

**ANALISIS IMPLEMENTASI *ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION*
MULTIPLEXING (OFDM) PADA SISTEM TRANSMISI *DIGITAL AUDIO*
BROADCASTING (DAB) ETSI EN 300 401**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TELEKOMUNIKASI**

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik*



Disusun Oleh :

EKA PANJI SAPTAPRASETYA

NIM. 0510633023 – 63

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

MALANG

2009

**ANALISIS IMPLEMENTASI *ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION*
MULTIPLEXING (OFDM) PADA SISTEM TRANSMISI *DIGITAL AUDIO*
BROADCASTING (DAB) ETSI EN 300 401**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TELEKOMUNIKASI**

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik*



Disusun Oleh :

EKA PANJI SAPTAPRASETYA

NIM. 0510633023 – 63

DOSEN PEMBIMBING:

Ir. Endah Budi P. MT
NIP. 19621116 198903 2 002

Rudy Yuwono, ST., MSc
NIP. 19710615 199802 1 003

**ANALISIS IMPLEMENTASI *ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION*
MULTIPLEXING (OFDM) PADA SISTEM TRANSMISI *DIGITAL AUDIO*
BROADCASTING (DAB) ETSI EN 300 401**

Disusun Oleh :

EKA PANJI SAPTAPRASETYA

NIM. 0510633023 – 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 10 Agustus 2009

DOSEN PENGUJI:

Ir. Wahyu Adi Priyono, MSc
NIP. 19710615 199802 1 003

Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT
NIP. 19530714 198203 1 003

Gaguk Asmungi, ST, MT
NIP. 19670627 199802 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom
NIP. 19650402 199002 1 001

PENGANTAR

Alhamdulillah, segenap puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Implementasi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) pada Sistem Transmisi *Digital Audio Broadcasting* (DAB) ETSI EN 300 401” yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik. Tidak lupa pula shalawat serta salam selalu penulis sampaikan kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita menuju ke jalan yang terang.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu :

1. Keluarga tercinta,
Mama, Papa serta Adik-adikku “Jeffry dan Nita” yang selalu memberikan semangat, doa, dan kepercayaan.
2. Ibu Ir. Endah Budi P. MT dan Bapak Rudy Yuwono ST., MSc selaku dosen pembimbing skripsi yang banyak memberikan saran, konsultasi, kesabaran, dan waktu.
3. Bapak Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Bapak Rudy Yuwono ST. MSc selaku sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak Ir. Ponco Siwindarta MS, selaku dosen penasehat akademik selama kuliah yang banyak memberikan pengarahan serta bimbingan akademik.
5. Ibu Rusmi Ambarwati., ST. MT. selaku Ketua Laboratorium Telekomunikasi dan Mas Iswanto ST selaku laboran.
6. Bapak dan Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro.
7. Fatihatur R (Fifi) atas doa, cinta, semangat serta kepercayaan.
8. Rekan-rekan asisten Laboratorium Telekomunikasi 05 “Arif, Aski, Tika, Nur, Firman, Hendri”, serta asisten 03, 04 dan 06 yang banyak memberikan nasehat, saran, serta kerjasamanya selama ini.
9. Teman-teman elektro angkatan 05 (Streamline) atas persahabatan serta kekompakan.
10. Keluarga besar Kertoasri 110 yang telah menjadi rumah kedua bagi penulis.
11. Teman ngopi “Ari, Burhan, Koko, Brando, Udin, Gusti, dan Bambang” yang banyak memberikan angin segar ketika suntuk.

12. Dan untuk semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari adanya kekurangan dan ketidak sempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kelengkapan dan kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi rekan-rekan mahasiswa.

Malang, Agustus 2009

Penulis



ABSTRAK

Eka Panji Saptaprasetya, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Agustus 2009, *Analisis Implementasi Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) pada Sistem Transmisi Digital Audio Broadcasting (DAB) ETSI EN 300 401*, Dosen Pembimbing : Ir. Endah Budi P. MT. dan Rudy Yuwono ST., MSc.

Dengan berkembangnya teknologi telekomunikasi khususnya dalam bidang penyiaran (*broadcasting*) yang telah memasuki era *digital*, memberikan banyak keuntungan dibandingkan sistem penyiaran analog. *Digital Audio Broadcasting (DAB)* merupakan teknologi penyiaran *audio* dengan sistem transmisi *digital* yang kedepannya dapat menggantikan penyiaran *audio* dengan sistem transmisi *analog*. DAB dibangun berdasarkan standar *European Telecommunication Standards Institute (ETSI) EN 300 401* dan menerapkan sistem *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)* dengan karakteristiknya yaitu tingkat efisiensi dalam penggunaan *bandwidth*.

Permasalahan yang terjadi dalam bidang penyiaran adalah kondisi geografis suatu daerah yang berbeda-beda sehingga menuntut suatu kefleksibelan sistem pada semua kondisi geografis. Untuk mengatasi hal tersebut maka DAB menggunakan beberapa mode transmisi yang digunakan berdasarkan fungsinya, antara lain mode transmisi I, II, III, dan IV. Dalam penggunaannya, keempat mode transmisi tersebut harus dimiliki oleh setiap penerima DAB. Berapa besar pengaruh implementasi OFDM pada masing-masing mode transmisi DAB menjadi pembahasan pada skripsi ini, dengan menganalisis parameter *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, dan BER.

Analisis data yang dilakukan adalah dengan mengumpulkan beberapa nilai parameter dari data sekunder sesuai dengan standar yang digunakan dan kemudian dianalisis untuk mengetahui performansi DAB dari setiap mode transmisi dengan melakukan perhitungan *bandwidth*, OFDM, SNR, kapasitas kanal, dan BER. Selanjutnya membandingkan hasil perhitungan setiap mode transmisi dan pengaruh parameter dari data sekunder terhadap besar performansi DAB.

Hasil analisis membuktikan bahwa penggunaan sistem *multicarrier* OFDM mampu menghemat *bandwidth* yang tersedia. Dengan total laju data 2,4 Mbps, dari total 1,536 MHz kanal *bandwidth* yang tersedia, MT I mampu menghemat penggunaan *bandwidth* sebesar 2,31%. MT II sebesar 2,19%, MT III sebesar 2,04% dan MT IV sebesar 2,27%. Semakin banyak jumlah *subcarrier* menyebabkan SNR_{OFDM} semakin kecil, pada MT I diperoleh SNR_{OFDM} sebesar 55,27 dB, MT II diperoleh SNR_{OFDM} sebesar 61,27 dB, MT III diperoleh SNR_{OFDM} sebesar 64,27 dB dan MT IV diperoleh SNR_{OFDM} sebesar 58,27 dB. Kapasitas kanal mengalami penurunan dengan meningkatnya jumlah *subcarrier*. Pada MT I kapasitas kanal yang tersedia adalah 27,54 Mbps, MT II kapasitas kanal yang tersedia 30,63 Mbps, MT III kapasitas kanal yang tersedia 32,26 Mbps, dan MT IV kapasitas kanal yang tersedia 29,07 Mbps. BER sistem OFDM mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah *subcarrier*. Pada MT I diperoleh BER sebesar $0,3736 \times 10^{-25}$, MT II diperoleh BER sebesar $0,8793 \times 10^{-28}$, MT III diperoleh BER sebesar $0,4273 \times 10^{-29}$, dan MT IV diperoleh BER sebesar $0,8099 \times 10^{-26}$.

Kata kunci: OFDM, DAB, mode transmisi, *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, BER

DAFTAR ISI

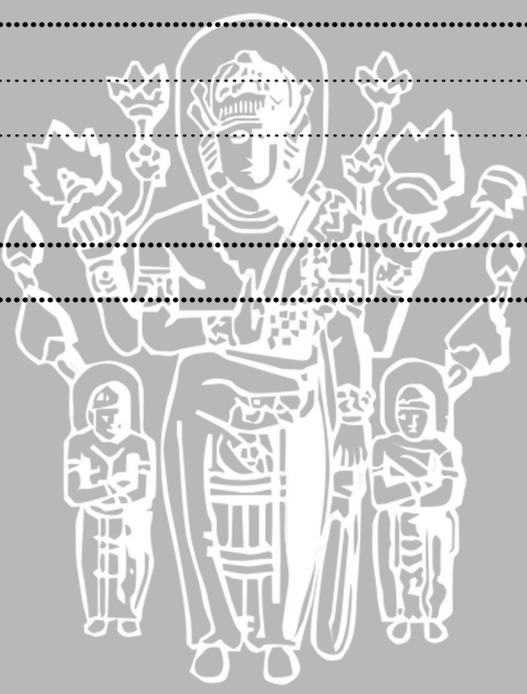
PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Penulisan	2
BAB II DIGITAL AUDIO BROADCASTING (DAB)	4
2.1 <i>Broadcasting</i>	4
2.2 <i>Digital Audio Broadcasting (DAB)</i>	4
2.3 Teknologi pada DAB	5
2.3.1 Lebar pita frekuensi dan Mode Transmisi DAB	5
2.3.2 <i>Audio Codec</i>	5
2.3.3 Modulasi	5
2.3.4 <i>Single-frequency networks</i>	6
2.4 Standar DAB	6
2.5 Konfigurasi Jaringan DAB.....	7
2.5.1 Jaringan <i>Terrestrial</i>	8
2.5.2 Jaringan Satelit.....	8
2.5.3 Jaringan <i>Hybrid</i>	9
2.5.4 <i>Multiplex Operator</i>	9
2.5.4.1 <i>Service Multiplex</i>	9
2.5.4.2 <i>Ensemble Multiplex</i>	10
2.6 Sistem transmisi DAB.....	11
2.6.1 Mode Transmisi	12



2.6.2	Struktur Frame DAB	13
2.6.3	DAB <i>Multiplex</i>	14
2.6.4	Sistem pemancar DAB	15
2.6.5	Sistem Penerima DAB	18
2.7	Keunggulan dan kelemahan DAB	20
2.7.1	Keunggulan DAB	20
2.7.2	Kelemahan DAB	21
BAB III ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM) ...		22
3.1	Umum	22
3.2	Definisi <i>Orthogonal</i>	24
3.3	Pembagian Aliran Data pada OFDM	26
3.4	Blok diagram OFDM	27
3.4.1	Konversi Serial ke Paralel (S/P)	27
3.4.2	Modulator dan Demodulator <i>Baseband</i>	28
3.4.2.1	<i>Phase Shift Keying</i> (PSK)	28
3.4.2.2	<i>Differential Quadrature Shift Keying</i> (DQPSK)	31
3.4.3	Transformasi <i>Fast Fourier</i> pada Sistem OFDM	32
3.4.4	<i>Guard Interval</i> dan <i>Cyclic Prefix</i>	33
3.5	Kanal Propagasi	36
3.5.1	Kanal AWGN pada Sistem OFDM	37
3.5.2	<i>Rayleigh Fading</i>	38
3.6	Performansi Sistem OFDM	39
3.6.1	Redaman Propagasi Ruang Bebas	39
3.6.2	<i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR)	39
3.6.3	Kapasitas Kanal Sistem OFDM	40
3.6.4	<i>Bit Error Rate</i> (BER)	41
3.7	Keunggulan dan kelemahan OFDM	41
BAB IV METODOLOGI		43
4.1	Studi Literatur	43
4.2	Pengambilan Data	43
4.3	Analisis Data	44
4.4	Simulasi	45



4.5	Pengambilan Kesimpulan.....	46
BAB V ANALISIS PERFORMANSI <i>ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM) PADA DIGITAL AUDIO BROADCASTING (DAB)</i>.....		
5.1	Umum.....	47
5.2	Analisis Performansi OFDM pada DAB dengan Kanal AWGN	47
5.2.1	Analisis <i>Bandwidth</i> Sistem OFDM pada DAB.....	49
5.2.2	Analisis <i>Signal-to-Noise Ratio</i> Sistem OFDM pada DAB.....	53
5.2.3	Analisis kapasitas kanal sistem OFDM pada DAB.....	59
5.2.4	Analisis BER sistem OFDM pada DAB.....	62
BAB VI PENUTUP		65
6.1	Kesimpulan.....	65
6.2	Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA		67
LAMPIRAN.....		69



DAFTAR GAMBAR

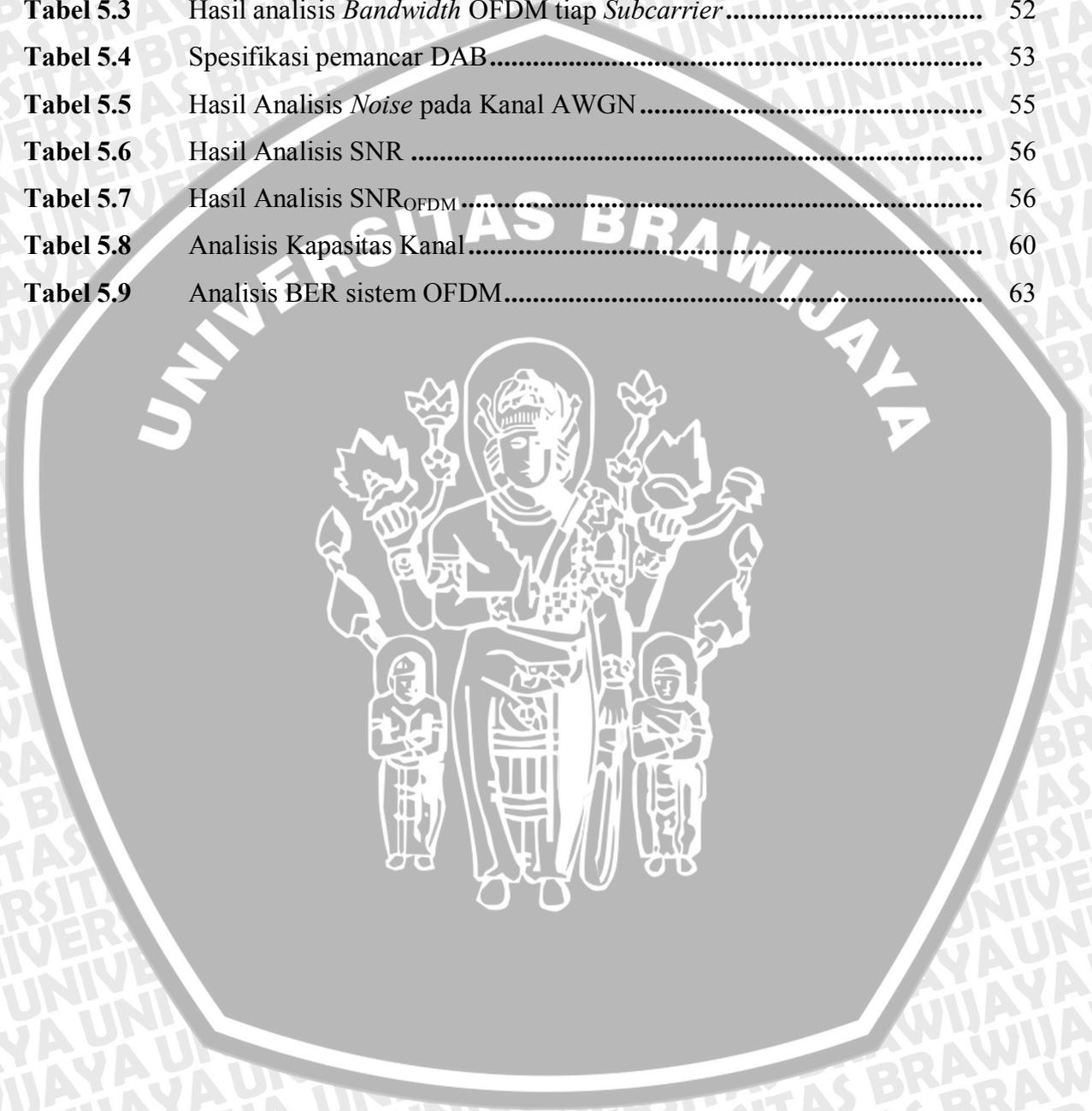
Gambar 2.1	Perbandingan antara MFN dan SFN	6
Gambar 2.2	Skema jaringan DAB.....	7
Gambar 2.3	Jaringan DAB <i>Terrestrial</i>	8
Gambar 2.4	Jaringan DAB satelit	8
Gambar 2.5	Jaringan DAB Hybrid.....	9
Gambar 2.6	Konsep skema jaringan penyiaran pada DAB	10
Gambar 2.7	Prinsip sistem DAB dengan jaringan <i>terrestrial</i>	11
Gambar 2.8	Struktur Frame Transmisi Mode I, II, IV (a) dan Mode III (b)	14
Gambar 2.9	Pembentukan <i>Multiplex</i> DAB	15
Gambar 2.10	Blok diagram Pemancar DAB	15
Gambar 2.11	Blok diagram COFDM modulator	16
Gambar 2.12	Antena <i>Omnidirectional</i>	18
Gambar 2.13	Blok diagram Penerima DAB	19
Gambar 3.1	Perbedaan (SCM) dengan (MCM).....	22
Gambar 3.2	<i>Inter Carrier Interference</i> (ICI)	23
Gambar 3.3	Perbedaan spektral sinyal FDM dan OFDM	23
Gambar 3.4	Spektrum OFDM.....	24
Gambar 3.5	Representasi Orthogonalitas Antar <i>Subcarrier</i>	25
Gambar 3.6	Pembagian Aliran Data.....	26
Gambar 3.7	Blok Diagram Pemancar dan Penerima Sistem OFDM	27
Gambar 3.8	Sinyal pada <i>Binary Phase Shift Keying</i> (BPSK).....	28
Gambar 3.9	<i>Binary Phase Shift Keying</i> (BPSK) <i>Constellation</i>	29
Gambar 3.10	Sinyal pada <i>Quadrature Phase Shift Keying</i> (QPSK).....	30
Gambar 3.11	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i> (QPSK) <i>Constellation</i>	30
Gambar 3.12	Pemetakan bit masukan ke fasa <i>carrier</i> oleh modulator QPSK	31
Gambar 3.13	Pemetakan bit masukan fasa <i>carrier</i> oleh modulator DQPSK	32
Gambar 3.14	Dasar Implementasi <i>FFT dan IFFT</i> pada <i>Transceiver OFDM</i>	32
Gambar 3.15	Simbol tanpa <i>guard interval</i>	33
Gambar 3.16	Simbol dengan <i>guard interval</i>	34
Gambar 3.17	Penyisipan <i>cyclic prefix</i> pada simbol OFDM	34
Gambar 3.18	Representasi Waktu dari OFDM.....	35
Gambar 3.19	Proses terjadinya <i>multipath fading</i>	37

Gambar 3.20	<i>Additive White Gaussian Noise (AWGN)</i>	37
Gambar 3.21	Model <i>kanal fading</i>	38
Gambar 4.1	Diagram alir penghitungan performansi DAB.....	44
Gambar 5.1	Grafik hubungan jumlah <i>Subcarrier</i> terhadap <i>Bandwidth Subcarrier</i> dan <i>Bandwidth OFDM</i>	52
Gambar 5.2	Grafik hubungan jumlah <i>Subcarrier</i> terhadap SNR.....	57
Gambar 5.3	Hubungan Jumlah <i>Subcarrier</i> dengan <i>Frequency Selectivity</i> dan <i>Time Selectivity</i>	58
Gambar 5.4	Hubungan Durasi <i>Cyclic Prefix</i> dengan Efisiensi Energi dan <i>Frequency Selectivity</i>	59
Gambar 5.5	Grafik hubungan <i>Bandwidth OFDM</i> terhadap Kapasitas kanal	60
Gambar 5.6	Grafik hubungan SNR terhadap Kapasitas kanal	61
Gambar 5.7	Grafik hubungan SNR terhadap BER	63
Gambar 5.8	Grafik hubungan jumlah <i>Subcarrier</i> terhadap BER.....	64



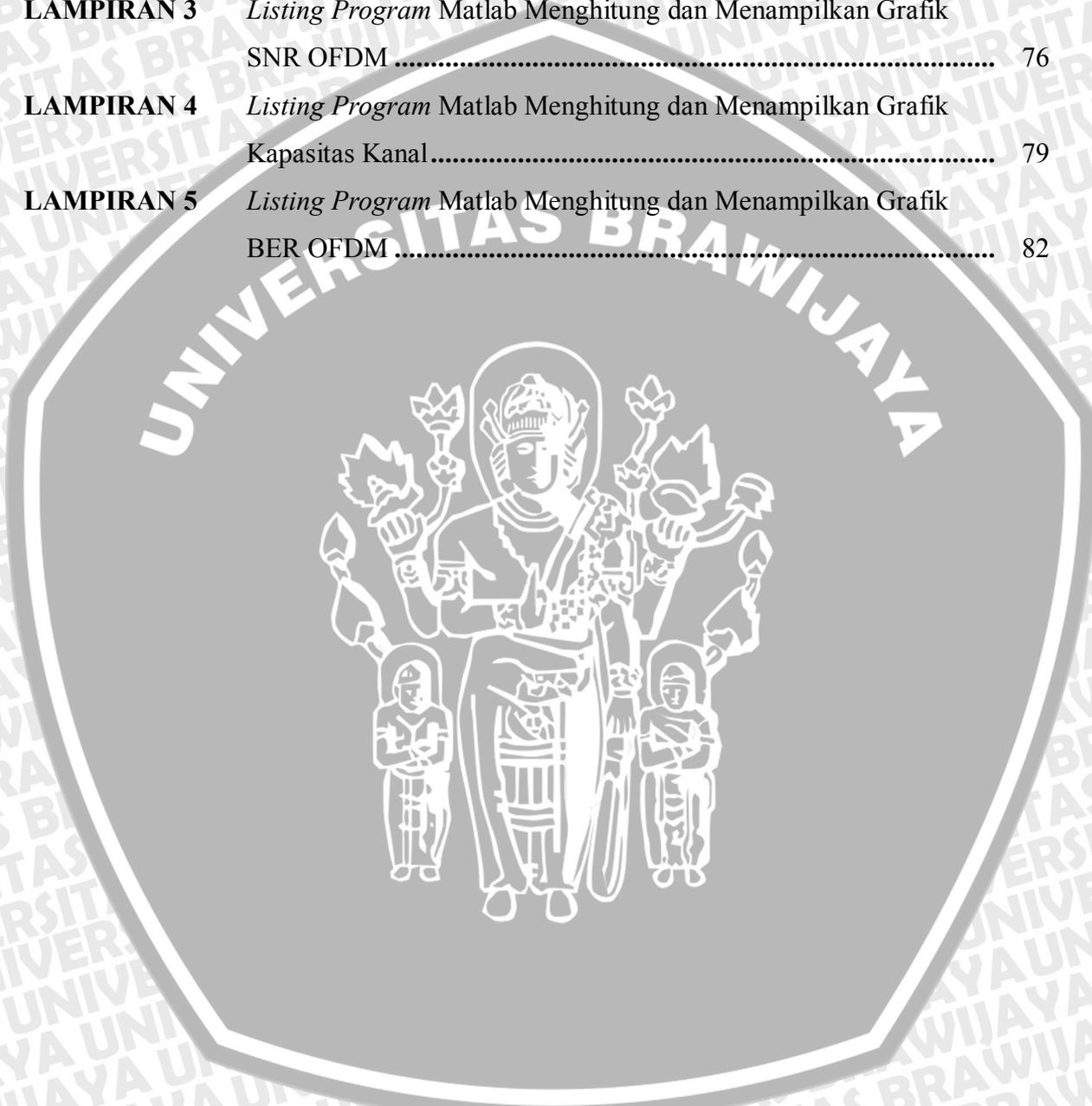
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Parameter Transmisi DAB untuk masing-masing Mode Transmisi	13
Tabel 5.1	Parameter OFDM untuk keempat mode transmisi pada DAB	48
Tabel 5.2	Hasil Analisis <i>Bandwidth</i> untuk setiap <i>subcarrier</i>	51
Tabel 5.3	Hasil analisis <i>Bandwidth</i> OFDM tiap <i>Subcarrier</i>	52
Tabel 5.4	Spesifikasi pemancar DAB.....	53
Tabel 5.5	Hasil Analisis <i>Noise</i> pada Kanal AWGN	55
Tabel 5.6	Hasil Analisis SNR	56
Tabel 5.7	Hasil Analisis SNR _{OFDM}	56
Tabel 5.8	Analisis Kapasitas Kanal.....	60
Tabel 5.9	Analisis BER sistem OFDM.....	63



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	<i>Flowchart</i> Perhitungan	69
LAMPIRAN 2	<i>Listing Program</i> Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik <i>Bandwidth Subcarrier</i> dan <i>Bandwidth OFDM</i>	73
LAMPIRAN 3	<i>Listing Program</i> Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik SNR OFDM	76
LAMPIRAN 4	<i>Listing Program</i> Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik Kapasitas Kanal.....	79
LAMPIRAN 5	<i>Listing Program</i> Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik BER OFDM	82



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem transmisi merupakan sistem yang berfungsi untuk menciptakan terjadinya hubungan antara *transmitter* dengan *receiver*. Untuk melakukan hubungan antara *transmitter* dan *receiver* dibutuhkan adanya media transmisi. Perkembangan media transmisi dari tiap tahun mengalami kemajuan yang sangat pesat seiring dengan perkembangan sistem transmisi telekomunikasi. Media transmisi tersebut dapat berupa kabel *coaxial*, gelombang radio, serat optik, satelit, dan lainnya.

Digital Audio Broadcasting (DAB) yang sebelumnya dikenal dengan EUREKA 147 merupakan teknologi transmisi audio dengan menggunakan modulasi *digital*. Sistem DAB mampu mengirimkan lebih dari satu stasiun radio secara serempak pada satu pentransmisi dengan spektrum *Band III VHF* dari 174 MHz sampai 240 MHz dan spektrum *L-Band* dari 1452 MHz sampai 1492 MHz. DAB memiliki keunggulan dibandingkan dengan radio AM/FM *analog*. Misalnya, *higher fidelity*, dapat melakukan efisiensi penggunaan frekuensi radio karena lebih banyak stasiun radio pada spektrum penyiaran yang sama (*multicasting*), bertambahnya kemampuan untuk mencegah *noise*, *multipath fading*, *interference co-channel*, dan memiliki suara setara CD (*Compact Disk*).

Untuk proses transfer atau transmisi data pada DAB tersebut kemudian digunakan teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). OFDM adalah sebuah teknik transmisi dengan banyak frekuensi (*multicarrier*). OFDM membagi data *stream* yang besar menjadi beberapa data *stream* paralel yang lebih kecil. Perbedaan dengan FDM adalah tingginya tingkat efisiensi dalam pemakaian frekuensi. Hal ini dikarenakan karena OFDM menggunakan sinyal *orthogonal* yang memungkinkan tidak terjadinya sinyal interferensi. Setiap bit data paralel akan dimodulasikan pada sebuah *subcarrier*. Pada DAB setiap *subcarrier* dimodulasikan menggunakan teknik pemodulasian *Differential Quadrature Phase Shift Keying* (DQPSK).

Permasalahan yang terjadi dalam bidang penyiaran adalah kondisi geografis suatu daerah yang berbeda-beda sehingga menuntut suatu kefleksibelan sistem pada semua kondisi geografis. Untuk mengatasi hal tersebut maka DAB menggunakan beberapa mode transmisi yang digunakan berdasarkan fungsinya, antara lain mode

transmisi I, II, III, dan IV. Dalam penggunaannya, keempat mode transmisi tersebut harus dimiliki oleh setiap penerima DAB. Berapa besar pengaruh implementasi OFDM pada masing-masing mode transmisi DAB menjadi pembahasan pada skripsi ini.

1.2. Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang telah diuraikan dalam latar belakang maka rumusan masalah ditekankan pada :

1. Bagaimana Implementasi OFDM pada DAB untuk setiap mode transmisi?
2. Bagaimana pengaruh implementasi OFDM pada *bandwidth* setiap mode transmisi DAB?
3. Bagaimana pengaruh implementasi OFDM pada SNR setiap mode transmisi DAB?
4. Bagaimana pengaruh implementasi OFDM pada Kapasitas kanal setiap mode transmisi DAB?
5. Bagaimana pengaruh implementasi OFDM pada BER setiap mode transmisi DAB?

1.3 Ruang Lingkup

Berdasarkan perumusan masalah di atas maka pembahasan dibatasi pada :

1. Standar DAB yang digunakan adalah standar DAB ETSI EN 300 401,
2. Teknologi yang digunakan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM),
3. Performansi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) pada DAB dilihat dari parameter *bandwidth*, SNR, Kapasitas kanal, dan BER,
4. Teknik modulasi yang digunakan DQPSK,
5. Kanal yang digunakan kanal AWGN,
6. Sistem transmisi yang digunakan adalah *terrestrial*,
7. Analisis data dilakukan dengan menggunakan software Matlab 7.5.0 (R2007b).

1.4 Tujuan

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh performansi transmisi DAB ETSI EN 300 401 jika diterapkan teknik OFDM dengan menganalisis parameter *bandwidth*, SNR, Kapasitas kanal, dan BER pada masing-masing mode transmisi.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dan gambaran untuk setiap bab pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, dan sistematika penulisan.

BAB II *DIGITAL AUDIO BROADCASTING (DAB)*

Dasar teori yang membahas DAB khususnya ETSI EN 300 401.

BAB III *ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM)*

Dasar teori yang membahas *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*

BAB IV METODOLOGI

Memuat metode pengambilan data, metode pembatasan variabel data, dan metode analisis data.

BAB V ANALISIS PERFORMANSI *ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM)* PADA *DIGITAL AUDIO BROADCASTING (DAB)*

Melakukan analisis perhitungan terhadap performansi penerapan OFDM pada DAB ETSI EN 300 401.

BAB VI PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran yang diperoleh dari analisis perhitungan.



BAB II

DIGITAL AUDIO BROADCASTING (DAB)

2.1 Broadcasting

Broadcasting merupakan proses pengiriman sinyal *audio* atau *video* ke berbagai lokasi secara bersamaan. Sistem penyiaran (*Broadcasting*) dibagi berdasarkan fungsi dan kemampuannya, sistem *broadcasting* paling besar terdiri dari lembaga sistem pelayanan masyarakat yang mengirimkan pesan *nonverbal* dan musik, dan paling kecil merupakan sistem penyiaran pada stasiun radio dan stasiun televisi. Stasiun radio dan televisi negara yang memiliki jangkauan penyiaran luas menggunakan sistem pentransmisi ulang dengan tower (*terrestrial*), satelit, dan pendistribusian melalui kabel.

2.2 Digital Audio Broadcasting (DAB)

Digital Audio Broadcasting (DAB) atau EUREKA-147 adalah teknologi radio *digital* untuk penyiaran stasiun radio yang merupakan sebuah inovasi dan sistem penyiaran *multimedia universal*, sehingga diharapkan kedepannya akan menggantikan pelayanan siaran *audio* AM dan FM yang telah ada di seluruh dunia. Istilah *Digital Audio Broadcasting* (DAB) awalnya berasal dari Eropa dan saat ini digunakan di beberapa negara Eropa, Kanada dan Asia untuk menyatakan sistem penyiaran radio *digital* secara komersial yang memerlukan pita frekuensi penyiaran diluar spektrum frekuensi radio AM dan FM. DAB telah dikembangkan oleh institut Rundfunktechnik (IRT) sejak tahun 1981. Pada tahun 1985 DAB pertama kali di demonstrasikan pada WARC – ORB di Geneva dan di tahun 1988 sistem transmisi DAB pertama di buat di Jerman. Pada tahun 1987 DAB (Eureka - 147) dikembangkan sebagai sebuah proyek riset untuk perserikatan bangsa eropa yang diberi nama EU147, dan dari proyek tersebut diciptakan pula *codec* MPEG-1 *Audio Layer II* ("MP2"). Tahun 1991 Siaran radio *digital* EUREKA-147 pertama kali digunakan NAB di Las Vegas dan tahun 1993 di Inggris. DAB sangat cocok untuk *mobile reception* dan menawarkan sistem dengan ketahanan yang sangat tinggi terhadap penerimaan *multipath*. DAB menggunakan *Single Frequency Networks* (SFN) untuk efisiensi frekuensi tinggi dan daya.

Disamping kualitas pelayanan *audio digital* yang tinggi, DAB juga sanggup mentransmisikan data program maskapai dan gabungan dari servis data yang lain (musik, berita, ramalan cuaca, informasi keadaan lalul-intas, gambar diam dan

bergerak). Di beberapa negara Eropa dan organisasi penyiaran di luar negeri, penyedia jaringan dan industri pembuatan stasiun penerima telah mengimplementasikan layanan *digital broadcasting* menggunakan sistem DAB dalam proyek penerbangan dan pelayanan publik.

2.3 Teknologi pada DAB

DAB memiliki teknologi yang berbeda dengan penyiaran *audio analog*, antara lain dalam segi *Band* (lebar pita), mode transmisi, teknik modulasi, serta teknologi pentransmisian *audio* dan data.

2.3.1 Lebar pita frekuensi dan Mode Transmisi DAB

DAB menggunakan teknologi penyiaran radio dengan *bandwidth* yang lebar dan secara khusus dialokasikan pada lebar pita VHF-I, VHF-II, VHF-III atau (*Band*) III (174-240 MHz) dan L-Band (1452-1492 MHz). Meskipun secara perencanaan memperbolehkan beroperasi pada frekuensi manapun diatas 30 MHz.

DAB memiliki beberapa mode transmisi yang digunakan berdasarkan fungsinya, antara lain mode transmisi I, II, III, dan IV. Dalam penggunaannya ke-empat mode transmisi tersebut harus dimiliki oleh setiap penerima DAB.

2.3.2 Audio Codec

Satu dari banyaknya pernyataan mengenai desain sistem radio *digital* adalah pemilihan *audio codec* yang digunakan, karena efisiensi dari *audio codec* menentukan berapa banyak stasiun radio bisa membawa sebuah pencampuran (*multiplex*) dengan level kualitas *audio* yang diberikan. Kapasitas *Multiplex* DAB telah ditetapkan, jadi lebih efisien jika *audio codec*-nya adalah lebih dari satu stasiun radio yang dikirimkan. Dengan cara yang sama untuk sebuah level *bit-rate* yang telah ditetapkan, lebih efisien *audio codec* maka kualitas *audio* akan semakin besar.

DAB menggunakan teknik pengkodean *audio* MPEG-1 *Audio layer 2* atau yang dikenal dengan MP2.

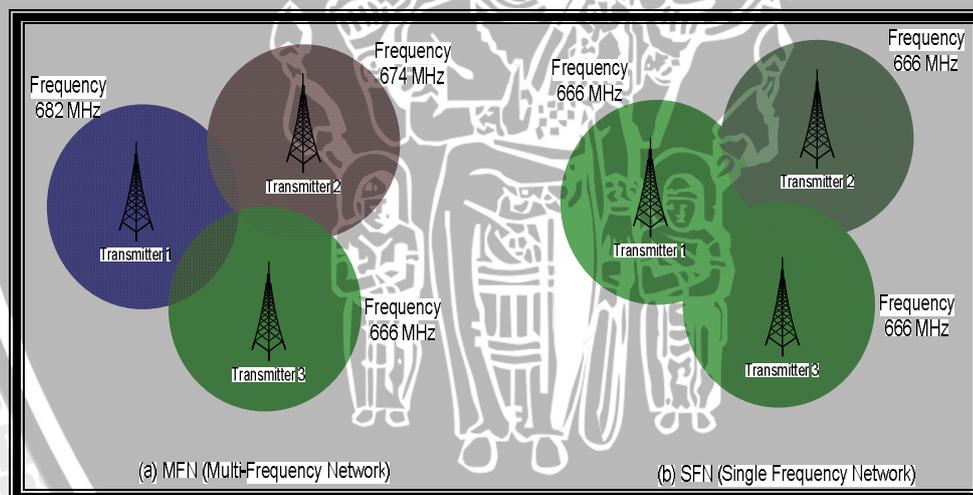
2.3.3 Modulasi

Kekebalan terhadap *fading* dan *inter-symbol interference* (dikarenakan oleh *multipath propagation*) adalah kesuksesan yang dicapai tanpa persamaan dengan cara menggunakan teknik modulasi OFDM dan DQPSK.

2.3.4 Single-frequency networks

Berbeda dengan penyiaran radio *analog* yang menggunakan MFN (*Multi-Frequency Network*) dengan menggunakan frekuensi pentransmisi yang berbeda dalam masing-masing daerah / servis area, sistem penyiaran pada DAB menggunakan teknologi SFN (*Single Frequency Network*). SFN adalah dua atau lebih pentransmisi yang beroperasi dalam frekuensi yang sama. Semua pentransmisi (*transmitter*) dalam sebuah SFN harus disinkronisasikan sehingga yang disiarkan oleh masing-masing *transmitter* adalah dengan frekuensi serta bit yang sama. Oleh karena itu dalam pengoperasiannya SFN memerlukan peralatan yang spesial dalam jaringan pendistribusian utama untuk proses sinkronisasi, dengan menggunakan waktu yang sama dan keterangan frekuensi seperti yang terdapat pada sistem satelit GPS.

OFDM memperbolehkan penggunaan *single-frequency networks* (SFN), dengan cara tersebut sebuah jaringan dari beberapa pemancar dapat memberikan jangkauan (*coverage*) untuk sebuah area yang luas hingga sebesar sebuah negara dengan catatan semua pemancar menggunakan frekuensi transmisi yang sama.



Gambar 2.1 Perbandingan antara MFN dan SFN
(Sumber : <http://www.enensys.com>)

2.4 Standar DAB

Pada tahun 1994 spesifikasi protokol DAB diselesaikan dan diadopsi oleh badan standarisasi ITU-R, *European community* di tahun 1995 dan ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) di tahun 1997. Pada tahun 2006, diperkirakan telah ada 1.000 stasiun radio di seluruh dunia yang telah melakukan siaran dengan

format DAB. Standar DAB yang digunakan sampai saat ini adalah EN 300 401 yang ditetapkan oleh ETSI.

2.5 Konfigurasi Jaringan DAB

Jaringan dasar dari sistem DAB terdiri dari tiga bagian, antara lain:

1. *Services Providers*

Tempat penyedia *content* (data yang akan ditransmisikan)

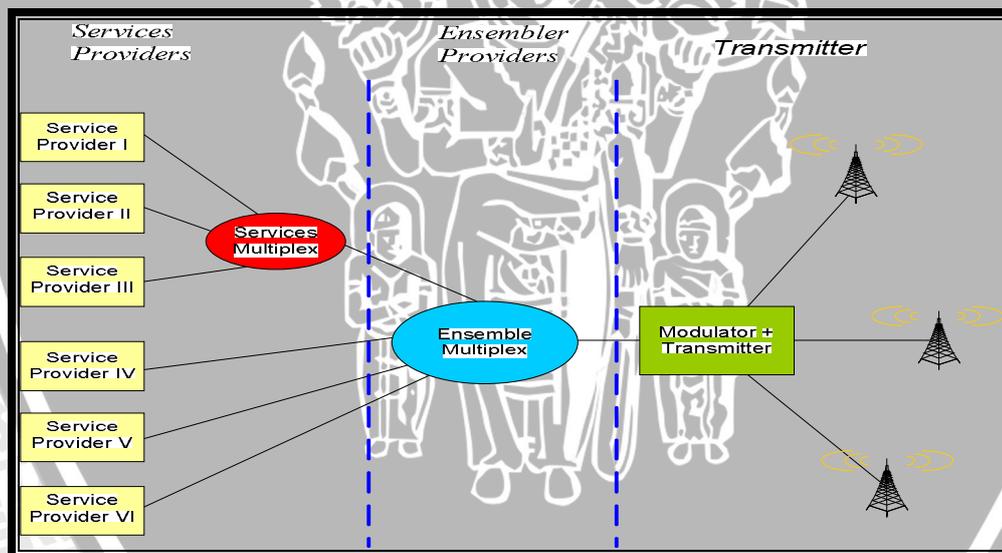
2. *Ensembler Providers*

Tempat penggabungan dari beberapa *contents* yang disediakan oleh beberapa *services providers*

3. *Transmitter*

Merupakan bagian yang berfungsi untuk memodulasi dan kemudian memancarkan sinyal hasil penggabungan *contents* dari *Ensembler Providers*.

Adapun skema dari konfigurasi jaringan DAB dapat dilihat pada Gambar 2.2.

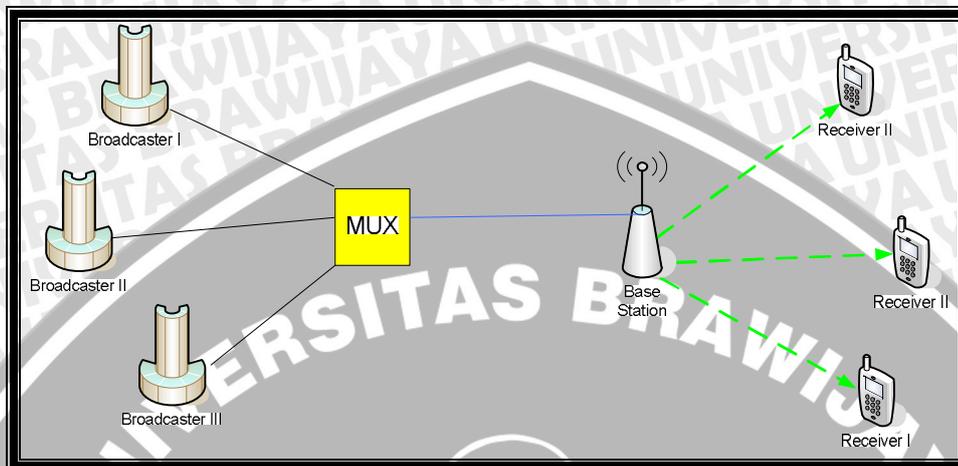


Gambar 2.2 Skema jaringan DAB
(Sumber : <http://www.dlr.de>)

DAB dapat beroperasi pada banyak frekuensi, dari 30 MHz sampai 3 GHz untuk *mobile reception* (paling besar untuk penerima tetap) dan bisa diterapkan pada jaringan penyiaran *terrestrial*, satelit, *hybrid* (jaringan satelit yang dilengkapi dengan jaringan *terrestrial*), serta jaringan kabel.

2.5.1 Jaringan Terrestrial

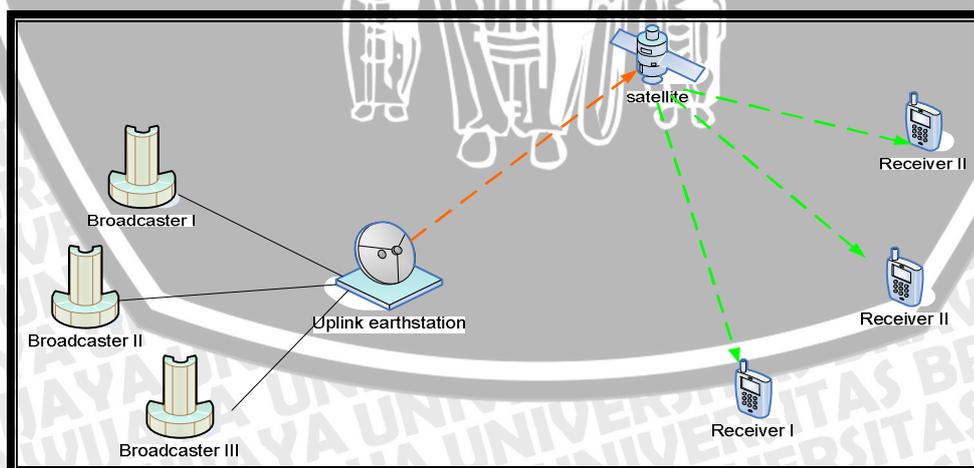
Pada jaringan ini *contents* atau layanan data dari beberapa stasiun penyiaran (*Broadcaster*) digabungkan pada bagian *ensampler providers* dan selanjutnya dipancarkan oleh menara pemancar DAB kepada penerima DAB yang ada disekitarnya.



Gambar 2.3 Jaringan DAB Terrestrial
(Sumber : <http://www.dlr.de>)

2.5.2 Jaringan Satelit

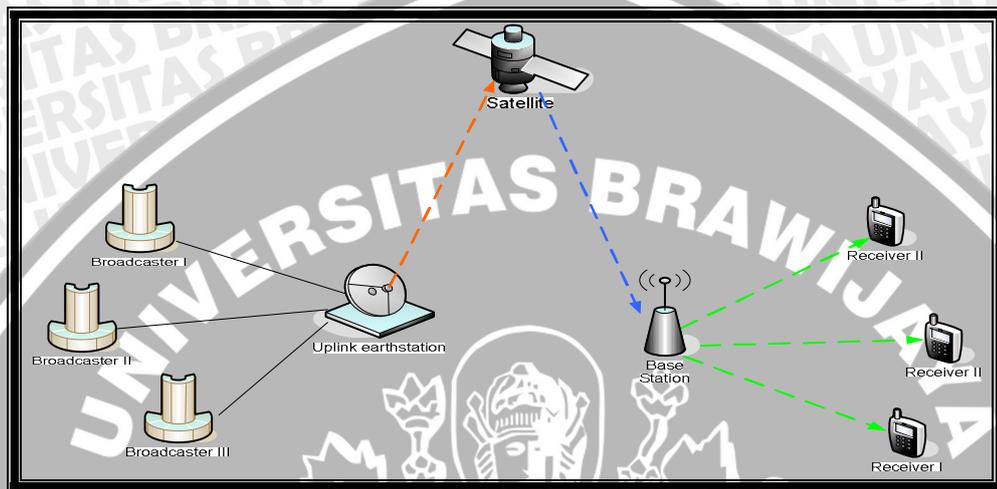
Pada jaringan ini pengiriman *contents* atau layanan data dari beberapa stasiun penyiaran (*Broadcaster*) ditransmisikan menggunakan satelit. Mula-mula *Broadcaster* mengirimkan *contents* dan data untuk digabungkan pada bagian *ensampler providers* dan kemudian stasiun pemancar bumi mengirimkannya ke satelit, selanjutnya satelit mentransmisikannya kepada penerima DAB yang ada di bumi.



Gambar 2.4 Jaringan DAB satelit
(Sumber : <http://www.dlr.de>)

2.5.3 Jaringan Hybrid

Pada jaringan *Hybrid* merupakan gabungan dari jaringan *Terrestrial* dan satelit. Mula-mula *Broadcaster* mengirimkan *contents* dan data untuk digabungkan pada bagian *enssembler providers* dan kemudian dikirimkan oleh stasiun pemancar bumi ke satelit, dan satelit mengirimkan *contents* dan data tersebut kepada menara pemancar DAB diberbagai tempat untuk kemudian ditransmisikan kepada penerima.



Gambar 2.5 Jaringan DAB Hybrid
(Sumber : <http://www.dlr.de>)

2.5.4 Multiplex Operator

Multiplex operator adalah bagian pada sistem DAB yang secara teknis berfungsi untuk menggabungkan *contents* yang dihasilkan oleh beberapa stasiun penyiaran (*operator*) untuk dipancarkan bersama-sama dalam satu kanal. Pada DAB terdapat dua macam proses *Multiplex*, antara lain *Service Multiplex* dan *Ensemble Multiplex*.

2.5.4.1 Service Multiplex

Merupakan penggabungan kombinasi beberapa kanal dari masing-masing perusahaan penyiaran radio. Sinyal keluaran dari *Service Multiplex* dinamakan *Service Transport Interface* (STI) yang nantinya digunakan sebagai input dari *Ensemble Multiplex*.

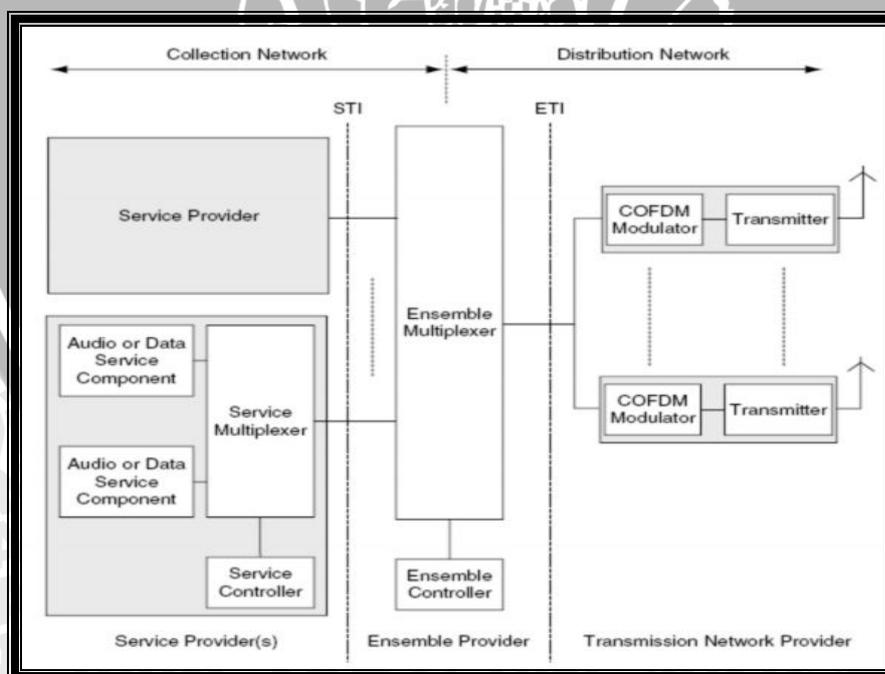
Service Transport Interface (STI) telah didefinisikan pada proyek Eureka 147 dan dipublikasikan oleh ETSI [EN 300797]. Standar ini cukup kompleks karena mencakup sebuah keseragaman yang luas dari persoalan transmisi data dan juga tugas manajemen spesifikasi DAB yang dihubungkan pada sekumpulan jaringan.

2.5.4.2 Ensemble Multiplex

Merupakan bagian yang menjumlahkan atau menggabungkan beberapa program atau data tambahan dari beberapa studio penyiaran yang dikompilasikan oleh *operator* yang mengoperasikan *Ensemble Multiplex*. *Ensemble Multiplex* biasanya terdapat dibawah jaringan distribusi pada DAB. Sinyal keluaran dari *Ensemble Multiplex* dinamakan *Ensemble Transport Interface* (ETI) yang nantinya digunakan sebagai masukan dari pemancar DAB.

Ensemble Transport Interface (ETI) telah dipublikasikan oleh ETSI [EN 300799] pada proyek Eureka 147. ETI digunakan untuk distribusi serangkaian data dari rangkaian *multiplexer* menuju bagian pentransmisian pada *Single Frequency Network* (SFN). Konsep dasar ETI pada layer membedakan diantara *logical interface* dan pada layer fisik, *network-independent interfaces* (NI) dan *network-adapted interfaces* (NA).

Untuk transport fisik dalam jaringan telekomunikasi publik, ETI menentukan untuk tidak melebihi *bit rate* 2 Mbps dengan hal untuk efisiensi kerugian. Sebagai konsekuensi, proses konvolusional *encoding* yang mana memiliki *data rate* tertinggi dengan 2448 kbps (untuk mode transmisi III) dan 2432 kbps (untuk mode transmisi I, II, IV), harus digeser dari *ensemble multiplexer* ke bagian pentransmisian.

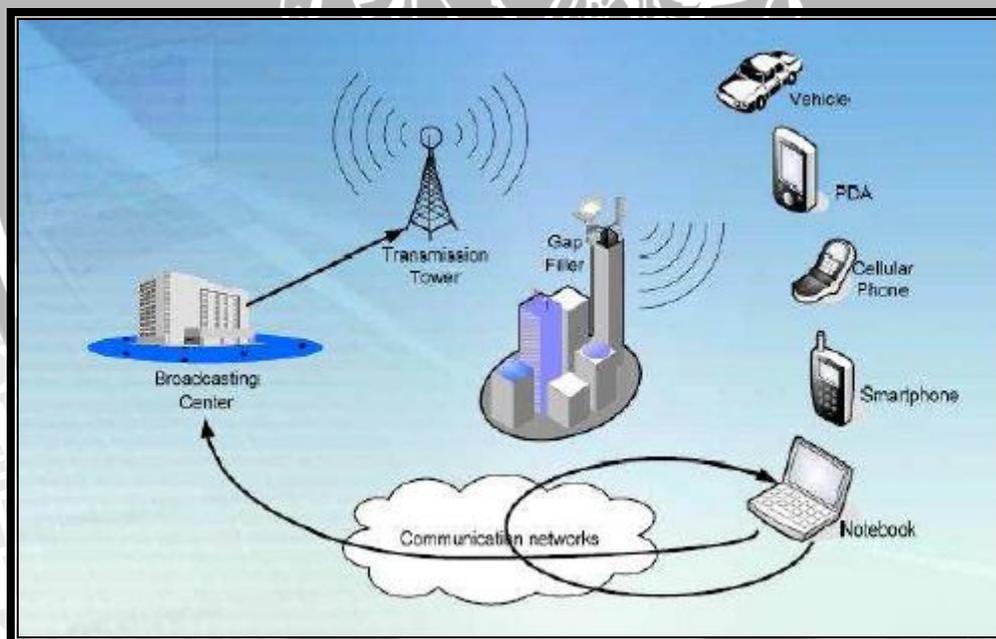


Gambar 2.6 Konsep skema jaringan penyiaran pada DAB
(Sumber : R.H. Evans – BBC Research & Development Department)

2.6 Sistem transmisi DAB

Stasiun pemancar DAB memancarkan sinyal *audio digital* dalam bentuk aliran data *digital* yang dikirim secara berurutan sebagaimana pada *modem* dan faksimili bersama-sama dengan sinyal *analog*. Dengan ini memungkinkan spektrum yang sama digunakan untuk kedua jenis sinyal *analog* dan *digital*, sehingga pesawat penerima radio AM atau FM masih bisa menerima siaran yang sama. Sistem transmisi DAB menggunakan udara sebagai media transmisinya. DAB memiliki sistem penyiaran *digital* dengan banyak layanan yang dapat diakses melalui *mobile receptions*, penerima tetap maupun *portable*. Untuk mengatasi permasalahan *intersymbol interference* dikarenakan gema yang panjang (*long echoes*) maka DAB menggunakan sebuah teknik *multicarrier modulation* OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*).

DAB menggunakan teknik pengompresan *audio digital* (MPEG 1 *audio layer II* dan MPEG 2 *audio layer II*) untuk mencapai efisiensi spektrum yang sama dan memperbesar efisiensi daya untuk suara dan data sehingga lebih besar dari radio FM biasa. Sistem DAB terdiri dari sistem *multiplex operator*, pemancar DAB, dan penerima DAB.



Gambar 2.7 Prinsip sistem DAB dengan jaringan *terrestrial*
(Sumber : Report by Remi Cazenave and Benjamin Rivier for M.Sicard)

2.6.1 Mode Transmisi

Terdapat 4 mode transmisi berbeda yang telah ditetapkan pada DAB, keempat mode transmisi tersebut disediakan untuk aplikasi dan lebar pita frekuensi yang berbeda. Keempat mode transmisi tersebut antara lain :

1. Mode Transmisi I

Merupakan mode transmisi dengan *guard interval* yang sangat panjang sekitar 250 μ s yang didesain untuk *coverage area* yang luas, yang memungkinkan terjadinya gema panjang (*long echoes*). Mode transmisi ini cocok untuk *single frequency networks* (SFN) dengan panjang *echoes* tiruan 200 μ s untuk jarak 60 km. Maksimum frekuensi kerja pada mode transmisi ini adalah sekitar 375 MHz.

2. Mode Transmisi II

Mode transmisi ini dapat mengatasi *echoes* (gema) yang khas dari sebagian besar situasi topografi. Tetapi pada daerah pegunungan permasalahan bisa terjadi. Mode transmisi ini sangat cocok untuk pentransmisi di pita frekuensi-L (*L-band*) atau pada frekuensi 1.5 GHz. Mode transmisi ini didesain untuk pentransmisi dengan jaringan *hybrid*, maupun *terrestrial*.

3. Mode Transmisi III

Mode transmisi ini didesain untuk pentransmisi menggunakan satelit. Pada mode transmisi ini juga memungkinkan digunakan pada daerah jangkauan jaringan *terrestrial* jika tidak mengharapkan adanya *long echoes*.

4. Mode Transmisi IV

Mode transmisi ini digunakan untuk pentransmisi dengan pita frekuensi L-band dan memberikan pengaturan jarak *transmitter* yang lebih besar dalam pemakaiannya untuk SFN (*Single Frequency Network*). Mode ini khusus digunakan di Negara Kanada yang memiliki situasi penyiaran dengan kondisi khusus. Mode transmisi ini didesain untuk pentransmisi dengan jaringan *terrestrial*.

Tabel 2.1 Parameter Transmisi DAB untuk masing-masing Mode Transmisi

NO	System Parameter	Transmission Mode			
		I	II	III	IV
1	Frame duration	96 ms	24 ms	24 ms	48 ms
2	Null symbol duration	$\approx 1246\mu\text{s}$	$\approx 312\mu\text{s}$	$\approx 156\mu\text{s}$	$\approx 632\mu\text{s}$
3	Guard interval duration	$\approx 246\mu\text{s}$	$\approx 62\mu\text{s}$	$\approx 31\mu\text{s}$	$\approx 123\mu\text{s}$
4	Nominal frequency range (for mobile reception)	≤ 375 MHz	≤ 1.5 GHz	≤ 3 GHz	≤ 1.5 GHz
5	Total symbol duration	1246 s	312 μs	156 μs	623 μs
6	Carrier spacing	1 kHz	4 kHz	8 kHz	2 kHz
7	Symbols per frame	76	76	153	76
8	Number of radiated carriers	1536	384	192	768

(Sumber : ETSI EN 300 401 V1.3.3 (2001-05))

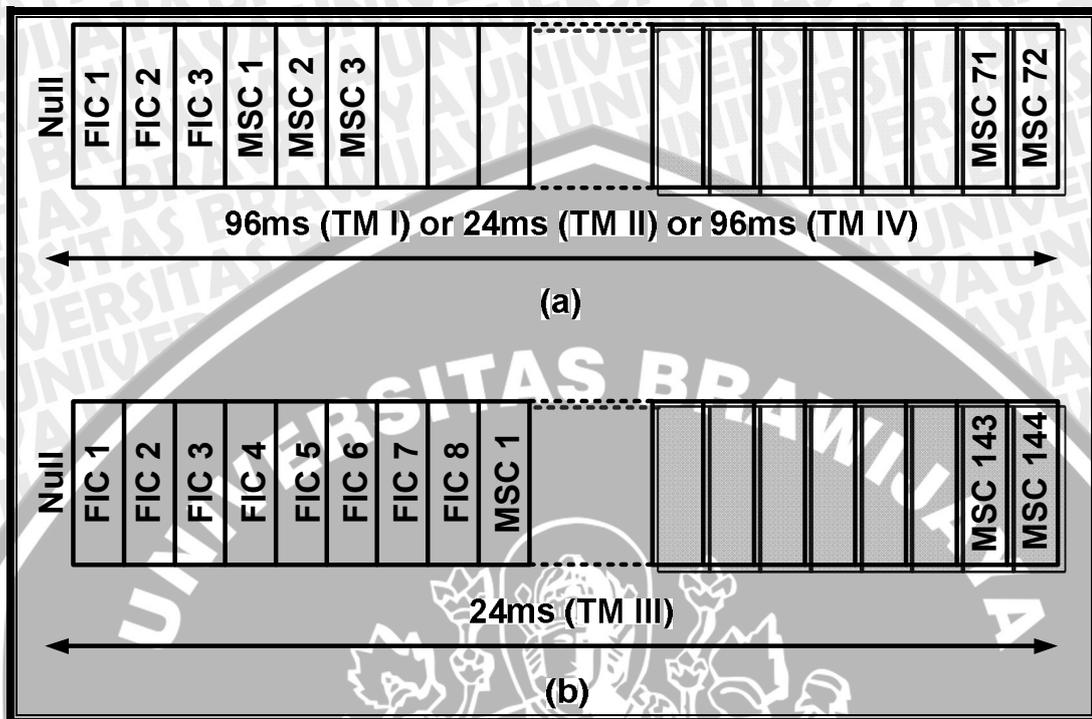
2.6.2 Struktur Frame DAB

Untuk masing-masing mode transmisi, sebuah pentransmisi didefinisikan dalam level sinyal *physical* sebagai sebuah struktur pengulangan pada waktu tertentu dari simbol OFDM yang memenuhi fungsi khusus pada aliran data. Hal ini merupakan sebuah keistimewaan penting pada sistem DAB (berbeda dengan sistem DVB) yang periode waktunya pada level *physical* dan pada level *logical* (data) disamakan. Periode T_f dari frame transmisi masing - masing sama seperti panjang frame *audio* untuk 24 ms. Sebagai sebuah konsekuensi, data *stream audio* tidak membutuhkan sinkronisasi. Hal ini memastikan kestabilan sinkronisasi yang baik diutamakan untuk *mobile reception*.

Pada Mode transmisi I, II, dan IV durasi frame transmisi secara berturut-turut adalah 48ms, 24ms, dan 96ms. Ketiga mode transmisi tersebut sama-sama memiliki 76 simbol OFDM, yang mana 1 dari awal merupakan simbol OFDM pada frame transmisi yang membentuk *Synchronisation Channel* (SC) yang biasa disebut simbol TFPR (*Time Frequency Phase Reference*). Selanjutnya tiga simbol OFDM yang membawa data dari *Fast Information Channel* (FIC) yang berisi informasi tentang struktur *multiplex* dan program yang ditransmisikan. Selanjutnya 72 simbol OFDM yang membawa data dari *Main Service Channel* (MSC). MSC memuat informasi yang berguna, seperti data *audio* atau servis lainnya.

Untuk mode transmisi III durasi frame $T_f = 24$ ms dan memiliki 153 simbol OFDM, yang mana 1 dari awal merupakan simbol OFDM pada TFPR (*Time Frequency Phase Reference*), delapan simbol OFDM membawa FIC, dan 144 simbol OFDM

membawa MSC. Data rate dari FIC lebih besar dengan sebuah faktor 3/4 dibanding mode transmisi lainnya. MSC selalu memiliki data rate yang sama.

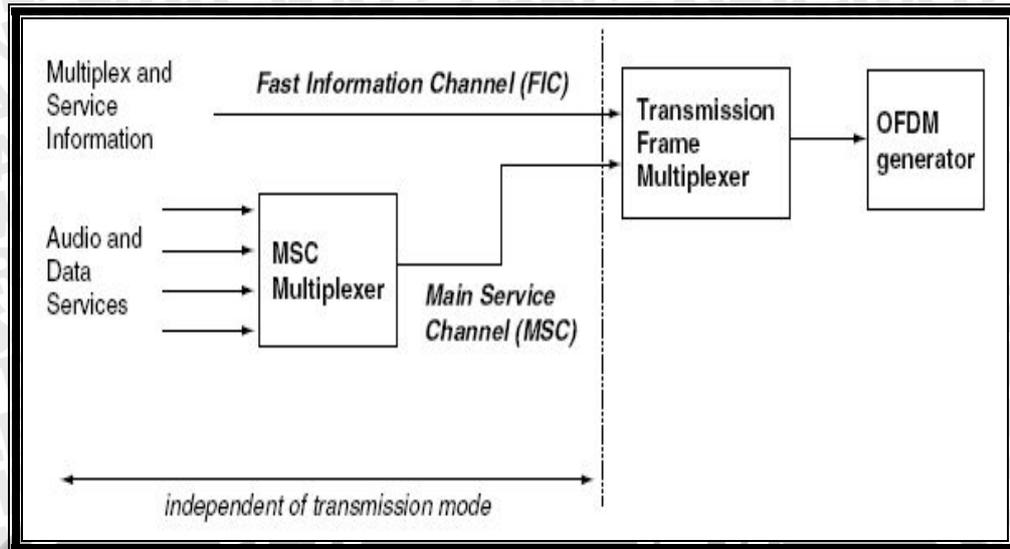


Gambar 2.8 Struktur Frame Mode Transmisi I, II, IV (a) dan Mode Transmisi III (b) (Sumber : Hoeg, Wolfgang, Lauterbach Thomas, 2003)

2.6.3 DAB Multiplex

Sistem DAB didesain untuk penyiaran untuk penerima bergerak dalam range frekuensi dari 30 MHz sampai 3 GHz. Hal tersebut tidak bisa dicapai oleh sebuah kumpulan parameter OFDM tunggal. maka digunakan empat mode transmisi yang berbeda. DAB *multiplex* dapat diuraikan secara bebas untuk masing-masing mode transmisi. Untuk melakukan hal tersebut tempat dari informasi didefinisikan dan digunakan untuk membawa data aplikasi (*audio*, servis data, informasi servis, dll) untuk penerima.

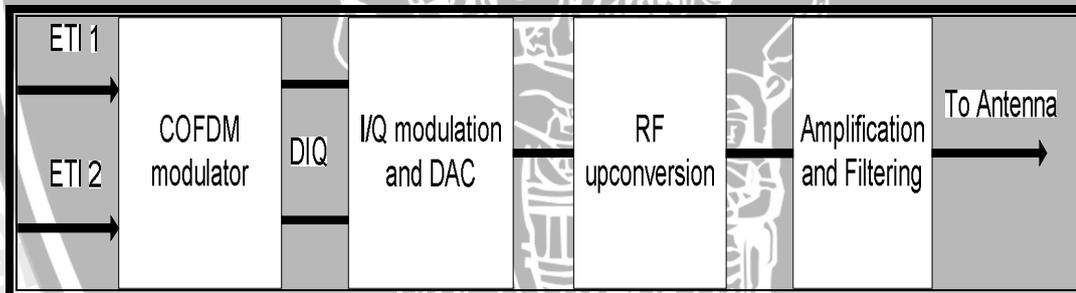
Data dari komponen *audio* dan aplikasi lain dibawa dalam *Main Service Channel* (MSC). Setiap 24ms data dari semua aplikasi dikumpulkan dalam suatu rangkaian yang disebut *Common Interleaved Frames* (CIFs). *Multiplex* dan semua yang berhubungan dengan informasi maupun layanan dibawa dalam *Fast Information Channel* (FIC). Seperti pada MSC, data FIC dikombinasikan ke dalam *Fast Information Blocks* (FIBs). Sesuai dengan mode transmisi yang digunakan, sebuah nomor dari CIFs dan FIBs dikelompokkan bersama ke dalam satu frame transmisi yang mana akan dipetakan pada sebuah nomor dari simbol OFDM.



Gambar 2.9 Pembentukan *Multiplex DAB*
(Sumber : Hoeg, Wolfgang, Lauterbach Thomas. 2003)

2.6.4 Sistem pemancar DAB

Blok diagram dari sistem pemancar DAB dapat dilihat pada Gambar 2.10. Sistem Pemancar DAB memiliki sinyal masukan yang dinamakan *Ensemble Transport Interface (ETI)*.

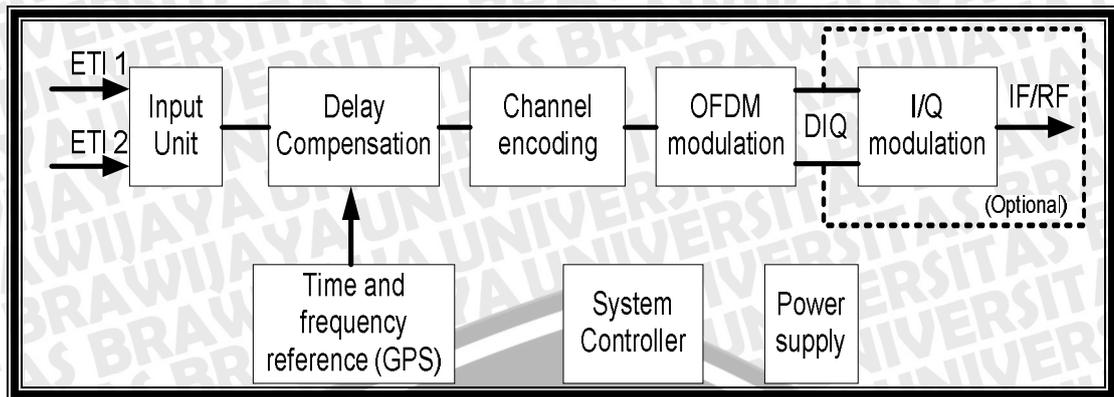


Gambar 2.10 Blok diagram Pemancar DAB
(Sumber : Hoeg, Wolfgang, Lauterbach Thomas. 2003)

Masing-masing blok diagram pada sistem pemancar DAB memiliki fungsi dan pengertian masing-masing, yang terdiri dari :

1. *COFDM modulator*

Blok *COFDM modulator* berfungsi sebagai tempat pemrosesan sinyal masukan ETI dan sebagai tempat untuk menyisipkan *delay* sinyal yang dibutuhkan. Sinyal keluaran dari *COFDM modulator* adalah *DIQ (Digital In-phase and Quadrature)*. Blok diagram dari sistem pemrosesan sinyal pada *COFDM modulator* dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Blok diagram COFDM modulator
(Sumber : Hoeg, Wolfgang, Lauterbach Thomas. 2003)

Di dalam COFDM modulator terdapat beberapa bagian, antara lain:

a. *Input unit*

Pada *input unit* sinyal ETI yang menjadi masukan yaitu ETI(NI) dan ETI(NA). Sinyal ETI yang sebelumnya ditransmisikan dalam format HDB3 dikonversikan terlebih dahulu pada level TTL. Jika modulator memiliki dua masukan untuk memenuhi jaringan dengan garis edar distribusi pada satelit secara berlebih, kedua masukan akan dideteksi kualitas sinyalnya dan penyeleksian satu dari dua sinyal masukan sebagai pemrosesan lebih lanjut setelah keluar dari *input unit* nantinya.

b. *Delay Compensation*

Pada bagian *Delay Compensation* sinyal masukan ditunda dalam sebuah batas nol sampai kadang-kadang lebih dari 1 detik, secara khas setiap *steps* 488ns (488ns adalah yang tersedia dalam sistem mulai dari sinyal ETI yang diterima pada sebuah kelajuan 2.048 Mbps). Untuk kompensasi *delay* dinamik, waktu dari ETI(NI) dan ETI(NA) dievaluasi menggunakan sinyal 1 pps (*pulse per second*) dari penerima GPS sebagai referensi waktu. Informasi untuk kompensasi *delay* otomatis statis ditransmisikan dalam MNSC (*Multiplex Network Signalling Channel*) dari sinyal ETI. *Delay* ini dinamakan *transmitter offset delay* dan bisa diset untuk setiap membuat *transmitter* secara individu menggunakan *unique encoder Id*.

c. *Channel Coding*

Blok *channel coding* berfungsi melakukan semua kebutuhan pengkodean untuk mencapai sebuah level tertinggi dari ketahanan sinyal dan untuk

menyediakan koreksi kesalahan (*error correction*) dalam keadaan pentransmisi yang buruk.

d. *OFDM modulation*

Dalam blok *OFDM modulation*, aliran bit keluaran dari blok *channel coding* dipetakan dalam simbol DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*), sebelum $x/\sin x$ *pre-correction* untuk melakukan pengkonversian *digital* ke *analog*. Terakhir penggunaan IFFT (*Inverse Fast Fourier Transformation*) dengan pembangkitan dari simbol referensi fasa, TII (*Transmitter Identification Information*) dan melakukan *guard interval* untuk pembangkitan sinyal baseband DIQ.

e. *I/Q Modulation*

sinyal baseband DIQ dapat digunakan untuk melakukan pemrosesan sinyal lebih lanjut seperti non-linier *pre-correction* atau manipulasi faktor puncak (*crest factor manipulation*). Untuk melengkapi COFDM modulator, sebuah pengontrol sistem dan *power supply* dibutuhkan, serta sebuah I/Q modulator boleh ditambahkan.

2. *I/Q modulation and DAC*

I/Q modulation bisa digunakan untuk pemrosesan sinyal lebih lanjut. Di dalam blok ini juga terjadi pengkonversian dari sinyal *digital* ke sinyal *analog*. Sinyal keluaran dari blok ini adalah sinyal IF atau sinyal RF akhir.

3. *RF upconversion*

Upconversion dibutuhkan jika di dalam fasa dan sinyal *quadrature* dimodulasi untuk memperoleh sebuah sinyal IF atau RF. Hal ini diaplikasikan untuk beberapa implementasi *transmitter Band III*, dan sebagian besar tidak semua diimplementasikan pada *L-band*.

4. *Amplification and Filtering*

Pada blok ini sinyal RF dikuatkan dan difilter untuk mendapatkan spektrum yang relevan sebelum diradiasikan oleh antena.

5. Antena

Antena merupakan alat untuk mentransformasikan sinyal radio yang merambat pada sebuah konduktor menjadi gelombang elektromagnetik di udara. Antena memiliki pola radiasi, yaitu pola penyebaran energi gelombang elektromagnetik tersebut ke udara (di sisi *transmitter*), atau pola tangkap energi gelombang elektromagnetik dari udara (di sisi penerima). Sistem komunikasi *point-to-point* misalnya, sistem

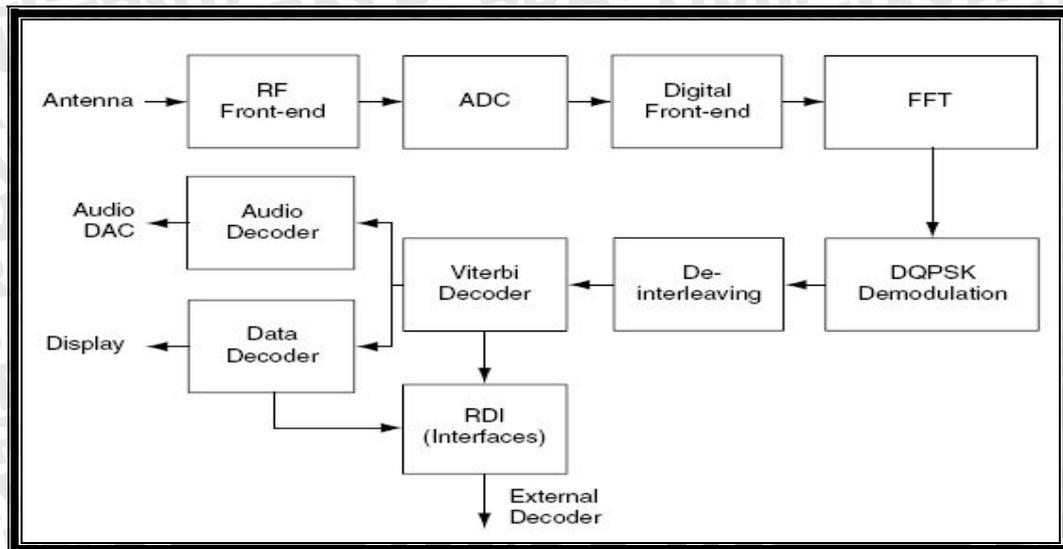
antennanya akan mempunyai pola radiasi yang sempit mengarah pada satu arah ke depan tanpa terdapat pola radiasinya yang ke belakang. Antena pada DAB dan sistem penyiaran lainnya harus mempunyai pola radiasi mengarah ke semua arah dengan sama rata atau yang disebut dengan *omnidirectional*. Antena *Omnidirectional* merupakan jenis antena yang memiliki pola pancaran sinyal ke segala arah (360°). Antena jenis ini dapat digunakan untuk konfigurasi *point to multi point* (PtMP) sehingga dapat melayani jumlah pengguna yang lebih banyak. Namun, kesulitannya adalah pada terbatasnya jangkauan daya pancar.



Gambar 2.12 Antena *Omnidirectional*
(Sumber : <http://www.nevadaradio.com>)

2.6.5 Sistem Penerima DAB

Sistem penyiaran DAB berbeda dengan sistem penyiaran *analog* seperti AM dan FM. Sebagai contoh, DAB adalah Sistem transmisi *Broadband*, mentransmisikan berbagai program *audio* dan kanal data dengan frekuensi yang sama. Frekuensi yang digunakan oleh DAB berbeda dengan frekuensi penyiaran tradisional. Pengiriman informasi, *audio*, dan data juga menggunakan konsep yang baru, seperti pengompresan *audio*. Oleh karena itu konsep penerima yang baru dalam teknologi penyiaran harus dikembangkan. Sistem penerima DAB sangat kompleks, DAB membutuhkan desain yang spesifik, digabungkan dua *chip-set* tinggi yang mencakup bagian sistem *analog* dan bagian sistem *digital*. *Chip-set* tersebut membangun blok untuk berbagai macam dari penerima DAB dan dasar terpenting untuk solusi harga efektif. Bagaimanapun, berhubungan dengan pesatnya perkembangan teknologi PC, berbagai PC modern bisa digunakan pada bagian *digital* sebuah penerima DAB. Adapun blok diagram dari sistem Penerima DAB dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Blok diagram Penerima DAB
(Sumber : Hoeg, Wolfgang, Lauterbach Thomas. 2003)

Masing-masing blok diagram pada sistem pemancar DAB memiliki fungsi dan pengertian, yang terdiri dari :

1. *RF Front-end*

Pada *RF Front-end* sinyal yang ditangkap oleh antena diproses, kemudian difilter dan dicampur pada sebuah *Intermediate Frequency (IF)*.

2. *ADC*

Di dalam *ADC* sinyal masukan dari *RF Front-end* yang berupa sinyal *analog* dikonversikan ke dalam bentuk sinyal *digital*.

3. *Digital Front-end*

Di dalam *Digital Front-end* dilakukan pembangkitan komponen fasa (I) dan *quadrature (Q)* dari sinyal *baseband* kompleks.

4. *FFT*

Pada blok ini dilakukan penghitungan Z_k , yang berisi informasi kode *digital*.

5. *DQPSK Demodulation*

Di dalam blok ini dilakukan pedemodulasian dari *carrier* dengan menggunakan teknik *DQPSK*.

6. *De-interleaving*

De-interleaving digunakan untuk menanggulangi terjadinya gangguan transmisi dengan melakukan *Frequency interleaving* dan *Transmission Interleaving*.

7. *Viterbi Decoder*

Pada blok ini terjadi proses pengkoreksian kesalahan (*error correction*), serta untuk menghilangkan kesalahan (*error*) tersebut digunakan sebuah *powerful punctured convolutional code* (RCPC).

8. *Audio Decoder*

Audio Decoder berfungsi untuk memperoleh kembali informasi berupa *audio* yang dipancarkan oleh *transmitter*.

9. *Data Decoder*

Data Decoder berfungsi untuk memperoleh kembali informasi berupa data yang dipancarkan oleh *transmitter*.

2.7 Keunggulan dan kelemahan DAB

Di dalam setiap teknologi telekomunikasi terdapat suatu keunggulan dan kelemahan baik dari segi eksternal maupun internal, hal ini juga ditemui pada sistem DAB.

2.7.1 Keunggulan DAB

Keunggulan dari sistem DAB dibandingkan dengan penyiaran *audio analog* meliputi,

1. Kualitas menyerupai CD (*compact disk*)

DAB memiliki beberapa keunggulan di bandingkan siaran radio AM/FM konvensional, keunggulan utama tersebut adalah *high sound quality*, yang menyerupai CD (*compact disk*) dikarenakan secara efektif bebas dari interferensi.

2. Efisiensi spektrum

Keuntungan selanjutnya dari DAB adalah efisiensi spektrum, hal ini akan memungkinkan bertambahnya jumlah stasiun radio.

3. Kualitas penerimaan (penangkapan sinyal)

Standar DAB menggabungkan beberapa keistimewaan untuk mengurangi dampak negatif dari *multipath fading* dan *signal noise* pada penerima, yang mana dampak-dampak tersebut terdapat pada sistem *analog*.

4. Servis data

Banyak servis data dari kumpulan kategori program yang ditransmisikan oleh pemancar dan diterima oleh pemakai, seperti surat kabar *digital* dan berita cuaca untuk pemakai *desk-top* dan *laptop*.

5. *Fleksible bit rates*

DAB merupakan suatu sistem yang sangat fleksibel dan dinamik, hal ini

dikarenakan DAB bisa menampung sebuah jarak dari *bit rates* antara 8 kbit/s³ sampai 384 kbit/s³

2.7.2 Kelemahan DAB

Kelemahan dari sistem DAB meliputi,

1. Kualitas penerimaan

Kualitas penerimaan pada DAB kurang begitu jelas untuk pendengar yang berada diperbatasan *coverage area*. Hal ini dikarenakan penggunaan *error correction coding* yang lemah akibat jauhnya penerima dari *transmitter*, sehingga kerusakan data tidak bisa terdeteksi.

2. *Signal delay*

Signal delay terjadi akibat adanya proses sinkronisasi antar *transmitter*, hal ini dilakukan sebagai syarat penggunaan SFN (*Single Frequency Network*).

3. *Coverage*

Di hampir semua negara, jangkauan DAB dikenal kurang baik dibandingkan dengan *coverage area* pada suatu daerah padat yang disediakan oleh siaran FM.

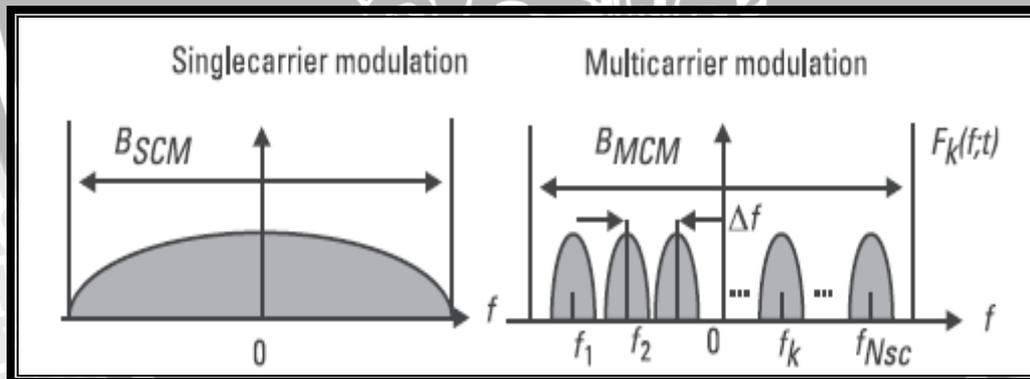


BAB III

ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM)

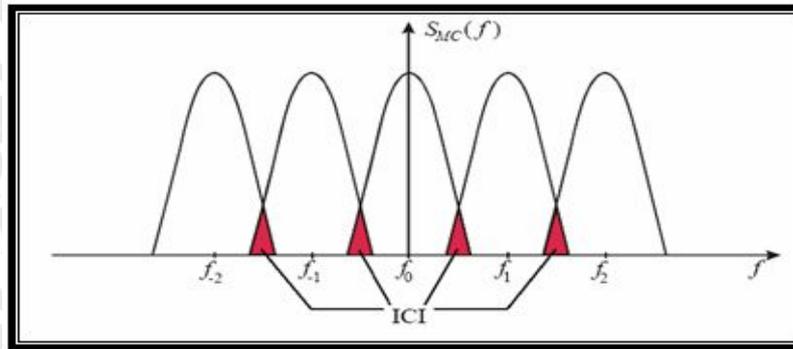
3.1 Umum

Teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) sebenarnya sudah dikembangkan sejak 1966. OFDM merupakan bentuk khusus dari sebuah *multicarrier modulation* (MCM). Berbeda dengan *singlecarrier modulation* (SCM), dalam mengirimkan suatu data OFDM membagi suatu aliran data yang akan dikirimkan menjadi beberapa *subcarrier* dengan kecepatan transmisi data yang rendah, sehingga daya transmisi yang dibutuhkan lebih kecil. OFDM menggunakan prinsip yang sama seperti *Frequency Division Multiplexing* (FDM) yaitu mengirimkan banyak pesan pada satu kanal pentransmisi. Pada FDM yang memiliki kelemahan dengan harus menghindari terjadinya tumpang tindih frekuensi yang berbeda dari masing-masing *subcarrier* atau sering disebut dengan *inter-carrier interference* (ICI) dan kelemahan lain adalah terjadinya *intersymbol interference* (ISI). Berbeda dengan FDM, OFDM dapat mengirimkan pesan tanpa terjadinya *inter-carrier interference* (ICI) dan *intersymbol interference* (ISI) dengan cara menambahkan *cyclic prefix* (CP) pada simbol OFDM.



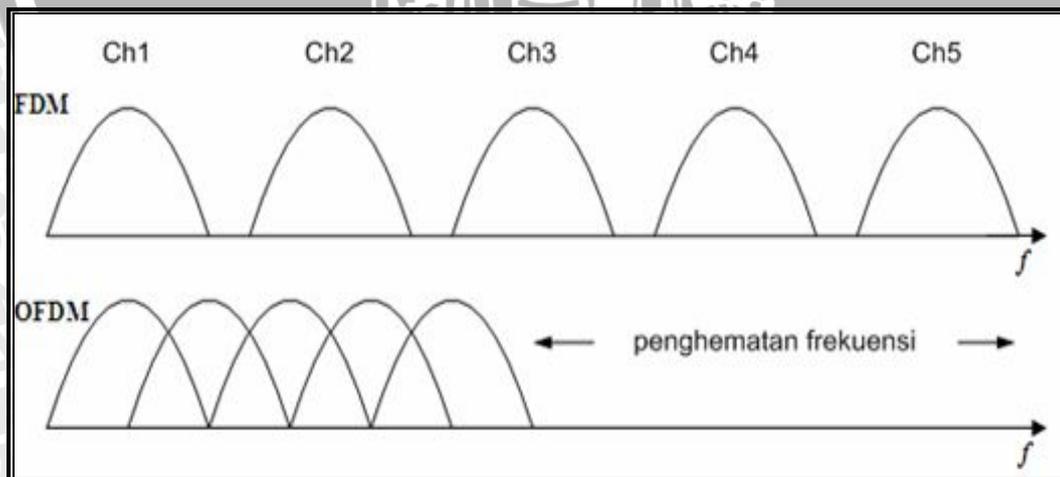
Gambar 3.1 Perbedaan (SCM) dengan (MCM)
(Sumber : Ramjee Prasaad, 2004)





Gambar 3.2 Inter Carrier Interference (ICI)
(Sumber : <http://engr.sjsu.edu>)

Dengan dihindarinya ICI pada teknologi FDM, maka akan menyebabkan besarnya *bandwidth* yang digunakan tidak efisien disebabkan adanya *band Guard* untuk menjaga frekuensi tidak saling tumpang tindih. Untuk mengatasi hal tersebut maka diciptakanlah teknologi OFDM yang memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan FDM. Prinsip dasar dari sistem OFDM adalah membagi *bandwidth* yang ada pada beberapa *subcarrier* yang kemudian dimodulasikan dan ditransmisikan menjadi aliran data paralel dengan kecepatan data yang rendah. Dalam pentransmisiannya masing-masing *subcarrier* dijaga agar saling tegak lurus (*orthogonal*) satu dengan yang lainnya. Pemakaian *subcarrier* yang saling *orthogonal* pada OFDM memungkinkan *overlap* antar frekuensi tanpa menimbulkan interferensi satu sama lain. Gambar 3.3 menunjukkan bahwa teknologi OFDM mampu menekan penggunaan *bandwidth*.

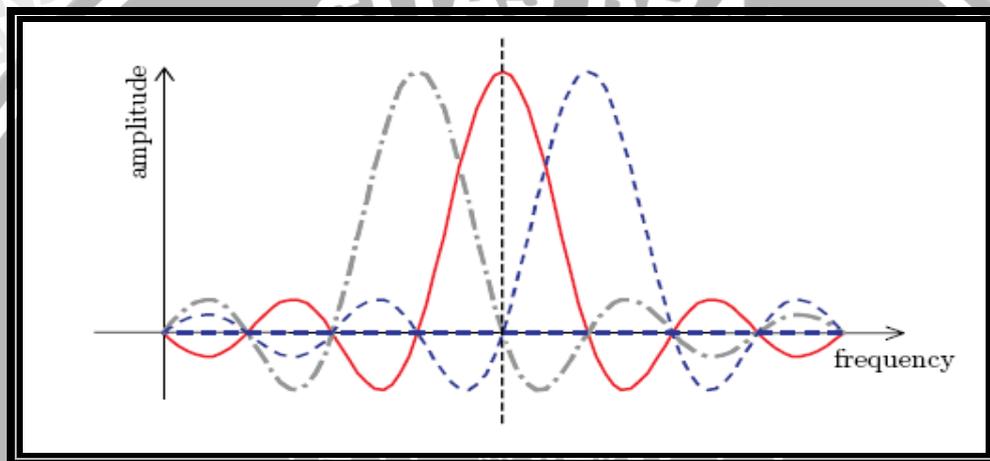


Gambar 3.3 Perbedaan spektral sinyal FDM dan OFDM
(Sumber : Ramjee Prasaad, 2004)

3.2 Definisi *Orthogonal*

Teknologi OFDM menggunakan sinyal *orthogonal*, dimana awal spektrum frekuensi berada tepat di spektrum sebelumnya, sehingga *overlapping* dari frekuensi

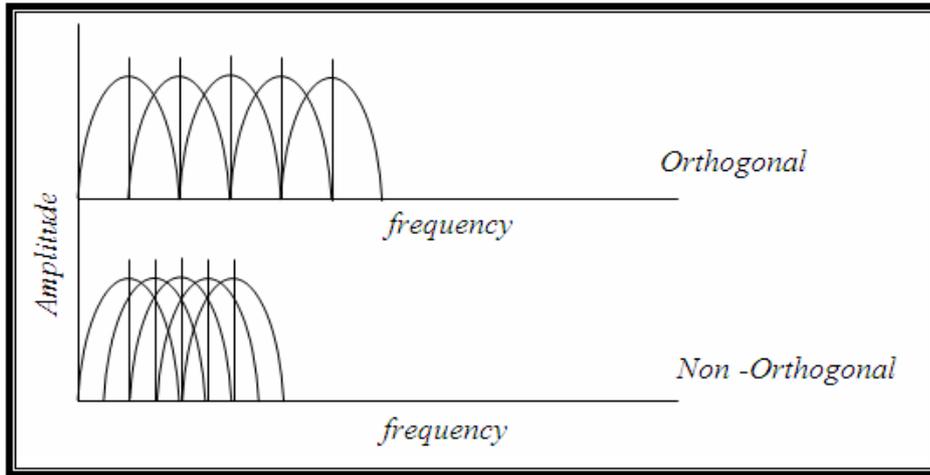
carrier tidak akan mempengaruhi sinyal. Dengan demikian akan menghilangkan adanya *band Guard*, sehingga penggunaan *bandwidth* lebih efisien. Sinyal dikatakan *orthogonal* jika sinyal-sinyal tersebut saling bebas satu sama lain (*mutually independent*). Orthogonalitas merupakan suatu sifat yang memungkinkan pentransmisian sinyal informasi *multiple* dengan sempurna melalui suatu kanal tanpa terjadinya interferensi. Kehilangan orthogonalitas menyebabkan pengkaburan (*blurring*) diantara sinyal-sinyal informasi dan penurunan performansi sistem komunikasi. Gambaran dari spektrum OFDM dan orthogonalitas antar *subcarrier* dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Spektrum OFDM

(Sumber : <http://mobilewireless.wordpress.com>)

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



Gambar 3.5 Representasi Orthogonalitas Antar *Subcarrier*
 (Sumber : <http://www.ee.ccu.edu.tw>)

Frekuensi darimasing-masing *subcarrier* f_k dapat dinyatakan dengan persamaan berikut,

$$f_k = \frac{(k-1)}{T_s} \tag{3-1}$$

Jarak antar *subcarrier* Δf pada spektrum sinyal dapat dinyatakan dengan persamaan,

$$\Delta f = \frac{1}{T_s - \Delta} \tag{3-2}$$

Dan dari hasil jarak tiap frekuensi *carrier* tersebut diperoleh jumlah *subcarrier* N dengan persamaan,

$$N = \frac{BW}{\Delta f} \tag{3-3}$$

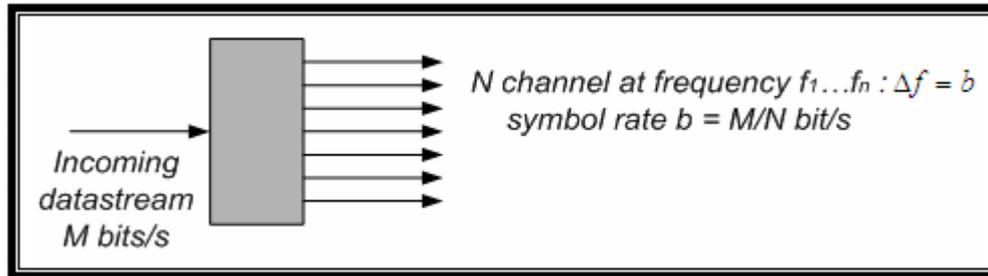
Dengan keterangan :

- f_k = frekuensi *subcarrier* ke-k (Hz)
- Δf = selang antar frekuensi tiap *subcarrier* (Hz)
- T_s = durasi simbol (s)
- Δ = durasi *Guard interval* (s)
- N = jumlah *subcarrier*
- BW = *bandwidth* kanal sistem



3.3 Pembagian Aliran Data pada OFDM

Prinsip dasar dari sistem OFDM ini adalah membagi sebuah M laju data yang tinggi (*single high-rate bit stream*) menjadi N laju data yang rendah. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6 Pembagian Aliran Data
(Sumber : <http://www.cogitamus.it>)

Pada sistem OFDM, laju transmisi total yang tersedia dibagi kedalam beberapa *subcarrier* agar dapat mentransmisikan data dengan laju data rendah. Laju transmisi untuk masing – masing *subcarrier* dari laju transmisi total yang tersedia dapat dituliskan sebagai berikut [Tufvesson, 1998]:

$$R_{sub} = \frac{R_{tot}}{N} \quad (3-4)$$

Dengan keterangan:

R_{sub} = Laju transmisi masing-masing *subcarrier* (bps)

R_{tot} = Laju transmisi total (bps)

N = Jumlah *subcarrier*

Dan durasi simbol untuk suatu modulasi M -ary pada masing-masing *subcarrier* menjadi:

$$T_{sub} = \frac{\log_2 M}{R_{sub}} = \frac{N \cdot \log_2 M}{R_{tot}} \quad (3-5)$$

Dengan keterangan:

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

R_{sub} = Laju transmisi masing-masing *subcarrier* (bps)

R_{tot} = Laju transmisi total (bps)

N = Jumlah *subcarrier*

M = Jumlah kemungkinan sinyal

untuk modulasi DQPSK nilai $M = 2^2 = 4$

Sehingga didapatkan persamaan laju simbol *subcarrier* adalah:

Untuk modulasi DQPSK:

$$T_{sub} = \frac{2}{R_{sub}} \quad (3-6)$$

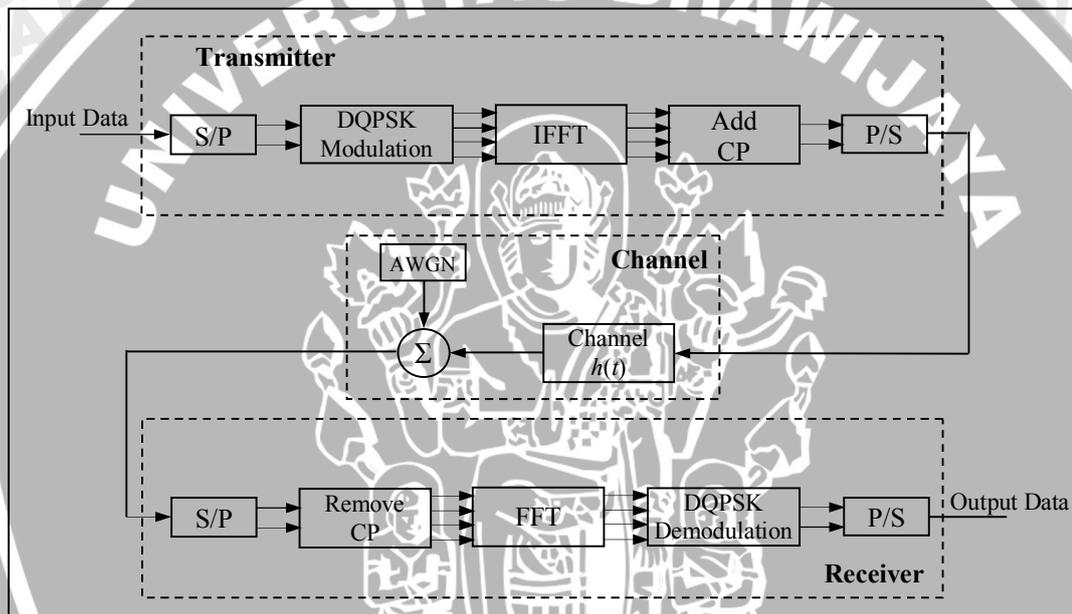
Dengan keterangan:

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

R_{sub} = Laju transmisi masing-masing *subcarrier* (bps)

3.4 Blok diagram OFDM

Gambar 3.7 merupakan blok diagram dasar dari suatu pemancar dan penerima OFDM.



Gambar 3.7 Blok Diagram Pemancar dan Penerima Sistem OFDM
(Sumber : Marius Oltean, 2004)

3.4.1 Konversi Serial ke Paralel (S/P)

Data yang akan dipancarkan umumnya dalam bentuk aliran data serial. Pada OFDM, proses konversi serial ke paralel dibutuhkan untuk mengubah masukan aliran bit data serial ke dalam data-data yang akan dipancarkan dalam setiap simbol OFDM. Data yang dialokasikan untuk setiap simbol tergantung pada teknik modulasi yang digunakan dan jumlah *subcarrier*. Hasil dari proses konversi serial ke paralel merupakan proses pengisian *payload* data untuk setiap *subcarrier*. Pada penerima terjadi proses yang berkebalikan, dimana data dari *subcarrier* (data paralel) diubah

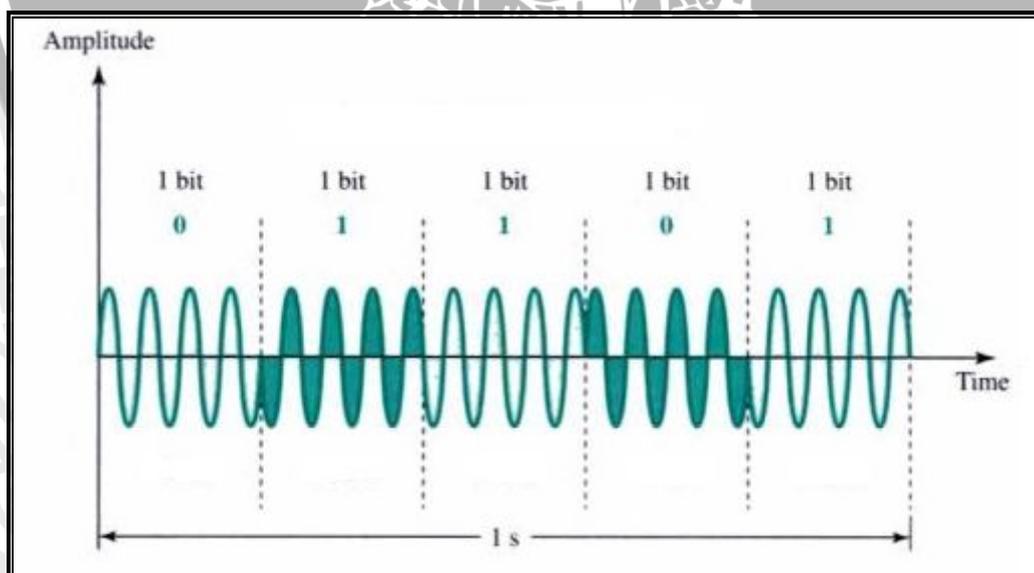
kembali ke dalam aliran data serial aslinya. Proses yang terjadi pada penerima ini disebut juga dengan proses konversi paralel ke serial.

3.4.2 Modulator dan Demodulator *Baseband*

Modulator bertugas mengkodekan informasi dari sebuah pesan menjadi simbol yang cocok untuk pengiriman. Karena pada sistem ini sumber informasinya berupa data *digital*, maka digunakan modulator *baseband digital*. Pada OFDM sering digunakan modulasi *digital* yang memodulasikan M -bit menjadi satu simbol yang disebut juga dengan modulasi M -ary. Contoh dari modulasi ini adalah *Phase Shift Keying* (PSK), pada DAB modulasi yang digunakan adalah *Differential Quadrature Shift Keying* (DQPSK) yang merupakan teknik lain dari modulasi *Phase Shift Keying* (PSK).

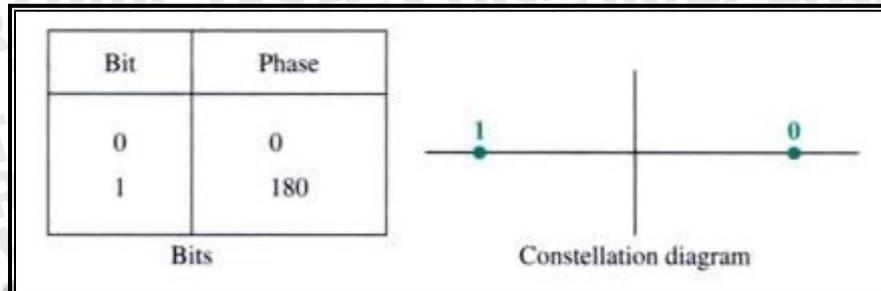
3.4.2.1 *Phase Shift Keying* (PSK)

Pada *Phase Shift Keying* (PSK), *phase* sinyal *carrier* divariasikan untuk merepresentasikan biner 1 atau 0. Amplitudo dan frekuensi sinyal *carrier*-nya konstan, sedangkan perubahan *phase* sinyal *carrier*-nya berubah sesuai dengan perubahan amplitudo sinyal informasinya. Misalnya, jika dimulai dengan *phase* 0° untuk merepresentasikan biner 0, kemudian berubah menjadi *phase* 180° yang merepresentasikan biner 1. Gambar 3.8 berikut ini memperlihatkan konsep dari sinyal BPSK.



Gambar 3.8 Sinyal pada *Binary Phase Shift Keying* (BPSK)
(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

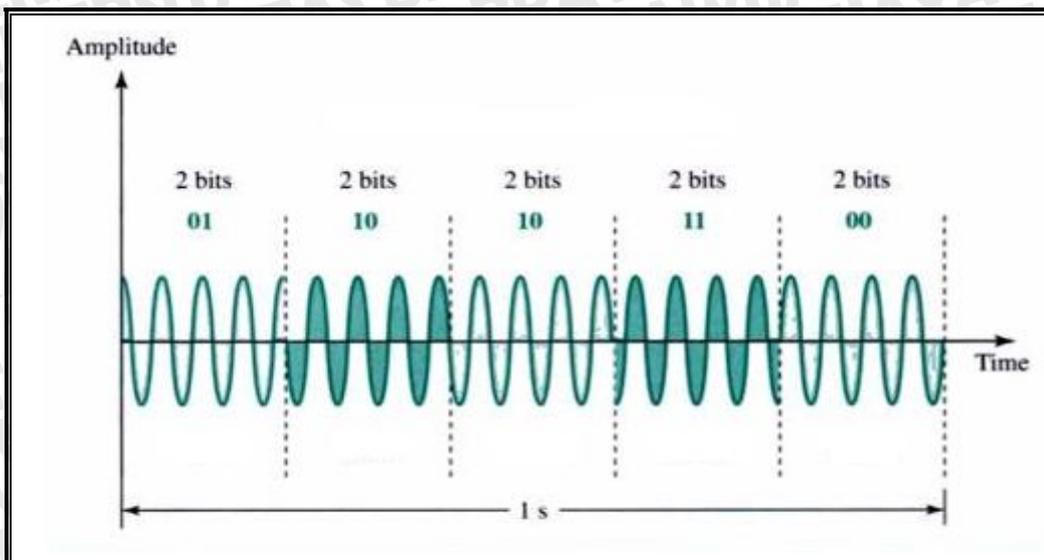
Metode di atas biasa disebut juga dengan 2-PSK, atau *Binary PSK (BPSK)* karena terdapat 2 perbedaan *phase* yang digunakan (0° dan 180°). Gambar 3.9 di bawah menjelaskan hubungan antara *phase* menjadi bit pada BPSK. Pada gambar kedua disebut juga dengan *constellation* atau *phase state diagram* yang menunjukkan hubungan yang sama dengan mengilustrasikan *phase*-nya.



Gambar 3.9 *Binary Phase Shift Keying (BPSK) Constellation*
(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

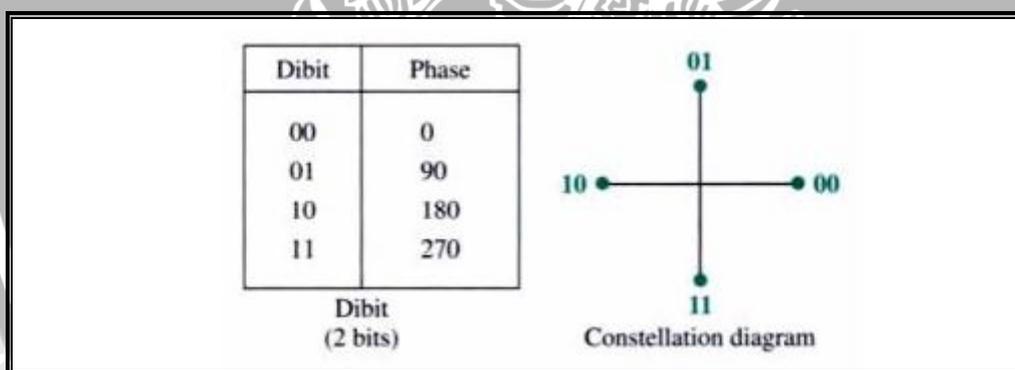
Selain BPSK, dikenal pula teknik 4-PSK atau *Quadrature Shift Keying (QPSK)*. QPSK dapat mentransmisikan data dua kali lebih cepat dibandingkan dengan BPSK. Karena terdapat 2 bit dalam tiap simbolnya. Misalnya, *phase* 0° merepresentasikan bit 00, *phase* 90° merepresentasikan bit 01, *phase* 180° merepresentasikan bit 10, dan *phase* 270° merepresentasikan bit 11. Pasangan bit – bit yang merepresentasikan masing-masing *phase* disebut juga dengan dibit.

Quadrature Shift Keying (QPSK) merupakan teknik modulasi yang merubah atau memodulasikan fasa sinyal referensi (gelombang pembawa) yang memiliki jumlah fasa sebanyak empat buah. Titik toleransi QPSK berbentuk persegi yang berada pada lingkaran. Hal ini membuat pemisahan fasa yang baik, dengan demikian akan memberikan imunitas yang baik pula terhadap gangguan data dan dapat ditransmisikan bersama dengan energy yang sama. Gambar 3.10 memperlihatkan konsep dari sinyal QPSK.

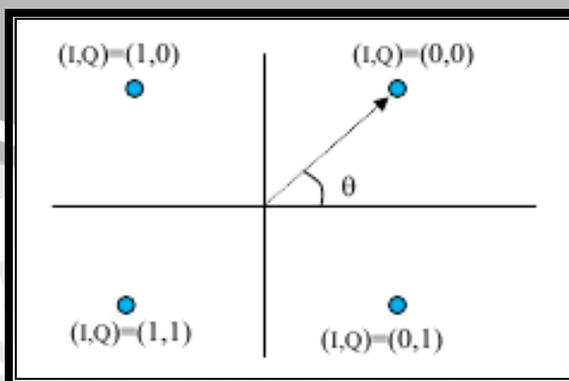


Gambar 3.10 Sinyal pada *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK)
(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

Gambar 3.11 di bawah menjelaskan hubungan antara *phase* menjadi bit pada QPSK. Pada gambar kedua disebut juga dengan *constellation* atau *phase state diagram* yang menunjukkan hubungan yang sama dengan mengilustrasikan *phase*-nya.



Gambar 3.11 *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) *Constellation*
(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

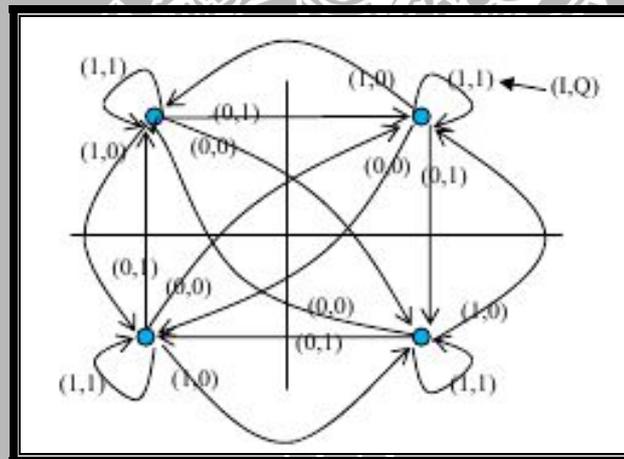


Gambar 3.12 Pemetakan bit masukan ke fasa *carrier* oleh modulator QPSK
(Sumber : Inphi corporation)

3.4.2.2 Differential Quadrature Shift Keying (DQPSK)

DQPSK merupakan teknik modulasi *digital* yang memberikan format alternatif seperti pada teknik modulasi QPSK, dengan mengirimkan 2 bits per simbol dan karenanya kecepatan simbol adalah setengah dari bit rate dengan sedikit mengurangi kerumitan dari sistem. DQPSK sangat toleran terhadap chromatic dispersion (CD), mode penyebaran polarisasi (PMD), dan memiliki efisiensi spektral yang tinggi, dan hingga mampu digunakan dalam pentransmisi pada frekuensi tinggi (*ultra long haul transmission*) dengan baik.

Dalam DQPSK, simbol informasi yang dikodekan sebagai pergantian fasa dari satu periode simbol ke simbol berikutnya yang lebih baik seperti sebuah absolut fasa. Dalam keadaan ini, penerima mendeteksi pergantian fasa dan bukan nilai mutlak dari fasa, yang mana bertujuan untuk menghindari kebutuhan untuk sebuah sinkronisasi *carrier* lokal. berbeda dengan QPSK, pada DQPSK perbedaan fasa dari satu periode simbol hingga simbol berikutnya adalah sebuah fungsi dari simbol masukan dan bukan nilai mutlak dari fasa tersebut.

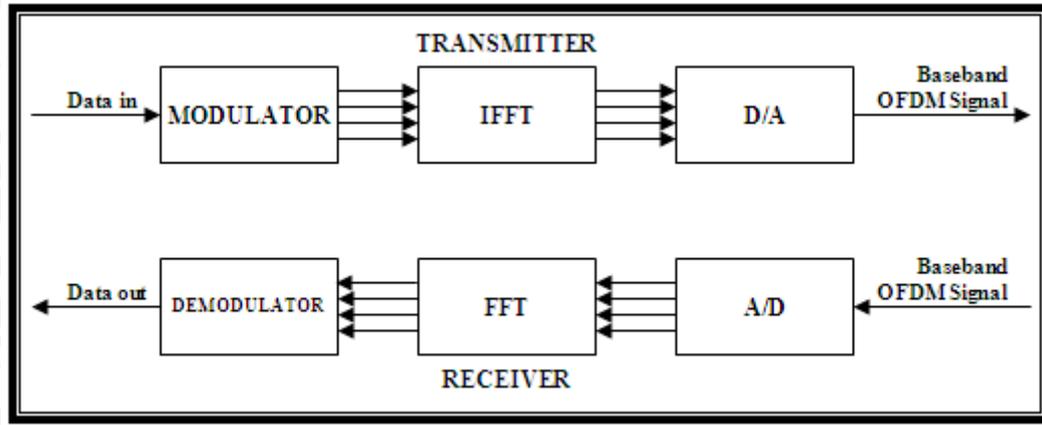


Gambar 3.13 Pemetakan bit masukan fasa *carrier* oleh modulator DQPSK
(Sumber : Inphi corporation)

3.4.3 Transformasi *Fast Fourier* pada Sistem OFDM

Fast Fourier Transform (FFT) mentransformasikan peredaran sinyal dalam domain waktu ke dalam spektrum frekuensi ekivalen (domain frekuensi). Sedangkan *Invers Fast Fourier Transform* (IFFT) dilakukan proses berkebalikan dengan proses FFT, yakni mentransformasikan sinyal domain frekuensi ke dalam domain waktu. IFFT dapat berfungsi sebagai *baseband modulator*, di mana setiap simbol akan memodulasi frekuensi *subcarrier* yang dibangkitkan oleh blok IFFT. Penggunaan IFFT akan

menjamin *orthogonalitas* antar *subcarrier*. Output dari setiap proses transformasi IFFT akan membentuk sebuah deretan simbol OFDM. Besarnya IFFT adalah 2^x dengan x adalah bilangan *integer*. Gambar 3.14 menunjukkan suatu konfigurasi dari implementasi FFT dan IFFT pada sistem OFDM

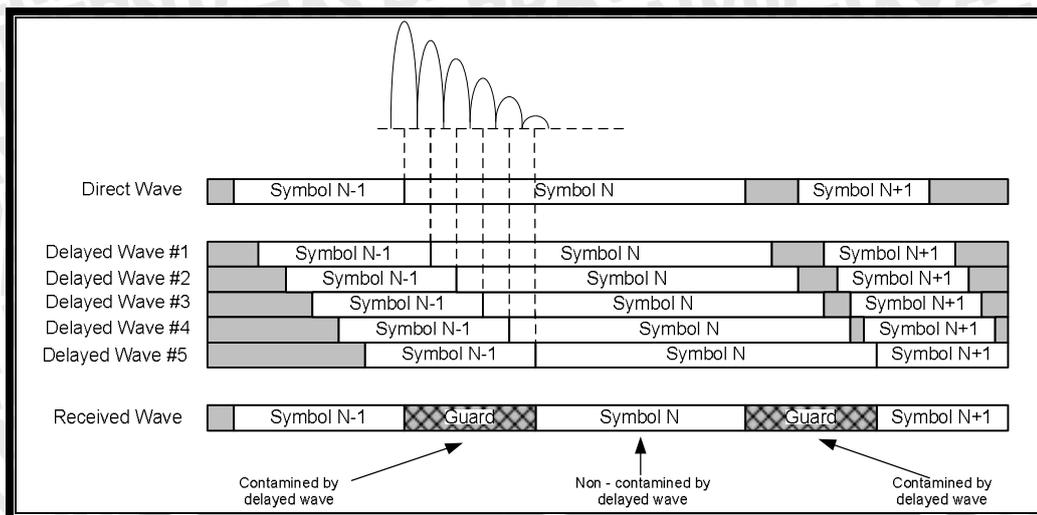


Gambar 3.14 Dasar Implementasi FFT dan IFFT pada Transceiver OFDM
(Sumber : Eric Lawrey, 1997)

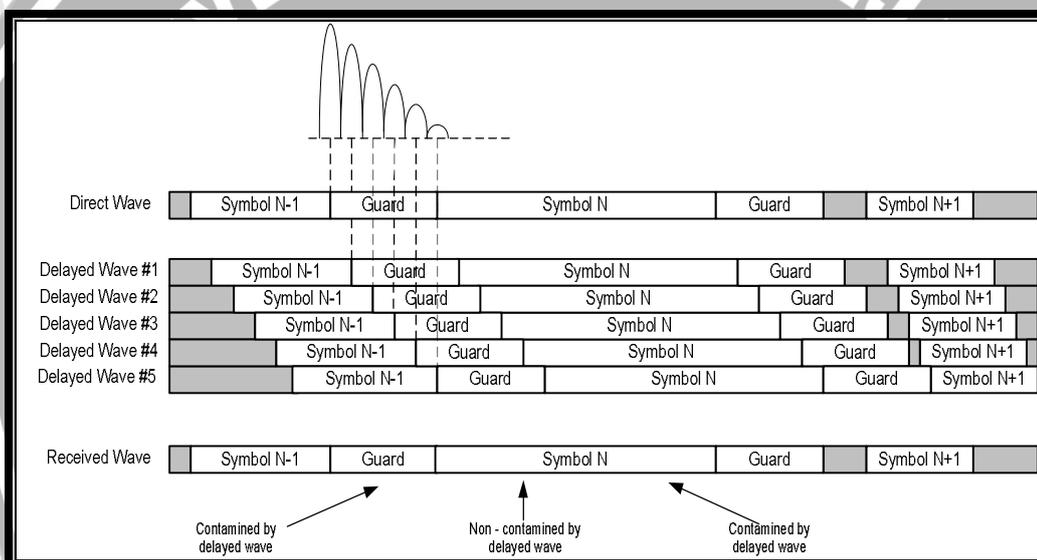
Pada pemancar, konverter *digital-to-analogue* (D/A) mengkonversikan sinyal *digital* OFDM ke dalam format *analog* dan di sisi penerima, konverter *analogue-to-digital* (A/D) mengkonversikan sinyal *analog* OFDM ke dalam format *digital*.

3.4.4 Guard Interval dan Cyclic Prefix

Salah satu masalah yang terpenting dalam komunikasi *wireless* adalah *delay spread*. Di dalam OFDM, *delay spread* dapat diatasi dengan menambah panjang simbol OFDM sehingga melebihi panjang *delay spread*. Dengan bertambahnya panjang simbol ini, karakteristik kanal dapat berubah sehingga mengakibatkan *orthogonalitas* antar *subcarrier* dapat hilang, dan *Interchannel Interference* (ICI) meningkat. Disisi lain, *Intersymbol Interference* (ISI) juga menjadi masalah dengan meningkatnya *bandwidth carrier* dan laju simbol *subcarrier*. Untuk mencegah terjadinya ISI maka pada tiap simbol OFDM disisipkan *guard interval* secara periodik. Bila panjang *guard interval* melebihi *multipath delay*, maka ISI dapat dihilangkan.

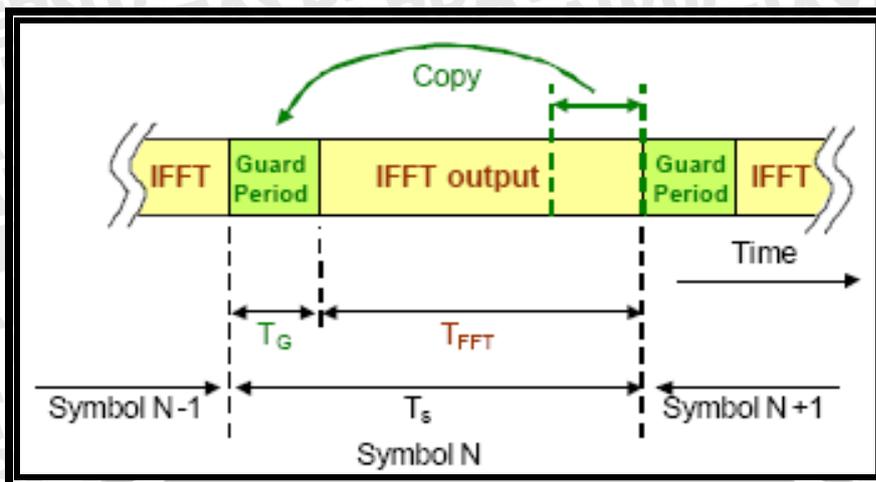


Gambar 3.15 Simbol tanpa *guard interval*
(Sumber : Sumber: Elektro Indonesia : 15)



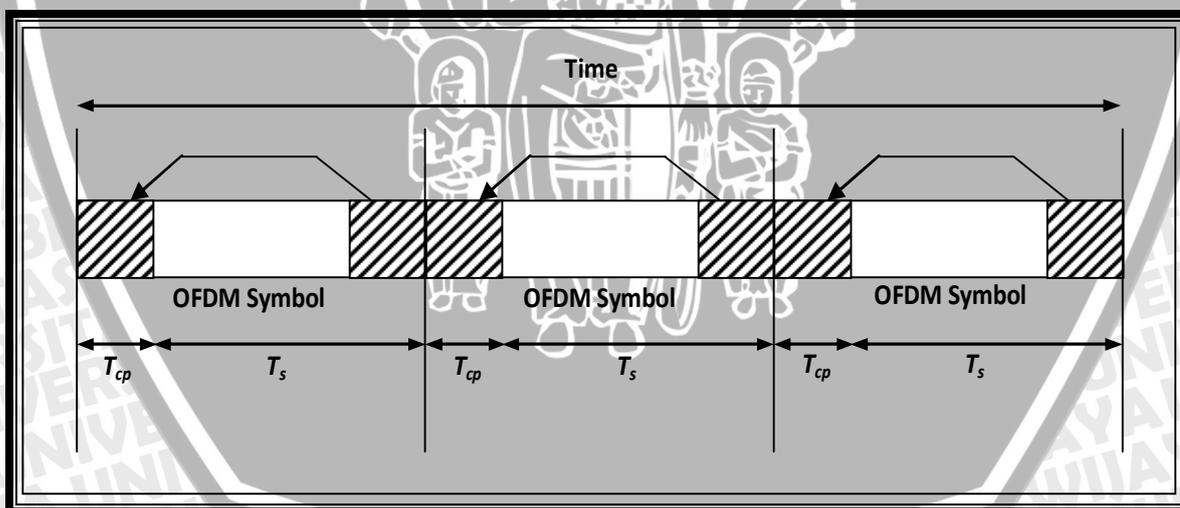
Gambar 3.16 Simbol dengan *guard interval*
(Sumber : Sumber: Elektro Indonesia : 15)

Akan tetapi *guard interval* ini tidak dapat mencegah terjadinya *Interchannel Interference* (ICI) sehingga orthogonalitas antar *subcarrier* tidak mampu dijaga. Untuk mengatasi masalah ini, simbol OFDM diperpanjang secara *cyclic* dalam *guard interval* atau disebut dengan *cyclic prefix*. Dengan *cyclic prefix* masalah interferensi (ISI dan ICI) yang terjadi pada komunikasi *wireless* dapat diatasi. Proses penambahan *cyclic prefix* dapat dilihat pada gambar 3.17. ISI dan ICI dapat dicegah jika panjang dari *cyclic prefix* melebihi panjang *delay spread* maksimum.



Gambar 3.17 Penyisipan *cyclic prefix* pada simbol OFDM
 Sumber: Eric Phillip LAWREY BE : 31

Proses penambahan *cyclic prefix* T_{cp} dilakukan pada pemancar terhadap simbol OFDM. Pada penerima, *cyclic prefix* T_{cp} ini akan dipisahkan dari simbol OFDM. Akibat penambahan *cyclic prefix* ini, total dari durasi simbol OFDM untuk masing-masing *subcarrier* adalah durasi simbol OFDM tanpa *cyclic prefix* ditambah durasi *cyclic prefix*, sehingga total durasi simbol OFDM adalah $T_{total} = T_s + T_{cp}$. Representasi waktu dari suatu simbol OFDM dapat digambarkan dalam Gambar 3.18 berikut.



Gambar 3.18 Representasi Waktu dari OFDM
 (Sumber : Zhang Di, 2004)

Bandwidth antar *subcarrier* setelah penambahan *cyclic prefix* sama dengan *invers* dari durasi simbol tanpa *cyclic prefix*. Secara matematis *bandwidth subcarrier* dapat dituliskan dengan [Hara, 2003]:

$$B_{sub} = \frac{1}{T_u} = \frac{1}{T_{sub} - T_{cp}} = \frac{R_{tot}}{N \log_2 M - T_{cp} R_{tot}} \quad (3-7)$$

dan bandwidth OFDM dari sejumlah subcarrier yang digunakan adalah:

$$B_{OFDM} = \frac{2}{T_{sub}} + \frac{N-1}{(1-\alpha_{cp}) \cdot T_{sub}} \quad (3-8)$$

dengan,

$$\alpha_{cp} = \frac{T_{cp}}{T_{sub}} \quad (3-9)$$



Dengan keterangan:

B_{sub} = *Bandwidth subcarrier* (Hz)

T_u = Durasi simbol OFDM (s)

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

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

R_{tot} = Laju bit total yang tersedia (bps)

B_{OFDM} = *Bandwidth OFDM* (Hz)

M = Jumlah kemungkinan sinyal

N = Jumlah *subcarrier*

α_{cp} = Faktor *cyclic prefix*

3.5 Kanal Propagasi

Kanal merupakan suatu media transmisi yang digunakan untuk mentransmisikan informasi dari pemancar ke penerima. Dalam sistem *wireless*, yang tentunya menggunakan medium *wireless*, terdapat dua macam gangguan yang dinilai memiliki efek signifikan terhadap sistem. Gangguan tersebut adalah

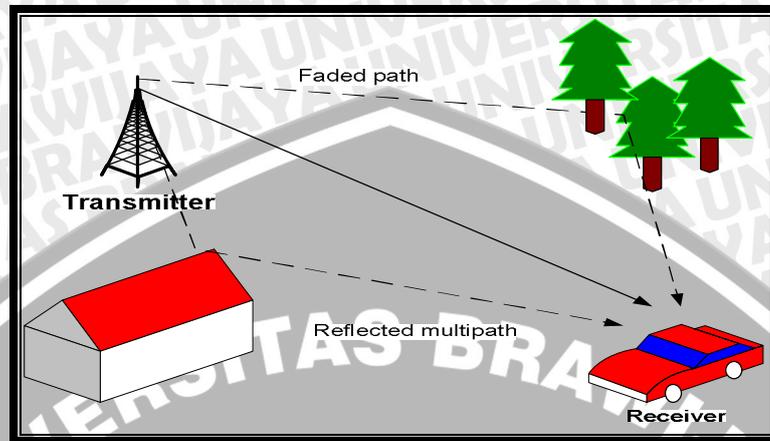
1) *Noise* atau derau

Noise merupakan gelombang elektromagnetik yang terdapat di alam, dapat bersumber dari matahari, bumi, atmosfer, galaksi, busi kendaraan bermotor, dan lain-lain. Dalam sistem *wireless*, sinyal asli dapat bercampur (ditambahkan) dengan sinyal *noise* ini sehingga *magnitude* sinyal total per satuan waktu merupakan penjumlahan kedua sinyal ini.

2) *Fading*

Fading merupakan *fluktuasi* amplitudo sinyal secara cepat dalam periode waktu tertentu yang disebabkan oleh diterimanya dua atau lebih sinyal yang sama oleh *receiver* akibat banyaknya lintasan sinyal. Pada proses transmisi, sinyal yang sampai ke penerima tidak hanya melewati satu jalur tetapi datang dari berbagai jalur (*multipath*). Sinyal-sinyal *multipath* tersebut akan mengalami pergeseran fasa dan *delay* yang selalu berubah. Pengaruh dari perbedaan panjang lintasan sinyal akan mengakibatkan pergeseran relatif fasa antara komponen fasa utama yang bersuperposisi dengan komponen fasa lintasan lain, hal ini akan mengakibatkan penguatan atau redaman sinyal terima. Akibat dari perlakuan demikian maka level sinyal terima di penerima akan mengalami *fluktuasi*. Apabila level sinyal terima berada di bawah nilai ambang batas

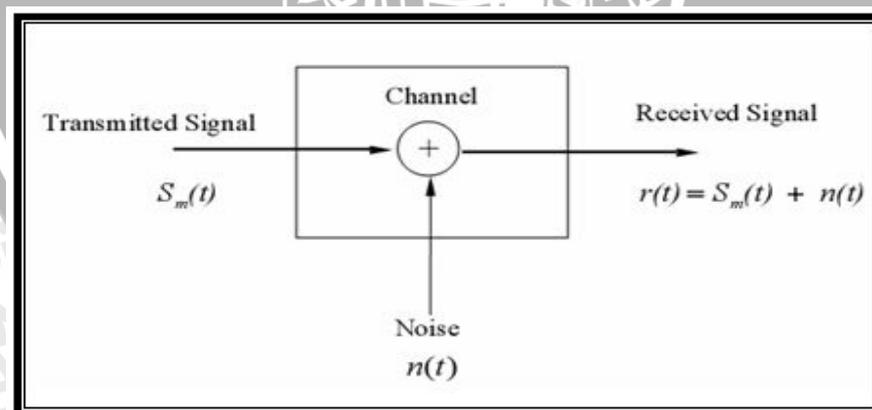
penerima maka sinyal tersebut mengalami *fading*. *Fading* yang terjadi akibat adanya *multipath* dinamakan *multipath fading*. *Fading* juga dapat terjadi karena efek *doppler*, yang terjadi jika *user* bergerak dengan kecepatan relatif terhadap *base station*.



Gambar 3.19 Proses terjadinya *multipath fading*
 (Sumber : <http://www.complextoreal.com>)

3.5.1 Kanal AWGN pada Sistem OFDM

Kanal AWGN adalah kanal ideal yang hanya memiliki *noise* AWGN (*Additive White Gaussian Noise*). Kanal ideal berarti kanal ini tidak menyebabkan distorsi (perubahan bentuk sinyal) pada sinyal yang dikirim. Artinya kanal ideal memiliki *bandwidth* tidak terbatas dan respon frekuensinya tetap untuk segala frekuensi. Kanal AWGN dapat dijelaskan oleh Gambar 3.20.



Gambar 3.20 *Additive White Gaussian Noise (AWGN)*

Sumber : John G. Proakis, 2000

Noise AWGN merupakan *noise* yang pasti terjadi dalam jaringan *wireless* manapun, memiliki sifat – sifat *additive*, *white*, dan *gaussian*. Sifat *additive* artinya *noise* ini dijumlahkan dengan sinyal, sifat *white* artinya *noise* tidak bergantung pada

frekuensi operasi sistem dan memiliki rapat daya yang konstan, dan sifat *gaussian* artinya besarnya tegangan *noise* memiliki rapat peluang terdistribusi *gaussian*.

Besarnya daya AWGN dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$N_o = k \cdot T \cdot B \quad (3-10)$$

Dengan keterangan:

k = konstanta Boltzman (1.38×10^{-23} J/K)

T = temperatur operasi sistem ($^{\circ}$ K)

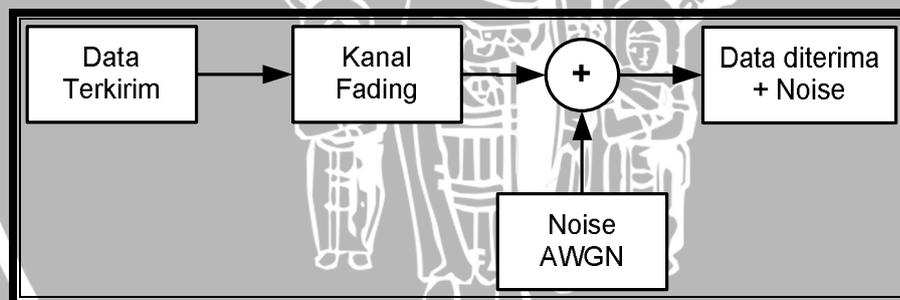
B = *bandwidth* kanal (Hz)

Dari persamaan di atas dapat dipahami bahwa keberadaan *noise* AWGN dalam jaringan telekomunikasi manapun, akan selalu ada selama terdapat *bandwidth* dan temperatur perangkat telekomunikasi yang bekerja pada suhu di atas -273° K.

3.5.2 Rayleigh Fading

Pada kenyatannya, tidak ada kanal yang benar-benar ideal. Kanal yang sebenarnya pasti memiliki keterbatasan *bandwidth* dan menyebabkan distorsi pada sinyal yang dikirim. Dalam sistem *wireless* kanal seperti ini disebut kanal *fading*.

Gambar 3.21 menunjukkan model kanal *fading*.



Gambar 3.21 Model kanal *fading*

Sumber: John G. Proakis, 2000

3.6 Performansi Sistem OFDM

3.6.1 Redaman Propagasi Ruang Bebas

Pada propagasi gelombang radio, semakin jauh jarak antara pemancar dan penerima akan mengakibatkan daya sinyal yang diterima oleh penerima semakin kecil. Hal ini disebabkan adanya redaman ruang bebas (*free space loss*) yang dapat ditentukan dengan persamaan [Rapaport,1996]

$$L_{fs} = \left(\frac{4\pi \cdot d}{\lambda} \right)^2 \quad (3-11)$$

Nilai λ dapat dihitung dengan persamaan :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3-12)$$

Bila dinyatakan dalam dB, maka persamaan L_{fs} menjadi :

$$L_{fs} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi \cdot f \cdot d}{c} \right) \quad (3-13)$$

Dengan keterangan:

L_{fs} = Redaman ruang bebas (dB)

f = Frekuensi operasi (Hz)

λ = Panjang gelombang (m)

d = Jarak pemancar ke penerima (m)

c = Kecepatan gelombang radio di udara (m/s)

3.6.2 Signal to Noise Ratio (SNR)

Besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan dapat digambarkan dengan perbandingan antara sinyal dengan noise (SNR), yaitu :

[E. Glatz : 6]

$$SNR_{(dB)} = P_r (dBm) - N_o (dBm) \quad (3-14)$$

Dengan keterangan:

SNR = Signal to noise ratio (dB)

P_r = Daya yang diterima (dBm)

N_o = Daya noise saluran transmisi (dBm)

Sedangkan untuk perhitungan daya noise adalah : [E. Glatz : 6]

$$N_{o(dBm)} = 10 \log k \cdot T + 10 \log B_{OFDM} + NF \quad (3-15)$$

Dengan keterangan:

k = konstanta Boltzman, 1.38×10^{-23} J/K

T = suhu *absolute*, 300°K

NF = *Noise Figure*, 11.2 dB

B_{OFDM} = *Bandwidth* OFDM dari masing-masing mode transmisi (Hz)

Daya yang diterima oleh penerima sangat dipengaruhi oleh propagasi sinyal dari pemancar ke penerima. Pada OFDM selain hal tersebut maka daya yang diterima juga dipengaruhi oleh jumlah *subcarrier* yang digunakan. Sehingga daya yang diterima pada sistem *multicarrier* dapat ditulis [Wang, 2004] :

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_{fs} - 10 \cdot \log_{10}(N) \quad (3-16)$$

Dengan keterangan:

P_r = Daya terima (dBm)

P_t = Daya pancar (dBm)

G_t = *Gain* antena pemancar (dBi)

G_r = *Gain* antena penerima (dBi)

L_{fs} = Rugi rugi ruang bebas (dB)

N = Jumlah *subcarrier*

Besarnya nilai SNR sistem OFDM diperoleh pada persamaan berikut [Hara, 2003]:

$$SNR_{OFDM} = (1 - \alpha_{cp}) SNR \quad (3-17)$$

Dengan keterangan:

SNR_{OFDM} = *Signal to noise ratio* sistem OFDM (dB)

SNR = *Signal to noise ratio* (dB)

α_{cp} = faktor *cyclic prefix*

3.6.3 Kapasitas Kanal Sistem OFDM

Dalam teorema Shannon, kapasitas kanal yang dapat diperoleh dapat ditulis [Wilson,1996]

$$C = B_{OFDM} \log_2(1 + SNR_{OFDM}) \quad (3-18)$$

Dengan keterangan:

C = Kapasitas Kanal (bps)

B_{OFDM} = Bandwidth OFDM dari masing-masing mode transmisi (Hz)

SNR_{OFDM} = Signal to noise ratio sistem OFDM (dB)

3.6.4 Bit Error Rate (BER)

BER (*bit error rate*) atau dengan sebutan lain probabilitas *error* bit merupakan nilai ukur kualitas sinyal yang diterima untuk sistem transmisi data *digital*. BER juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan jumlah bit error terhadap total bit yang diterima.

BER juga dipengaruhi oleh *signal to noise ratio* yang diterima oleh penerima.

BER pada sistem OFDM dapat ditulis [Hara,2003]

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{SNR_{OFDM}}) \quad (3-19)$$

Dengan keterangan:

BER = Bit error rate

SNR_{OFDM} = Signal to noise ratio sistem OFDM (dB)

Nilai $\operatorname{erfc}(x)$ atau *complementary error function* (x) didefinisikan sebagai fungsi kesalahan dari variabel (x).

3.7 Keunggulan dan kelemahan OFDM

OFDM memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sistem yang lain, diantaranya:

1. Pemakaian frekuensi yang lebih kecil

OFDM merupakan jenis modulasi multicarrier yang memiliki efisiensi frekuensi yang lebih kecil dibandingkan dengan modulasi multicarrier yang lainnya (seperti FDM). Hal ini dimungkinkan karena sifat orthogonalitas memungkinkan adanya overlap antar frekuensi. Berbeda dengan multicarrier konvensional seperti halnya FDM, untuk menghindari terjadinya interferensi antar sinyal carrier maka perlu disisipkannya frekuensi penghalang (*guard band*), dengan adanya *guard band* inilah pemakaian frekuensi tidak efisien. Selain itu *guard band* menyebabkan penurunan kecepatan transmisi dibandingkan dengan sistem *single carrier* dengan lebar spektrum yang sama.

2. Kuat terhadap *frequency selective fading*

frequency selective fading merupakan sebuah keadaan yang mana terjadi pelemahan daya secara tidak seragam pada frekuensi tertentu yang diakibatkan *bandwidth* dari kanal lebih sempit daripada *bandwidth* transmisi. Pada sistem OFDM hal ini dapat dihindarkan dengan cara menggunakan *subcarrier* yang relatif banyak pada sistem OFDM yang berpengaruh pada kecepatan transmisi sehingga menjadi sangat rendah dan hanya menimbulkan *flat fading*.

3. Tidak sensitif terhadap *delay spread*

Dengan dibaginya kecepatan transmisi ke dalam banyak *subcarrier*, maka kecepatan pada *subcarrier* akan menjadi kecil, sehingga periode simbol menjadi lebih panjang yang akhirnya mampu mengurangi terjadinya *delay spread*.

OFDM bukanlah sistem tanpa kelemahan, adapun kelemahan sistem ini antara lain:

1. *Carrier frequency offset* (CFO)

Sistem OFDM memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap CFO yang disebabkan oleh *jitter* pada gelombang pembawa dan juga terhadap efek Doppler yang disebabkan oleh pergerakan stasiun pengirim atau penerima.

2. *Distorsi nonlinear*

Teknologi OFDM menggunakan sistem *multi*-frekuensi dan *multi*-amplitudo, sehingga sistem ini mudah terkontaminasi oleh *distorsi nonlinear* yang terjadi pada penguat dari daya transmisi.

3. Sinkronisasi sinyal

Pada stasiun penerima, menentukan *start point* untuk memulai operasi *Fast Fourier Transform* (FFT) ketika sinyal OFDM tiba di stasiun penerima adalah relatif sulit. Dengan kata lain, sinkronisasi sinyal OFDM adalah sulit.

BAB IV METODOLOGI

Kajian dalam skripsi ini adalah menganalisis implementasi OFDM pada *digital audio broadcasting* (DAB). Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini, yaitu mengetahui pengaruh performansi OFDM dalam implementasinya pada setiap mode transmisi DAB. Parameter performansi yang dikaji meliputi *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, dan BER. Metodologi yang digunakan pada skripsi ini meliputi :

4.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari dan memahami konsep yang terkait dengan penerapan OFDM pada transmisi DAB. Studi literatur yang dilakukan adalah mengenai karakteristik, parameter, serta teori pengantar lain yang menunjang dalam penulisan skripsi ini.

4.2 Pengambilan Data

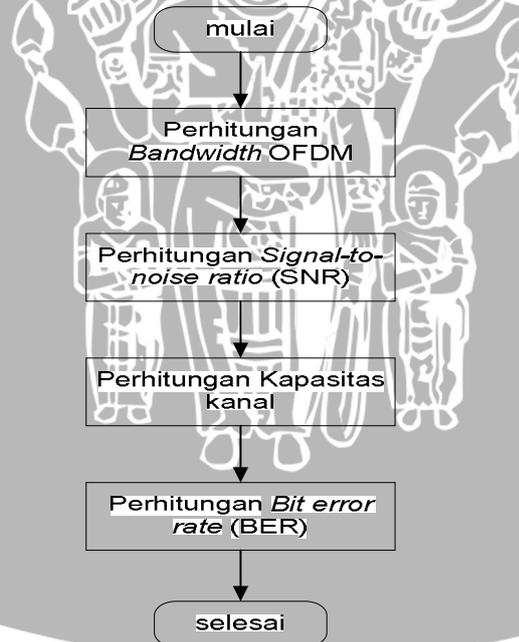
Data-data yang digunakan dalam kajian skripsi ini berupa data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, *thesis*, internet, dan forum-forum resmi DAB dan OFDM. Adapun data sekunder yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini antara lain sebagai berikut :

1. Spesifikasi DAB berdasarkan rekomendasi yang dikeluarkan secara internasional melalui ETSI dengan spesifikasi ETSI EN 300 401, meliputi parameter-parameter sebagai berikut :
 - a. Jumlah *subcarrier* yang digunakan pada mode transmisi I, II, III, dan IV secara berturut-turut adalah 1536, 384, 192, 768,
 - b. Total laju data pada DAB adalah 2.432 Mbps,
 - c. Teknik modulasi yang digunakan pada DAB adalah DQPSK,
 - d. *Bandwidth* kanal untuk semua mode transmisi DAB adalah 1.536 MHz,
 - e. Komposisi durasi *cyclic prefix* yang digunakan untuk mencegah terjadinya *Interchannel Interference* (ICI) dan *Intersymbol Interference* (ISI) adalah 20%,
 - f. BER pada DAB kurang dari 10^{-3} [ETSI EN 300 401 V1.3.3 (2001-05)],

- g. Parameter yang akan dianalisis meliputi *bandwidth*, kapasitas kanal, SNR, dan BER,
 - h. Kanal *noise* yang digunakan untuk menganalisis sistem OFDM berdistribusi *Gaussian*, yaitu kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN),
 - i. Hasil analisis akan disimulasikan dengan menggunakan Matlab 7.5.0 (R2007b).
2. Teori performansi OFDM yang meliputi *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, dan BER merujuk pada buku *Multicarrier Technique for 4G Mobile Communication* yang ditulis oleh Shisuke Hara dan Ramjee Prasad pada tahun 2003.

4.3 Analisis Data

Analisis data yang dilakukan adalah mengumpulkan beberapa nilai parameter dari data sekunder sesuai dengan standar yang digunakan dan kemudian dianalisis untuk mengetahui performansi DAB. Diagram alir untuk mengetahui performansi DAB ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram alir penghitungan performansi DAB
Sumber : Perancangan

1. *Bandwidth* OFDM

Untuk mengetahui nilai *Bandwidth* OFDM dari masing-masing mode transmisi DAB, parameter yang akan dipakai dalam analisis data adalah jumlah *subcarrier* dan laju data dari masing-masing mode transmisi DAB yang nantinya akan

diperoleh *Bandwidth* masing-masing mode transmisi dengan persamaan yang telah dijelaskan pada bab III.

2. *Signal-to-noise ratio* (SNR)

Untuk mengetahui nilai *Signal-to-noise ratio* (SNR) dari masing-masing mode transmisi DAB, parameter yang akan dipakai dalam analisis data adalah, *range* frekuensi, temperatur pengoperasian pemancar DAB, daya output, *Gain* antena pemancar dan jumlah *subcarrier* serta *Bandwidth* OFDM dari masing-masing mode transmisi yang telah didapatkan sebelumnya, sehingga diperoleh nilai SNR dari masing-masing mode transmisi.

3. Kapasitas kanal

Untuk mengetahui nilai kapasitas kanal dari masing-masing mode transmisi DAB, parameter yang akan dipakai dalam analisis data adalah jumlah *subcarrier* dari masing-masing mode transmisi serta *Bandwidth* OFDM dan SNR yang telah didapatkan, sehingga besar kapasitas kanal dari setiap mode transmisi DAB dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan Shannon..

4. *Bit error rate* (BER)

Untuk mengetahui nilai BER dari masing-masing mode transmisi DAB, parameter yang akan dipakai dalam analisis data adalah jumlah *subcarrier* dan SNR dari masing-masing mode transmisi yang telah didapatkan, sehingga diperoleh nilai BER dari setiap mode transmisi DAB.

Setelah didapatkan nilai yang diinginkan seperti SNR, C (kapasitas kanal), dan BER (*Bit Error Rate*), maka dapat disimpulkan apakah nilai parameter tersebut masih sesuai dengan performansi yang dimiliki oleh DAB. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan perbandingan performansi masing-masing mode transmisi DAB jika diterapkan teknologi OFDM.

4.4 Simulasi

Analisis penerapan OFDM pada sistem transmisi DAB disimulasikan dengan Matlab versi 7.5.0 (R2007b) untuk merepresentasikan hasil perhitungan.

4.5 Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan diambil berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan untuk menjawab permasalahan pada rumusan masalah.

BAB V

**ANALISIS PERFORMANSI *ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION*
MULTIPLEXING (OFDM) PADA
*DIGITAL AUDIO BROADCASTING (DAB)*****5.1 Umum**

Analisis yang dilakukan pada bab ini didasarkan pada teori dan persamaan yang terdapat pada Bab II dan Bab III. Analisis performansi OFDM pada DAB meliputi *bandwidth* sistem OFDM, *signal-to-noise ratio* (SNR), kapasitas kanal, dan BER dengan menggunakan teknik modulasi DQPSK pada kanal AWGN. Hasil analisis akan disimulasikan dengan menggunakan program Matlab 7.5.0 (R2007b). Hasil perhitungan dan simulasi performansi OFDM untuk masing-masing mode transmisi pada DAB merupakan hasil yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini.

5.2 Analisis Performansi OFDM pada DAB dengan Kanal AWGN

Performansi OFDM yang akan dibahas pada sub bab ini meliputi *bandwidth*, *signal-to-noise ratio*, kapasitas kanal, serta BER sistem OFDM yang terdapat pada masing-masing mode transmisi DAB dengan menggunakan teknik modulasi DQPSK pada kanal AWGN.

Kelebihan dari sistem transmisi *multicarrier* OFDM adalah dapat mengurangi rugi-rugi yang terjadi dalam komunikasi *multipath* yaitu dengan mentransmisikan data dengan kecepatan transmisi data yang rendah, sehingga daya transmisi yang dibutuhkan lebih kecil. Kecepatan data yang tidak terlalu besar mampu mengurangi interferensi antar simbol (*inter-symbol interference*) atau disebut juga ISI. Dalam transmisi data pada sistem OFDM, *bandwidth* dapat dihemat dengan menumpangkan data pada sinyal yang saling *orthogonal* satu dengan yang lainnya. Sinyal yang saling *orthogonal* dan tumpang tindih tersebut mempunyai potensi menghasilkan interferensi jika orthogonalitasnya tidak sempurna yang berupa interferensi antar carrier (*inter-carrier interference*) atau disebut ICI. Interferensi yang terjadi didalam sistem OFDM (ISI dan ICI) dapat dicegah dengan menambahkan interval *cyclic prefix* yang merupakan duplikat bagian akhir dari simbol OFDM untuk menghilangkan *delay spread* yang terjadi antar data yang saling *overlap*. Berdasarkan aturan yang telah ditetapkan bahwa *delay spread* lintasan jamak tidak boleh lebih 10% dari panjang simbol sehingga mampu mempertahankan laju kesalahan pada 10^{-3} atau kurang. Dengan demikian

interval CP diusahakan melebihi *delay spread* maksimum ($T_{cp} \geq 2\tau$) agar orthogonalitas antar *subcarrier* tetap terjaga. Panjang *cyclic prefix* yang digunakan dalam sistem OFDM saat ini adalah 20% dari interval *subcarrier* OFDM [Hara, 2003]. Akan tetapi, penyisipan *cyclic prefix* ini menimbulkan rugi-rugi energi yang mengakibatkan penurunan SNR.

Parameter masing-masing mode transmisi pada DAB yang digunakan untuk menganalisis performansi sistem OFDM ini memakai standar dari ETSI EN 300 401.

Tabel 5.1 Parameter OFDM untuk keempat mode transmisi pada DAB

Parameter	Mode transmisi I	Mode transmisi II	Mode transmisi III	Mode transmisi IV
Simbol OFDM	76	76	153	76
Durasi frame Transmisi T_F	96 ms	24 ms	24 ms	48 ms
Durasi simbol T_s	$\approx 1246 \mu s$	$\approx 312 \mu s$	$\approx 156 \mu s$	$\approx 632 \mu s$
Durasi Guard interval (Δ)	$\approx 246 \mu s$	$\approx 62 \mu s$	$\approx 31 \mu s$	$\approx 123 \mu s$
Jumlah Subcarrier N	1536	384	192	768
Total laju data	2,432 Mbps	2,432 Mbps	2,448 Mbps	2,432 Mbps
Bandwidth kanal	1,536 MHz	1,536 MHz	1,536 MHz	1,536 MHz
Frekuensi kerja	≤ 375 MHz	$\leq 1,5$ GHz	≤ 3 GHz	$\leq 1,5$ GHz

(Sumber : ETSI EN 300 401)

Sinyal yang ditransmisikan pada masing-masing mode transmisi akan dibentuk menjadi sebuah frame. Setiap frame akan memiliki durasi T_F dan terdiri dari 76 simbol untuk mode transmisi I,II,IV dan 153 simbol untuk mode transmisi III. Simbol tersebut merupakan penjumlahan dari simbol OFDM dengan data referensi fasa atau *Phasa reference* (PR), *Fast Information Channel* (FIC), dan *Main Service Channel* (MSC). Untuk satu frame mode transmisi I, II, dan IV terdiri dari 1 simbol PR, 3 simbol FIC, dan 72 simbol MSC, sedangkan untuk satu mode transmisi III terdiri dari 1 simbol PR, 8 simbol FIC, dan 144 simbol MSC. Masing-masing simbol memiliki fungsi yang

berbeda, simbol PR berfungsi sebagai proses sinkronisasi pada saat pentransmisian, simbol FIC berfungsi untuk membawa informasi tentang struktur *multiplex* serta program-program yang ditransmisikan, dan untuk simbol MSC berfungsi sebagai pembawa informasi yang bermanfaat seperti data audio dan servis-servis lainnya yang akan ditransmisikan. Pada MSC masing masing simbol ditransmisikan dengan durasi T_s yang telah dijumlahkan dengan *guard interval* dengan durasi Δ . Dari durasi tersebut dapat diperoleh jarak frekuensi *carrier* untuk masing-masing mode transmisi. Dengan besar $T_s = 1246 \mu s$ dan $\Delta = 246 \mu s$ untuk mode transmisi I didapatkan jarak tiap frekuensi *carrier* Δf dengan persamaan (3-2),

$$\begin{aligned}\Delta f &= \frac{1}{T_s - \Delta} \\ &= \frac{1}{1246 \mu s - 246 \mu s} = 1 \text{kHz}\end{aligned}$$

Dan dari hasil jarak tiap frekuensi *carrier* tersebut diperoleh jumlah *subcarrier* N untuk mode transmisi I pada DAB dengan *bandwidth* kanal sebesar 1,536 MHz dengan persamaan (3-3),

$$\begin{aligned}N &= \frac{BW}{\Delta f} \\ &= \frac{1,536 \text{MHz}}{1 \text{KHz}} = 1536\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dapat diperoleh jumlah *subcarrier* untuk mode transmisi II sebesar 384, mode transmisi III sebesar 192, dan mode transmisi IV sebesar 768 seperti yang terlihat pada tabel 5.1. Sesuai dengan yang telah dijelaskan di Bab II dan Bab III, bahwa DAB dengan spesifikasi ETSI EN 300 401 menggunakan teknik modulasi DQPSK di setiap mode transmisi dengan terdapat 2 bit yang mewakili setiap simbolnya. Dari setiap mode transmisi tersebut akan diketahui pengaruh jumlah *subcarrier* pada sistem OFDM.

5.2.1 Analisis *Bandwidth* Sistem OFDM pada DAB

Pada sistem OFDM, laju data yang tinggi dari masing-masing mode transmisi seperti pada tabel 5.1 akan dibagi ke dalam beberapa *subcarrier* agar dapat ditransmisikan dalam bentuk aliran data paralel dengan aliran laju data rendah. Dari total laju data 2,432 Mbps dengan jumlah *subcarrier* adalah 1536 untuk mode transmisi

I diperoleh laju data masing-masing *subcarrier* dengan menggunakan persamaan (3-4), yaitu:

$$\begin{aligned} R_{sub} &= \frac{R_{tot}}{N} \\ &= \frac{2,4Mbps}{1536} = 0,00156Mbps \end{aligned}$$

Dari persamaan (3-5), durasi simbol masing-masing *subcarrier* dengan nilai M pada DQPSK = 4, adalah:

$$\begin{aligned} T_{sub} &= \frac{\log_2 M}{R_{sub}} \\ &= \frac{\log_2 4}{0.001563 Mbps} \\ &= \frac{2}{0.001563 Mbps} \\ &= 1280 \mu s \end{aligned}$$

Untuk mencegah terjadinya *inter-symbol interference* dan *inter-channel interference* pada *subcarrier* yang saling *overlap* pada simbol OFDM dibutuhkan durasi *cyclic prefix*. Durasi *cyclic prefix* dipilih 20% dari durasi simbol *subcarrier*, sehingga dari persamaan didapatkan :

$$\begin{aligned} T_{cp} &= 0.2 \times T_{sub} \\ &= 0.2 \times (1280 \times 10^{-6}) = 256 \mu s \end{aligned}$$

Dari jumlah durasi *cyclic prefix* tersebut diperoleh durasi simbol OFDM:

$$\begin{aligned} T_u &= T_{sub} - T_{cp} \\ &= (1280 - 256) \mu s = 1024 \mu s \end{aligned}$$

Durasi simbol OFDM (T_u), tersebut yang nantinya akan digunakan atau disebut juga dengan periode observasi. Sehingga dari persamaan (3-11), *bandwidth subcarrier* dengan laju simbol OFDM, $T_u = 1024 \mu s$ untuk jumlah *subcarrier* 1536 adalah:

$$\begin{aligned} B_{sub} &= \frac{1}{T_u} \\ &= \frac{1}{1024 \times 10^{-6}} = 0,00098MHz \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai durasi masing-masing *subcarrier*, nilai durasi *cyclic prefix*, durasi simbol OFDM, serta *bandwidth* untuk setiap *subcarrier*. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Analisis *Bandwidth* untuk setiap *subcarrier*

Mode Transmisi	Jumlah <i>Subcarrier</i>	R_{sub} (Mbps)	T_{sub} (μ s)	T_{cp} (μ s)	T_u (μ s)	B_{sub} (MHz)
I	1536	0,001563	1280	256	1024	0,00098
II	384	0,006250	320	64	256	0,00391
III	192	0,012500	160	32	128	0,00781
IV	768	0,003125	640	128	512	0,00195

(Sumber : Perhitungan, 2009)

Tabel 5.2 memperlihatkan bahwa dengan menambahkan penggunaan *subcarrier*, durasi simbol akan bertambah besar sebesar N kali daripada sistem *carrier* tunggal. Sehingga masalah yang ditimbulkan oleh lintasan jamak dapat diatasi. Di sisi lain, penambahan CP dalam sistem OFDM lebih efektif untuk menghilangkan ISI dan menjaga orthogonalitas antar *subcarrier*. Karena setiap *subcarrier* dalam sistem *multicarrier* diizinkan saling *overlap*, maka dengan memperbanyak jumlah *subcarrier* dalam sistem OFDM mampu menghemat pemberdayaan *bandwidth* sistem.

Dengan durasi CP sebesar 20% diperoleh faktor CP sebesar 0,20. Sehingga dengan menggunakan persamaan (3-8) diperoleh *bandwidth* OFDM untuk jumlah *subcarrier* 1536 dan durasi *subcarrier* $T_{sub} = 1280 \mu$ s sebesar:

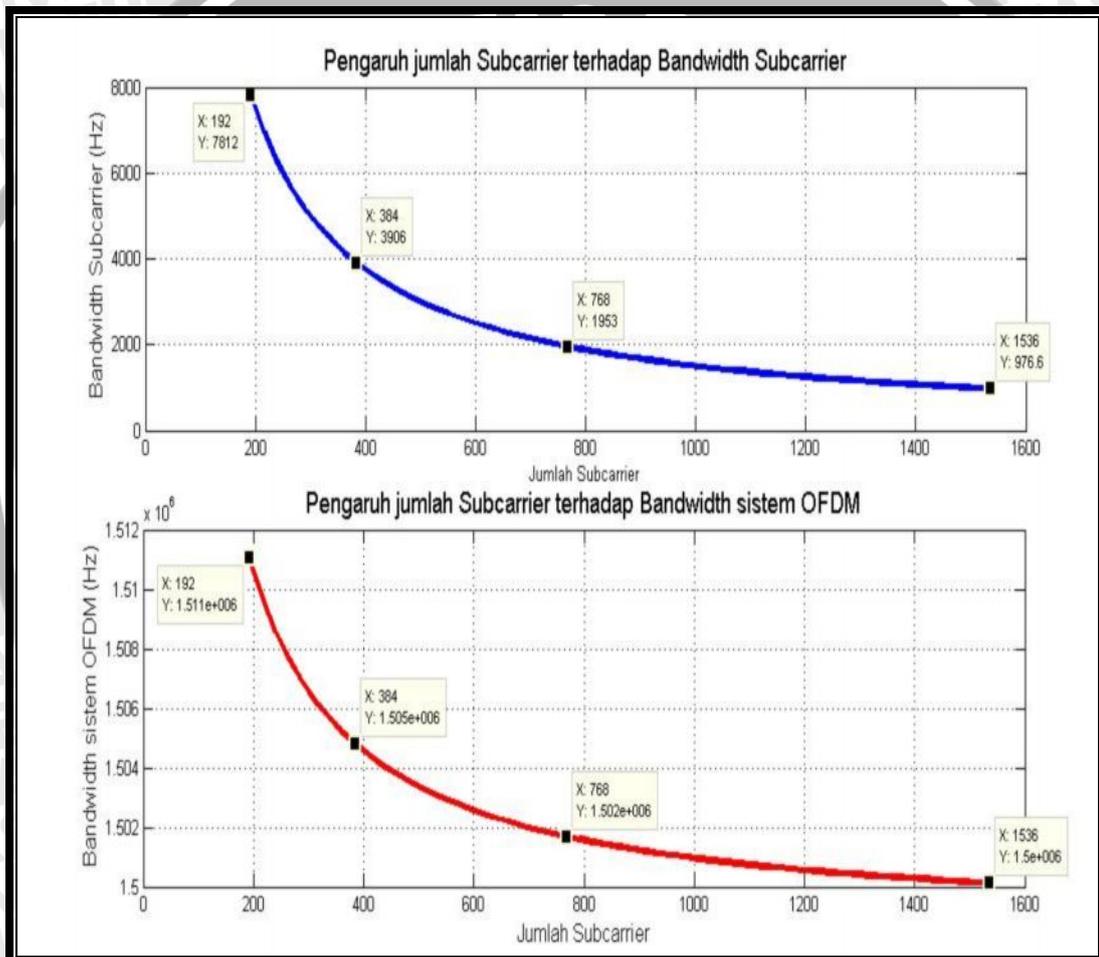
$$\begin{aligned}
 B_{OFDM} &= \frac{2}{T_{sub}} + \frac{N-1}{(1-\alpha_{cp})T_{sub}} \\
 &= \frac{2}{1280 \times 10^{-6}} + \frac{1536-1}{(1-0,20) \cdot 1280 \times 10^{-6}} = 1,50059 \text{ MHz}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama untuk jumlah *Bandwidth* OFDM dengan jumlah *subcarrier* yang berbeda dari masing-masing mode transmisi dapat diberikan dalam Tabel 5.3. Sedangkan hubungan *bandwidth* OFDM terhadap jumlah *subcarrier* ditampilkan pada Gambar 5.1.

Tabel 5.3 Hasil analisis *Bandwidth* OFDM tiap *Subcarrier*

Mode Transmisi	Jumlah <i>Subcarrier</i>	T_{sub} (μ s)	T_{cp} (μ s)	B_{sub} (MHz)	B_{OFDM} (MHz)
I	1536	1280	256	0,00098	1,50059
II	384	320	64	0,00391	1,50234
III	192	160	32	0,00781	1,50469
IV	768	640	128	0,00195	1,50117

(Sumber : Perhitungan, 2009)

Gambar 5.1 Grafik hubungan jumlah *Subcarrier* terhadap *Bandwidth Subcarrier* dan *Bandwidth* OFDM

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2009)

Gambar 5.1 menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah *subcarrier* yang digunakan akan menyebabkan *bandwidth subcarrier* dan *bandwidth* OFDM semakin kecil. *Bandwidth* OFDM yang digunakan lebih kecil dibandingkan *bandwidth* kanal yang disediakan, hal ini membuktikan bahwa, penggunaan sistem *multicarrier* OFDM

mampu menghemat *bandwidth* yang tersedia dalam suatu kanal. *Bandwidth* yang dapat dihemat pada mode transmisi I dengan menggunakan jumlah *subcarrier* 1536 dalam Tabel 5.3 terhadap *bandwidth* kanal DAB yang tersedia sebesar 1,536 MHz adalah 2,31% dan 2,19% untuk mode transmisi II, 2,04% untuk mode transmisi III, serta 2,27% untuk mode transmisi IV.

5.2.2 Analisis *Signal-to-Noise Ratio* Sistem OFDM pada DAB

Pada analisis *signal-to-noise ratio* akan digunakan spesifikasi DAB pada Tabel 5.4 berikut:

Tabel 5.4 Spesifikasi pemancar DAB

Standard	<ul style="list-style-type: none"> ETSI EN 300 401 2.4 Mbps
Modulation Techniques	<ul style="list-style-type: none"> OFDM (DQPSK)
Driver Amplifier Input	<ul style="list-style-type: none"> Connector 50 ohm N Type Nominal Input Level Range -15 dBm to 0 dBm
Transmitter RF Performance	<ul style="list-style-type: none"> Rated output power : 56.0 dBm (after the output filter) Output power range : 47 to 56 dBm Output Power Set Point Range 13 dB Output Level Stability vs. time $\geq \pm 0.25$ dB/24 hrs. max.
Environment	<ul style="list-style-type: none"> Operating Temperature : +5°C to +40°C Storage Temperature : -20°C to +65°C
Output Filter	<ul style="list-style-type: none"> Bandwidth : 1.536 MHz (Any RF channel in the L-band, as specified by the customer)
Maximum propagation path difference	<ul style="list-style-type: none"> (90 km)
Maximum frequency range	<ul style="list-style-type: none"> VHF (174-240 MHz), (216-240 MHz), (195-216 MHz), (174-195 MHz) / L-Band (1452-1492 MHz)
Enclosure	<ul style="list-style-type: none"> Construction 19" Rack mount transport case Weight 135 kg Dimensions 27"(W) x 31"(L) x 42"(H)
Weight	<ul style="list-style-type: none"> 220 kg

(Sumber : www.uniquesys.com)

Dari spesifikasi di atas maka dapat ditentukan beberapa parameter penting untuk menganalisis SNR, antara lain :

1. *Frequency range* yang digunakan yaitu :
L-Band (195-216 MHz)
2. Jarak terjauh antara pemancar dan penerima pada masing-masing Mode Transmisi yaitu 90 km.
3. *Operating Temperature* pada DAB adalah sebesar $5^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$, tetapi pada analisis ini diambil *temperature* ruangan sebesar $30^{\circ}\text{C} = 300\text{ K}$.
4. Daya *output* pada pemancar DAB sebesar 56 dBm
5. *Gain* pada pemancar sebesar 13 dB
6. Berdasarkan regulasi dari FCC (*Federal Communications Commission*), daya keluaran maksimum dari antena dengan pengaturan antena pemancar dan penerima sebesar 6 dBi untuk pengoperasian dalam ruangan (*indoor*).

Untuk menganalisis SNR diperlukan nilai rugi-rugi propagasi ruang bebas. Untuk mengetahui besarnya nilai rugi-rugi propagasi ruang bebas dengan jarak pemancar dan penerima 90 km pada *band* frekuensi 195-216 MHz untuk Mode Transmisi I. Dengan frekuensi operasi yang ditentukan, maka rugi-rugi propagasi ruang bebas diperoleh dengan persamaan (3-11),

$$f = \sqrt{f_{low} \cdot f_{high}}$$

$$= \sqrt{195 \cdot 216} = 205,23\text{MHz}$$

Dengan frekuensi 205,23 MHz dan $d = 90\text{ km}$, maka :

$$L_{fs} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot f \cdot d}{c} \right)$$

$$= 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 205,23 \times 10^6 \cdot 90 \times 10^3}{3 \times 10^8} \right) = 117,77\text{dB}$$

Dengan rugi-rugi propagasi ruang bebas 117,77 dB diperoleh daya terima untuk jumlah *subcarrier* 1536 sesuai dengan persamaan (3-16), yaitu:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_{fs} - 10 \cdot \log_{10} N$$

$$= 56\text{dBm} + 13\text{dB} + 6\text{dBi} - 117,77\text{dB} - 10 \cdot \log_{10} (1536)$$

$$= -74,63\text{dBm}$$

Dengan laju data 2,432 Mbps dan jumlah *subcarrier* 1536 untuk mode transmisi I, maka dihasilkan *bandwidth* sistem sebesar $B_{OFDM} = 1,50059$ MHz. Sehingga dapat dihitung besarnya daya *noise* pada kanal AWGN dengan menggunakan persamaan (3-15), sebesar:

$$\begin{aligned} N_o &= 10 \log k \cdot T + 10 \log B + NF \\ &= 10 \log(1.38 \times 10^{-23} \cdot 300) + 10 \log(1.50059 \times 10^6) + 11.2 \\ &= -130,8687 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai *noise* pada kanal AWGN untuk masing-masing mode transmisi dengan jumlah *subcarrier* 384 untuk mode transmisi II, 192 untuk mode transmisi III, dan 768 untuk mode transmisi IV. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil Analisis *Noise* pada Kanal AWGN

Mode Transmisi	Jumlah <i>Subcarrier</i>	P_r (dBm)	N_o (dBm)
I	1536	-74,63	-130,8687
II	384	-68,61	-130,8551
III	192	-65,60	-130,8371
IV	768	-71,62	-130,8642

(Sumber : Perhitungan, 2009)

Dengan daya yang diterima $P_r = -74,63$ dBm dan daya *noise* pada kanal AWGN $N_o = -130,8687$ dBm pada mode transmisi I, maka dapat diperoleh nilai *signal-to-noise ratio* dengan menggunakan persamaan (3-14), sebesar:

$$\begin{aligned} SNR &= P_r - N_o \\ &= -74,63 - (-130,8687) \\ &= 56,24 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai *signal-to-noise ratio* (SNR) untuk masing-masing mode transmisi. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil Analisis SNR

Mode transmisi	Jumlah Subcarrier	SNR (dB)
I	1536	56,24
II	384	62,24
III	192	65,24
IV	768	59,24

(Sumber : Perhitungan, 2009)

Untuk nilai SNR= 56,24 dB = 420726,63, diperoleh SNR_{OFDM} untuk mode transmisi I dengan persamaan (3-17) berikut:

$$\begin{aligned}
 SNR_{OFDM} &= (1 - \alpha_{CP}) SNR \\
 &= (1 - 0.2) 420726,63 \\
 &= 336581,3 \\
 &= 55,27 dB
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dapat diperoleh nilai *signal-to-noise ratio* OFDM untuk masing-masing mode transmisi dengan jumlah *subcarrier* dan nilai *signal-to-noise ratio* (SNR) pada masing-masing mode transmisi serta *cyclic prefix* sebesar 0.2. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hasil Analisis SNR_{OFDM}

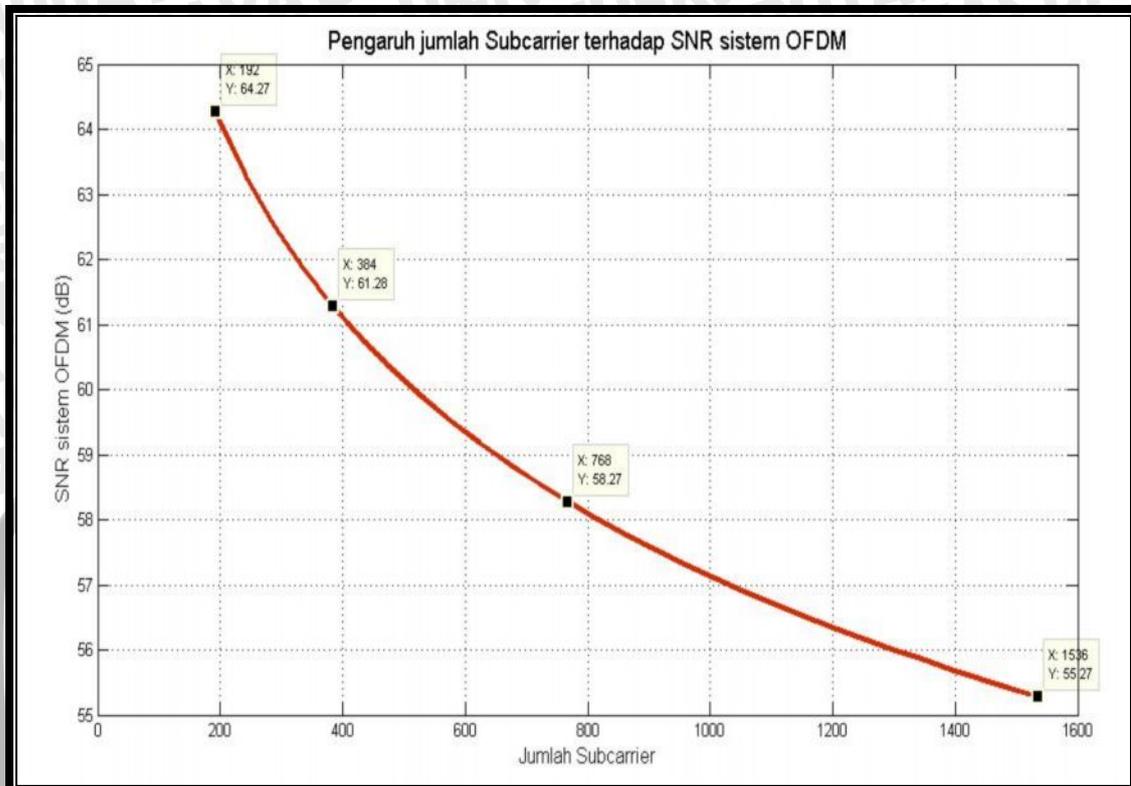
Mode Transmisi	Jumlah Subcarrier	P_r (dBm)	N_o (dBm)	SNR (dB)	SNR_{OFDM} (dB)
I	1536	-74,63	-130,8687	56,24	55,27
II	384	-68,61	-130,8551	62,24	61,27
III	192	-65,60	-130,8371	65,24	64,27
IV	768	-71,62	-130,8642	59,24	58,27

(Sumber : Perhitungan, 2009)

Dengan semakin banyaknya jumlah *subcarrier*, maka akan mengurangi daya terima sehingga menyebabkan SNR menurun. Pemisahan CP (*cyclic prefix*) pada penerima menyebabkan rugi-rugi energi yang berdampak pada penurunan SNR_{OFDM} . Oleh karena itu, SNR_{OFDM} turun sekitar 20% dari SNR (dengan adanya CP). Semakin besar laju transmisi yang digunakan semakin kecil *range* (jarak) yang dapat dijangkau



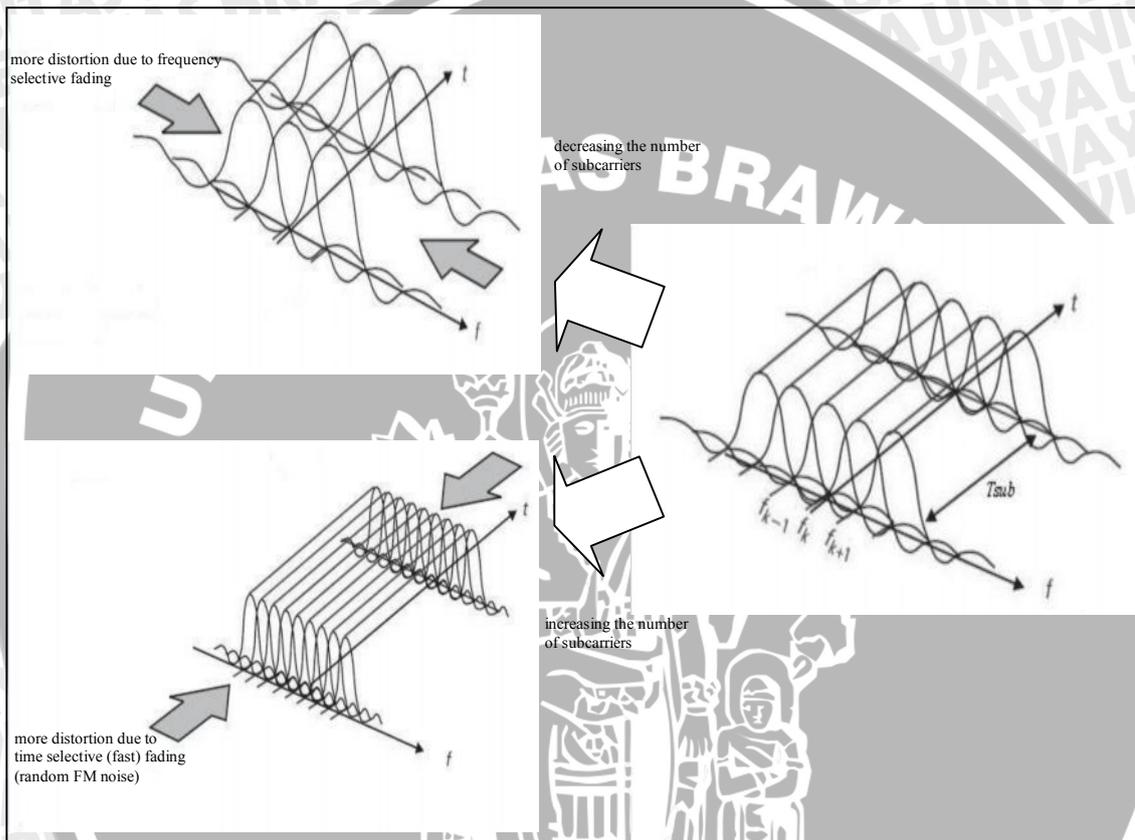
sehingga semakin kecil pula rugi-rugi propagasi ruang bebas dan mengakibatkan daya terima pada penerima semakin tinggi sehingga akan menaikkan nilai SNR. Hubungan SNR_{OFDM} terhadap jumlah *subcarrier* ditampilkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik hubungan jumlah *Subcarrier* terhadap SNR_{OFDM}
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2009)

Dari gambar 5.3 terlihat bahwa semakin banyaknya jumlah *subcarrier* yang digunakan, maka SNR_{OFDM} yang didapatkan semakin kecil. Untuk mode transmisi I dengan jumlah *subcarrier* 1536 didapatkan besarnya SNR_{OFDM} 55,27 dB, untuk mode transmisi IV dengan jumlah *subcarrier* 768 didapatkan besarnya SNR_{OFDM} 58,27 dB, untuk mode transmisi II dengan jumlah *subcarrier* 384 didapatkan besarnya SNR_{OFDM} 61,27 dB, untuk mode transmisi III dengan jumlah *subcarrier* 192 didapatkan besarnya SNR_{OFDM} 64,27 dB.

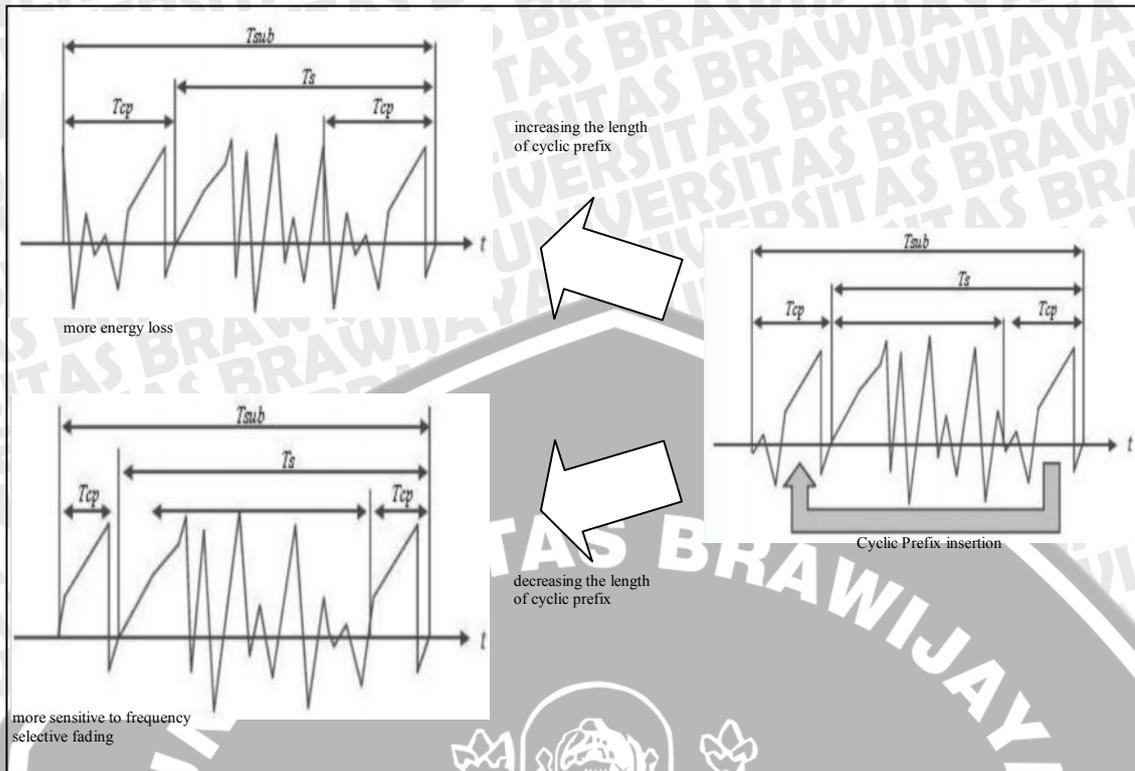
Penggunaan jumlah *subcarrier* dan durasi CP harus diperhatikan dalam sistem *multicarrier* OFDM. Apabila jumlah *subcarrier* yang digunakan ditingkatkan akan mengakibatkan durasi simbol OFDM semakin lebar, sehingga akan lebih sensitif terhadap *time selective (fast) fading*. Sebaliknya apabila jumlah *subcarrier* diturunkan yang menyebabkan menurunnya durasi simbol OFDM maka akan lebih sensitif terhadap *frequency selective fading* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Hubungan Jumlah *Subcarrier* dengan *Frequency Selectivity* dan *Time Selectivity*
 Sumber: Shinsuke Hara, 2003

Di sisi lain, apabila durasi CP ditingkatkan akan menyebabkan rugi-rugi energi bertambah besar, atau sebaliknya apabila durasi CP diturunkan akan menyebabkan sistem OFDM lebih sensitif terhadap *frequency selective fading* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.4





Gambar 5.4 Hubungan Durasi *Cyclic Prefix* dengan Efisiensi Energi dan *Frequency Selectivity*

Sumber: Shinsuke Hara, 2003

5.2.3 Analisis kapasitas kanal sistem OFDM pada DAB

Dari *bandwidth* dan SNR_{OFDM} yang terdapat dalam Tabel 5.3 dan Tabel 5.7, maka menurut teorema Shannon yang terdapat dalam persamaan (3-18) tentang kapasitas kanal yang dapat diperoleh untuk jumlah *Subcarrier* 1536, *Bandwidth* OFDM 1.50059 MHz dan SNR_{OFDM} 55,27 dB atau 336581,3 adalah:

$$\begin{aligned}
 C &= B_{OFDM} \cdot \log_2(1 + SNR_{OFDM}) \\
 &= 1.50059 \times 10^6 \cdot \log_2(1 + 336581,3) \\
 &= 2,75 \times 10^7 \text{ bps} \\
 &= 27,54 \text{ Mbps}
 \end{aligned}$$

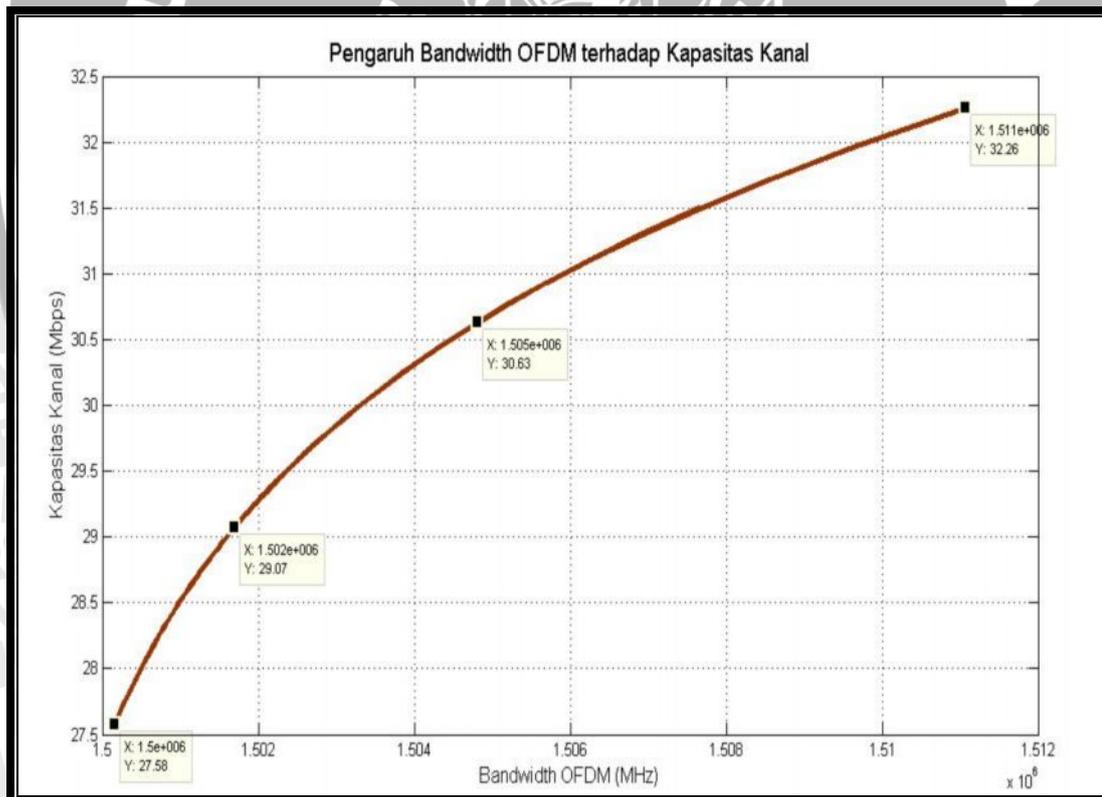
Dengan menggunakan cara yang sama, kapasitas kanal untuk *bandwidth* dan SNR_{OFDM} pada masing-masing Mode Transmisi dapat diberikan seperti dalam Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Analisis Kapasitas Kanal

Mode Transmisi	Jumlah Subcarrier	B_{OFDM} (MHz)	SNR_{OFDM} (dB)	kapasitas kanal (Mbps)
I	1536	1.50059	55,27	27,54
II	384	1.50234	61,27	30,63
III	192	1.50469	64,27	32,26
IV	768	1.50117	58,27	29,07

(Sumber : Perhitungan, 2009)

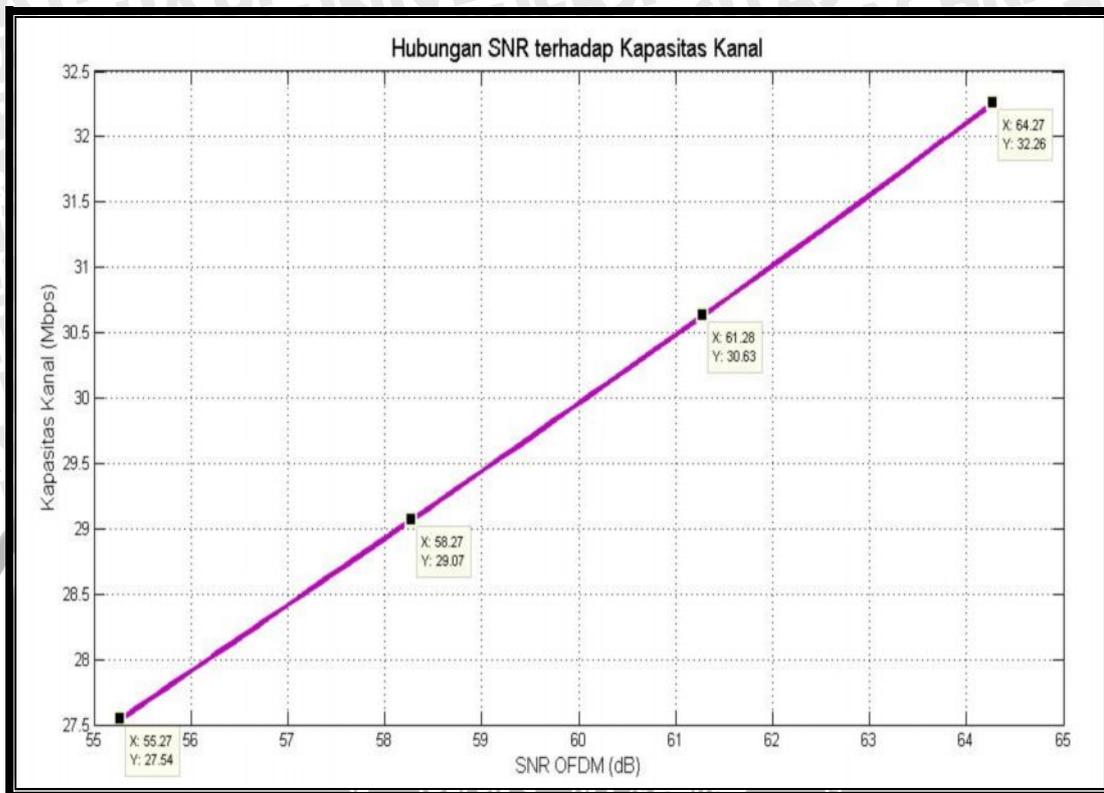
Kapasitas kanal yang diperoleh dalam Tabel 5.8 berubah secara linier terhadap perubahan *bandwidth* OFDM dan secara logaritmik terhadap perubahan SNR_{OFDM} . Hubungan *bandwidth* OFDM dengan besar kapasitas kanal dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Grafik hubungan *Bandwidth* OFDM terhadap Kapasitas kanal (Sumber : Hasil Perhitungan, 2009)

Dari Gambar 5.5 dapat diketahui apabila *bandwidth* sistem menurun akan menyebabkan kapasitas kanal menurun secara linier, hal ini dikarenakan besar kapasitas

kanal berbanding lurus dengan besarnya *bandwidth*. Hubungan besar SNR_{OFDM} dengan Kapasitas kanal dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Grafik hubungan SNR_{OFDM} terhadap Kapasitas kanal
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2009)

Dari Gambar 5.6 diatas dapat dilihat penurunan SNR_{OFDM} akibat bertambahnya jumlah *subcarrier* menyebabkan menurunnya kapasitas kanal secara logaritmik. Semakin tinggi laju transmisi yang digunakan maka diperoleh kapasitas kanal yang tinggi pula. Dalam hal ini mode transmisi III dengan laju data 2.448 Mbps memberikan kapasitas kanal yang paling besar dibandingkan dengan mode transmisi lainnya. mode transmisi III dapat memberikan kapasitas kanal sampai 32,26 Mbps, mode transmisi I dapat memberikan kapasitas kanal sampai 27,54 Mbps, mode transmisi II dapat memberikan kapasitas kanal sampai 30,63 Mbps, serta mode transmisi IV dapat memberikan kapasitas kanal sampai 29,07 Mbps.

5.2.4 Analisis BER sistem OFDM pada DAB

Bit error rate (BER) diharapkan sekecil mungkin agar diperoleh kualitas sinyal yang baik. Oleh karena itu BER sistem OFDM tergantung pada ukuran kualitas sinyal (SNR_{OFDM}) yang diterima. Berdasarkan perhitungan terhadap SNR_{OFDM} yang telah dilakukan di atas maka menurut persamaan (3-19), maka diperoleh BER sistem OFDM sebagai berikut:

$$BER = \frac{1}{2} \cdot \operatorname{erfc}\left(\sqrt{SNR_{OFDM}}\right)$$

dan $\operatorname{erfc}(x)$ dapat diubah menjadi persamaan berikut ini [Dennis Roddy, 2001:274]:

$$\operatorname{erfc}(x) = 2Q(\sqrt{2 \cdot x})$$

dengan $x = SNR_{OFDM}$

sehingga,

$$BER = Q(\sqrt{2 \cdot x})$$

jika $\sqrt{2 \cdot x}$ dinotasikan dengan z , maka:

$$z = \sqrt{2 \cdot x}$$

Telah terdapat aproksimasi nilai $Q(x)$ untuk $x \geq 0$ dengan kesalahan maksimum 0.27%, yaitu [Leon W. Couch, 1995:490]:

$$BER = Q(z) = \frac{e^{-z^2/2} / \sqrt{2\pi}}{(1 - 0.339)z + 0.339\sqrt{z^2 + 5.51}}$$

Berdasarkan perhitungan terhadap SNR_{OFDM} untuk jumlah *subcarrier* 1536 dan laju data 2.432 Mbps, diperoleh SNR_{OFDM} sebesar 55,27dB atau diperoleh BER sistem OFDM sebagai berikut:

$$BER = \frac{e^{-(55,27)} / \sqrt{2\pi}}{(1 - 0.339)\sqrt{2 \cdot 55,27} + 0.339\sqrt{(2 \cdot 55,27) + 5.51}} = 0,3736 \times 10^{-25}$$

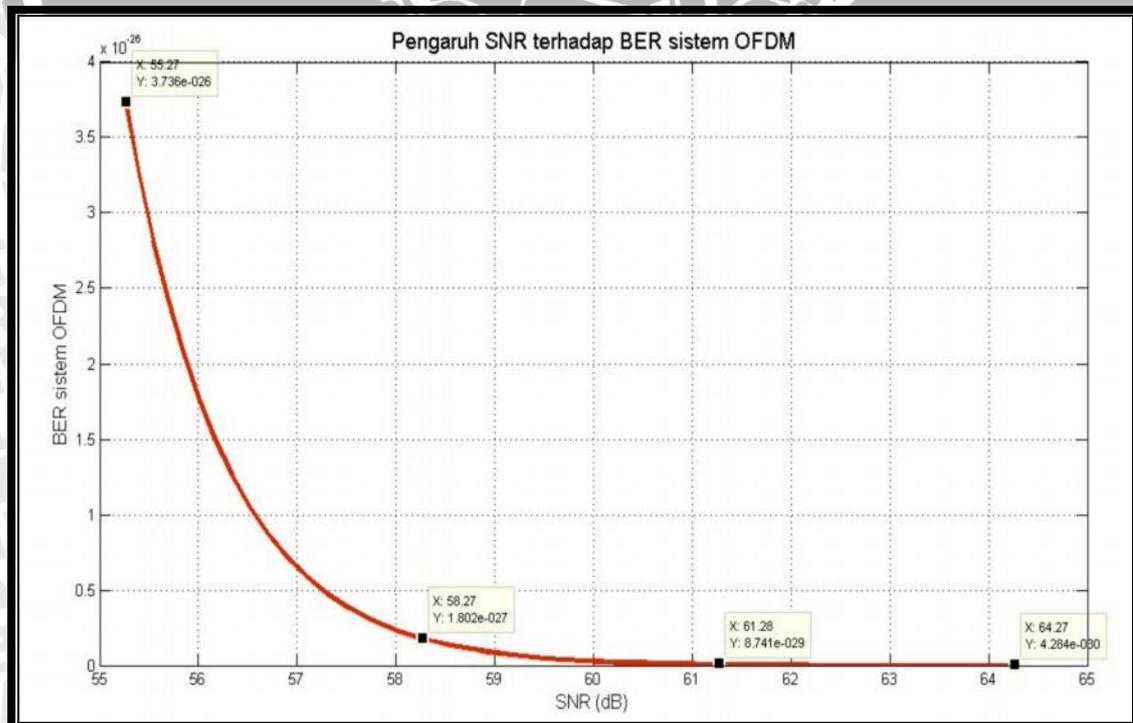
Dengan cara yang sama, nilai BER sistem OFDM untuk masing-masing mode transmisi dapat diberikan seperti dalam Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Analisis BER sistem OFDM

Mode Transmisi	Jumlah Subcarrier	SNR_{OFDM} (dB)	BER_{OFDM}
I	1536	55,27	$0,3736 \times 10^{-25}$
II	384	61,27	$0,8793 \times 10^{-28}$
III	192	64,27	$0,4273 \times 10^{-29}$
IV	768	58,27	$0,8099 \times 10^{-26}$

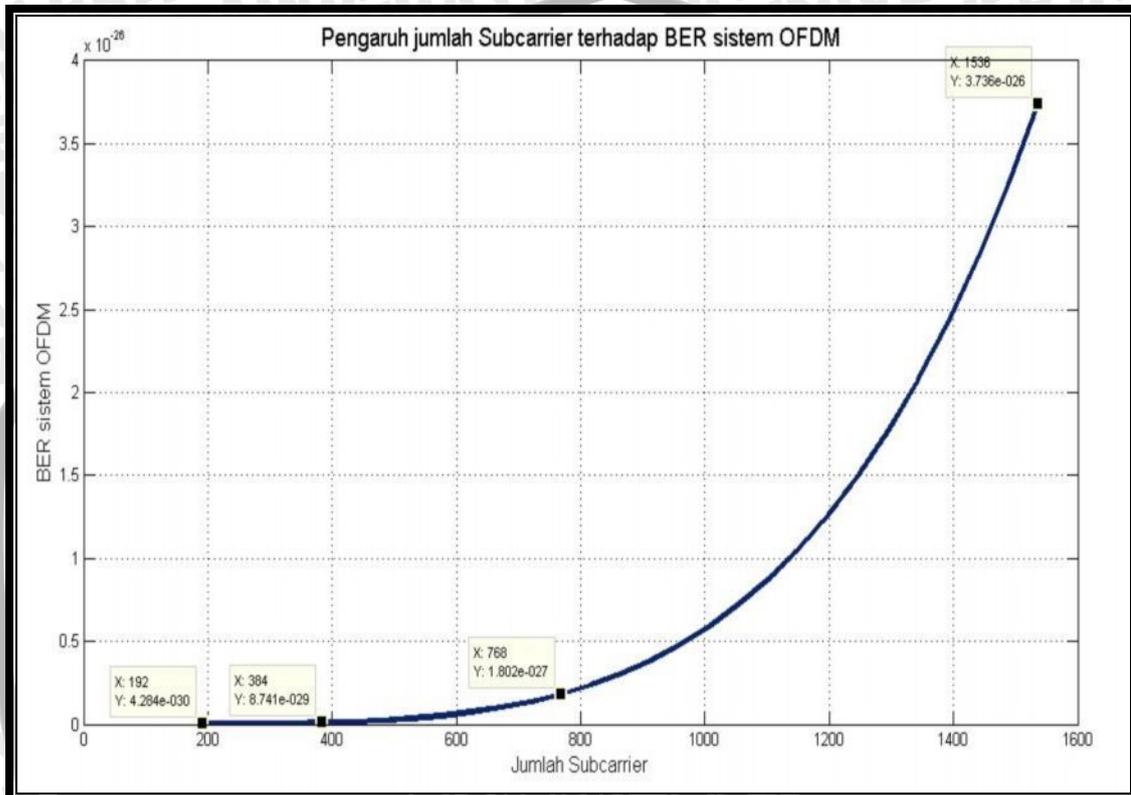
(Sumber : Perhitungan, 2009)

Dengan meningkatkan SNR_{OFDM} akan menyebabkan BER bertambah kecil. Akan tetapi peningkatan SNR_{OFDM} dalam sistem OFDM menyebabkan durasi simbol OFDM menurun, sehingga simbol-simbol OFDM yang ditransmisikan sangat rentan terhadap distorsi yang diakibatkan oleh *frequency selective fading*. Ditambahkan lagi, daya yang dibutuhkan untuk pentransmisiannya juga lebih besar. Sebaliknya, apabila SNR_{OFDM} diturunkan atau jumlah *subcarrier* diperbanyak menyebabkan BER bertambah besar. Hal ini disebabkan karena simbol-simbol OFDM yang ditransmisikan dipengaruhi oleh distorsi yang disebabkan oleh *time selective fading* akibat durasi simbol OFDM yang sangat besar. Hubungan antara SNR_{OFDM} dan jumlah *subcarrier* terhadap BER dapat dilihat pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 dibawah ini.



Gambar 5.7 Grafik hubungan SNR terhadap BER
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2009)

Dari Gambar 5.7 terlihat bahwa mode transmisi III mempunyai performansi yang lebih baik dibandingkan dengan mode transmisi I, II, dan mode transmission IV. Dengan nilai SNR_{OFDM} sebesar 64,27 dB, diperoleh BER dari mode transmisi III sebesar $0,4273 \times 10^{-29}$ yang mana merupakan nilai terendah dari BER pada ke-tiga mode transmisi yang lain.



Gambar 5.8 Grafik hubungan jumlah *Subcarrier* terhadap BER
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2009)

Dari Gambar 5.8 dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah *subcarrier*, maka diperoleh nilai BER yang kecil, hal ini dikarenakan adanya rugi-rugi yang terjadi saat proses pemisahan *cyclic prefix* pada sistem penerima sehingga mempengaruhi daya sinyal yang diterima. Dari grafik diatas dapat dilihat pada mode transmisi I dengan jumlah *subcarrier* 1536 diperoleh BER sebesar $0,3736 \times 10^{-25}$, mode transmisi II dengan jumlah *subcarrier* 384 diperoleh BER sebesar $0,8793 \times 10^{-28}$, mode transmisi III dengan jumlah *subcarrier* 192 diperoleh BER sebesar $0,4273 \times 10^{-29}$, dan mode transmisi IV dengan jumlah *subcarrier* 768 diperoleh BER sebesar $0,8099 \times 10^{-26}$.

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi dengan menggunakan Matlab 7.5.0 (R2007b), maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin banyak jumlah *subcarrier* yang digunakan akan diperoleh *bandwidth subcarrier* atau *bandwidth* OFDM yang semakin kecil. *Bandwidth* OFDM pada masing-masing mode transmisi I, II, III, dan IV berturut-turut adalah 1,50059 MHz, 1,50234 MHz, 1,50469 MHz, dan 1,50117 MHz.
2. *Bandwidth* kanal DAB yang dapat dihemat pada mode transmisi I dengan menggunakan jumlah subcarrier 1536 adalah sebesar 2,31%, mode transmisi II dengan jumlah *subcarrier* 384 sebesar 2,19%, mode transmisi III dengan jumlah *subcarrier* 192 sebesar 2,04% dan mode transmisi IV dengan jumlah *subcarrier* 768 sebesar 2,27%.
3. Semakin banyak jumlah *subcarrier* menyebabkan SNR_{OFDM} semakin kecil karena laju data total dibagi kedalam sejumlah N *subcarrier*. Pada mode transmisi I dengan menggunakan jumlah subcarrier 1536 diperoleh SNR_{OFDM} sebesar 55,27 dB, mode transmisi II diperoleh SNR_{OFDM} sebesar 61,27 dB, mode transmisi III diperoleh SNR_{OFDM} sebesar 64,27 dB dan mode transmisi IV diperoleh SNR_{OFDM} sebesar 58,27 dB.
4. Akibat adanya *cyclic prefix* menyebabkan rugi-rugi energi yang berdampak pada penurunan SNR_{OFDM} . SNR_{OFDM} yang tinggi akan menghasilkan kualitas sinyal yang bagus.
5. Kapasitas kanal mengalami penurunan dengan meningkatnya jumlah *subcarrier*. Hal ini dikarenakan besar total kapasitas kanal dibagi kedalam sejumlah N *subcarrier*. Pada mode transmisi I kapasitas kanal yang tersedia adalah 27,54 Mbps, mode transmisi II kapasitas kanal yang tersedia adalah 30,63 Mbps, mode transmisi III kapasitas kanal yang tersedia adalah 32,26 Mbps, dan mode transmisi IV kapasitas kanal yang tersedia adalah 29,07 Mbps.
6. BER sistem OFDM mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah *subcarrier*. Pada mode transmisi I dengan menggunakan jumlah subcarrier 1536 diperoleh BER sebesar $0,3736 \times 10^{-25}$, mode transmisi II diperoleh BER sebesar

$0,8793 \times 10^{-28}$, mode transmisi III diperoleh BER sebesar $0,4273 \times 10^{-29}$, dan mode transmisi IV diperoleh BER sebesar $0,8099 \times 10^{-26}$.

7. Dengan BER yang kecil maka akan diperoleh kualitas sinyal yang lebih baik. Dengan demikian nilai BER akan berbanding terbalik dengan nilai SNR_{OFDM} . Dalam hal ini nilai BER terkecil dari masing-masing mode transmisi dimiliki oleh mode transmisi III dengan $0,4273 \times 10^{-29}$.
8. Karena nilai maksimum BER pada DAB sebesar 10^{-3} , maka nilai BER untuk semua mode transmisi masih dapat ditoleransi.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan adalah :

1. Dalam menganalisis performansi sistem OFDM dapat dikembangkan lebih lanjut dengan memvariasikan panjang durasi *cyclic prefix* untuk melihat pengaruhnya terhadap performansi sistem.
2. Dalam menganalisis performansi sistem OFDM dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan kanal lainnya, seperti *Rayleigh Multipath Fading* untuk melihat pengaruhnya terhadap performansi sistem.
3. Menganalisis penerapan OFDM pada aplikasi yang lain seperti DMBT/H, *Digital Subscriber Line*, dan DAB+.

DAFTAR PUSTAKA

- Artanto, Fendy Resdian. *"Implementasi OFDM Pada Transmisi Digital Video Broadcasting (DVB)"*. Skripsi Tidak Diterbitkan. Malang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. 2008.
- Di, Zhang. *"Performance Analysis and Comparison of OFDM Based Packet Transmission System with QAM Modulation"*. Communication Systems Group, Dept. of Signals and Systems, Chalmers University of Technology. 2004.
- Edfors, Ove, et.al. *"An Introduction to Orthogonal Frequency-Division Multiplexing"*. 1996.
- F. Kozamernik. 1995. *Digital Audio Broadcasting – radio now and for the future*, published by the EBU in 1993.
- Fischer, Walter. 2008. *Digital Video and Audio Broadcasting Technology*. Munich : Springer
- Fitriady. *"Analisis Pengaruh Noise Phase Pada Performansi Sistem OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)"*. Skripsi Tidak Diterbitkan. Malang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. 2006.
- Forouzan, Behrouz A. *"Data Communications and Networking 2nd edition"*. Mc Graw-Hill International Edition. 2000.
- Hara, Shisuke, Ramjee Prasaad. *Multicarrier Technique for 4G mobile communications*. London : Artech House. 2003.
- <http://en.wikipedia.org/wiki/OFDM>
- Hoeg, Wolfgang, Lauterbach Thomas. 2003. *Digital Audio Broadcasting Principles and Applications of Digital Radio*. Chichester : John Wiley & Sons Ltd.
- Intini, Anibal Luis. *"Orthogonal Frequency Division Multiplexing for Wireless Networks, Standard IEEE 802.11a"*. Computer and Electrical Engineering Department, University of California. 2000.
- Lawrey, Eric. *"The Suitability of OFDM as a Modulation Technique for Wireless Telecommunications, with a CDMA Comparison"*. James Cook University. 1997.
- Lawrey, Eric Philip. *"Adaptive Techniques for Multiuser OFDM"*. James Cook University. 2001.

Maddocks, M.C.D, An Introduction to Digital Modulation and OFDM Techniques, Research Department, Engineering Division, The British Broadcasting Corporation, 1999.

Oltean, Marius, Eugen Marza and Miranda Nofornita. *“BER Performances of a Differential OFDM System in Fading Channels”*. Trans. On Electronics and Communications. 2004.



LAMPIRAN 1

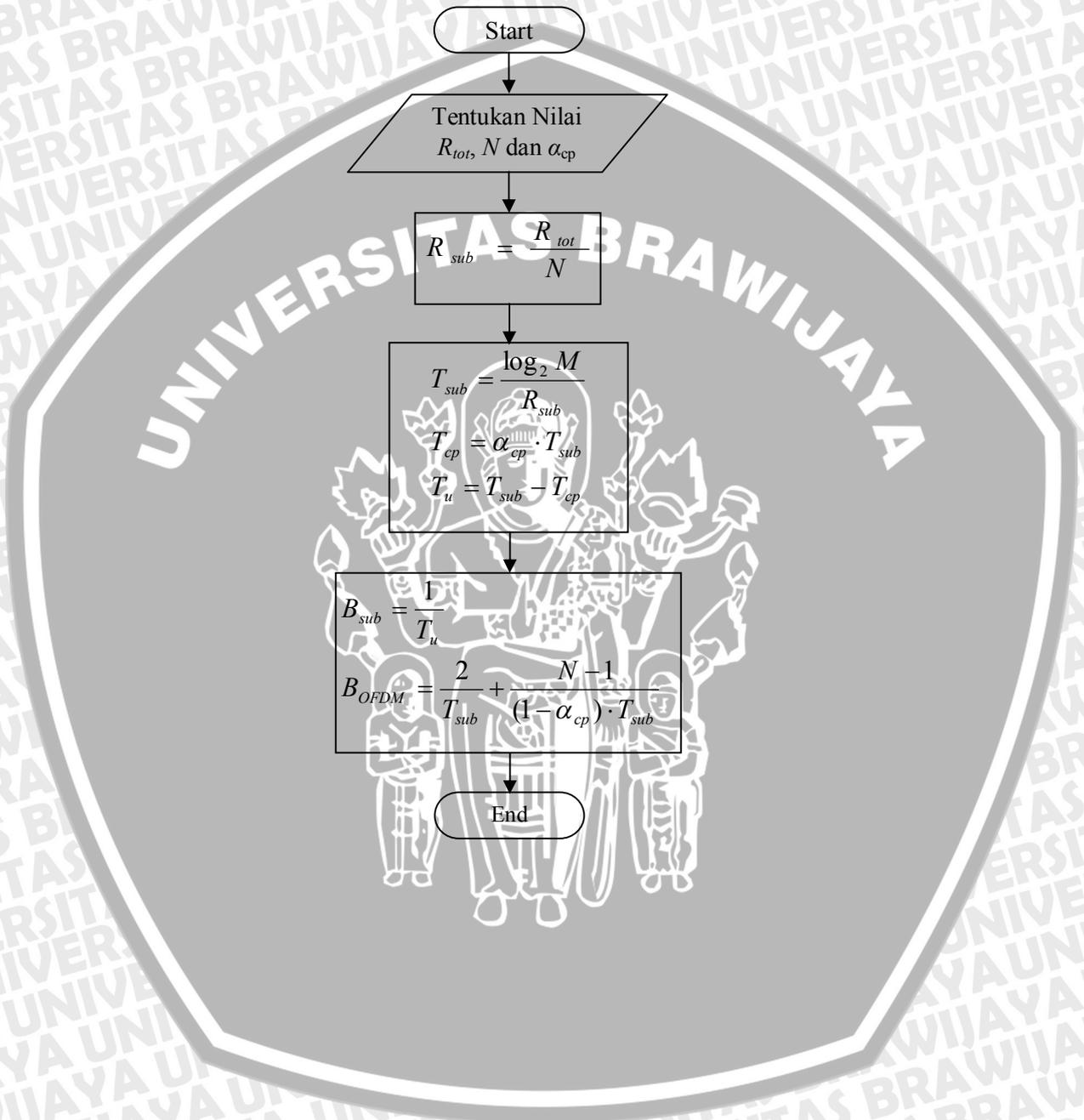
Flowchart Perhitungan



LAMPIRAN 1 :

Flowchart Perhitungan

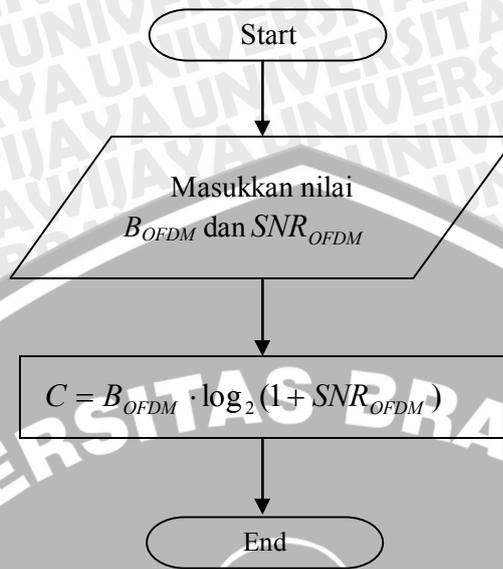
1. Bandwidth Subcarrier dan Bandwidth_{OFDM}



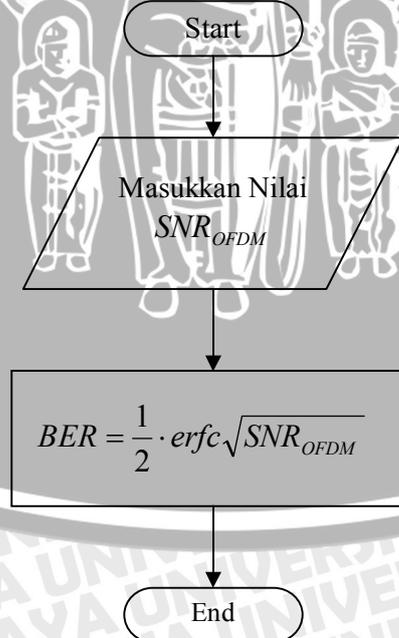
2. SNR_{OFDM}



3. Kapasitas Kanal OFDM



4. BER_{OFDM}



LAMPIRAN 2

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik Bandwidth Subcarrier dan Bandwidth OFDM



LAMPIRAN 2 :***Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik Bandwidth Subcarrier dan Bandwidth OFDM***

%Analisis Bandwidth OFDM pada DAB

%spesifikasi alat untuk menghitung bandwidth OFDM

MT1=1536 %banyaknya jumlah subcarrier mode transmisi I
 MT2=384 %banyaknya jumlah subcarrier mode transmisi II
 MT3=192 %banyaknya jumlah subcarrier mode transmisi III
 MT4=768 %banyaknya jumlah subcarrier mode transmisi IV

N1=(MT3:48:MT1) %banyaknya jumlah subcarrier DAB dari yang terendah ke tertinggi

Rtot=2400000 %laju transmisi
 M=2 %jumlah bit dalam 1 simbol DQPSK
 CP=0.20 %faktor cyclic prefix

%persamaan bandwidth OFDM

Rsub1=Rtot./N1 %laju masing-masing subcarrier

Ts1=M./Rsub1 %durasi simbol masing-masing subcarrier

Tcp=CP*Ts1 %durasi cyclic prefix

Ts=Ts1-Tcp %durasi simbol OFDM

Bs=1./Ts %bandwidth subcarrier

Bofdm1=(2./Ts1)+((N1-1)/((1-CP).*Ts1)) %bandwidth OFDM

%grafik bandwidth OFDM

figure

subplot(2,1,1)

plot(N1,Bs,'blue')

grid on;box on;

title ('Pengaruh jumlah Subcarrier terhadap Bandwidth Subcarrier')

xlabel ('Jumlah Subcarrier')

ylabel ('Bandwidth Subcarrier (Hz)')

subplot(2,1,2)

plot(N1,Bofdm1,'red')

grid on;box on;

title ('Pengaruh jumlah Subcarrier terhadap Bandwidth sistem OFDM')

xlabel ('Jumlah Subcarrier')

ylabel ('Bandwidth sistem OFDM (Hz)')



LAMPIRAN 3

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik SNR OFDM



LAMPIRAN 3 :

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik SNR OFDM

%Analisis SNR OFDM pada DAB

%spesifikasi alat untuk menghitung SNR OFDM

MT1=1536 %banyaknya jumlah subcarrier mode transmisi I
 MT2=384 %banyaknya jumlah subcarrier mode transmisi II
 MT3=192 %banyaknya jumlah subcarrier mode transmisi III
 MT4=768 %banyaknya jumlah subcarrier mode transmisi IV

N1=(MT3:48:MT1) %banyaknya jumlah subcarrier dari yang terendah ke tertinggi

Rtot=2400000 %laju transmisi
 M=2 %jumlah bit dalam 1 simbol DQPSK
 CP=0.20 %faktor cyclic prefix
 fl=205230000 %frekuensi tengah
 d1=90000 %jarak antara penerima dari pemancar
 Pt=56 %daya pemancar
 Gt=13 %gain pemancar
 Gr=6 %gain penerima
 c=300000000 %kecepatan cahaya
 k=0.000000000000000000000000138 %konstanta Boltzman
 T=300 %temperature absolute
 nf=11.2 %noise figure DAB

Rsub1=Rtot./N1 %laju masing-masing subcarrier

Ts1=M./Rsub1 %durasi simbol masing-masing subcarrier

Bofdm1=(2./Ts1)+((N1-1)/((1-CP).*Ts1)) %bandwidth OFDM

No1=10*log10(k*T)+10*log10(Bofdm1)+nf %noise pada kanal AWGN

Lfs1=20*log10((4*3.14*fl*d1)/c) %rugi propagasi ruang bebas

Pr1=Pt+Gt+Gr-Lfs1-10.*log10(N1) %daya terima

snr1=Pr1-No1 %SNR (dB)

A=10.^(snr1/10) %SNR



```
snrofdm1=(1-CP).*A %SNR OFDM  
SNROFDM1=10.*log10(snrofdm1) %SNR OFDM (dB)
```

```
%grafik SNR OFDM
```

```
figure  
subplot(2,1,1)  
plot(N1,SNROFDM1,'blue')  
grid on;box on;  
title ('Pengaruh jumlah Subcarrier terhadap SNR sistem OFDM')  
xlabel ('Jumlah Subcarrier')  
ylabel ('SNR sistem OFDM (dB)')
```



LAMPIRAN 4

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik Kapasitas Kanal




```

snrofdm1=(1-CP).*A           %SNR OFDM
SNROFDM1=10.*log10(snrofdm1) %SNR OFDM (dB)
C1=Bofdm1.*log2(1.+snrofdm1) %kapasitas kanal (bps)
Cmbps1=C1./1000000           %kapasitas kanal (mbps)

```

```

%grafik Pengaruh jumlah Bandwidth OFDM terhadap Kapasitas Kanal sistem OFDM
figure

```

```

subplot(2,1,1)
plot(SNROFDM1,Cmbps1,'blue')
grid on;box on;
title ('Hubungan SNR terhadap Kapasitas Kanal')
xlabel ('SNR OFDM (dB)')
ylabel ('Kapasitas Kanal (Mbps)')

```

```

%Pengaruh jumlah Subcarrier terhadap Kapasitas Kanal sistem OFDM
figure

```

```

subplot(2,1,2)
plot(Bofdm1,Cmbps1,'red')
grid on;box on;
title ('Pengaruh Bandwidth OFDM terhadap Kapasitas Kanal')
xlabel ('Bandwidth OFDM (MHz)')
ylabel ('Kapasitas Kanal (Mbps)')

```



LAMPIRAN 5

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik BER OFDM



LAMPIRAN 5 :***Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik BER OFDM***

```
%Analisis BER OFDM pada DAB
```

```
%spesifikasi alat untuk menghitung bandwidth OFDM
```

```
MT1=1536 %banyaknya jumlah subcarrier mode transmisi I
MT2=384 %banyaknya jumlah subcarrier mode transmisi II
MT3=192 %banyaknya jumlah subcarrier mode transmisi III
MT4=768 %banyaknya jumlah subcarrier mode transmisi IV
```

```
N1=(MT3:48:MT1) %banyaknya jumlah subcarrier DAB dari yang terendah ke tertinggi
```

```
Rtot=2400000 %laju transmisi
M=2 %jumlah bit dalam 1 simbol DQPSK
CP=0.20 %faktor cyclic prefix
fl=205230000 %frekuensi tengah
d1=90000 %jarak antara penerima dari pemancar
Pt=56 %daya pemancar
Gt=13 %gain pemancar
Gr=6 %gain penerima
c=300000000 %kecepatan cahaya
k=0.00000000000000000000000000138 %konstanta Boltzman
T=300 %temperature absolute
nf=11.2 %noise figure DAB
Rsub1=Rtot./N1 %laju masing-masing subcarrier

Ts1=M./Rsub1 %durasi simbol masing-masing subcarrier
```

```
Bofdm1=(2./Ts1)+((N1-1)/((1-CP).*Ts1)) %bandwidth OFDM
```

```
No1=10*log10(k*T)+10*log10(Bofdm1)+nf %noise pada kanal AWGN
```

```
Lfs1=20*log10((4*3.14*fl*d1)/c) %rugi propagasi ruang bebas
```

```
Pr1=Pt+Gt+Gr-Lfs1-10.*log10(N1) %daya terima
```

```
snr1=Pr1-No1 %SNR (dB)
```

```
A=10.^(snr1/10) %SNR (perbandingan)
```



```

snrofdm1=(1-CP).*A           %SNR OFDM
SNROFDM1=10.*log10(snrofdm1) %SNR OFDM (dB)
C1=Bofdm1.*log2(1.+snrofdm1) %kapasitas kanal (bps)
Cmbps1=C1./1000000           %kapasitas kanal (mbps)
BER1=0.5.*erfc(sqrt(SNROFDM1)) %BER OFDM

```

```

%grafik Pengaruh jumlah Subcarrier terhadap BER sistem OFDM
figure
subplot(2,1,1)
plot(N1,BER1,'blue')
grid on;box on;
title ('Pengaruh jumlah Subcarrier terhadap BER sistem OFDM')
xlabel ('Jumlah Subcarrier')
ylabel ('BER sistem OFDM')

```

```

%grafik Pengaruh SNR terhadap BER sistem OFDM
figure
subplot(2,1,2)
plot(SNROFDM1,BER1,'blue')
grid on;box on;
title ('Pengaruh SNR terhadap BER sistem OFDM')
xlabel ('SNR (dB)')
ylabel ('BER sistem OFDM')

```

