

Analisa Performansi Sistem Komunikasi Single-Input Multiple-Output pada Lingkungan Indoor Menggunakan WARP

Raynal R. Gobel, Suwadi, Wirawan

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

Email: raynal.ramadhan11@mhs.ee.its.ac.id, suwadi110@gmail.com, wirawan@ee.its.ac.id

Abstrak—Dalam sistem komunikasi nirkabel, salah satu permasalahan yang dihadapi adalah *multipath fading*. Hal ini mengakibatkan level daya yang bervariasi pada penerima sehingga terjadi outage ketika mengalami fading. Dalam lingkungan indoor, hal ini lebih sering terjadi karena hampir tidak ada *line-of-sight* antara pemancar dan penerima. Efek kanal multipath bisa diatasi dengan sistem komunikasi SIMO (*Single-Input Multiple-Output*). Sinyal yang diterima diolah menggunakan beberapa metode seperti *Selection* dan *Maximal Ratio Combining* dengan jumlah antena di penerima lebih dari satu. Implementasi juga bisa dilakukan pada WARP (*Wireless Open-Access Research Platform*) yang merupakan salah satu jenis SDR (*Software Defined Radio*). Modul tersebut digunakan sebagai pemancar dan penerima pada pengukuran kualitas performansi SIMO pada lingkungan indoor dengan metode-metode *combining*. Hasil unjuk kerja dibandingkan terhadap sistem SISO (*Single-Input Single-Output*). Hasil dari implementasi dan pengukuran pada penelitian ini menunjukkan bahwa, dalam lingkungan indoor pada kondisi tertentu, sistem SIMO dengan metode *selection combining* memiliki *diversity gain* 2.3–2.5 dB, sedangkan *maximal ratio combining* memiliki *diversity gain* 2.5–4.6 dB lebih baik daripada SISO pada kondisi BER

10

Kata Kunci—Receive Diversity, Software Defined Radio, Single-Input Multiple-Output, Wireless Open-Access Research Platform.

I. PENDAHULUAN

Salah satu kendala yang dihadapi dalam sistem komunikasi nirkabel adalah efek dari *multipath fading*. Sinyal yang dikirim melalui kanal nirkabel akan merambat dengan jalur propagasi yang berbeda-beda. Hal ini mengakibatkan perbedaan pada waktu datang; amplitudo; dan fasa sinyal. Efek ini menimbulkan variasi level daya pada penerima dan menyebabkan *outage* ketika level daya yang diterima jatuh dibawah sensitivitas penerima.

Kondisi lingkungan indoor menyediakan sedikit bahkan hampir tidak ada *line-of-sight* (LoS) antara pemancar dan penerima. Pada kondisi tersebut, sinyal hanya bisa diterima apabila menggunakan pantulan, misalnya melalui dinding, dan mengalami *multipath fading*.

Pada lingkungan indoor yang memberikan kondisi multipath bagi jalur propagasi antara pemancar dan penerima, sistem multi antena menjadi salah satu alternatif untuk memperbaiki kualitas sinyal terima. Dengan menggunakan

metode *spatial diversity*, yaitu *receive diversity*, sistem multi antena diharapkan memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan SISO pada lingkungan indoor.

Sistem *receive diversity* menggunakan lebih dari satu antena pada penerima. Dalam komunikasi SIMO, Proses desain sistem *receive diversity* membutuhkan analisa tentang metode *combining* pada penerima. Beberapa contoh implementasi sistem *receive diversity* dengan metode *combining* misalnya: *Selection Combining* (SC); *Equal Gain Combining* (EGC); dan *Maximal Ratio Combining* (MRC). Sistem *receive diversity* menggunakan salah satu dari ketiga metode *combining* tersebut.

Metode *combining* menggunakan SC dilakukan dengan cara memilih salah satu sinyal pada penerima yang memiliki level *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) terbesar. Namun, jika tidak terdapat informasi lengkap tentang level SNR pada penerima, sinyal yang dipilih bisa ditentukan berdasarkan level daya atau tegangan terbesar.

Metode *combining* dengan EGC dan MRC menggunakan penjumlahan pada semua sinyal yang diterima. Perbedaan mendasar dari EGC dan MRC adalah pada pembebanan sinyal. Masing-masing penerima akan memiliki respon kanal yang berbeda sehingga, pembebanan pada penerima akan mengacu terhadap respon kanal terkait. Untuk metode EGC, besar pembebanan mengacu pada respon fasa dari kanal. Untuk metode MRC, besar pembebanan mengacu pada respon magnitudo dan fasa dari kanal.

Proses pengukuran dan implementasi sistem komunikasi SIMO membutuhkan antena penerima lebih dari satu. Konfigurasi ini memerlukan sebuah perangkat dengan kemampuan untuk dapat menerima sinyal yang sama melalui dua penerima yang berbeda. Semua kebutuhan tersebut dapat diimplementasikan pada sebuah *Software Defined Radio* (SDR) yaitu, *Wireless Open Access Research Platform* (WARP).

WARP dapat dikonfigurasi untuk mengirim atau menerima sinyal melalui lebih dari satu antena. Pada WARP, masing-masing antena terhubung dengan *transceiver* yang berfungsi untuk mengirim atau menerima sinyal pada frekuensi Wi-Fi. Hal ini memungkinkan implementasi sistem komunikasi SIMO pada WARP dan desain metode *combining*.

WARP juga dapat digunakan sebagai model sistem komunikasi nirkabel. Kemampuan perangkat tersebut

Tabel 1.
Modulasi QPSK dan Differential QPSK

Deret Biner	Fasa (ϕ)	Perbedaan Fasa ($\Delta\phi$)
00	0	0
01	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$
10	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{4}$
11	$\frac{5\pi}{4}$	$\frac{5\pi}{4}$

menjadikan WARP bisa digunakan untuk penelitian tentang sistem komunikasi multi-antena, misalnya SIMO. WARP mampu memodelkan kondisi kanal wireless yang sebenarnya.

II. METODE PENELITIAN

Untuk melakukan pengukuran terhadap kinerja *receive diversity* pada lingkungan indoor, sistem komunikasi multi-antena harus didesain terlebih dahulu. Implementasi metode-metode *combining* pada penerima juga harus dipahami. Pada metodologi penelitian, akan dibahas dasar teori tentang modulasi PSK, sistem komunikasi SIMO, desain referensi sistem komunikasi WARP dan estimasi kanal.

A. Modulasi PSK

Modulasi digital PSK (*Phase-Shift keying*) memanfaatkan perbedaan fasa sinyal sebagai nilai yang membedakan level digital. Misalnya untuk modulasi *binary phase-shift keying* (BPSK) sinyal dikirimkan dengan fasa referensi (ϕ) 0 sebagai simbol untuk bit 1 dan fasa $\frac{\pi}{2}$ menjadi bit 0. Untuk level digital sebanyak M, modulasi PSK akan membagi 2π sebanyak M level.

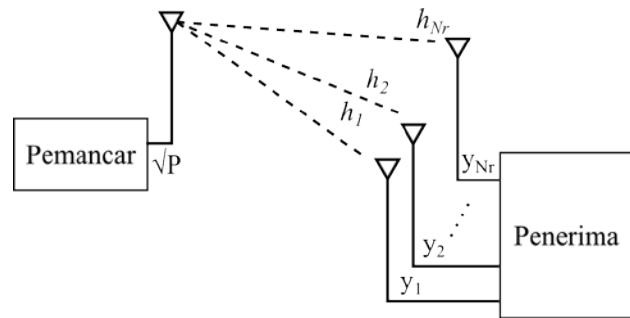
Untuk modulasi dengan memori, misalnya *Differential phase-shift keying* (DPSK), proses modulasi simbol dilakukan berdasarkan perubahan terhadap fasa ($\Delta\phi$). Hal ini dilakukan karena dalam proses demodulasi non koheren, bisa terdapat pergeseran fasa yang diakibatkan oleh: respon kanal; atau tidak ada sinkronisasi fasa pada penerima. Misalnya, ketika pengiriman dengan modulasi BPSK, nilai semua simbol bergeser sebanyak $\frac{\pi}{2}$ maka, proses demodulasi akan menghasilkan kesalahan deteksi akibat pergeseran ini. Tetapi, untuk modulasi DPSK, hal ini tidak berpengaruh banyak karena deteksi dilakukan berdasarkan perbedaan fasa simbol. Tabel 1 menunjukkan nilai fasa untuk modulasi *Quadrature PSK* dan DPSK.

B. Sistem Komunikasi SIMO

Diagram sistem komunikasi SIMO ditunjukkan pada gambar 1. Pemancar memiliki satu antena sedangkan penerima terdapat N_r jumlah antena[1]. Masing-masing kombinasi antena pemancar-penerima memiliki respon kanal h_{N_r} . Simbol yang diterima pada masing-masing antena dirumuskan pada persamaan 1:

$$y_k[n] = \sqrt{P} h_k x[n] + w_k[n] \tag{1}$$

Dimana P adalah daya pancar, h_k merupakan respon kanal yang diamati antara pemancar dan antena ke k dan $w_k[n]$ adalah AWGN (*Additive White Gaussian Noise*). Respon



Gambar 1. Diagram sistem komunikasi SIMO

kanal h_k dapat ditulis ulang dengan koefisien magnitudo dan fasa untuk semua $k = 1, 2, \dots, N_r$ sebagai berikut:

$$h_k = |h_k| e^{j\phi_k} \tag{2}$$

Nilai SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) didefinisikan sebagai:

$$\gamma_k \triangleq \frac{P |h_k|^2}{\sigma_k^2} \tag{3}$$

Dengan σ_k adalah variansi dari AWGN.

Simbol yang diterima pada masing-masing kanal akan memiliki respon yang berbeda-beda. Dalam sistem SIMO, *receive diversity* akan implementasikan dengan skema *combining* yang berbeda. Misalnya, untuk SC hanya perlu diketahui nilai SNR terbesar sedangkan untuk EGC dan MRC diperlukan respon kanal lengkap untuk semua simbol [2]. Secara umum, metode *combining* pada penerima dijabarkan dengan persamaan:

$$z[n] = \sum_{k=1}^{N_r} \alpha_k y_k[n] \tag{4}$$

dengan α_k merupakan faktor pengali (pembebanan) pada masing-masing antena. Nilai ini akan berbeda untuk setiap metode *combining*.

1) Selection Combining

Pada sistem SIMO dengan menggunakan metode SC, sinyal yang diterima akan dipilih berdasarkan besaran SNR terbesar. Algoritma SC akan membandingkan sinyal terbesar yang diterima dari berbagai cabang *diversity*, kemudian menyusun urutan simbol terbesar.

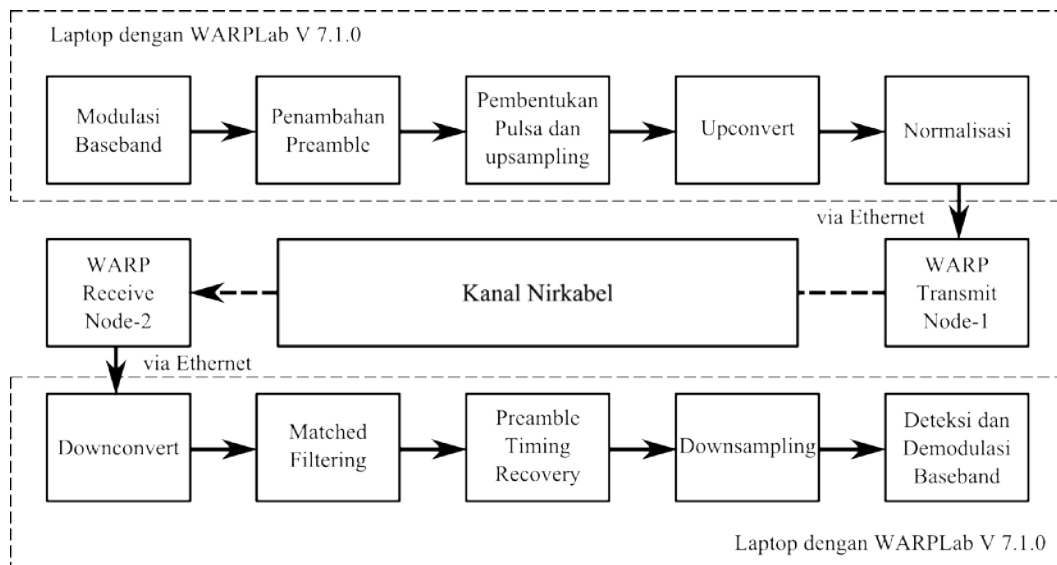
Secara umum, faktor pengali untuk metode SC dijabarkan pada persamaan 5.

$$\alpha_k = \begin{cases} 1 & \text{jika } \gamma_k > \gamma_{k'} \text{ , dengan } k \neq k' \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases} \tag{5}$$

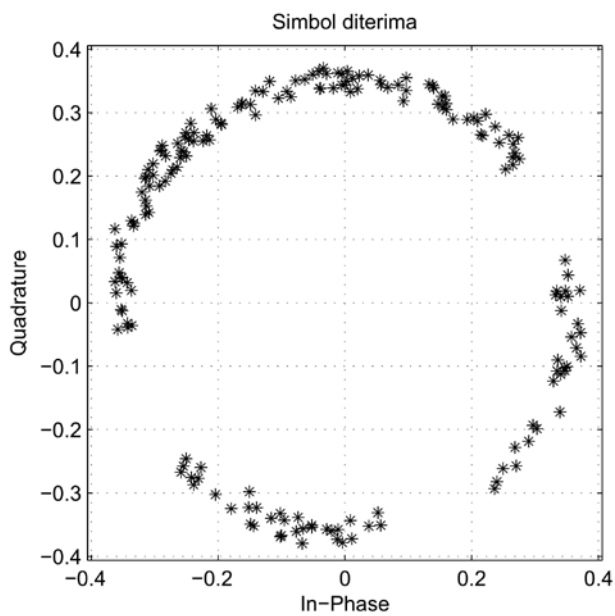
Namun, pada proses implementasi, jika tidak terdapat nilai SNR terukur yang pasti, parameter lain bisa digunakan, misalnya daya terukur yang terbesar [1].

2) Equal Gain Combining

Skema EGC merupakan salah satu skema *gain combining*, yaitu penjumlahan simbol yang diterima pada tiap-tiap antena penerima. Proses *combining* pada EGC dilakukan dengan mengalikan masing-masing cabang *diversity* besar faktor pengali yang sama kemudian dijumlahkan.



Gambar 2. Diagram blok referensi desain sistem komunikasi. Proses pembentukan frame dan demodulasi dilakukan pada WARPLab. Penggunaan WARP hanya untuk mengirim dan menerima sampel melalui kanal nirkabel.



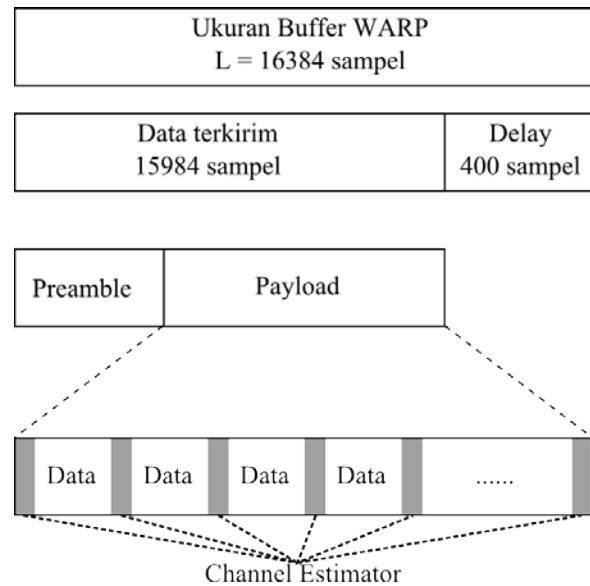
Gambar 3. Kekurangan pada desain referensi sistem komunikasi. Rotasi simbol diakibatkan oleh fasa sinyal carrier yang tidak sinkron. Hal ini memberikan kontribusi sangat signifikan terhadap proses deteksi untuk modulasi koheren

Secara umum, faktor pengali skema EGC dijabarkan pada persamaan 6. Simbol yang diterima akan dikalikan dengan respon fasa konjugat dari kanal. Hal ini menunjukkan bahwa simbol akan disamakan fasanya terlebih dahulu, kemudian dijumlahkan.

$$a_k = e^{-j\phi_k} \tag{6}$$

3) Maximal Ratio Combining

Skema lain dari gain combining adalah Maximal Ratio Combining (MRC). Proses ini dilakukan dengan asumsi respon kanal diketahui pada semua cabang diversity di

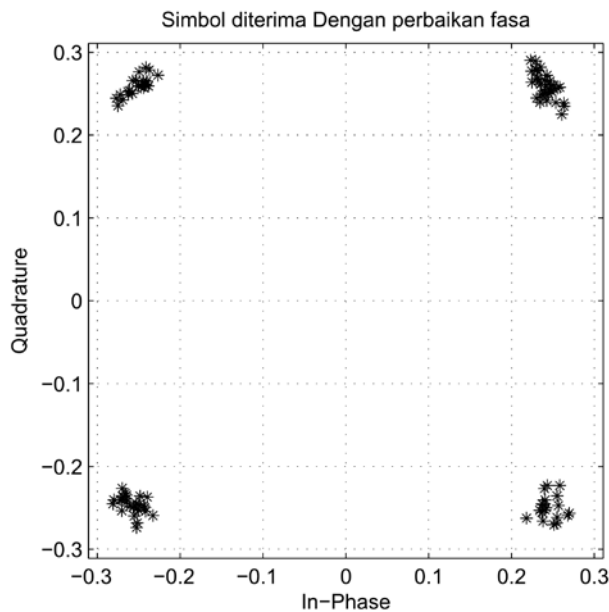


Gambar 4. Struktur frame sistem komunikasi. Informasi yang dikirimkan terdapat pada payload yang ditempatkan diantara channel estimator. Preamble hanya berfungsi pada estimasi titik sampel awal.

penerima. Berdasarkan besaran respon kanal yang diketahui, masing-masing simbol pada tiap cabang diversity akan dikalikan dengan konjugat dari respon kanal. Setelah itu, semua simbol akan dijumlahkan.

Secara umum, faktor pengali metode MRC dijabarkan pada persamaan 7. Simbol yang diterima, selain dilakukan penyeragaman fasa, akan dikalikan dengan *magnitude* dari respon kanal.

$$a_k = \frac{h_k^*}{\sigma_k^2} = \frac{|h_k| e^{-j\phi_k}}{\sigma_k^2} \tag{7}$$



Gambar 5. Hasil perbaikan fasa. Besaran fasa simbol-simbol diestimasi melalui pilot kemudian diperbaiki agar proses deteksi non-koheren bisa mendeteksi tanpa kesalahan akibat rotasi simbol.

C. Desain Referensi Sistem Komunikasi

Sebagai acuan dari desain sistem komunikasi, akan digunakan program yang dibuat oleh universitas Rice [3]. Dengan menggunakan WARP Lab pada Matlab, sistem komunikasi antara dua modul WARP bisa dilakukan. Referensi desain menggunakan algoritma mengacu terhadap sistem komunikasi SISO pada WARPLab versi 6.3, namun pada penerapannya digunakan versi 7. Diagram blok referensi desain sistem dapat dilihat pada gambar 2.3.

Penjelasan tentang cara kerja dari desain referensi sistem komunikasi adalah sebagai berikut. Pertama, Simbol acak akan dibangkitkan, kemudian dimodulasi dengan teknik modulasi *differential PSK*. Setelah itu, preamble akan ditambahkan pada bagian awal dari deretan simbol. Kemudian, sinyal akan dilewatkan melalui filter *square-root raised cosine*. Proses berikutnya, adalah *upconversion* sinyal ke frekuensi yang lebih tinggi. Hal ini dilakukan dengan mengalikan sinyal terhadap frekuensi sinusoid kompleks. Sebelum proses pengiriman melalui WARP, sinyal akan dinormalisasi untuk mengoptimalkan DAC yang terdapat pada WARP, sehingga nilai sinyal akan berada di range +1 dan -1. Kemudian, sinyal tersebut dikirimkan ke buffer transmiter melalui Ethernet. Proses transmisi akan berjalan setelah dikirimkan paket sinkronisasi ke node *transmitter* dan *receiver*.

Pengolahan sinyal yang diterima pada *node receiver* akan dijelaskan sebagai berikut. Pertama, Sinyal yang diterima akan melewati proses *downconversion*. Langkah ini akan mengalikan sinyal dengan konjugat dari frekuensi *upconversion*. Proses *downconversion*, tidak memperhitungkan fasa dari sinyal yang diterima terhadap fasa sinyal pengali. Kemudian, sinyal akan melalui proses *matched filtering* sebelum deteksi sinyal. Frekuensi tinggi yang

Tabel 2. Tabel Pengukuran Lingkungan Indoor

Parameter	Nilai
Bit terkirim	100000 bit
Rate Simbol	3,6364 Msym/dt
Frekuensi Upconvert	4,5 MHz
Orde filter SRRC	132, roll-off factor 0,7
Jarak antar antenna RX	60 cm
Jarak antenna RX ke TX	6 m
Modulasi	QPSK dengan fasa $\pm \frac{\pi}{4}$
Setting Gain WARP	-34,5 hingga -24 dBm
Jenis Obstacle	Papan Tulis

Gambar 6. Diagram posisi antenna pada pengukuran. Lokasi penempatan *obstacle* bervariasi tergantung dari skema percobaan. Misalnya pada salah satu percobaan, *obstacle* akan ditempatkan menghalangi salah satu jalur LoS

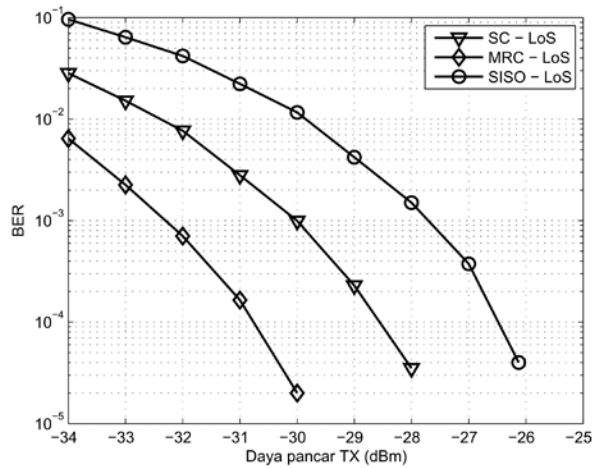
dihasilkan karena *downconversion* dihilangkan dengan *matched filtering*. Langkah berikutnya adalah proses *timing recovery* menggunakan preamble sinyal. Posisi simbol pertama akan dideteksi berdasarkan korelasi tertinggi terhadap preamble. Proses *downsampling* ditentukan setelah didapatkan posisi preamble berdasarkan nilai korelasi tertinggi.

Ada beberapa batasan sistem pada referensi desain. Berdasarkan hasil pengamatan, efek dari proses *downconvert* yang kurang sempurna akan berakibat pada rotasi konstelasi simbol yang dideteksi. Hal ini bisa diperhatikan pada *scatterplot* hasil deteksi, pada gambar 2.

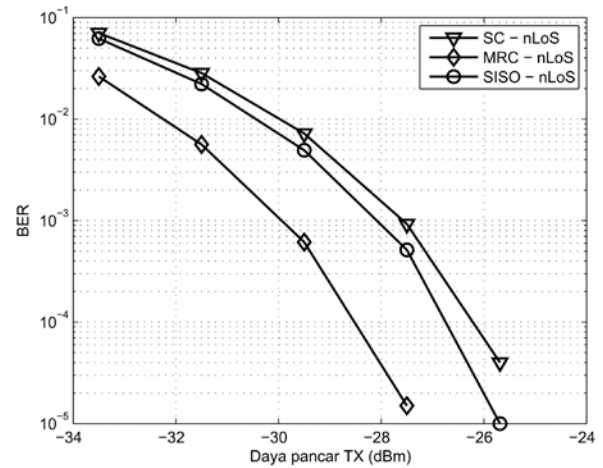
Untuk penggunaan teknik modulasi dengan deteksi non-koheren (misalnya, *Differential PSK*) hal ini tidak menjadi masalah, karena sinyal dideteksi berdasarkan perubahan fasa pada konstelasi. Namun, untuk deteksi koheren (misalnya, PSK), hal ini akan mengakibatkan error yang sangat besar [4]. Sehingga, untuk menggunakan sistem modulasi PSK, permasalahan terhadap rotasi fasa simbol harus diselesaikan.

D. Estimasi Kanal

Proses estimasi kanal dilakukan dengan metode pilot. Dalam ini, ada beberapa asumsi yang digunakan. Pertama, kanal indoor diasumsikan memiliki tipe flat fading. Kedua, jumlah tap pada kanal indoor bisa diasumsikan sama dengan satu, hal ini mengacu pada fakta bahwa kanal memiliki tipe flat fading. Ketiga, dengan jumlah tap satu, maka operasi



Gambar 7. Hasil pengukuran untuk kondisi LoS. Sistem komunikasi SIMO memiliki diversity gain yang signifikan terhadap SISO dengan skema SC mendapat diversity gain sekitar 2,25 dB dan MRC sebesar 4,5 dB untuk BER



Gambar 8. Hasil pengukuran untuk kondisi kedua antenna penerima terhalang. Skema combining MRC memiliki diversity gain sekitar 2 dB untuk BER sedangkan skema SC tidak memiliki diversity gain..

konvolusi antara simbol yang dikirimkan dengan kanal bisa disederhanakan menjadi operasi perkalian [1].

Pada pengiriman data melalui WARP, setiap beberapa simbol ditambahkan channel estimator atau pilot. Fungsi dari penambahan tersebut bertujuan untuk mengetahui respon kanal ketika proses komunikasi berlangsung. Pada penerima, nilai tchannel estimator sudah diketahui sebelumnya sehingga, respon kanal untuk simbol tersebut dapat diperkirakan.

Untuk mengetahui respon kanal untuk simbol-simbol lainnya bisa digunakan metode berikut. Jika diasumsikan bahwa respon kanal tidak berubah terlalu jauh antara titik-titik channel estimator, maka bisa dilakukan estimasi dengan interpolasi linear terhadap titik-titik channel estimator. Sehingga, respon kanal untuk semua simbol yang terdapat pada proses pengiriman bisa diketahui. Hasil estimasi kanal untuk seluruh simbol yang diterima bisa digunakan pada skema combining khususnya pada MRC dan EGC.

E. Implementasi Sistem Pada WARP

Tujuan dari proses desain adalah membuat sebuah sistem komunikasi antara dua node WARP dengan kemampuan mampu menggunakan modulasi PSK koheren sebagai dasar teknik modulasi digital; Melakukan proses estimasi kanal; memperbaiki fasa; mengirimkan jumlah bit banyak; mengurangi kemungkinan kesalahan deteksi simbol pada preamble.

1) Desain Frame

Desain frame untuk komunikasi melalui WARP mengacu pada batasan-batasan perangkat. Misalnya, ukuran *buffer* di WARP hanya sebanyak 2^{14} atau 16384 sampel dengan frekuensi sampling sebesar 40 MHz [8]. Proses desain frame memiliki tujuan untuk memastikan sistem komunikasi dapat mengirimkan informasi dengan batasan perangkat.

Desain frame komunikasi pada WARP dapat dilihat pada gambar 3. Kriteria pertama adalah menggunakan keseluruhan *buffer* pada WARP sehingga panjang maksimum frame ditentukan sebesar 16384 sampel. Karena komunikasi WARP menggunakan *trigger* melalui Ethernet untuk proses pengiriman dan penerimaan pada kedua node, maka perlu dialokasikan

ruang pada frame untuk mengatasi delay pada pengiriman *trigger*.

Struktur data yang dikirimkan pada frame terdiri dari preamble yang berfungsi untuk *timing recovery* dan payload yang merupakan data sebenarnya. Estimasi kanal dilakukan berdasarkan *channel estimator* yang terdapat pada payload. Posisi simbol yang digunakan untuk estimasi kanal diletakan dengan jarak tertentu diantara data yang dikirimkan.

2) Perbaikan fasa simbol

Estimasi respon kanal diketahui pada penerima. Sehingga, informasi ini bisa digunakan pada proses perbaikan fasa sebelum deteksi simbol. Pada gambar 2 dapat dilihat efek dari fasa yang tidak sinkron pada proses *downconversion*. Tujuan dari perbaikan fasa adalah mengembalikan kondisi simbol yang berotasi ke posisi awal yang paling mungkin.

Secara matematis, tiap-tiap simbol yang diterima dirumuskan pada persamaan 1. Sehingga, proses perbaikan fasa dapat dilakukan dengan operasi perkalian simbol terhadap konjugat dari respon fasa simbol.

$$y[n] = \hat{y}[n] e^{-j \arg \hat{h}_{ML}} \quad (8)$$

dengan \hat{h}_{ML} adalah estimasi respon kanal dan operasi \arg mengambil besaran fasa dari nilai estimasi tersebut. Pada gambar 4 dapat diamati simbol yang sama namun dengan proses perkalian berdasarkan persamaan 8.

Simbol yang dideteksi setelah proses perbaikan fasa memiliki konstelasi yang tidak mengalami rotasi. Hal ini memungkinkan bagi proses demodulasi koheren untuk mendeteksi simbol dengan tepat, tanpa mengalami kesalahan deteksi akibat rotasi simbol.

3) Metode Combining

Implementasi metode combining pada WARP dibuat berdasarkan persamaan 5 dan 7. Proses combining yang digunakan pada penelitian ini hanya dibatasi untuk metode SC dan MRC.

Metode SC memilih sinyal dengan nilai absolut terbesar dari dua simbol yang dibandingkan.

$$\hat{x} = \max(|y_{RX1}|, |y_{RX2}|) \quad (9)$$

Sedangkan untuk metode MRC, estimasi simbol yang diterima dijabarkan sebagai

$$\hat{x} = \frac{y_{RX1} h_1^* + y_{RX2} h_2^*}{|h_1|^2 + |h_2|^2} \quad (10)$$

III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil pengukuran-pengukuran berikut bertujuan untuk menganalisa kondisi lingkungan indoor. Parameter yang digunakan dapat dilihat pada tabel 2. Kondisi pengukuran yang dilakukan mengacu pada gambar 5.

Pada kondisi line-of-sight (LoS), tidak terdapat penghalang antara antenna pemancar dan penerima. Daya pancar diatur agar memiliki nilai -34 hingga -26 dBm. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 6. Untuk kondisi LoS pada semua penerima, skema SC mendapatkan nilai diversity gain sekitar 2,25 dB dibandingkan SISO. Sedangkan untuk metode MRC, nilai diversity gain didapatkan sekitar 4,25 dB. Proses pengamatan dilakukan pada nilai BER 10^{-3} .

Pada kondisi salah satu antenna penerima memiliki polarisasi yang berbeda dengan pemancar, sistem SIMO 1x2 tidak akan memiliki *diversity gain*. Dalam kondisi pengukuran, sistem SIMO kurang lebih memiliki performansi sama dengan SISO. O yang dijadikan acuan menggunakan RX-1 sebagai antenna penerima. Daya pancar yang digunakan berkisar antara $-33,5$ hingga -24 dBm. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 7.

Kondisi pengukuran lain yang dianalisa adalah ketika semua antenna penerima terhalang oleh obstacle. Berdasarkan hasil pengukuran yang ditunjukkan oleh gambar 7, dapat diamati bahwa metode SC dan SISO memiliki performansi hampir sama. Pada kondisi lingkungan indoor, skema SC tidak memiliki diversity gain apabila sistem tidak terdapat LoS ke antenna penerima. Sedangkan untuk skema MRC, terlihat untuk semua kondisi lingkungan indoor memiliki performansi lebih baik. Pada gambar 7, *diversity gain* metode MRC didapatkan sekitar 2 dB jika dibandingkan sistem komunikasi SISO pada BER sama dengan 10^{-3} .

IV. KESIMPULAN

Desain sistem komunikasi nirkabel bisa diterapkan dalam kerangka kerja WARPLab versi 7 dan digunakan sebagai program untuk mengukur performansi SIMO.

Pada kondisi LoS, metode SC memiliki nilai diversity gain sebesar 2 dB sedangkan MRC 4 dB. Pada kondisi LoS, skema MRC lebih unggul dibandingkan SC. Hal ini juga ditunjukkan pada kondisi salah satu antenna penerima terhalang. Metode SC memiliki *diversity gain* minimum sekitar 2,5 dB dan maksimum 5,5 dB. Sedangkan pada metode MRC memiliki *diversity gain* minimum sekitar 4,5 dB dan maksimum 7 dB. us dengan pemancar tidak akan memiliki kontribusi terhadap *diversity gain*

Pada kondisi semua antenna penerima terhalang, skema SC tidak memiliki *diversity gain* sedangkan skema MRC mendapatkan nilai diversity gain sebesar 2 dB.

Skema MRC secara keseluruhan memiliki besar diversity gain 1,5 hingga 2 dB lebih baik dibandingkan SC dan 2-7 dB lebih baik jika diukur terhadap SISO pada kondisi lingkungan indoor dan pada BER 10^{-3} . Namun perlu diperhatikan bahwa nilai-nilai ini hanya berlaku pada kondisi pengukuran tertentu yang terbatas pada penelitian ini. Tetapi hasil yang didapatkan



Gambar 9. Kondisi pengukuran Non-Line-of-Sight. Pada gambar dapat diamati posisi dari obstacle yang menghalangi kedua antenna penerima. Penempatan ini memberikan penurunan kurva BER terhadap daya pancar dan dapat diamati pada gambar 8

melalui pengukuran, dapat terlihat kecenderungan performa sistem komunikasi SIMO lebih baik dalam lingkungan indoor terhadap SISO.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Oestges, Claude and Clerckx, Bruno., MIMO Wireless Communications: From real-world propagation to space-time code design Oxford : Elsevier Ltd., 2007.
- [2] Hong, Y.-W. Peter; Kuo, C.-C. Jay; Huang, Wan-Jen, Cooperative Communications and Networking, Springer, 2010.
- [3] WARPLab 6 Framework Overview, WARP Project - Wireless Open Access Research Platform, <http://warpproject.org/trac/wiki/WARPLab6>, Januari, 2014.
- [4] Proakis, John G., Digital Communications., 4th ed. McGraw-Hill Science, 2000.
- [5] Madhow, Upamanyu, Fundamentals of Digital Communications. New York : Cambridge University Press, 2008.
- [6] WARP Project - Wireless Open Access Research Platform, <http://warp.rice.edu/trac/wiki/about>, Januari, 2014.
- [7] WARP Radio Board Overview, WARP Project - Wireless Open Access Research Platform, <http://warpproject.org/trac/wiki/HardwareUsersGuides/RadioBoard>, 1.4, Januari, 2014.
- [8] WARPLab 6 Specifications, WARP Project - Wireless Open Access Research Platform, <http://warpproject.org/trac/wiki/WARPLab6/Specifications>, Januari, 2014.