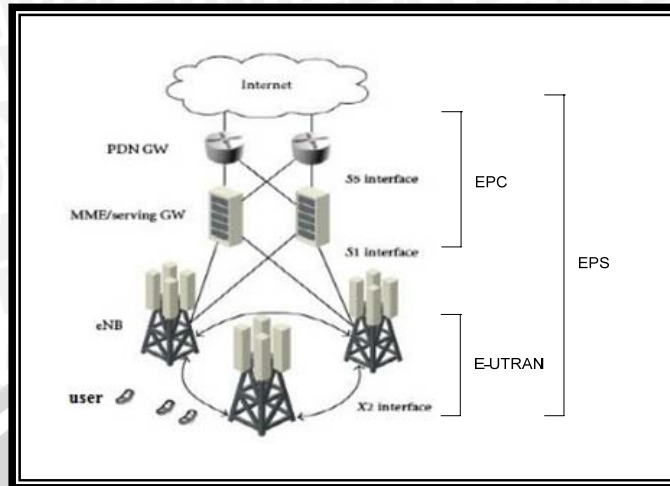
Tabel 2.2 Spektrum Frekuensi LTE *Advanced*

LTE Band	Uplink (UL) (MHz)	Downlink (DL) (MHz)	Duplex Mode	Regions
1	1920-1980	2110-2170	FDD	Eropa, Asia
2	1850-1910	1930-1990	FDD	Amerika, Asia
3	1710-1785	1805-1880	FDD	Eropa, Asia, Amerika
4	1710-1755	2110-2155	FDD	Amerika
5	824-849	869-894	FDD	Amerika
6	830-840	875-885	FDD	Jepang
7	2500-2570	2620-2690	FDD	Eropa, Asia
8	880-915	925-960	FDD	Eropa, Asia
9	1749.9-1784.9	1844.9-1879.9	FDD	Jepang
10	1710-1770	2110-2170	FDD	Amerika
11	1427.9-1452.9	1475.9-1500.9	FDD	Jepang
12	698-716	728-746	FDD	Amerika
13	777-787	746-756	FDD	Amerika
14	788-798	758-768	FDD	Amerika
17	704-716	734-746	FDD	-
18	815-830	860-875	FDD	-
19	830-845	875-890	FDD	-
...				
33	1900-1920	1900-1920	TDD	Eropa, Asia
34	2010-2025	2010-2025	TDD	Eropa, Asia
35	1850-1910	1850-1910	TDD	-
36	1930-1990	1930-1990	TDD	-
37	1910-1930	1910-1930	TDD	-
38	2570-2620	2570-2620	TDD	Eropa
39	1880-1920	1880-1920	TDD	Cina
40	2300-2400	2300-2400	TDD	Eropa, Asia

(Sumber: H. Holma dan A. Toskala, 2009)

2.2.3 Arsitektur Jaringan LTE-A

Keseluruhan arsitektur jaringan LTE-A sama dengan arsitektur jaringan LTE *release* sebelumnya yang disebut juga dengan 3GPP EPS. Arsitektur jaringan LTE ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Arsitektur Jaringan LTE
(Sumber: Mustafa Ergen, 2009)

- UE (*User Equipment*)

UE adalah perangkat yang digunakan pelanggan untuk melakukan komunikasi. UE terdiri dari TE (*Terminal Equipment*) yang berfungsi sebagai terminal radio yang digunakan untuk komunikasi lewat radio dan USIM (*Universal Subscriber Identity Module*) yang berfungsi sebagai bukti dan identitas pengguna serta untuk memperoleh *security key* untuk melindungi *interface* transmisi radio. [H. Holma dan A. Toskala, 2009 : 26]

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

Jaringan akses LTE yang disebut E-UTRAN merupakan jaringan akses radio yang menyediakan koneksi antara UE dan EPC (*Evolved Packet Core*). E-UTRAN hanya terdiri dari eNB (*Evolved Node B*). eNB adalah unit fisik untuk mengirim/menerima frekuensi pada sel. Perangkat ini sama dengan BTS (*Base Transceiver Station*) dalam jaringan GSM.

UE berhubungan dengan eNB dan eNB berhubungan dengan EPC dan yang lainnya seperti terlihat pada Gambar 2.1. Untuk trafik pengguna biasa, tidak ada pengontrol terpusat pada E-UTRAN, maka arsitektur E-UTRAN bisa dikatakan *flat*. [Stefania Sesia, Issam Toufik and Matthew Baker, 2009]

- EPC (*Evolved Packet Core*)

EPC bertanggung jawab untuk pengontrolan secara menyeluruh dari eNodeB dan pembentukan *bearer*. EPC terdiri dari :

a. PCRF (*Policy Control and Charging Rules Function*)

PCRF bertanggung jawab untuk mengontrol kebijakan pembuatan keputusan dan kemampuan aliran data berdasarkan PCEF (*Policy Control Enforcement Function*) yang terletak pada PDN-GW (*Packet Data Network Gateway*). PCRF menyediakan otorisasi QoS (*Quality Of Service*) yang menentukan bagaimana aliran data tertentu akan diperlakukan dalam PCEF dan memastikan bahwa hal ini sesuai dengan profil pengguna berlangganan.

b. HSS (*Home Subscription Server*)

HSS berfungsi untuk menyimpan data dan informasi mengenai pelanggan agar tersimpan secara permanen. HSS juga berisi rekaman lengkap lokasi terkini dari *user*.

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

PDN-GW merupakan jangkar untuk mobilitas antara 3GPP dengan teknologi *non-3GPP* seperti WiMAX, 3GPP2 dan WLAN (*Wireless Local Area Network*) melalui beberapa *interface*. PDN-GW menyediakan konektivitas dengan jaringan paket data eksternal. Selain itu PDN-WG bertanggung jawab untuk mengalokasikan alamat IP UE, pengisian aliran data berdasarkan aturan dari PCRF dan menyaring *downlink* paket IP *user* kedalam *bearer* QoS yang berbeda.

d. S-GW (*Serving Gateway*)

Semua pengguna paket IP dikirimkan melalui S-GW, yang berfungsi sebagai jangkar untuk mobilitas data *bearer* bila UE bergerak di antara eNodeB. S-GW juga bertanggung jawab dalam menetapkan *routing* dan meneruskan paket data *user* dengan *interface* S-1, menangani kompresi *header* IP serta enkripsi data *user*.

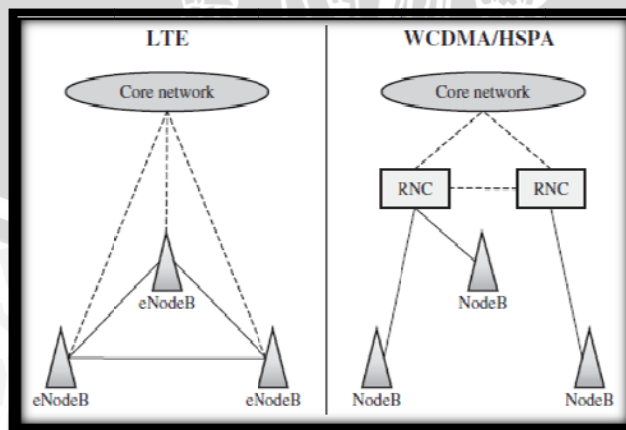
e. MME (*Mobility Management Entity*)

MME adalah *node* kontrol yang memproses sinyal antara UE dan CN (*Core Network*)/EPC. Selain itu MME juga berfungsi sebagai autentifikasi dan keamanan serta *mobility management*. Protokol yang berjalan antara UE dan CN dikenal sebagai protokol *Non-Access Stratum* (NAS). [Stefania Sesia, Issam Toufik dan Matthew Baker, 2009 : 25]

- *Interface jaringan*
 - a. *Interface* LTE-Uu, yaitu *interface* yang menghubungkan eNodeB dan UE.
 - b. *Interface* X2, yaitu *interface* yang menghubungkan antar eNodeB.
 - c. *Interface* S1, yaitu *interface* yang menghubungkan EPC dan eNodeB.
 - d. *Interface* S1-MME, yaitu *interface* yang menghubungkan MME dan eNodeB.
 - e. *Interface* S1-U, yaitu *interface* yang menghubungkan S-GW dan eNodeB.
 - f. *Interface* SGi, yaitu *interface* yang menghubungkan PDN-GW dan jaringan paket data.
 - g. *Interface* S5/S8, yaitu *interface* yang menghubungkan S-GW dan PDN-GW.
 - h. *Interface* S11, yaitu *interface* yang menghubungkan MME dan S-GW.
- [Mustafa Ergen, 2009 : 388]

2.2.4 Arsitektur RAN (*Radio Access Network*)

Perbandingan arsitektur RAN (*Radio Access Network*) dari LTE dan WCDMA/HSPA ditunjukkan pada Gambar 2.2. Perbedaan yang signifikan antara WCDMA/HSPA dan LTE adalah dalam LTE tidak mendukung *macro diversity*, yang merupakan permasalahan untuk WCDMA/HSPA. Pada LTE, *Radio Network Controller* (RNC) dihilangkan sehingga dapat mengurangi *latency* di RAN. Hal ini menyebabkan LTE memindahkan kompleksitas ke eNB.

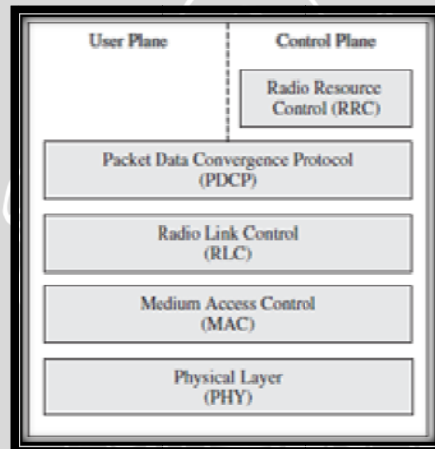


Gambar 2.2 Perbandingan RAN arsitektur antara LTE dan WCDMA/HSPA
(Sumber: K. Fazel dan S. Kaiser, 2008)

Selain pengolahan lapisan fisik, eNB pada LTE juga mempunyai tugas manajemen mobilitas dan manajemen sumber daya radio, yang keduanya termasuk dalam tugas RNC pada WCDMA/HSPA. eNB dalam RAN LTE masing-masing dihubungkan secara langsung satu sama lain dan keputusan *handover* diambil oleh eNB. Dalam WCDMA/HSPA, tugas ini dilakukan oleh RNC. [K. Fazel dan S. Kaiser, 2008]

2.2.5 Arsitektur Radio Protokol

Arsitektur radio protokol pada LTE dibagi menjadi *user plane* dan *control plane*. *User plane* membawa semua informasi pengguna dari suara ke data sementara *control plane* digunakan untuk sinyal kontrol. Gambar 2.3 menunjukkan LTE *protocol stack*.



Gambar 2.3 *User and control plane protocol stack*
(Sumber: K. Fazel dan S. Kaiser, 2008)

Semua protokol terletak di eNB dan terminal *mobile station* (UE). Fungsi dari masing-masing lapisan protokol dirangkum seperti berikut ini.

- RRC (*Radio Resource Control*)
RRC adalah bagian dari *control plane* yang bertanggung jawab untuk protokol PDCP, RLC, MAC, dan PHY layer 1 dan layer 2. Fungsi utama dari RRC adalah *admission control*, manajemen *handover* dan QoS, mengatur dan melaporkan pengukuran stasiun terminal.
- PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*)
Fungsi utama dari PDCP pada *user plane* adalah mengompres *header* IP, pengiriman data dari *user* dan *chipering*. Pada *control plane*, PDCP

bertanggung jawab dalam fungsi pengendalian pengiriman data dan *ciphering*.

- RLC (*Radio Link Control*)

Segmentasi dan *reassembly* paket data dari *layer* yang lebih tinggi serta perbaikan kesalahan melalui ARQ adalah fungsi utama dari RLC. Selain itu, *flow control* antara eNodeB dan *mobile terminal* juga ditangani oleh RLC.

- MAC (*Medium Access Control*)

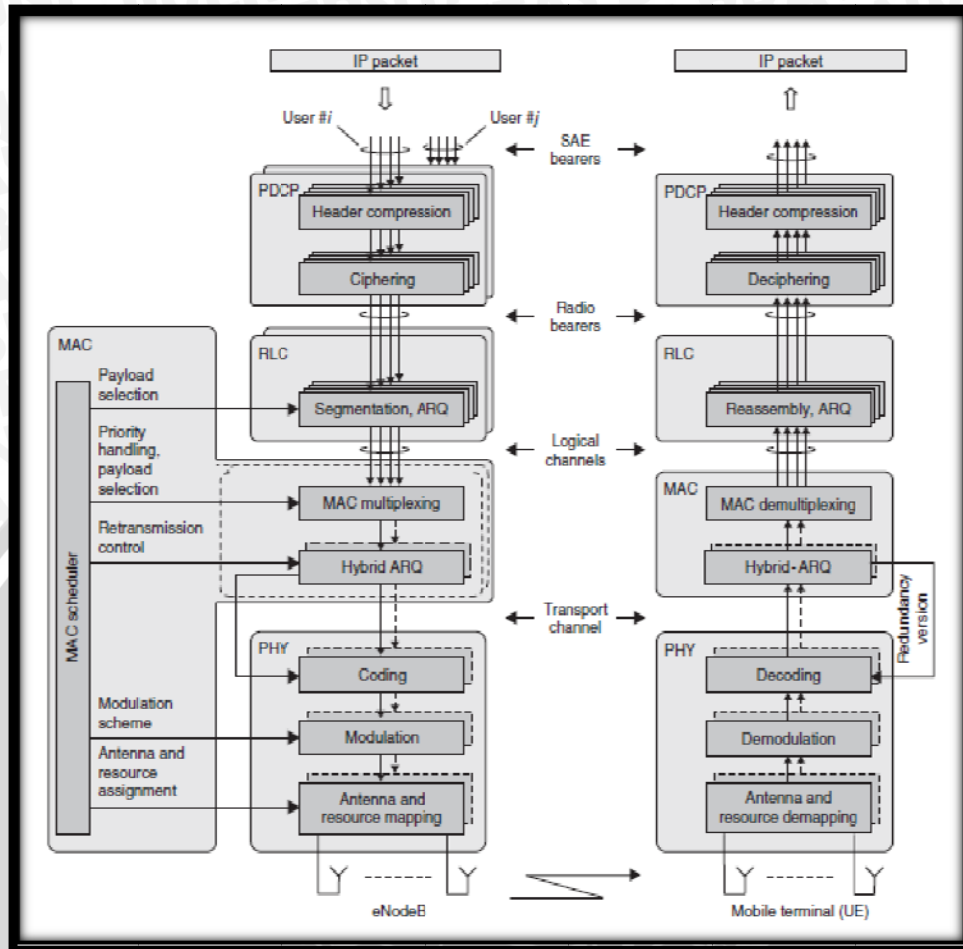
MAC bertanggung jawab untuk penjadwalan *uplink* dan *downlink*, perbaikan kesalahan melalui HARQ (*hybrid ARQ*), modulasi adaptif, pemetaan antena dan juga berfungsi untuk *mapping* antara kanal logika dan kanal transport. [K. Fazel dan S. Kaiser, 2008 : 220]

- PHY (*Physical Layer*)

Layer fisik LTE membawa data dan mengendalikan informasi antara eNB dan UE dengan cara yang efisien. Layer fisik LTE menggunakan teknologi yang lebih maju seperti OFDMA, SC-FDMA dan MIMO untuk transmisi data.

2.2.6 Skema Transmisi Kanal *Downlink*

Skema transmisi kanal *downlink* pada LTE dan LTE-A menggunakan teknik *multiple access* OFDMA dengan *cyclic prefix*. Hal ini dikarenakan ketahanan OFDMA pada kanal frekuensi selektif, jaminan fleksibilitas yang tinggi dalam alokasi sumber daya, dan penjadwalan dalam domain frekuensi. Diagram blok dari kanal *downlink* LTE ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Blok diagram dari kanal *downlink* LTE
(Sumber: Erik Dahlman dan Stefan Parkvall, 2008)

Paket data dari lapisan yang lebih tinggi disebut sebagai transportasi blok yang dikirim kelapisan fisik pada eNB. Dua blok transportasi dapat diproses secara paralel di lapisan fisik.

- Modulasi dan Pengkodean

- a. *Cyclic Redudancy Check (CRC)*

CRC dimasukkan ke dalam setiap blok transport untuk mendeteksi adanya kesalahan transmisi pada UE. Jumlah bit yang dapat digunakan yaitu 16 bit dan 24 bit.

- b. *Channel Coding, Rate Matching, dan HARQ*

Turbo coding dengan kecepatan 1/3 digunakan untuk *channel coding*. *Rate matching* digunakan oleh *puncturing* untuk meningkatkan efektifitas *code rate* yang lebih dari 1/3 atau dengan mengulang kode *bit* untuk mengurangi efektifitas *code rate* dibawah 1/3. Pemilihan kecepatan

tergantung pada *resource* yang tersedia. Blok HARQ digunakan untuk redundansi tambahan.

c. *Interleaving*

Interleave digunakan untuk meningkatkan efisiensi *Forward Error Correction* (FEC) dengan cara penyebaran *burst error*, sehingga *burst error* terdapat pada tiap simbol yang mengalami *error*. Hasil dari proses ini adalah tiap *error* yang ada mudah untuk dikoreksi.

d. *Modulasi*

Modulasi adalah suatu proses penumpangan sinyal informasi pada sinyal *carrier* dimana terjadi perubahan parameter sinyal *carrier* (amplitudo, frekuensi dan fasa) berdasarkan amplitudo sinyal informasi. Modulasi yang digunakan pada LTE untuk arah *downlink* yaitu QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. *MAC scheduler* menentukan skema modulasi yang sebenarnya.

2. *Resource Mapping*

Resource mapping membebaskan simbol data pada *resource block* dengan memanfaatkan informasi kanal pada pemancar dengan menggunakan pemacu *MAC scheduler*,

3. *MAC Scheduler*

MAC scheduler bertanggung jawab atas penjadwalan dan mencocokkan *rate* dengan cara mengendalikan HARQ dan memilih skema modulasi, *resource* dan *power assignment*, dan pemetaan antenna.

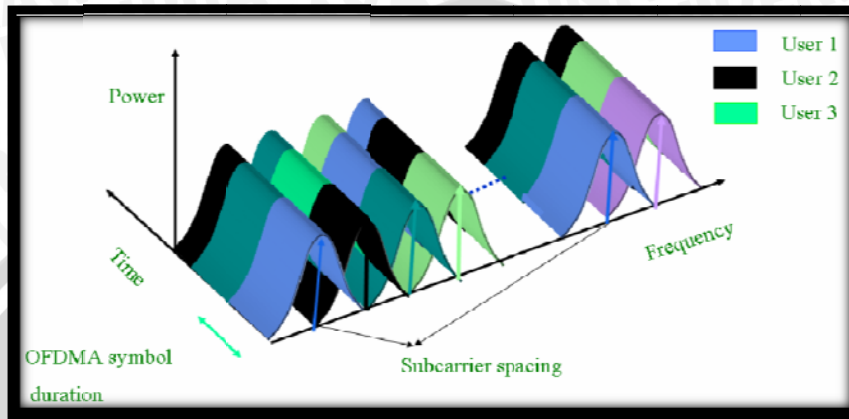
4. *Transmisi Multi-Antena*

Transmisi multi-antenna (pemetaan antenna) pada LTE bisa sampai empat antenna. Pada blok transportasi dapat ditransmisikan secara paralel dengan menerapkan multipleksing spasial.

2.3 OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*)

OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) merupakan teknik *multiple acces* yang memungkinkan beberapa *user* berbagi dalam *bandwidth* yang sama. OFDMA mengalokasikan *multiple user* pada frekuensi yang berbeda dan *time slot* yang berbeda pula. Sehingga pada periode waktu

tertentu, kanal dapat melayani *multiple user* karena dalam satu *subcarrier* diperbolehkan diduduki oleh satu atau lebih *user* yang memiliki simbol OFDMA yang berbeda. Sinyal OFDMA pada domain frekuensi dan waktu ditunjukkan pada Gambar 2.5. [Srikanth, 2007]



Gambar 2.5 Sinyal OFDMA dilihat dari *domain* frekuensi dan waktu (Sumber: Srikanth S., 2007)

Teknologi OFDMA menggunakan sinyal *orthogonal*. Sinyal-sinyal dikatakan *orthogonal* jika faktor korelasi antara sinyal satu dengan yang lainnya adalah 0. Istilah *orthogonal* didalam OFDMA mengandung makna hubungan matematis diantara frekuensi-frekuensi yang digunakan. Dengan persamaan matematika, dua buah sinyal dikatakan *orthogonal* jika memenuhi syarat: [E. P. Lawrey, 2001 : 19]

$$(2-1)$$

Dimana T_s adalah periode simbol, p adalah fungsi gelombang p , dan q adalah konjugate dari fungsi gelombang q .

Setiap *subcarrier* dalam suatu sinyal OFDMA dijaga sedekat mungkin secara teoritis agar diperoleh orthogonalitas pada setiap *subcarrier* dengan mengalokasikan setiap sinyal informasi yang terpisah ke dalam *subcarrier* yang berbeda.

Jarak antar *subcarrier* (Δf) pada spektrum sinyal dapat dinyatakan dengan persamaan berikut: [Hara & Prasad, 2003]

$$\Delta f = \frac{1}{T_{sub} - T_{cp}} \quad (2-2)$$

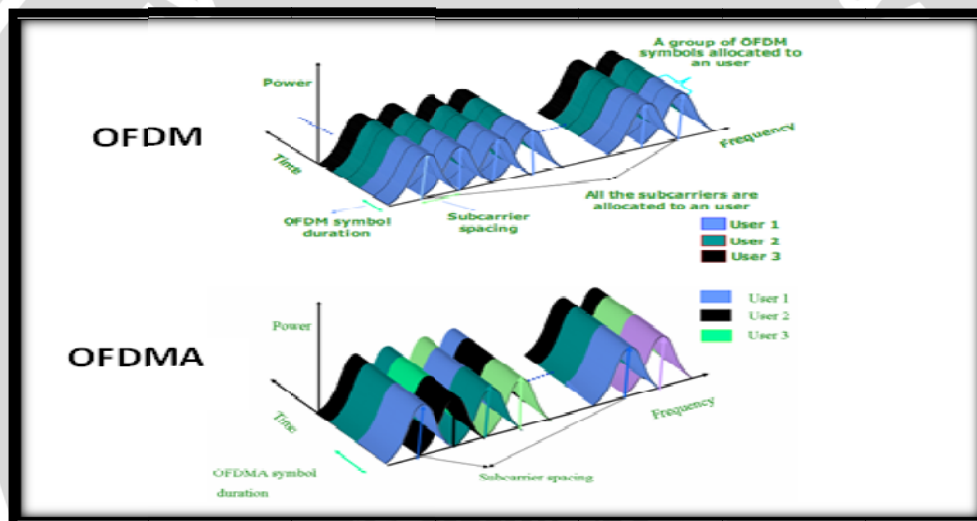
dengan :

Δf = selang antar frekuensi tiap *subcarrier* (Hz)

T_{sub} = durasi simbol masing-masing *subcarrier* (s)

T_{cp} = durasi *cyclic prefix* (s)

Teknologi OFDMA merupakan teknik *multiple access* yang dikembangkan dari teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). Namun OFDMA memiliki perbedaan dengan OFDM, OFDM bukan merupakan teknik *multiple access* melainkan suatu teknik modulasi yang menciptakan banyak aliran data agar dapat digunakan oleh *user* yang berbeda, sedangkan OFDMA merupakan teknik *multiple access* yang memungkinkan banyak pengguna berbagi dalam *bandwidth* yang sama. Gambar 2.6 menunjukkan perbedaan OFDM dengan OFDMA.

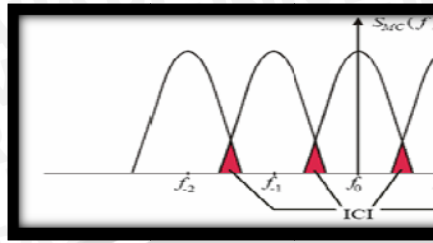


Gambar 2.6 Perbandingan sinyal OFDM dan OFDMA dalam *domain* frekuensi dan waktu
(Sumber: Srikanth S., 2007)

Pada Gambar 2.6 dapat dilihat bahwa OFDM pada periode waktu tertentu hanya dapat melayani 1 *user* dengan data yang dikirim tetap dibagi ke dalam banyak *subcarrier*. Berbeda dengan OFDMA, pada periode waktu tertentu, kanal dapat melayani *multiple user* karena *user* dialokasikan ke dalam banyak *subcarrier* secara terdistribusi atau acak.

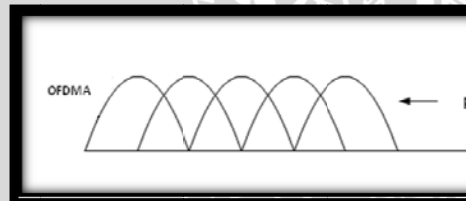
OFDMA juga memiliki prinsip kerja yang sama dengan OFDM yaitu mengirimkan banyak pesan pada satu kanal pentransmisi. OFDMA juga dapat mengirimkan pesan tanpa terjadi *inter-carrier interference* (ICI) dan *inter-symbol interference* (ISI). Hal ini dikarenakan adanya proses penambahan *cyclic prefix*

(CP) pada simbol OFDMA. Terjadinya ICI [Srikanth, 2007]



Gambar 2.7 Inter Carrier Int (Sumber: www.engr.sj)

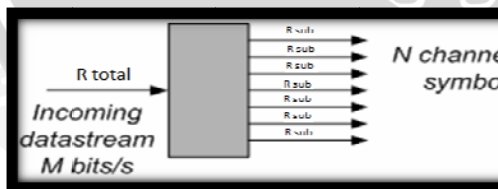
Hal ini dikarenakan pada OFDMA juga dimana awal spektrum frekuensi berada tepat *overlapping* dari frekuensi *carrier* tidak mepakan menghilangkan adanya *band guard*, sehi efisien. Gambar 2.8 menunjukkan bahwa teki penggunaan *bandwidth*.



Gambar 2.8 Efisiensi penggunaan *band* (Sumber: Ramjee Prasa)

2.3.1 Pembagian Aliran Data Pada OFDMA

Prinsip dasar dari sistem OFDMA adalah tinggi (*single high-rate bit stream*) menjadi terlihat pada gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2.9 Pembagian aliran da (Sumber: <http://www.cog>)

Laju transmisi untuk masing-masing *su* yang tersedia dapat dinyatakan dengan persama