

IMPLEMENTASI SISTEM KOMUNIKASI SINGLE-INPUT SINGLE-OUTPUT PADA LINGKUNGAN INDOOR DAN OUTDOOR MENGGUNAKAN TEKNIK MODULASI PSK BERBASIS WARP

Jenny Putri Hapsari¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Sultan Agung
Jl. Raya Kaligawe Km.04, Semarang
Email: jenny@unissula.ac.id

ABSTRAK

Teknologi telekomunikasi khususnya pada sistem komunikasi nirkabel mengalami perkembangan yang pesat. Perkembangan ini mempengaruhi perkembangan alat telekomunikasi yang beredar di masyarakat. Hal ini sangatlah tidak praktis karena diharuskan mengganti alat telekomunikasi setiap ada perkembangan standart dan aplikasi. Aplikasi yang mampu menyesuaikan standart dan aplikasi tanpa merubah komponen yang sudah ada merupakan cara untuk mengatasi masalah tersebut dan ini ada di Software Defined Radio (SDR). Salah satu komponen SDR yang sedang berkembang saat ini adalah Wireless Open Access Research Platform (WARP). WARP adalah sebuah desain platform open-access tingkat tinggi yang sangat mampu, scalable, dan extensible untuk penelitian sistem komunikasi nirkabel.

Tujuan penelitian adalah merancang sebuah sistem single-input single-output (SISO) yang dapat diimplementasikan pada WARP dengan teknik modulasi PSK. Sistem komunikasi SISO merupakan dasar dari semua sistem komunikasi nirkabel, sehingga hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar bagi penelitian sistem komunikasi lainnya dan metode modulasi lainnya. Nilai BER yang dihasilkan lebih besar untuk pengukuran di lingkungan indoor dibandingkan di lingkungan outdoor.

Kata Kunci: SISO, WARP, PSK, Indoor, Outdoor

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi mempengaruhi perkembangan alat telekomunikasi yang beredar di masyarakat. Aplikasi yang ada di alat telekomunikasi terus mengalami perubahan mengikuti perkembangan teknologi telekomunikasi. Standar telekomunikasi setiap negara juga berbeda sesuai dengan standart yang telah ditetapkan. Hal ini sangat tidak praktis, ketika masyarakat sebagai pengguna

harus berganti alat telekomunikasi jika ingin mengikuti aplikasi dan teknologi terbaru serta ingin bepergian ke negara yang memiliki standart yang berbeda dengan negara asal pengguna.

Radio merupakan perangkat yang penting dalam alat telekomunikasi, karena radio merupakan alat untuk menyampaikan informasi dari pengirim ke penerima. Sehingga diperlukan sebuah radio yang mampu menyesuaikan standart telekomunikasi setiap negara dan

perkembangan aplikasi kapan pun tanpa merubah komponen radio itu sendiri. Software Defined Radio (SDR) merupakan sebuah aplikasi yang dapat mengatasi permasalahan tersebut. Fungsi aplikasi fisik didefinisikan dalam software pada teknologi SDR, tetapi memerlukan waktu yang relatif lama dalam pengaplikasian di lapangan. (Grayver, 2013)

Salah satu platform SDR yang sedang dikembangkan oleh Universitas Rice Amerika adalah Wireless Open Access Research Platform (WARP). WARP merupakan sebuah desain platform open-access tingkat tinggi yang sangat mampu, scalable, dan extensible untuk penelitian sistem komunikasi nirkabel. Platform WARP dirancang untuk memenuhi kinerja penelitian sistem komunikasi nirkabel tingkat tinggi. Arsitektur WARP terdiri dari empat komponen utama yaitu Hardware Custom, Platform Support Packages, Open-Access Repository, dan Research applications. Arsitektur platform modular dan berlapis sehingga memastikan bahwa komponen hardware bisa mendapatkan keuntungan dari kemajuan teknologi prosesor dan peningkatan eksponensial dalam kinerja. Hal ini juga memungkinkan implementasi algoritma untuk digunakan pada revisi hardware di Implementasi Sistem Komunikasi.....

masa depan tanpa dirancang ulang. (warp.rice)

Tujuan platform tingkat tinggi dapat dijelaskan melalui empat persyaratan kunci. Pertama, platform mampu menerapkan algoritma canggih untuk komunikasi nirkabel. Kedua, platform harus memungkinkan pengolahan data tambahan jika satu prosesor tidak cukup untuk melakukan pengolahan data. Ketiga, harus dapat diperluas untuk aplikasi masa depan. Keempat, platform harus mendukung perubahan dari beberapa komponen tanpa mengorbankan fungsi lain. WARP telah memenuhi keempat persyaratan tersebut, oleh sebab itu WARP disebut platform tingkat tinggi. Sejumlah platform komunikasi nirkabel lainnya dan produk komersial yang ada menyediakan kemampuan yang mirip dengan WARP, namun tidak satu pun memenuhi semua persyaratan yang telah diidentifikasi. Misalnya, proyek GNU radio menyediakan pengembangan sistem nirkabel fleksibel yang mencakup kerangka open-source dari algoritma nirkabel yang diimplementasikan dalam perangkat lunak. Sebagian besar pengolahan dilakukan oleh PC host, sehingga GNU radio tidak dapat mencapai jenis komunikasi yang high-throughput, sedangkan di WARP

menyediakan wide-band komunikasi yang mengatasi masalah tersebut. Platform komersial, seperti Sundance dan Lyrtech juga memiliki kemampuan RF yang mirip dengan WARP, namun sistem ini tidak memberikan kerangka kerja terbuka untuk implementasi algoritma di lapisan fisik dan MAC, sedangkan di WARP menyediakan implementasi di lapisan fisik dan MAC (Murphy, 2006).

Penyebaran informasi dari satu tempat (pengirim) ke tempat yang lain (penerima) merupakan fungsi utama dari sebuah sistem komunikasi. Sistem komunikasi tidak hanya dilakukan pada jarak yang dekat tetapi juga dilakukan pada jarak yang jauh. Komunikasi jarak jauh tersebut biasa disebut dengan telekomunikasi, yang dibentuk dari kata 'tele' yang berarti jauh dan kata 'komunikasi' yang berarti komunikasi. Ditinjau dari sejarahnya, telekomunikasi dimulai dari ditemukannya sistem telegrap oleh Marcony pada tahun 1897 dan kemudian dibangunnya sistem radio yang melewati samudra Atlantic pada tahun 1901 yang memperluas sistem komunikasi jarak jauh (Tse, 2005)(A.Goldsmith, 2005). Telekomunikasi terbagi menjadi beberapa jenis, jika dilihat berdasarkan arah komunikasinya, maka ada tiga jenis yaitu satu arah (simplex), setengah dua arah (half

duplex), dan dua arah (*full duplex*). Telekomunikasi berdasarkan mobilitas dibagi menjadi bergerak dan tidak bergerak. Telekomunikasi berdasarkan jumlah penerima dan pengirim dibagi menjadi point to point, point to multipoint, dan multipoint to multipoint. Telekomunikasi juga bisa dibedakan berdasarkan media transmisi yang digunakan yaitu kabel dan nirkabel. (Usman, 2008) (Freeman, 1998).

Telekomunikasi yang paling sederhana adalah telekomunikasi antara satu pengirim dengan satu penerima (point to point) yang biasa disebut SISO (Single Input Single Output). Sistem komunikasi ini bisa menggunakan media kabel maupun tanpa kabel (nirkabel). Sistem komunikasi SISO memiliki kelebihan antara lain sedikit terjadi interferensi sinyal, dari segi ekonomi murah, dan mudah diterapkan karena hanya membutuhkan satu antena sebagai pengirim dan satu antena sebagai penerima. Antena merupakan salah satu sarana pendukung untuk meningkatkan kinerja sistem komunikasi nirkabel (L. Zheng,2002). Sistem komunikasi SISO, hanya membawa satu deretan data karena hanya terdapat satu kanal. Sistem komunikasi ini telah lama digunakan yaitu sejak lahirnya teknologi radio. Sistem komunikasi ini digunakan pada

radio, siaran TV, dan teknologi nirkabel (Wi-Fi dan Bluetooth)) (A.Goldsmith, 2005). Sistem komunikasi SISO telah disimulasikan dan diimplementasikan ke beberapa modul contohnya implementasi sistem komunikasi SISO telah dilakukan pada modul DSP TMS320C6713 dan DSP TMS320C6416.(Hai, 2010)

Teknik modulasi PSK (Phase Shift Keying) sudah banyak digunakan dalam penelitian sebelumnya. Penelitian sebelumnya, menyimpulkan bahwa teknik modulasi PSK dapat menaikkan level diversity dan kesalahan kinerja sistem dapat diperbaiki tanpa memperluas bandwidth serta meningkatkan daya yang dipancarkan dengan menggunakan kombinasi perputaran konstelasi sinyal dengan kompoen interleaving atau deinterleaving. Teknik modulasi PSK juga sangat sesuai untuk digunakan pada sistem komunikasi dengan kapasitas tinggi pada generasi baru (S.Z Ibrahim, 2012).

Sistem komunikasi SISO sudah di implementasikan ke modul WARP dengan menggunakan teknik modulasi DQPSK (Differensial Quadrature Phase Shift Keying). Pada penelitian sebelumnya, DQPSK sangat mudah di terapkan karena tidak memperhitungkan pergeseran phase. Pada penelitian ini, akan mengimplementasikan sistem Implementasi Sistem Komunikasi.....

komunikasi SISO dengan teknik modulasi M-PSK. Tingkat level modulasi yang digunakan adalah 4, 8, dan 16. Teknik modulasi PSK dipilih karena teknik modulasi ini memodulasi berdasarkan pergeseran phase, memiliki banyak kelebihan, serta belum ada yang melakukan penelitian sebelumnya pada modul WARP. Model sistem komunikasi SISO menggunakan dua modul WARP yang bertindak sebagai pemancar dan penerima

2. LANDASAN TEORI

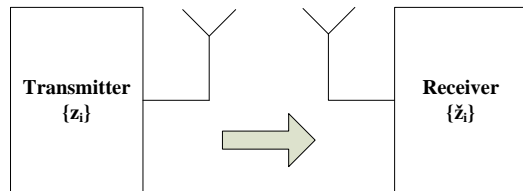
Sistem komunikasi nirkabel berkembang sangat pesat dari tahun ke tahun. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya alat dan sistem komunikasi yang menggunakan teknologi nirkabel. Komunikasi nirkabel banyak digunakan karena adanya kepraktisan dalam menjalin sebuah komunikasi.

Sistem Komunikasi Single Input Single Output (SISO) (Rohde, 2009)

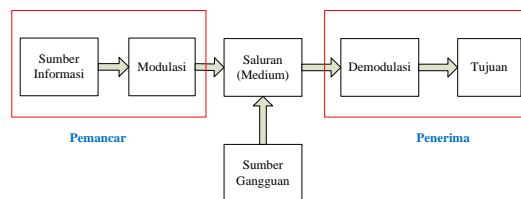
Sistem komunikasi single input single output yang biasa disingkat dengan SISO merupakan komunikasi yang paling sederhana. Sistem komunikasi ini menggunakan satu antena di sisi pengirim dan satu antena di sisi penerima. Seperti terlihat dalam Gambar 1.

Pada sistem komunikasi, data yang dikirimkan harus di modulasi pada sisi

pengirim sebelum dikirimkan. Data yang telah diterima akan di demodulasi ulang di sisi penerima agar data sesuai dengan data yang telah dikirimkan. Blok diagram sistem komunikasi pada Gambar 2.



Gambar 1. Sistem Komunikasi SISO
(*Single Input Single Output*)



Gambar 2. Blok Diagram Sistem
Telekomunikasi (Stallings, 2007)

Modulasi (Carrington, 2008) (Hranac, 2001)

Modulasi adalah proses pencampuran dua sinyal menjadi satu sinyal. Biasanya sinyal yang dicampur adalah sinyal berfrekuensi tinggi dan sinyal berfrekuensi rendah. Dengan memanfaatkan karakteristik masing-masing sinyal, maka modulasi dapat digunakan untuk mentransmisikan sinyal informasi pada daerah yang luas atau jauh. Sebagai contoh sinyal informasi (suara, gambar, data), agar dapat dikirim

ke tempat lain, sinyal tersebut harus ditumpangkan pada sinyal lain. Dalam konteks radio siaran, sinyal yang menumpang adalah sinyal suara, sedangkan yang ditumpang adalah sinyal radio yang disebut sinyal pembawa (*carrier*). Jenis dan cara penumpangan sangat beragam yaitu jenis penumpangan sinyal analog akan berbeda dengan sinyal digital. Penumpangan sinyal suara juga akan berbeda dengan penumpangan sinyal gambar, sinyal film, atau sinyal lain.

Perbedaan utama antara modulasi digital dan modulasi analog adalah bahwa pesan yang ditransmisikan untuk sistem modulasi digital mewakili seperangkat simbol-simbol abstrak (misalnya 0 dan 1 untuk sistem transmisi biner), sedangkan dalam sistem modulasi analog, sinyal pesan adalah gelombang kontinyu. Jenis-jenis dari modulasi analog adalah *Amplitude Modulation (AM)*, *Frequency Modulation (FM)*, *Phase Modulation (PM)*. Selain itu ada juga modulasi pulsa, yaitu proses penumpangan sinyal informasi kontinyu (analog) kepada sinyal pembawa yang berupa gelombang pulsa. Jenis-jenis dari modulasi pulsa adalah *Pulse Amplitudo Modulation (PAM)*, *Pulse Frequency Modulation (PFM)*, dan *Pulse Phase Modulation (PPM)*. Jenis-jenis dari modulasi digital

adalah *Amplitude Shift Keying* (ASK), *Frequency Shift Keying* (FSK), dan Phase Shift Keying (PSK). Tujuan modulasi antara lain:

1. Transmisi menjadi efisien atau memudahkan pemancaran.
2. Menekan derau atau interferensi.
3. Memudahkan pengaturan alokasi frekuensi radio.
4. Pada multiplexing, proses penggabungan beberapa sinyal informasi untuk disalurkan secara bersama-sama melalui satu kanal transmisi.

Kinerja Sistem Komunikasi SISO dengan Teknik Modulasi M-PSK (Proakis, 2001)

Kinerja sistem komunikasi SISO dengan teknik modulasi M-PSK dapat dilihat dari nilai probabilitas error untuk masing-masing teknik modulasi. Nilai M yang digunakan pada penelitian ini adalah 4, 8, dan 16. Rumus probabilitas error untuk 4-PSK atau disebut QPSK di peroleh dari persamaan 2.1, yaitu

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (2.1)$$

Probabilitas error untuk teknik modulasi PSK dengan nilai level lebih dari 4, rumus probabilitas error adalah:

$$P_e(M - PSK) \approx 2Q\left(\sqrt{\frac{2\pi^2 \log_2 M E_b}{M^2 N_0}}\right) \quad (2.2)$$

Sehingga nilai probabilitas error untuk 8-PSK adalah

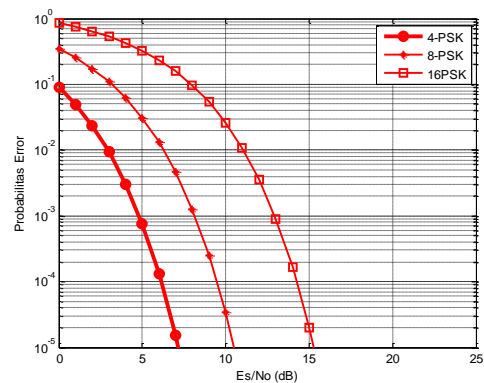
$$P_e(8 - PSK) \approx 2Q\left(\sqrt{\frac{3}{32} \pi^2 \frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (2.3)$$

Nilai probabilitas error untuk 16-PSK adalah

$$P_e(16 - PSK) \approx 2Q\left(\sqrt{\frac{1}{32} \pi^2 \frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (2.4)$$

Berdasarkan persamaan probabilitas error untuk M-PSK, dapat dibuat grafik P_e fungsi E_b/N_0 yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Grafik pada Gambar 3, terlihat bahwa urutan teknik modulasi dari yang memiliki nilai P_e terkecil adalah 4-PSK, 8-PSK, dan 16-PSK.



Gambar 3. Grafik P_e fungsi E_b/N_0 PSK level modulasi 4, 8, dan 16

SDR (Software Defined Radio) (Grayver, 2013) (Li, 2011)

SDR (*Software Defined Radio*) merupakan dasar arsitektur di teori komunikasi modern dan pengolahan sinyal digital, yang telah mencapai

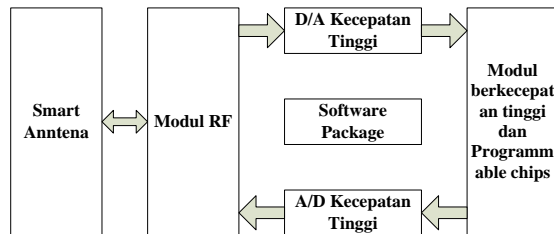
kesuksesan di komunikasi nirkabel dengan penggunaan unit hardware yang dikoneksikan ke bus dan mengunggah software. Seperti platform canggih, alat SDR dapat menyesuaikan dengan software terbaru jika muncul standar komunikasi nirkabel, sehingga dapat mengurangi waktu perkembangan produk.

Adanya perkembangan yang cepat dari komunikasi nirkabel, maka layanan dapat semakin ditingkatkan dengan standar komunikasi yang berkembang, dan sistem komunikasi tradisional tidak harus menyesuaikan. Selanjutnya, untuk memenuhi permintaan dari spektrum nirkabel dari operator telekomunikasi, sistem yang ada harus meningkatkan efisiensi bandwidth dan kemampuan anti-interference. Saat ini, penerapan teknologi SDR dapat mengatasi masalah ini. Penerapan teknologi SDR tidak hanya di perangkatnya saja, tetapi juga mengimplementasikan beberapa standar komunikasi. Hal ini dapat mengurangi waktu untuk modifikasi software tanpa pendesainan ulang hardware. Sebagai platform general-purpose hardware, SDR dapat dengan mudah memperbarui fungsi komunikasi nirkabel yang ada dan sepenuhnya memenuhi layanan multimedia. Beberapa keuntungan SDR yang paling signifikan adalah:

1. Interoperability : SDR dapat berkomunikasi dengan beberapa radio yang tidak kompatibel atau bertindak sebagai jembatan antara radio.
2. Efisien digunakan di berbagai kondisi : SDR dapat menyesuaikan gelombang untuk memaksimalkan key metric.
3. Cognitive radio : sebuah SDR dapat memanfaatkan spectrum radio yang kurang dimanfaatkan. Teknik ini memiliki potensi untuk meningkatkan jumlah spectrum yang tersedia.
4. Mengurangi obsolescence : SDR dapat digunakan untuk mendukung standar komunikasi terbaru.
5. Biaya murah : SDR dapat digunakan untuk beberapa aplikasi.
6. Penelitian dan pengembangan: SDR dapat digunakan untuk pengimplementasian banyak bentuk gelombang yang berbeda pada analisa real time. Sehingga bisa jauh lebih cepat daripada simulasi.

Ide dasarnya adalah mengubah sinyal RF (Radio Frequency) ke sinyal digital dan menggantikan fungsi perangkat keras dengan perangkat lunak ke dalam modul A / D switcher dan D / A switcher yang harus dilengkapi dengan antena. SDR memiliki fleksibilitas dan keterbukaan yang kuat, dapat mendukung multi-band dan fungsi multi-service, yang telah menjadi teknologi penting 3G.

Ada lima bagian di SDR yang merupakan opening bus, smart antenna dan modul RF, A / D switcher dan D / A switcher berkecepatan tinggi, prosesor sinyal digital berkecepatan tinggi, dan software package yang ditunjukkan pada Gambar 4.



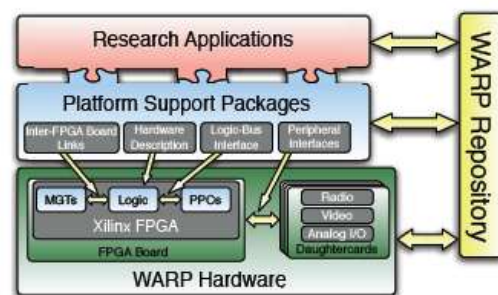
Gambar 4. Konfigurasi dari SDR (Li, 2011)

SDR menggunakan arsitektur pengolahan terdistribusi dan proses transmisi informasi dengan menggunakan protokol CORBA (Common Object Request Broker Architecture) dengan paket kontrol, high-level packages, dan sistem paket interface. Paket-paket ini dipisahkan dengan hardware dan memiliki portabilitas dan skalabilitas yang baik. Saat ini, ada teknologi statis dan teknologi semi-statis dalam mendownload perangkat lunak. Teknologi statis adalah perangkat lunak di-download dalam kartu SIM, kemudian konfigurasi sistem dengan menggunakan terminal. Sedangkan, teknologi semi-statis adalah perangkat lunak dapat langsung di-download di terminal.

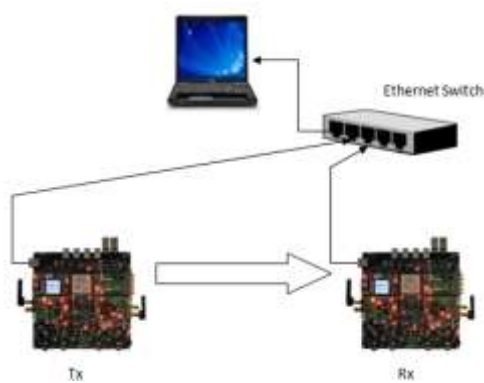
Keduanya dapat dioperasikan dengan mudah dan transparan.

Modul WARP (Wireless Open-Access Research Platform) (warp.rice) (Murphy, 2006)

WARP (Wireless Open-Access Research Platform) merupakan sebuah desain platform open-access tingkat tinggi yang sangat mampu, scalable, dan extensible untuk penelitian sistem komunikasi nirkabel. Platform WARP dirancang untuk memenuhi penelitian sistem komunikasi nirkabel dengan kinerja yang tinggi. Platform ini terdiri dari hardware dan implementasi FPGA yang keduanya merupakan kunci dalam komunikasi. Peneliti yang akan melakukan penelitian di bidang komunikasi nirkabel dan pengembangan platform WARP ini, dapat secara bebas mendapatkan spesifikasi hardware dan implementasi algoritma karena sudah tersedia secara bebas (*Open Access*).



Gambar 5. Empat Komponen Utama dalam WARP (Murphy, 2006)



Gambar 8. Konfigurasi Sistem Komunikasi SISO dengan WARP

WARPLab digunakan agar sinyal yang dibangkitkan melalui program Matlab bisa dikirimkan antar modul WARP secara real time. Langkah-langkah pengintegrasian PC dengan WARP versi 2 sebagai berikut :

1. Menghubungkan PC dengan WARP dengan switch ethernet menggunakan kabel LAN seperti pada Gambar 8.
2. Mengatur nomor IP pada PC dan warplab_defines pada program Matlab (IP yang digunakan harus sama antara PC dan Matlab).
3. Mengatur routing ARP pada Command Prompt dengan masuk sebagai administrator.
4. Mengatur nomor IP pada WARP menjadi 10.0.0.1 untuk node 1 (pengirim) dan 10.0.0.2 untuk node 2 (penerima). Pengaturan dilakukan

dengan cara mengatur dipswitch seperti Gambar 9.



Gambar 9. Pengaturan *Dipswitch* WARP

5. Memeriksa koneksi WARP dan PC dengan melakukan ping untuk masing-masing node pada Command Prompt.

```

New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.
>> warplab_networkCheck(2)
checking set up of computer network interfaces... ok
checking installation of pnet... ok
checking configuration of Node 1... ok
checking configuration of Node 2... ok

Results Summary:
Node | S/N | HWVER | HWVER | RADIO | ACK | SYNC
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----
1|99999| 2| 6.3| 2| OK| OK
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----
2|99999| 2| 6.3| 2| OK| OK

ans =
0
    
```

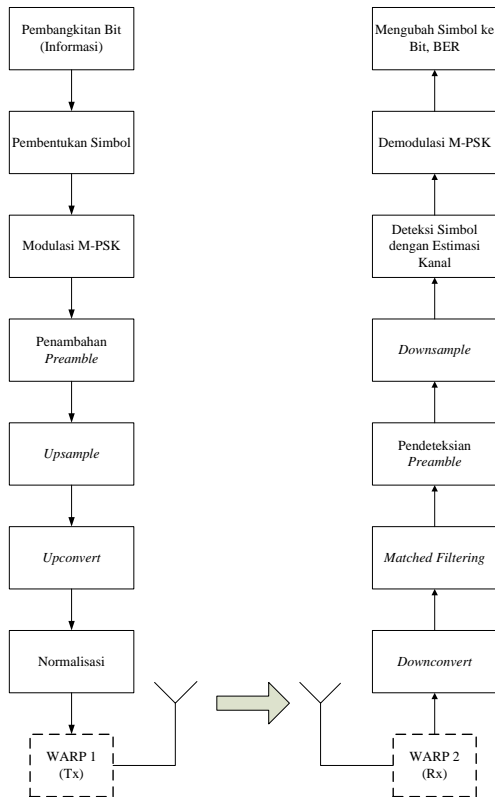
Gambar 10. Indikator Keberhasilan Koneksi WARP dengan PC

6. Memeriksa koneksi WARP dan PC pada program Matlab dengan menggunakan command: warplab_networkCheck(2). Angka (2) mengartikan bahwa ada dua WARP yang telah terkoneksi. Indikator keberhasilan koneksi dapat dilihat pada output Command Window Matlab seperti Gambar 10.

Pemodelan Sistem Komunikasi SISO dengan Teknik Modulasi M-PSK

Pemodelan sistem komunikasi SISO meliputi pemodelan perangkat WARP seperti pada Gambar 8 dan pemodelan pada pemograman menggunakan Matlab seperti Gambar 11.

Penelitian pengimplementasian sistem komunikasi SISO dengan modulasi M-PSK dan M-QAM pada WARP menggunakan beberapa parameter yang diatur sebelumnya pada program Matlab. Parameter-parameter tersebut, terdapat pada Tabel 1.



Gambar 11. Blok Diagram Sistem Komunikasi SISO dengan Teknik Modulasi M-PSK

Tabel 1. Parameter Sistem Komunikasi SISO dengan Teknik Modulasi M-PSK

| No | Parameter | Nilai |
|----|---|--|
| 1 | Filter | <i>Squared Root Raised Cosine</i> (SRRC) |
| 2 | Filter order | 64 |
| 3 | <i>Rolloff factor</i> | 0.3 |
| 4 | Jumlah <i>preamble</i> | 13{-1,-1,-1,1,-1,0,0,0,0,0,0,0} |
| 5 | Jumlah <i>corr window</i> | 300 |
| 6 | Jumlah <i>delay</i> | 200 |
| 7 | <i>Upconvert</i> dan <i>downconvert</i> | 5 MHz |
| 8 | Frekuensi <i>sampling</i> | 40 MHz |
| 9 | <i>Carrier channel</i> | 12 |
| 10 | <i>Transmitter baseband gain</i> | 0 |
| 11 | <i>Transmitter RF gain</i> | 0-63 |
| 12 | <i>Receiver baseband gain</i> | 12 |
| 13 | <i>Receiver RF gain</i> | 2 |

Metode Pengukuran

Pengukuran dilakukan di dua kondisi lingkungan yang berbeda yaitu di dalam ruangan (*indoor*) yang dilakukan di ruang B303 Laboratorium Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro dan di luar ruangan (*outdoor*) di tempat parkir dosen Jurusan

Teknik Elektro. Tujuan pengukuran dilakukan di lingkungan yang berbeda agar didapat hasil dengan kondisi lingkungan yang berbeda, dengan banyak benda yang mempengaruhi maka multipath fading akan berbeda juga.

Pengukuran pada lingkungan indoor, jarak antara node pengirim dan penerima adalah bervariasi dari 1 meter sampai 6 meter dengan interval 1 meter. Maksimal jarak 6 meter dikarenakan keterbatasan panjang ruangan yang digunakan. Lingkungan pengukuran indoor ditunjukkan pada Gambar 12.

Pengukuran pada lingkungan outdoor, jarak antara node pengirim dan penerima adalah bervariasi dari 1 meter sampai 10 meter dengan interval. Pengukuran pada lingkungan outdoor ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 12. Pengukuran pada Lingkungan *Indoor*



Gambar 13. Pengukuran pada Lingkungan *Outdoor*

Saat *output* diperoleh, kinerja sistem dapat diukur menggunakan parameter BER. BER merupakan perbandingan antara total bit yang salah dengan total bit yang dikirim. BER dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$BER = \frac{\text{Jumlah bit yang salah}}{\text{Jumlah bit yang dikirim}} \quad (3.6)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran menggunakan teknik modulasi M-PSK dengan nilai M Aray 4, 8, dan 16. Pengukuran dilakukan dengan mengubah jarak antara node pengirim dan penerima untuk mendapatkan nilai Bit Error Rate (BER). Jarak antar node pengirim dan penerima diubah mulai dari 1 meter sampai 6 meter. Jumlah bit yang dikirim adalah 30000 bit. Nilai $Tx_BB1 = 1$, $Tx_Rf = 30$, $Rx_BB = 10$, dan $Rx_Rf = 1$. Jika nilai $Tx_BB = 1$ dan $Tx_Rf = 30$ maka daya yang dipancarkan adalah -25,1558 dBm, didapat dari datasheet WARP. Hasil pengukuran BER dengan mengubah jarak antar node pengirim dan penerima

di lingkungan indoor ditunjukkan Tabel 2 dan Gambar 14.

Berdasarkan Tabel 2, pada jarak antar node pengirim dan penerima 1 meter hasil BER untuk teknik modulasi 4-PSK, 8-PSK, dan 16-PSK adalah 0. Hal ini terjadi karena jarak antar node dekat dan tidak ada hambatan dalam propagasi sinyal sehingga noise yang ada kecil dan tidak mempengaruhi pengiriman informasi. Kemudian, jarak diubah menjadi 2 meter. Pada jarak 2 meter, nilai BER dari ketiga M-array pada modulasi PSK tetap bernilai 0. Hal ini dikarenakan seperti pada jarak 1 meter. Jarak kemudian diubah menjadi 3 meter. Pada jarak 3 meter nilai BER pada teknik modulasi 16-PSK sudah berubah menjadi 2.2×10^{-3} . Hal ini karena 16-PSK memiliki euclidean distance pada diagram konstelasi yang kecil dibandingkan 8-PSK dan 4-PSK, sehingga mudah dipengaruhi noise. Pada teknik modulasi 16-PSK dengan jarak 3 meter, informasi yang dikirim sudah dipengaruhi noise yang ditimbulkan oleh lingkungan. Jarak kemudian diubah menjadi 4 meter.

Tabel 2. BER terhadap Jarak pada Lingkungan *Indoor* Teknik Modulasi M-PSK

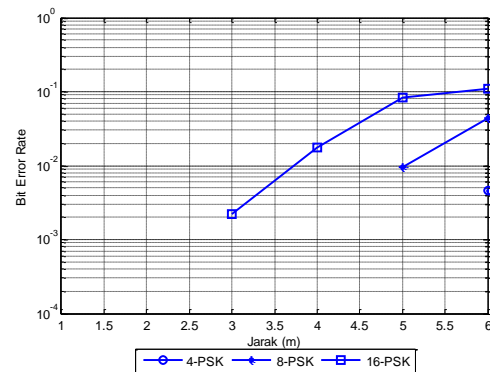
| Jarak (m) | Bit Error Rate (BER) | | |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 4-PSK | 8-PSK | 16-PSK |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 2.2×10^{-3} |
| 4 | 0 | 0 | 1.77×10^{-2} |
| 5 | 0 | 9.5×10^{-3} | 8.39×10^{-2} |
| 6 | 4.61×10^{-3} | 4.41×10^{-2} | 1.10×10^{-1} |

Pada jarak 4 meter, nilai BER 16-PSK semakin tinggi dibandingkan pada jarak 3 meter yaitu 1.77×10^{-2} . Hal ini dikarenakan jarak node yang semakin jauh akan meningkatkan noise yang ada sehingga nilai BER pun akan semakin besar. Pada teknik modulasi 4-PSK dan 8-PSK noise yang ada masih tidak mempengaruhi pengiriman informasi. Pada jarak 5 meter, nilai BER 8-PSK adalah 9.5×10^{-3} dan nilai BER 16-PSK adalah 8.39×10^{-2} . Nilai BER untuk 4-PSK masih tetap bernilai 0. Hal ini karena 8-PSK memiliki euclidean distance yang kecil dibandingkan 4-PSK tetapi lebih besar daripada 16-PSK, sehingga 8-PSK mudah di pengaruhi noise dibanding 4-PSK tetapi jika dibandingkan dengan 16-PSK, 8-PSK

lebih tahan terhadap noise. Pada jarak 6 meter, nilai BER pada 4-PSK adalah 4.61×10^{-3} , 8-PSK adalah 4.41×10^{-2} , dan 16-PSK adalah 1.10×10^{-1} . Hal ini dikarenakan euclidean distance pada konstelasi yang mempengaruhi ketahanan setiap level teknik modulasi terhadap noise dan jumlah noise yang semakin banyak karena jarak antar node yang lebih jauh juga.

Data pada Tabel 2 disajikan dalam bentuk grafik BER fungsi jarak pada lingkungan indoor untuk teknik modulasi M-PSK seperti pada Gambar 14. Pada grafik BER fungsi jarak pada lingkungan indoor teknik modulasi M-PSK terlihat grafik 16-PSK pada jarak 5 meter ke 6 meter kenaikan nilai BER tidak terlalu signifikan yaitu dari 8.39×10^{-2} ke 1.1045×10^{-1} . Implementasi sistem komunikasi SISO dengan teknik modulasi 4-PSK lebih baik daripada 8-PSK, dan 16-PSK. Misalnya pada saat jarak antar node pengirim dan penerima sebesar 5 meter, pada sistem komunikasi SISO dengan teknik modulasi 4-PSK nilai BER sebesar 0 sedangkan 8-PSK nilai BER sebesar 9.5×10^{-3} , dan 16-PSK nilai BER sebesar 8.39×10^{-2} . Pada jarak 6 meter, BER teknik modulasi 4-PSK sebesar 4.614×10^{-3} , sedangkan BER untuk 8-PSK sebesar 4.41×10^{-2} dan 16-PSK sebesar 1.10×10^{-1} . Grafik BER Implementasi Sistem Komunikasi.....

fungsi jarak pada lingkungan indoor teknik modulasi M-PSK menunjukkan bahwa nilai BER semakin besar dengan bertambahnya jarak antara node pengirim dan penerima untuk daya pancar yang tetap. Hal ini dipengaruhi oleh jarak antar pengirim dan penerima yang semakin jauh, maka noise yang ada juga akan semakin besar, serta daya yang diterima di penerima semakin kecil, sehingga nilai BER akan semakin besar. Nilai BER berbanding lurus dengan jarak antar node.



Gambar 14. Grafik BER Fungsi Jarak pada Lingkungan *Indoor* Teknik Modulasi M-PSK

Hasil pengukuran BER dengan mengubah jarak antar node pengirim dan penerima di lingkungan outdoor ditunjukkan Tabel 3 dan Gambar 15. Berdasarkan Tabel 3, pada jarak antar node pengirim dan penerima 1 meter hasil BER untuk teknik modulasi 4-PSK, 8-PSK, dan 16-PSK adalah 0. Hal ini terjadi karena jarak antar node dekat dan

tidak ada hambatan dalam propagasi sinyal sehingga noise yang ada kecil dan tidak mempengaruhi pengiriman informasi. Kemudian, jarak diubah menjadi 2 meter. Pada jarak 2 meter, nilai BER dari ketiga M-ary pada modulasi PSK tetap bernilai 0. Hal ini dikarenakan seperti pada jarak 1 meter. Jarak kemudian di ubah menjadi 3 meter. Pada jarak 3 meter nilai BER pada teknik modulasi 16-PSK sudah berubah menjadi 5.59×10^{-4} . Hal ini karena 16-PSK memiliki euclidean distance pada diagram konstelasi yang kecil dibandingkan 8-PSK dan 4-PSK, sehingga mudah dipengaruhi noise. Pada teknik modulasi 16-PSK dengan jarak 3 meter, informasi yang dikirim sudah dipengaruhi noise yang ditimbulkan oleh lingkungan. Jarak kemudian diubah menjadi 4 meter.

Pada jarak 4 meter, nilai BER 16-PSK semakin tinggi dibandingkan pada jarak 3 meter yaitu 7.8×10^{-3} . Hal ini dikarenakan jarak node yang semakin jauh akan meningkatkan noise yang ada sehingga nilai BER pun akan semakin besar. Pada teknik modulasi 4-PSK dan 8-PSK noise yang ada masih tidak mempengaruhi pengiriman informasi. Pada jarak 5 meter, nilai BER 8-PSK adalah 3.08×10^{-3} dan nilai BER 16-PSK adalah 6.61×10^{-2} . Nilai BER untuk 4-

PSK masih tetap bernilai 0. Hal ini karena 8-PSK memiliki euclidean distance yang kecil dibandingkan 4-PSK tetapi lebih besar daripada 16-PSK, sehingga 8-PSK mudah di pengaruhi noise dibanding 4-PSK tetapi jika dibandingkan dengan 16-PSK, 8-PSK lebih tahan terhadap noise. Pada jarak 6 meter, nilai BER pada 4-PSK adalah 0, 8-PSK adalah 3.33×10^{-2} , dan 16-PSK adalah 9.34×10^{-2} . Hal ini dikarenakan euclidean distance pada konstelasi yang mempengaruhi ketahanan setiap level teknik modulasi terhadap noise dan jumlah noise yang semakin banyak karena jarak antar node yang lebih jauh juga.

Tabel 3. BER terhadap Jarak pada Lingkungan *Outdoor* Teknik Modulasi M-PSK

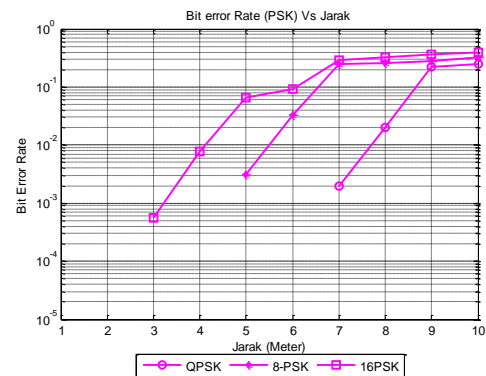
| Jarak (m) | Bit Error Rate (BER) | | |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 4-PSK | 8-PSK | 16-PSK |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 5.59×10^{-4} |
| 4 | 0 | 0 | 7.8×10^{-3} |
| 5 | 0 | 3.08×10^{-3} | 6.61×10^{-2} |
| 6 | 0 | 3.33×10^{-2} | 9.34×10^{-2} |
| 7 | 1.93×10^{-3} | 2.5×10^{-1} | 2.95×10^{-1} |
| 8 | 2.02×10^{-2} | 2.61×10^{-1} | 3.21×10^{-1} |
| 9 | 2.23×10^{-1} | 2.83×10^{-1} | 3.71×10^{-1} |

| | | | |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 10 | 2.47×10^{-1} | 3.26×10^{-1} | 3.93×10^{-1} |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|

Jarak 7 meter, nilai BER pada 4-PSK adalah 1.93×10^{-3} , 8-PSK adalah 2.5×10^{-1} , dan 16-PSK adalah 2.95×10^{-1} . Nilai BER ketiga level modulasi PSK naik dibandingkan saat jarak 6 meter. Hal ini juga dikarenakan jumlah noise yang semakin banyak akibat penambahan jarak antar node. Kemudian, jarak diubah menjadi 8 meter. Pada jarak 8 meter, nilai BER pada 4-PSK adalah 2.02×10^{-2} , 8-PSK adalah 2.61×10^{-1} , dan 16-PSK adalah 3.21×10^{-1} . Hal ini juga dikarenakan jumlah noise antar node. Pada jarak 9 meter, nilai BER pada 4-PSK adalah 2.23×10^{-1} , 8-PSK adalah 2.83×10^{-1} , dan 16-PSK adalah 3.71×10^{-1} . Pada jarak 10 meter, nilai BER pada 4-PSK adalah 2.47×10^{-1} , 8-PSK adalah 3.26×10^{-1} , dan 16-PSK adalah 3.93×10^{-1} . Nilai BER untuk setiap level modulasi selalu naik karena jumlah noise yang semakin banyak akibat penambahan jarak antar node.

Data pada Tabel 3 disajikan dalam bentuk grafik BER fungsi jarak pada lingkungan outdoor untuk teknik modulasi M-PSK seperti pada Gambar 15. Implementasi sistem komunikasi SISO dengan teknik modulasi 4-PSK

lebih baik daripada 8-PSK dan 16-PSK. Misalnya pada saat jarak antar node pengirim dan penerima sebesar 5 meter, pada sistem komunikasi SISO dengan teknik modulasi 4-PSK nilai BER sebesar 0 sedangkan 8-PSK nilai BER sebesar 3.08×10^{-3} , dan 16-PSK nilai BER sebesar 6.61×10^{-2} .

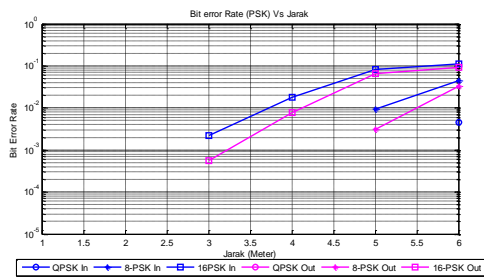


Gambar 15. Grafik BER Fungsi Jarak pada Lingkungan Outdoor Teknik Modulasi M-PSK

Pada jarak 6 meter, BER teknik modulasi 4-PSK sebesar 0, sedangkan BER untuk 8-PSK sebesar 3.33×10^{-2} , dan 16-PSK sebesar 9.3×10^{-2} . Pada jarak 7 meter, BER teknik modulasi 4-PSK sebesar 1.93×10^{-3} , sedangkan BER untuk 8-PSK sebesar 2.5×10^{-1} , dan 16-PSK sebesar 2.95×10^{-1} . Grafik BER fungsi jarak pada lingkungan outdoor teknik modulasi M-PSK menunjukkan bahwa nilai BER semakin besar terhadap bertambahnya jarak antara node pengirim dan penerima untuk daya pancar yang tetap. Hal ini dipengaruhi

oleh jarak antar pengirim dan penerima yang semakin jauh, maka *noise* yang ada juga akan semakin besar, serta daya yang diterima di penerima semakin kecil, sehingga nilai BER akan semakin besar. Nilai BER berbanding lurus dengan jarak antar node.

Nilai BER yang ditunjukkan melalui tabel 3 dan 4 maupun Gambar 14 dan 15, dapat diambil kesimpulan bahwa kinerja sistem komunikasi SISO di lingkungan outdoor lebih baik daripada di lingkungan indoor. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik BER Fungsi Jarak dengan Teknik Modulasi PSK pada Lingkungan *Indoor* dan *Outdoor*

Pada Gambar 16 terlihat bahwa nilai BER di lingkungan outdoor selalu dibawah nilai BER di lingkungan indoor untuk semua tingkatan level (M Aray). Hal ini dikarenakan lingkungan indoor banyak terdapat barang yang berada di sekitar node pengirim dan penerima dengan jarak yang cukup dekat, sehingga akan menimbulkan multipath sinyal yang

mempengaruhi pengiriman informasi. Sedangkan, pada lingkungan *outdoor*, disekitar node pengirim dan penerima tidak terdapat barang sehingga, memungkinkan sedikit terdapat *multipath* pada saat pengiriman, jadi nilai BER saat pengukuran di lingkungan outdoor lebih kecil dibandingkan saat pengukuran di lingkungan indoor.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Implementasi sistem komunikasi SISO dengan teknik modulasi M-PSK menggunakan WARP dilakukan dengan penyisipan simbol pilot sebagai proses estimasi kanal saat terjadi komunikasi.
2. Perbandingan kinerja sistem komunikasi dengan teknik modulasi M-PSK di lingkungan indoor dan outdoor ditunjukkan pada nilai BER yang diperoleh dengan mengubah jarak antar node pengirim dan penerima. Nilai BER semakin besar terhadap bertambahnya jarak antar node untuk daya pancar tetap. Nilai BER berbanding lurus dengan jarak antar node.

3. Implementasi sistem komunikasi SISO dengan teknik modulasi M-PSK pada lingkungan outdoor lebih baik dibandingkan dengan teknik modulasi M-PSK pada lingkungan *indoor*. Hal ini ditunjukkan dari nilai BER di lingkungan indoor lebih besar dibandingkan di lingkungan *outdoor*.

5.2. Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis adalah sebagai berikut :

1. Implementasi sistem komunikasi OFDM menggunakan WARP.
2. Pengembangan menggunakan teknik modulasi yang lain. Misalnya QAM, GMSK, dan CPFSK.
3. Tingkat level modulasi dapat dinaikan sampai 256.
4. Informasi yang dikirim berupa suara, image, atau video

6. DAFTAR PUSTAKA

A.Goldsmith, (2005), wireless communications, cambrige Univ Press.

Amiri, Kiarash, dkk. (2007), "WARP, a Unified Wireless Network Testbed for Education and Research", IEEE International Conference on Microelectronic System Education (MSE'07).

Carrington, Alison L, (2008), Communications-Digital modulation, Faculty of Computing, Engineering & Technology, Staffordshire University.

Freeman.L.R,(1998), Telecommunication Transmission Handbook fourth edition, Wiley-Interscience.

Grayver Eugene, (2013), Implementing Software Defined Radio. Springer.

Hai Yan, Shengli Zhou, Zhijie Shi, dkk. (May 2010), "DSP Implementation of SISO and MIMO OFDM Acoustic Modems", conference publications oceans 2010 IEEE-sydney 24-27.

Hranac, Ron, (2001), QPSK and 16-QAM Digital Modulation, Cisco.com.

L. Zheng and D. N. C. Tse. (2002), "Diversity and freedom: A fundamental tradeoff in multiple antenna channels", Proc. IEEE Int. Symp Information Theory (ISIT), Lausanne, Switzerland.

Li, Bo, (2011), "Analysis and Design of Software Dified Radio", International Conference on Internet Computing and Information Services.

Murphy Patrick, Ashu Sabharwal and Behnaam Aazhang. (2006), "Design of WARP: A Wireless Open-Access Research Platform", 14th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2006), Florence, Italy.

Proakis, John G. and Salehi Masoud, (2001), Digital Communications fifth edition, McGraw-Hill Higher Education.

Rohde and Schwarz, (2009), Introduction to MIMO, Application Note.

S.Z Ibrahim, A.M Abbosh, dkk., (2012), “Direct quadrature phase shift keying modulation using compact wideband six-port networks”, IET Microwaves, Antennas & Propagation.

Stallings, William, (2007), Data and Computer Communications eight edition, Pearson Prentice Hall, New Jersey.

Tse David and Viswanath Pramod, (2005), Fundamental of Wireless Communication, Cambridge Press.

Usman, Uke K, (2008), Pengantar Ilmu Telekomunikasi, Informatika, Bandung.

<http://warp.rice.edu/>, (2013)