

COVER BELAKANG

D3TT - Warna *back cover* = RGB (32, 56, 100)

S1TT - Warna *back cover* = RGB (192, 0, 0)

S1TE - Warna *back cover* = RGB (217, 163, 29)

S1TB - Warna *back cover* = RGB (75, 25, 125)

S1TP - Warna *back cover* = RGB (45, 125, 50)

COVER DEPAN

Warna *front cover* menyesuaikan dengan *back cover*.

Line Spacing adalah 1.5 untuk semua kalimat

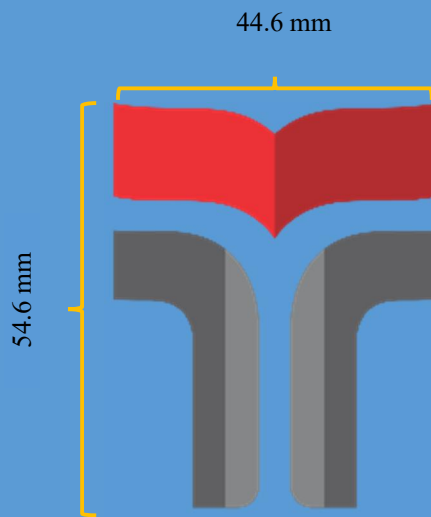
SKRIPSI

1 [ENTER]

ANALISIS UNJUK KERJA MIMO-OFDM PENJAMAKAN SPASIAL MENGGUNAKAN ESTIMASI KANAL

8 [ENTER]

PERFORMANCE ANALYSIS OF MIMO-OFDM MULTI SPATIAL USING CHANNEL ESTIMATION



Disusun oleh

**ISNAWATI FITRIAN ANGGUN
13101080**

2 [ENTER]

1 [ENTER]

4 [ENTER]

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK TELEKOMUNIKASI
FAKULTAS TEKNIK TELEKOMUNIKASI DAN ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI TELKOM PURWOKERTO**

1 [ENTER]

2022

Line Spacing adalah 1.5 untuk semua kalimat.

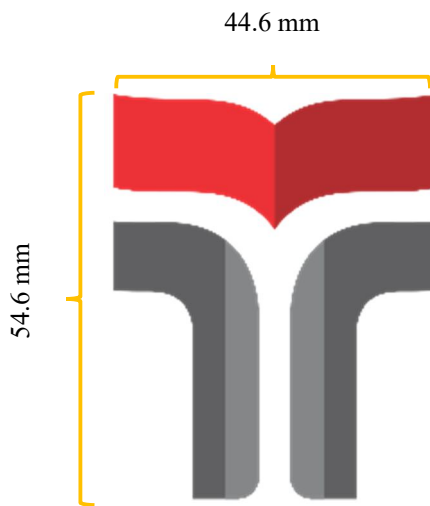
SKRIPSI

1 [ENTER]

ANALISIS UNJUK KERJA MIMO-OFDM PENJAMAKAN SPASIAL MENGGUNAKAN ESTIMASI KANAL

PERFORMANCE ANALYSIS OF MIMO-OFDM MULTI SPATIAL USING CHANNEL ESTIMATION

8 [ENTER]



2 [ENTER]

Disusun oleh

1 [ENTER]

**ISNAWATI FITRIAN ANGGUN
13101080**

4 [ENTER]

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK TELEKOMUNIKASI
FAKULTAS TEKNIK TELEKOMUNIKASI DAN ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI TELKOM PURWOKERTO**

1 [ENTER]

2022

**ANALISIS UNJUK KERJA MIMO-OFDM PENJAMAKAN
SPASIAL MENGGUNAKAN ESTIMASI KANAL**

***PERFORMANCE ANALYSIS OF MIMO-OFDM MULTI
SPATIAL USING CHANNEL ESTIMATION***

8 [ENTER]

**Skripsi ini digunakan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Teknik (S.T.)
Di Institut Teknologi Telkom Purwokerto
2022**

3 [ENTER]

Disusun oleh

1 [ENTER]

**ISNAWATI FITRIAN ANGGUN
13101080**

5 [ENTER]

DOSEN PEMBIMBING

1 [ENTER]

**Eka Wahyuni, S.T., M.Eng.
Yuyu Pamungkas, S.S.T., M.T.**

5 [ENTER]

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK TELEKOMUNIKASI

1 [ENTER]

FAKULTAS TEKNIK TELEKOMUNIKASI DAN ELEKTRO

INSTITUT TEKNOLOGI TELKOM PURWOKERTO

2022

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS UNJUK KERJA MIMO-OFDM PENJAMAKAN SPASIAL
MENGUNAKAN ESTIMASI KANAL**

***PERFORMANCE ANALYSIS OF MIMO-OFDM MULTI SPATIAL
USING CHANNEL ESTIMATION***

Disusun oleh
ISNAWATI FITRIAN ANGGUN
13101080

8 [ENTER]

2 [ENTER]

Telah dipertanggungjawabkan di hadapan Tim Penguji pada tanggal

1 [ENTER]

Susunan Tim Penguji

Tanda tangan

2 [ENTER]

Pembimbing Utama : Eka Wahyuni, S.T., M.Eng. ()
NIDN.

Pembimbing Pendamping : Yuyu Pamungkas, S.S.T., M.T. ()
NIDN.

Penguji 1 : John Hendra, S.T., M.Eng. ()
NIDN.

Penguji 2 : Berdi Mambo, S.Si., M.Sc. ()
NIDN.

Penguji 3 : Sigit Squarepant, S.Pd., M.Si. ()
NIDN.

Mengetahui,

Ketua Program Studi D4 Teknik Telekomunikasi
Institut Teknologi Telkom Purwokerto

Tanda tangan

Nama Lengkap Ketua Program Studi
NIDN.

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya, **ISNAWATI FITRIAN ANGGUN**, menyatakan bahwa skripsi dengan judul “**ANALISIS UNJUK KERJA MIMO-OFDM PENJAMAKAN SPASIAL MENGGUNAKAN ESTIMASI KANAL**” adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan kecuali melalui pengutipan sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku. Saya bersedia menanggung risiko ataupun sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila ditemukan pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam skripsi saya ini.

Purwokerto, 30 September 2022

Yang menyatakan,

Ttd bermaterai 6000

(Isnawati Fitriani Anggun)

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan kasih dan sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Unjuk Kerja MIMO-OFDM Penjamakan Spasial Menggunakan Estimasi Kanal**”.

Maksud dari penyusunan skripsi ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat dalam menempuh ujian sarjana Teknik Telekomunikasi pada Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro Institut Teknologi Telkom Purwokerto.

Dalam penyusunan skripsi ini, banyak pihak yang sangat membantu penulis dalam berbagai hal. Oleh karena itu, penulis sampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Eka Wahyuni, S.T., M.Eng. selaku pembimbing I.
2. Ibu Yuyu Pamungkas, S.S.T., M.T. selaku pembimbing II.
3. Ibu Fajar Amalia., S.T., M.Eng. selaku ketua Program Studi D4 Teknik Telekomunikasi.
4. Bapak Dr. Ahlinya Ahli., M.Si. selaku Dekan Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro.
5. Seluruh dosen, staf dan karyawan Program studi D4 Teknik Telekomunikasi Institut Teknologi Telkom Purwokerto.
6.

Purwokerto, 30 September 2022

(Isnawati Fitriani Anggun)

ABSTRAK

Perkembangan teknologi nirkabel semakin meningkat seiring dengan tingginya permintaan layanan komunikasi data. Untuk mewujudkan kondisi tersebut, maka dibutuhkan teknologi MIMO-OFDM dengan menggabungkan keunggulan dari kedua teknologi tersebut. OFDM merupakan salah satu metode yang unggul untuk modulasi karena sifat orthogonalitasnya pada sistem pembawa jamak yang berguna untuk efisiensi lebar bidang dan untuk ketahanan terhadap interferens antar simbol (ISI). MIMO disebut sebagai teknologi antena cerdas karena kemampuannya dalam meningkatkan kapasitas dan kualitas transmisi dengan sifat peragaman dan penjamakan yang dimilikinya. Karena karakteristik kanal pada sistem transmisi selalu berubah oleh waktu dan pentingnya proses rekonstruksi sinyal dalam transmisi nirkabel, sehingga kondisi kanal perlu diketahui sebaik mungkin. Simbol pilot digunakan untuk mengumpulkan informasi dan mengestimasi kondisi kanal tersebut. Dalam penelitian ini, metode kuadrat terkecil (LS) dipilih untuk estimasi kanal awal dan dengan menggunakan desain sistem yang diusulkan, kondisi kanal dapat diperkirakan dengan menggunakan teknik interpolasi linear untuk estimasi di seluruh subkanal. Algoritma pemaksaan nol (ZF) digunakan untuk mendeteksi dan memisahkan sinyal informasi yang diterima. Dengan menggunakan simulasi MATLAB, unjukkerja penelitian ini diukur dengan MSE dan NMSE kanal, MSE dan NMSE simbol, laju galat simbol (SER), laju galat bit (BER) dan kapasitas saluran. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa estimasi kanal akan semakin baik seiring dengan peningkatan nilai SNR. Hal ini ditunjukkan oleh MSE dan NMSE kanal yang mencapai 5×10^{-5} untuk SNR 25 dB. SER dan BER semakin kecil dengan meningkatnya nilai SNR, mencapai 7×10^{-3} dan 3×10^{-3} pada SNR 25 dB. Sedangkan kapasitas kanal estimasi mempunyai nilai yang mendekati kapasitas kanal dengan kanal diketahui (*known CSI*).

3 [ENTER]

Kata Kunci: MIMO-OFDM, simbol pilot, estimasi kanal, kuadrat terkecil (LS), pemaksaan nol (ZF).

ABSTRACT

Growth of wireless technology is increasing as well the demand for high data rates communication services. To realize this condition, MIMO-OFDM technology is adopted with collecting their best properties. OFDM is one of best method which is very suited to be used as modulation and transmission technique in wireless system, because of its multicarrier property (orthogonal) to increase the bandwidth efficiency and its robustness to overcome inter symbol interference (ISI). MIMO has been known as a smart antenna technology which is used to enhance the transmission quality and capacity with its properties in diversity gain and multiplexing gain. Due to the channel characteristic of the transmission system is always changed by the time and its importance in wireless transmission to reconstruct the transmitted signals, the channel needs to be known as well as possible. Pilot symbols are used to gather knowledge about the channel and try to estimate it. The channel estimation that based on the pilot symbol is called pilot aided channel estimation. In this research, Least Square (LS) method was chosen for initial channel estimation in pilots at receiver. By using applicable proposed system design, channel state information is estimated by linear interpolation in all of information subcarriers. Zero forcing algorithm (ZF) is used to detect and separate the received signal. Using MATLAB simulation, performance of this research is measured by means MSE and NMSE of the channel, MSE and NMSE of the symbol, SER, BER and channel capacity. The result show that channel estimation is better by increasing SNR. It showed by MSE and NMSE of the channel that reach 5×10^{-5} for SNR 25 dB. The value of SER and BER are also decrease by increasing SNR value, they reach 7×10^{-3} and 2×10^{-3} for SNR 25 dB respectively. The estimated channel capacity has the values that close to the known CSI channel capacity.

3 [ENTER]

Keywords: *MIMO-OFDM, pilot symbol, channel estimation, least square (LS), zero forcing (ZF)*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	II
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	III
PRAKATA	IV
ABSTRAK.....	V
ABSTRACT	VI
DAFTAR ISI.....	VII
DAFTAR GAMBAR.....	IX
DAFTAR TABEL	X
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	2
1.3 BATASAN MASALAH	2
1.4 TUJUAN	2
1.5 MANFAAT	2
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB 2 DASAR TEORI.....	4
2.1 KAJIAN PUSTAKA.....	4
2.2 DASAR TEORI	5
2.2.1 KANAL LINTASAN JAMAK.....	5
2.2.2 OFDM.....	7
2.2.2.1 KONSEP DASAR OFDM.....	7
2.3 KONFIGURASI OFDM.....	8
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	9
3.1 ALAT YANG DIGUNAKAN.....	9
3.2 ALUR PENELITIAN	9
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	10
4.1 PARAMETER EKSPERIMEN	10
4.2 ANALISA HASIL EKSPERIMEN	10
4.2.1 ANALISIS WATAK KANAL.....	10
4.2.2 ANALISIS ESTIMASI KANAL	11
BAB 5 PENUTUP	14
5.1 KESIMPULAN	14
5.2 SARAN	15

DAFTAR PUSTAKA.....	16
----------------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh penulisan gambar	6
Gambar 2.2 Spektrum sinyal pembawa jamak	8
Gambar 4.1 Perbandingan Kanal $ H_{21}(f) $ pada SNR 3 dB	12
Gambar 4.2 Perbandingan Kanal $ H_{22}(f) $ pada SNR 3 dB	12

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Profil tunda daya (PDP): Model ITU-R [2]	7
Tabel 4.1 Parameter simulasi	12

Before dan After dibuat
0 untuk semua baris.

BAB
Font: Times New Roman,
14pt, Semua Kapital,
BOLD.

Ditulis dalam kertas A4,
80 gr.

30 mm

BAB 1

PENDAHULUAN

3 [ENTER]

1.1 LATAR BELAKANG

1 [ENTER]

Perkembangan sistem komunikasi nirkabel menuntut layanan pengiriman data dengan kecepatan data tinggi. Kondisi tersebut diperlukan dalam proses transmisi data yang berbasis multimedia seperti audio, data, gambar/ grafik dan video. Untuk dapat memberikan layanan multimedia tersebut, dibutuhkan lebar bidang (*bandwidth*) yang besar sehingga dapat mendukung layanan dengan kualitas (*Quality of Service, QoS*) yang berbeda-beda, serta mampu mendukung layanan dengan mobilitas tinggi. Solusi konvensional yang ada seperti teknologi DSL (*Digital Subscriber Line*) sangat sulit diaplikasikan pada daerah yang jauh (*remote area rural*) karena akan sangat mahal dan juga tidak mampu mendukung layanan bergerak dengan kecepatan tinggi [1]. Oleh karena itu dibutuhkan sistem komunikasi yang mampu menyediakan layanan pita lebar (*broadband*) secara nirkabel dan mampu mendukung layanan dengan mobilitas penuh, berpindah-pindah (*nomadic*) ataupun sistem tetap (*fixed*).

Salah satu cara untuk meningkatkan kapasitas saluran dan berpotensi dalam meningkatkan efisiensi spektral adalah dengan aplikasi teknik diversitas antena (Smart Antenna atau Advanced Antenna System, AAS), yang dikenal dengan masukan jamak keluaran jamak (Multiple-Input Multiple-Output, MIMO). Sistem MIMO dengan peroleh penjamakan (*multiplexing gain*) mampu meningkatkan kapasitas sistem. Teknik ini disebut dengan Penjamakan Spasial (*Spatial Multiplexing, SM*) yang dikembangkan pertama kali di Laboratorium Bell. Selain peningkatan kapasitas, sistem MIMO juga dapat meningkatkan keuntungan dari sisi peragaman dibandingkan sistem nirkabel tradisional. Jenis transmisi MIMO yang mampu menyediakan peroleh peragaman (*diversity gain*) sering disebut *Space Time Block Coding (STBC)* [2].

30 mm

40 mm

30 mm

SUB BAB

Font: Times New Roman,
12pt, Semua Kapital, **BOLD.**

1.2 RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1.25 cm

- 1) Bagaimana cara mensimulasikan MIMO-OFDM menggunakan perangkat lunak matlab?
- 2) Bagaimana cara mengatasi penurunan kualitas disisi penerima pada lintasan jamak?

1.3 BATASAN MASALAH

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

- 1) Proses estimasi kanal menggunakan teknik estimasi Kuadrat Terkecil (*Least Square*, LS)
- 2) Proses deteksi kanal pada penelitian ini menggunakan metode deteksi Pemaksaan Nol (*Zero Forcing*, ZF).

1.4 TUJUAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1) Membuat suatu pemodelan (simulasi) sistem komunikasi MIMO-OFDM Penjamakan Spasial.
- 2) Menganalisis unjukkerja sistem berdasarkan penggunaan simbol pilot untuk teknik estimasi kanal.

1.5 MANFAAT

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai unjukkerja sistem komunikasi MIMO-OFDM Penjamakan Spasial menggunakan teknik estimasi kanal pada kawasan frekuensi. Dengan mengetahui pengaruh penggunaan pilot untuk teknik estimasi kanal pada sistem MIMO-OFDM diharapkan dalam implementasinya dapat memberikan informasi kondisi kanal (*Channel State Information*, CSI) kepada pengirim sehingga mampu meningkatkan unjukkerja sistem.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Penelitian ini terbagi menjadi beberapa bab. Bab 1 berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, manfaat dan tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan. Bab 2 membahas tentang konsep MIMO-OFDM, karakteristik kanal, metode estimasi dan deteksi kanal, serta teknik interpolasi yang digunakan. Cara penelitian seperti alat penelitian, jalan penelitian yang meliputi parameter simulasi, pemodelan sistem dan kanal, parameter unjukkerja sistem, serta prosedur estimasi dan deteksi kanal dibahas pada bab 3. Bab 4 membahas tentang hasil simulasi dan analisis sistem berdasarkan hasil simulasi. Kesimpulan dan saran pengembangan tesis untuk kedepannya dideskripsikan pada bab 5.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian Bagadi, K.P., Das, Susmita pada tahun 2010 yang berjudul "*MIMO-OFDM Channel Estimation using Pilot Carriers*" meneliti tentang estimasi kanal yang digunakan untuk menganalisis unjukkerja MIMO-OFDM dengan teknik *Space Time Block Coding* (STBC) berdasarkan tipe pilot blok (*block*) dan tipe pilot sisir (*comb*)[1][2]. Dengan menggunakan teknik estimasi galat kuadrat rerata minimum (*Minimum Mean Square Error*, MMSE) dan kuadrat terkecil (*Least Square*, LS) diperoleh hasil yang menyatakan bahwa metode yang menggunakan tipe pilot sisir menghasilkan unjukkerja yang lebih buruk dibanding tipe pilot blok karena pada sistem ini menggunakan kanal pudaran cepat. Selain itu, MSE pada metode estimasi MMSE menunjukkan unjukkerja yang lebih baik dibanding metode estimasi LS, akan tetapi beban komputasinya lebih kompleks untuk sistem MIMO yang menggunakan pembawa pilot. Penelitian ini juga membandingkan unjukkerja metode MMSE dan LS pada sistem SISO-OFDM dengan tipe pilot blok dan tipe sisir. Hasilnya sama dengan hasil pada sistem MIMO-OFDM yang menyatakan bahwa unjukkerja sistem SISO-OFDM yang menggunakan metode estimasi MMSE akan lebih bagus dibanding estimasi LS. Unjukkerja ini diukur berdasarkan nilai BER yang diperoleh dari kedua sistem tersebut. Penelitian ini menggunakan modulasi QPSK dan model kanal pudaran Rayleigh dengan ukuran FFT 128 subkanal dan panjang jeda pengaman (*guard interval*, GI) sebesar 1/4 atau 32 subkanal.

Sedangkan Haval Abdulrahman pada tahun 2010 dengan penelitiannya yang berjudul "*MIMO OFDM Channel Estimation with Optimum Pilot Patterns for Cognitive Radio in Overlay Spectrum Sharing System*" membahas mengenai unjukkerja estimasi kanal MIMO-OFDM berdasarkan pola pengaturan pilot pada sistem radio kognitif (*Cognitive Radio*, CR) dengan menggunakan pentapisan Wiener (*Wiener filtering*) dan teknik deteksi V-BLAST[3]. Estimasi kanal

dipengaruhi oleh jarak pilot, dalam hal ini pola pilot yang diteliti adalah pola persegi panjang dan pola heksagonal. Hasilnya menunjukkan bahwa pola pengaturan pilot dengan jumlah pilot dan virtual pilot yang lebih banyak akan memberikan hasil yang lebih baik dibanding pola pengaturan pilot dengan jumlah pilot dan virtual pilot yang sedikit.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Kanal Lintasan Jamak

} 1 [ENTER]

} 1 [ENTER]

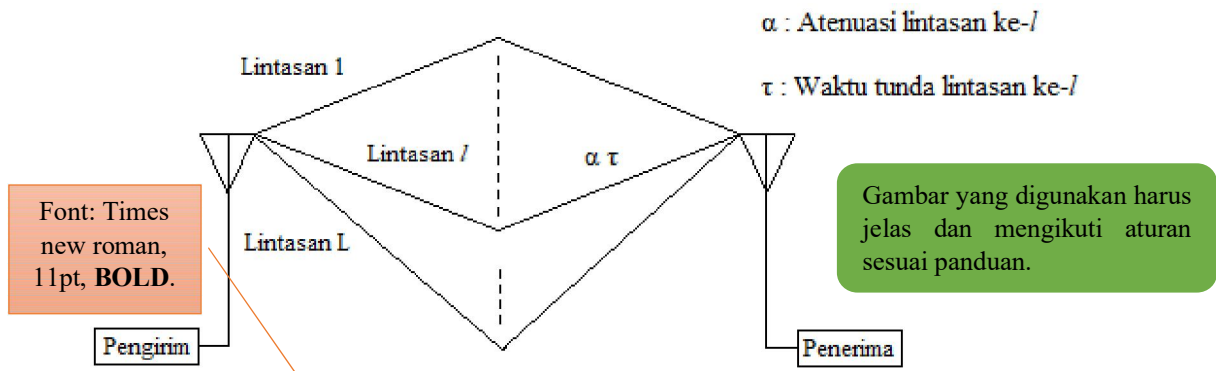
} 1 [ENTER]

SUB SUB BAB

Font: Times New Roman,
12pt, **BOLD.**

Dalam sistem komunikasi nirkabel, kondisi lingkungan yang terdiri dari berbagai objek sangat mempengaruhi penjalaran sinyal dari pengirim ke penerima. Akibatnya sinyal yang dipancarkan oleh suatu pemancar akan melewati berbagai lintasan dan mengalami peredaman atau bahkan penguatan. Karena masing-masing lintasan memiliki jarak yang berbeda, maka waktu untuk sampai ke penerima pun akan berbeda sehingga menyebabkan perbedaan fasa. Perbedaan lintasan juga menyebabkan perbedaan redaman yang dialami masing-masing lintasan, sehingga amplitude yang diterima pun akan berbeda. Di sisi penerima, sinyal yang diterima merupakan hasil superposisi dari sinyal-sinyal yang telah memiliki fasa dan amplitude yang berbeda akibat melalui lintasan berbeda tersebut. Perambatan sinyal seperti ini disebut sebagai perambatan lintasan jamak (*multipath propagation*). Efek perambatan lintasan jamak dapat menyebabkan sinyal yang diterima di sisi penerima mengalami pelemahan atau penguatan. Efek seperti ini dikenal sebagai pudaran lintasan jamak (*mutipath fading*).

Gambar 2.1 memperlihatkan sebuah kanal lintasan jamak dalam komunikasi nirkabel yang terdiri dari L lintasan, yang masing-masing lintasan mengalami penyusutan daya dan waktu tunda yang berbeda-beda.



Gambar 2.1 Contoh penulisan gambar

} 1 [ENTER]

Kanal dapat dimodelkan berdasarkan kawasan waktu dan kawasan frekuensi, yang masing-masing ditunjukkan pada persamaan 2.1 dan 2.2. [3]

$$h(t) = \sum_{l=0}^{l=L} \alpha_l \delta(t - \tau_l) \tag{2.1}$$

} 1 [ENTER]

dan

$$h(f) = \sum_{l=0}^{l=L} \alpha_l e^{-j2\pi\tau_l f} \tag{2.2}$$

} 1 [ENTER]

Nomor rumus ditulis rata kanan.

dengan α_l dan τ_l adalah penyusutan amplitude dari lintasan ke- l dan waktu tunda sinyal akibat jarak tempuh yang berbeda pada lintasan ke- l . Nilai parameter ini disesuaikan dengan nilai profil tunda daya (*power delay profile*, PDP) pada pemodelan kanal yang dijadikan acuan (standar ITU-R pada Tabel 2.1).

Secara umum, pudaran (*fading*) dikelompokkan menjadi pudaran skala besar (*Large Scale Fading*) dan pudaran skala kecil (*Small Scale Fading*). Pudaran skala besar didefinisikan sebagai rata-rata daya yang hilang akibat transmisi sinyal pada jarak yang jauh. Fenomena ini disebabkan oleh kondisi lingkungan yang ada di antara antena pengirim dan antena penerima seperti hutan, gedung bertingkat, lembah, gunung dan lain-lain. Biasanya digunakan untuk mengestimasi area cakupan dari sebuah pemancar (Tx). Pudaran skala kecil didasari oleh perubahan variasi amplitude dan fasa yang acak selama periode

waktu yang singkat. Biasanya digunakan untuk mengetahui unjukkerja dari suatu sistem komunikasi.

} 1 [ENTER]

Font: Times new roman, 11pt, **BOLD**.

Cara sitasi sumber asli tabel.

Tabel 2.1 Profil tunda daya (PDP): Model ITU-R [2]

No	Pedestrian A		Pedestrian B		Vehicular A		Vehicular B	
	Tunda relatif τ_l (ns)	Daya rerata $ \alpha_l ^2$ (dB)	Tunda relatif τ_l (ns)	Daya rerata $ \alpha_l ^2$ (dB)	Tunda relatif τ_l (ns)	Daya rerata $ \alpha_l ^2$ (dB)	Tunda relatif τ_l (ns)	Daya rerata $ \alpha_l ^2$ (dB)
1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	-2,5
2	110	-9,7	200	-0,9	310	-1,0	300	0,0
3	190	-19,2	800	-4,9	710	-9,0	8900	-12,8
4	410	-22,8	1200	-8,0	1090	-10,0	12900	-10,0
5			2300	-7,8	1730	-15,0	17100	-25,2
6			3700	-23,9	2510	-20,0	20000	-16,0

} 1 [ENTER]

2.2.2 OFDM

2.2.2.1 Konsep Dasar OFDM

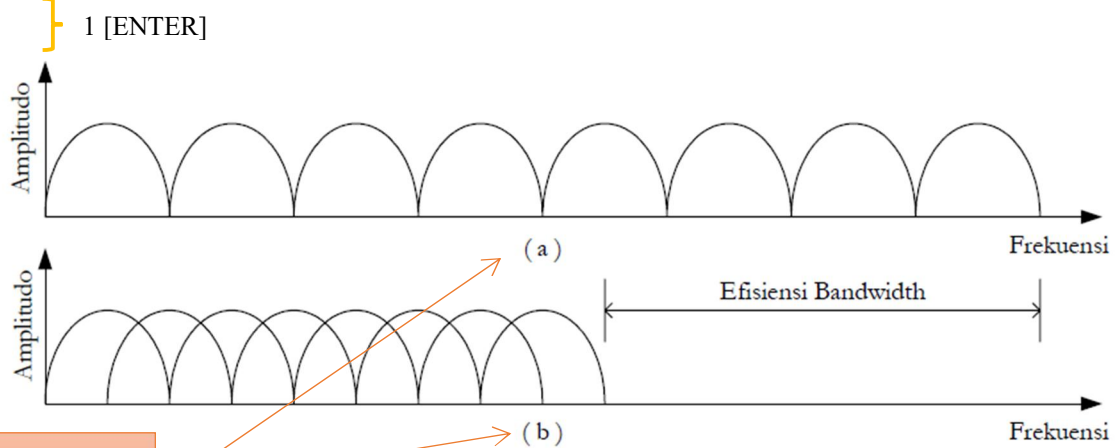
Turunan Sub Sub Bab paling banyak adalah 4.

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) merupakan kasus khusus pada transmisi pembawa jamak, dengan aliran data tunggal yang ditransmisikan menggunakan beberapa subpembawa sehingga mempunyai kecepatan yang lebih rendah dan lebar bidang subkanal yang lebih sempit.

Pada sistem data paralel konvensional, total lebar frekuensi sinyal dibagi menjadi sejumlah N subkanal frekuensi yang tidak saling tumpang tindih (*non-overlapping*). Setiap subkanal dimodulasi dengan simbol terpisah dan N subkanal tersebut kemudian dimultiplekskan berdasarkan frekuensi. Hal ini dilakukan untuk menghindari adanya tumpang tindih (*overlapping*) spektrum dari kanal sehingga dapat menghilangkan interferens antarkanal. Namun bagaimanapun, ini dapat menyebabkan ketidakefisienan penggunaan spektrum frekuensi yang tersedia. Untuk menanggulangnya maka diperkenalkan teknik penggunaan data paralel dan penjamakan berdasarkan pembagian frekuensi (FDM) tetapi dengan subkanal yang dapat saling tumpang tindih.[4]

Gambar 2.2 menunjukkan perbedaan antara teknik pembawa jamak tidak tumpang tindih (*multi-carrier non-overlapping*) yang konvensional (FDM) dan teknik pembawa jamak tumpang tindih (*multi-carrier overlapping*) yang orthogonal (OFDM). Pada sistem FDM, beberapa pembawa terpisah jarak supaya

sinyal dapat diterima menggunakan tapis (*filter*) dan demodulator konvensional. Pemisah antara satu pembawa dengan pembawa yang lain dalam kawasan frekuensi dikenal dengan istilah bidang pengaman (*guard band*). Adanya bidang pengaman ini akan menurunkan efisiensi spektrum.



Cara penulisan bila gambar lebih dari satu.

Gambar 2.2 Spektrum sinyal pembawa jamak
(a) pembawa jamak konvensional (FDM)
(b) pembawa jamak ortogonal (OFDM)

2.3 KONFIGURASI OFDM

Secara sederhana sistem pengirim dan penerima OFDM diperlihatkan pada Gambar 2.xy. Aliran bit informasi yang akan dikirim dikonversikan ke dalam bentuk paralel. Setelah itu dilakukan pemetaan pada setiap subkanal. Keluaran pemetaan yang berupa bilangan kompleks kemudian diaplikasikan ke dalam *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) untuk menghasilkan simbol OFDM. Penggunaan IFFT inilah yang memungkinkan pengalokasian sub-pembawa yang saling ortogonal pada OFDM. Keluaran IFFT yang masih berupa bilangan kompleks kemudian dikonversi lagi dari bentuk paralel menjadi bentuk serial untuk kemudian ditransmisikan.

Indeks waktu diskret dari tanggapan denyut kanal dan τ_n adalah indeks lintasan terakhir, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 2.3. [5][6]

$$\tau_n = \frac{\tau_{max}}{T_s} \tag{2.3}$$

Cara penulisan kutipan bila rumus diambil dari acuan lain.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 ALAT YANG DIGUNAKAN

Penelitian ini menggunakan suatu pemodelan dalam menganalisis unjukkerja sistem MIMO-OFDM Penjamakan Spasial menggunakan estimasi kanal. Model simulasi yang diimplemetasikan dalam penelitian ini menggunakan program MATLAB R2010a.

3.2 ALUR PENELITIAN

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yaitu tahap perancangan sistem, tahap pembuatan simulasi, tahap pengujian simulasi, dan yang terakhir adalah tahap analisis dari hasil pengujian simulasi.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 PARAMETER EKSPERIMEN

Simulasi MIMO-OFDM dengan teknik Penjamakan Spasial dilakukan dengan menjalankan proses estimasi kanal menggunakan metode Kuadrat Terkecil (LS) untuk keseluruhan kanal yang terdapat pada sistem yaitu kanal H_{11} , H_{12} , H_{21} dan H_{22} . Analisis simulasi pada tipe kanal lintasan jamak pudaran Rayleigh mencakup hal-hal sebagai berikut:

1. Analisis watak kanal
2. Analisis unjukkerja estimasi kanal yang diukur dengan galat kuadrat rerata (MSE) kanal dan galat kuadrat rerata ternormalisasi (NMSE) kanal.
3. Analisis unjukkerja deteksi kanal yang diukur dengan galat kuadrat rerata (MSE) simbol dan galat kuadrat rerata ternormalisasi (NMSE) simbol.
4. Analisis perbandingan unjukkerja pesat galat simbol (SER) antara kanal sesungguhnya dengan kanal estimasi.
5. Analisis perbandingan unjukkerja pesat galat bit (BER) antara kanal sesungguhnya dengan kanal estimasi.

Analisis perbandingan unjukkerja kapasitas kanal pada berbagai sistem seperti sistem SISO Shannon, MIMO 2x2 Shannon, MIMO 2x2 dengan kanal diketahui (*known CSI*) dan MIMO 2x2 hasil estimasi.

4.2 ANALISA HASIL EKSPERIMEN

4.2.1 Analisis Watak Kanal

Analisis watak kanal diperlukan karena selain disebabkan oleh faktor derau, distorsi sinyal juga dapat diakibatkan oleh adanya pengaruh watak kanal. Pudahan Rayleigh adalah model matematis yang telah diterima secara luas untuk memodelkan watak kanal komunikasi nirkabel yang tidak memiliki jalur LOS dominan.

Dalam simulasi ini ditentukan waktu tunda maksimum (τ_{max}) sebesar 3,7 μs dengan periode pencuplikan (T_s) sebesar 0,7 μs sehingga lintasan terakhir pada tanggapan denyut kanal sebagaimana yang tertulis pada persamaan (2.3) adalah

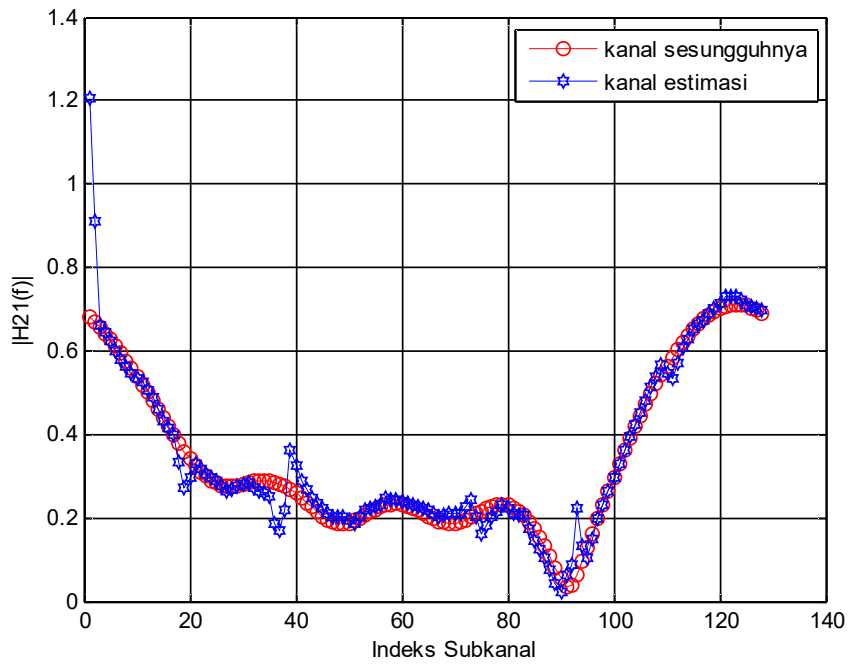
$$\tau_n = \frac{\tau_{max}}{T_s} = \frac{3,7}{0,7} \approx 6$$

Rumus langsung dikutip tanpa harus ditulis ulang.

4.2.2 Analisis Estimasi Kanal

Hasil perbandingan kanal sesungguhnya dan kanal estimasi untuk sistem MIMO-OFDM Penjamakan Spasial dalam kawasan frekuensi ditunjukkan pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.3. Karena dimensi MIMO yang digunakan adalah 2x2 sehingga diperoleh jumlah saluran kanal sebanyak 4 yaitu saluran kanal dari Tx1 ke Rx1 (H_{11}), saluran kanal dari Tx2 ke Rx1 (H_{12}), saluran kanal dari Tx1 ke Rx2 (H_{21}) dan saluran kanal dari Tx2 ke Rx2 (H_{22}).

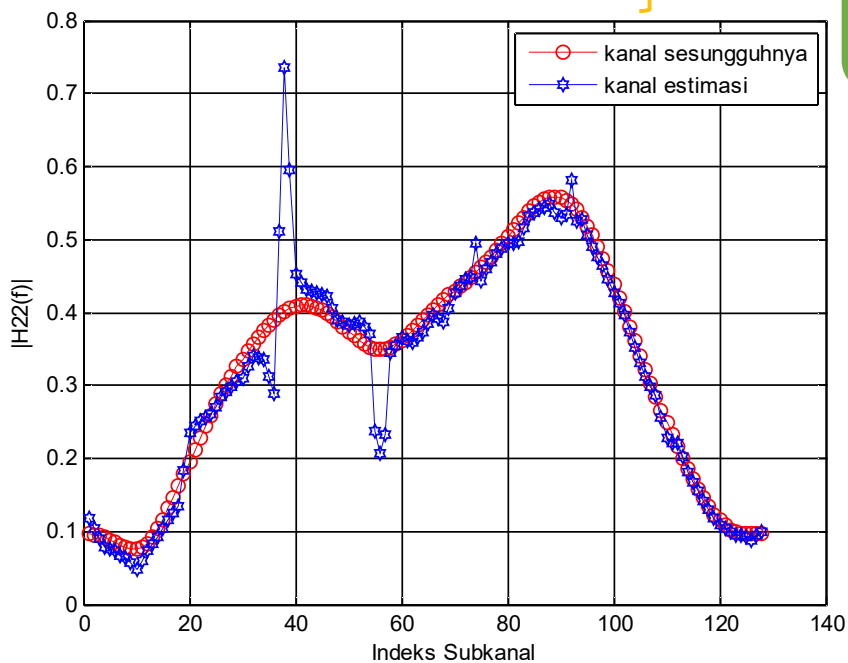
Pada nilai SNR yang kecil diperoleh hasil estimasi kanal yang tidak akurat atau dengan kata lain kanal estimasi sangat berbeda dengan kanal sesungguhnya. Gambar 4.1 sampai Gambar 4.2 menunjukkan hasil estimasi kanal pada kondisi SNR 3 dB atau pada saat sinyal utama hanya bernilai dua kali lipat sinyal derau. Nampak bahwa keseluruhan hasil estimasi saluran kanal H_{11} , H_{12} , H_{21} dan H_{22} terdapat banyak ketidakakuratan dibandingkan kanal sesungguhnya. Tabel 4.1 merupakan parameter simulasi yang digunakan untuk menghasilkan grafik pada gambar-gambar tersebut.



Gambar 4.1 Perbandingan Kanal $|H_{21}(f)|$ pada SNR 3 dB

1 [ENTER]

Bila 2 atau lebih gambar yang diletakkan berurutan ke bawah.



Gambar 4.2 Perbandingan Kanal $|H_{22}(f)|$ pada SNR 3 dB

Tabel 4.1 Parameter simulasi

Simbol	Deskripsi	Nilai
B	Lebar pita (MHz)	1.25

Cara penempatan tabel bila terpotong pada halaman selanjutnya.

Tabel 4.1 Parameter simulasi (lanjutan)

Simbol	Deskripsi	Nilai
f_s	Frekuensi pencuplikan (MHz)	1.429
T_s	Periode pencuplikan (μs)	0.7
L	Jumlah subpembawa	128
T_b	Periode simbol NFFT (μs)	128
T_{CP}	Periode awalan siklis (μs)	4
T_{sym}	Periode simbol OFDM (μs)	132
N_{tx}	Jumlah antena pengirim	2
N_{rx}	Jumlah antena penerima	2
Δf	Jarak subpembawa (kHz)	15
S_f	Jarak pilot (arah vertikal)	2
S_t	Jarak pilot (arah horizontal)	4&3
τ_{max}	Waktu tunda maksimum (μs)	3.7
σ_t	Waktu tunda RMS (μs)	0.74

BAB 5

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan mengenai unjukkerja sistem MIMO-OFDM Penjamakan Spasial menggunakan estimasi kanal, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil estimasi kanal dipengaruhi oleh nilai SNR. Semakin besar SNR maka keakuratan estimasi akan semakin tinggi. Ketepatan hasil estimasi diketahui berdasarkan nilai MSE dan NMSE kanal dengan nilai yang mendekati nol yakni dalam kisaran 5×10^{-5} sehingga disimpulkan bahwa hasil estimasi kanalnya baik.
2. Unjukkerja deteksi kanal yang diukur berdasarkan nilai MSE dan NMSE simbol yang mencapai 6×10^{-3} sehingga menunjukkan bahwa algoritma deteksi kanal dari sistem ini masih cukup baik karena MSE dan NMSE simbol yang dihasilkan cukup kecil.
3. Hasil estimasi akan berpengaruh pada nilai BER dan SER yang akan menurun seiring dengan naiknya nilai SNR. Nilai SER dan BER yang diperoleh masing-masing hanya mampu mencapai 7×10^{-3} dan 2×10^{-3} pada SNR 25 dB sehingga kondisi sistem masih belum cukup baik.
4. Pada sistem dengan kanal sesungguhnya mempunyai unjukkerja yang lebih baik dibanding sistem dengan kanal estimasi. Hal ini didasarkan pada hasil perbandingan SER dan BER untuk kedua sistem tersebut yang menunjukkan bahwa sistem pada kanal sesungguhnya mempunyai nilai SER dan BER yang lebih kecil dibanding sistem pada kanal estimasi.

Unjukkerja kapasitas kanal menunjukkan hasil yang sebanding dengan peningkatan nilai SNR atau dengan kata lain semakin besar SNR maka kapasitas kanal akan semakin besar. Kapasitas kanal untuk sistem pada kanal estimasi mampu mencapai 14 bps/ Hz pada SNR 25 dB. Nilai ini lebih kecil dibanding

sistem MIMO 2x2 Shannon dan MIMO dengan kanal yang diketahui (MIMO 2x2 *known CSI*), tetapi lebih besar dibanding sistem SISO-OFDM Shannon.

5.2 SARAN

Dengan melihat kelemahan dan keterbatasan sistem ini maka untuk selanjutnya penelitian ini dapat diterapkan pada metode estimasi kanal yang lebih baik seperti metode *Linear Minimum Mean Square Error* (LMMSE) dan *Low Rank LMMSE* (LR-LMMSE) serta penggunaan algoritma deteksi kanal yang lain seperti MMSE dan V-BLAST sehingga dapat meningkatkan unjukkerja SER dan BER. Sedangkan untuk peningkatan kapasitas sistem dapat digunakan teknik MIMO dengan dimensi yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Klaus and P. Horn, *Robot Vision*. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.
- [2] L. Stein, "Random patterns," in *Computers and You*, J. S. Brake, Ed. New York: Wiley, 1994, pp. 55-70.
- [3] S.Zhang, C. Zhu, J.K O. Sin, and P.K.T. Mok, "A novel ultrathin elevated channel low-temperature poly-Si TFT," *IEEE Electron Device Lett.*, vol.20, pp. 569-571, Nov. 1999.
- [4] *Transmission Systems for Communications*, 3rd ed., Western Electric Co., Winston-Salem, NC, 1985, pp. 44-60.
- [5] *Motorola Semiconductor Data Manual*, Motorola Semiconductor Products Inc., Phoenix, AZ, 1989.
- [6] *RCA Receiving Tube Manual*, Radio Corp. of America, Electronic Components and Devices, Harrison, NJ, Tech. Ser. RC-23, 1992.