IMPLEMENTASI SISTEM KOMUNIKASI MIMO-OFDM SKEMA STBC ALAMOUTI BERBASIS WIRELESS OPEN ACCESS RESEARCH PLATFORM (WARP)

Mahmud Idris [1], Titiek Suryani [2], Suwadi [3]
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Surabaya, Indonesia 60111
Email: [1)] *Mahmud13@mhs.ee.its.ac.id*, [2)] *titiks@ee.its.ac.id*, dan [3)] *suwadi@ee.its.ac.id*

Abstrak- Pada sistem komunikasi *wireless/* nirkabel pita lebar terdapat dua permasalahan yang harus diatasi yaitu kanal fading lintasan jamak dan *efisiensi spektrum. Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) merupakan teknik transmisi *multi-carrier* yang dapat mengefisienkan *bandwidth*, dimana tiap frekuensi saling *orthogonal* sehingga memungkinkan *overlapping* antar spektrum sinyal pesan. Selain itu, OFDM dapat meminimalisasi bit error akibat kanal multipath fading frekuensi selekti. Sedangkan, teknik *Multi-Input-Multi-Output* (MIMO) memungkinkan terdapat kanal paralel independen dalam domain spatial dengan menggunakan skema *space-time block code* (STBC) *alamouti* akan diperoleh transmisi yang hadal dengan kecepatan data yang tinggi. Pada penelitian ini dilakukan implementasi sistem MIMO-OFDM dengan skema STBC *Alamouti* 2x2 pada *wireless open access research platform* (WARP), WARP termasuk dalam perangkat SDR (*Software Defined Radio*). SDR merupakan sistem pemancar dan penerima yang menggunakan pemrosesan sinyal digital untuk *coding, decoding*, modulasi dan demodulasi data. Kinerja sistem di ukur pada kondisi lingkungan *indoor* dan *outdoor* dengan menggunakan skema *line-of-sight* (LOS). Hasil dari pengukuran menunjukkan nilai pada BER = 10^{-3} didapat penghematan daya dBm pada sistem MIMO-OFDM. Pada lingkunagan *indoor* Sistem MIMO-OFDM memiliki keunggulan -8,5 dBm dan pada saat *outdoor* sistem MIMO-OFDM memiliki keunggulan 11,5 dBm dari teknik MISO-OFDM.

Kata Kunci: OFDM, MIMO, STBC, Transmit Diversity, Multicarrier, BER.

PENDAHULUAN

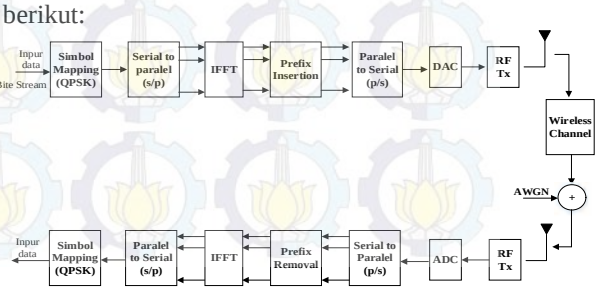
Pada sistem komunikasi nirkabel (*wireless*), transmisi sinyal dari pemancar ke penerima tidak bisa dihindarkan dari gangguan dan *noise* yang terdapat pada lingkungan sekitarnya atau dalam sistem komunikasi dinamakan adanya sinyal interferensi dan *fading*. Salah satu tenik yang bisa digunakan untuk mengatasi *multipath fading* adalah OFDM. OFDM merupakan teknik modulasi *multicarrier*, suatu teknik yang menggabungkan modulasi dengan multiplexing dimana antara *subcarrier* yang satu dengan yang lain saling tegak lurus (*ortoghonal*), Dengan adanya sifat *ortoghonal* maka *subcarrier* yang berdekatan dapat dibuat tumpang tindih (*overlapping*) sehingga tidak menimbulkan efek *intercarrier interference* (ICI). Penggunaan *bandwidth* akan menjadi lebih efisien. Kanal yang semula bersiafat *frequency selective fading* dengan penggunaan OFDM akan dirasakan seperti kanal *flat fading* oleh masing-masing *subcarrier*, sehingga pengaruh kanal *multipath fading* yang mengakibatkan *distorsi* berkurang [1], Selain itu, system OFDM dapat dikombinasikan dengan antena jamak MIMO yang akan meningkatan kualitas sinyal yang bagus dengan data rate yang tinggi dapat mengefisienkan daya dan bandwidth. MIMO merupakan solusi dalam komunikasi nirkabel untuk mengirim data secara paralel tanpa perlu menambah jumlah bandwidth, Yang prinsip kerjanya memperbanyak sinyal informasi yang di pancarkan untuk meningkatkan kenerja sistem komunikasi dan mengurangi error yang dapat terjadi akibat kanal transmisi. Semakin banyak antena yang digunakan pada bagian pengirim dan penerima, maka SNR dapat diperoleh secara maksimal sehingga akan diperoleh nilai BER yang kecil [2], dengan menggunakan skema STBC Alamouti yaitu skema pengkodean *spacetime* menggunakan 2 antena pemancar dan 2 antena penerima. STBC adalah teknik yang mengandalkan kode *orthogonality*, sehingga korelasi antara antena akan sangat kecil dan memiliki kualitas yang lebih baik dari pada sistem tanpa menggunakan STBC maka dapat mengurangi *error* [3].

Pada paper ini akan dilakukan Implementasi sistem komunikasi MOMO-OFDM STBC alamouti dengan modulasi QPSK yang perancangan sistem menggunakan matlab dan di implementasikan pada SDR yaitu WARP, Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan meanalisis kinerja teknik MIMO-OFDM yang di bandingan dengan sistem MISO-OFDM Keluaran yang akan di teliti adalah perbandingan nilai *bit error rate* (BER) vs daya pancar dalam kedaan indoor.

1. DASAR TEORI

a. OFDM

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan suatu teknik *multiplexing* yang membagi-bagi bandwidth menjadi beberapa frekuensi *sub-carrier*. OFDM merupakan bentuk khusus dari *multi-carrier modulation*. Secara umum, diagram blok transmisi sederhana OFDM adalah seperti ditunjukan pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. Blok diagram sistem OFDM

Pemancar dalam sistem OFDM terdiri dari masukan, pemetaan, serial-paralel, *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT), dan pengubah *paralel to serial*. Data masukan yang berupa data serial akan dimodulasi menggunakan teknik modulasi M-PSK. Data yang telah dimodulasi kemudian diubah ke dalam bentuk paralel pada blok serial to paralel dengan menghasilkan simbol-simbol secara paralel.

Simbol-simbol dalam bentuk paralel tersebut akan dilewatkan ke blok IFFT untuk menghasilkan simbol-simbol OFDM yang saling *orthogonal* satu sama lain. Konsep *orthogonal* adalah dengan membuat luas area positif sama dengan area negatif atau hasil integral dari sinyal tersebut adalah nol[4].

$$f\ t\ = \sin\ n\omega t\ \sin(m\omega t)$$

Diturunkan menjadi:

$$f\ t\ = \frac{1}{2}\ cos\ (m-n)\ \omega t\ -\ \frac{1}{2}\ \cos[(m+n]\omega t\}$$

Dimana:
n dan m = kostanta sinyal yang saling tegak lurus
$\omega = 2\pi f$; f = frekuensi sinyal *carrier* (Hertz)
Luas daerah (LA) dinyatakan dengan persamaan :

$$LA = \int_0^{2\pi} \frac{1}{2}\{\cos[(m-n)\,\omega t\} - \int_0^{2\pi} \frac{1}{2}\{\cos[(m+n)\,\omega t\}$$

Jika luas daerah adalah 0, maka sin $(n\omega t)$ dan sin $(m\omega t)$ saling *orthogonal* untuk nilai m dan n adalah *integer*. Kemudian passband dan baseband sinyal OFDM data *time domain* dapat dinyatakan sebagai berikut:

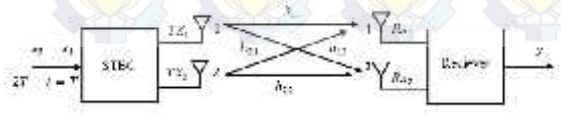
$$x_i\ t\ = \mathrm{Re}\ \frac{1}{T_{sym}} \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{N-1} X_i\ k\ \Psi_{i,k}\ (t)$$

$$x_i\ t\ = \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{N-1} X_i\ k\ e^{j2\pi f_k(t-iT_{sym})}$$

b. MIMO STBC Alamouti

Multiple Input Multiple Output (MIMO) merupakan cara pengiriman data degan menggunakan antena jamak pada sisi pengirim dan sisi penerima. Teknik MIMO dengan beberapa antena pemancar Tx_n dan antena penerima Rx_m, serta matriks kanal h_{mn}. Prinsip dari MIMO adalah memecah deretan simbol yang akan dikirimkan menjadi beberapa paralel deretan simbol, yang kemudian ditransmisikan secara bersamaan dengan *bandwidth* yang sama untuk meningkatkan kemampuan komunikasi dan mengurangi error yang dapat terjadi akibat kanal transmisi [5].

Skema transmisi *Space Time Block Code* (STBC) merupakan skema transmisi yang diperkenalkan oleh Alamouti pada tahun 1998. *Space Time Block Code* (STBC) adalah skema yang digunakan dalam teknik *transmit diversity* untuk mencapai *diversity gain* pada sistem MIMO.



Gambar 2. MIMO STBC Alamouti 2x2

Pada saat t, Tx1 memancarkan sinyal S1 dan Tx2 memancarkan sinyal S2, kemudian saat t+1, Tx1 memancarkan sinyal –S2* dan Tx1 memancarkan sinyal S1*. Tanda * merupakan operasi konjugat.

	T_{x1}	T_{x2}
t	s_1	s_2
$t+T$	$-s_2^*$	s_1^*

Sinyal yang diterima antena R_{x1} :

saat t: $y_{11} = h_{11}s_1 + h_{12}s_2 + n_1$

saat $t+T$: $y_{12} = h_{11}s_2^* + h_{12}s_1^* + n_1$

Sinyal yang diterima antena R_{x2} :

saat t: $y_{21} = h_{21}s_1 + h_{22}s_2 + n_2$

saat $t+T$: $y_{22} = h_{21}s_2^* + h_{22}s_1^* + n_2$

Sinyal-sinyal yang diterima pada saat t dan t+T, setelah dilakukan estimasi kanal, akan dikombinasikan untuk mendapatkan data yang sesuai dengan data terkirim. Untuk mendapatkan simbol s0 dilakukan proses terhadap sinyal-sinyal terima sesuai dengan persamaan berikut:

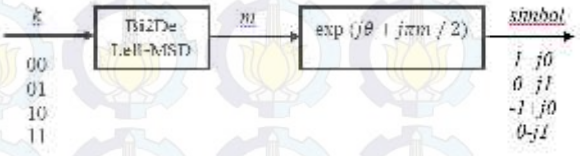
$$\tilde{S}_1 = h_1^* r_1 - h_2^* r_2^* = a_1^2 + a_2^2\ s_1 + h_1^* n_1 + h_2^* n_2^*$$

$$\tilde{S}_2 = h_2^* r_1 - h_1^* r_2^* = a_1^2 + a_2^2\ s_2 + h_1^* n_2^* + h_2^* n_1$$

2. METODE PENELITIAN

a. MIMO-OFDM SKEMA STBC ALAMOUTI PADA WARP

Untuk blok diagram sistem MIMO-OFDM STBC alamouti pada WARP dapat diperlihatkan pada Gambar 5, data masukan berupa deretan digit bit acak yaitu satu (1) dan nol (0). Bit-bit kemudian di memodulasikan menjadi satu simbol *M-ary*, Modulasi yang digunakan *quadrature phase shift keying* (QPSK) setiap dua bit informasi di *mapping* menjadi satu simbol. *Mapping* bit informasi dapat dilihat pada gambar 3 dan tabel 1 dimana ketentuan urutan bit *left-MSB*, modulasi menghasilkan deretan simbol dalam bentuk serial yang kemudian diparalelkan sebanyak *N* buah *subcarrier*.



Gambar 3. Blok *modulator QPSK*

Tabel 1.
Mapping modulasi QPSK

Bit Info (left-msb)	Simbol	Nilai Simbol
1+j0	00	1+j0
0+j1	01	0+j1
-1+j0	11	-1+j0

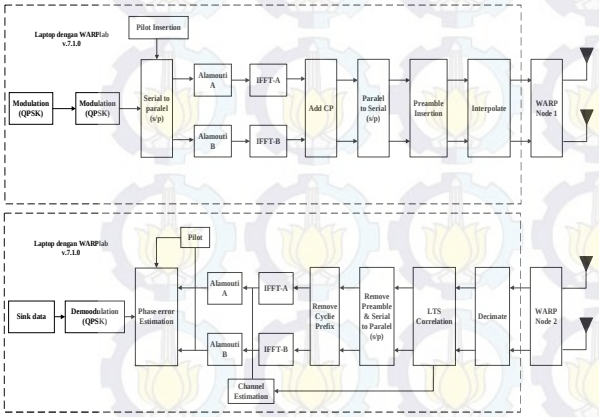
1-j1	10	1-j1

Simbol yang telah di modulasi di *encoder* menggunakan *encoder space time block code* (STBC) Alamouti sebelum dikirim melalui dua antena bersamaan, hasil *encoder* STBC seperti pada gambar 3, simbol-simbol yang telah di modulasi disisipi pilot pada semua *subcarrier*-nya sepanjang satu simbol, pilot disisipkan pada *time-slot* pertama pada masing-masing antena.

S_0	$-S_1^*$	S_2	$-S_3^*$	. . .	$S_{(n-1)}$	$-S_1^*$
S_1	S_0^*	S_3	S_2^*	. . .	S_n	$-S_{(n-1)}^*$

Gambar 3. Simbol encoder STBC dua antena

Kemudian data disisipi pilot, dimna Satu pilot mengetimasi nilai respon kanal dari semua simbol yang dikirim. Simbol-simbol yang telah disisipkan pilot akan di proses oleh IFFT sebanyak M buah *subcsrrier* (sesuai dengan *size* FFT sebanyak M buah *subcarrier* sehingga dihasilkan simbol-simbol OFDM dalam domain waktu dengan ukuran 64 yang berisi 48 data, 4 pilot dan yang lainnya kosong. Setelah proses IFFT selanjutnya disisipkan *cyclic prefix* (CP) dengan ukuran ¼ dari satu simbol OFDM dimana satu simbol berukura 16, kemudian di tambahkan *preamble* pada deretan simbol untuk masing-masing *space domain* di setiap masing-masing antenna. Penambahan *preamble* dapat di lihat pada gambar 5. Simbol yang telah di tambah *preamble* kemudian di *upsample* di setiap simbol kemudain di *filter* menggunkan *filter square root raised cosine* (SRRC), hasil dari SRRC di *upconvert* ke frekuensi 5 MHz. kemudian sinyal dinormalisasi untuk mengoktimalkan *Digital to Analog Converter* (DAC) yang terdapat pada *test-bed* WARP sehingga sinyal sinyal menjadi sinyal analog dengan *range* +1 dan -1. Sinyal kemudian di kirim ke *buffer* WARP. WARP mentransmisikan sinyal menggunakan kanal real dari node transmitter ke node receiver.



Gambar 4. sistem MIMO-OFDM STBC alamouti 2x2 pada WARP

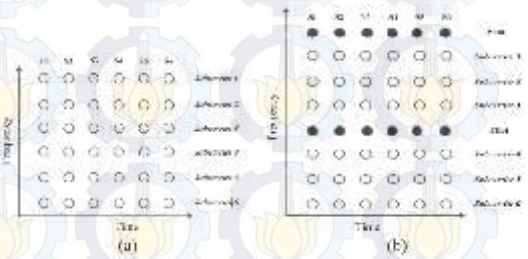
Proses pada penerima adalah kebalikan dari proses yang dilakukan pada pemancar, sinyak yang diterima diubah ke digital menggunakan ADC kemudian di teruskan ke *buffer* kemudian sinyal di *matched filter* untuk mengembalikan sinyal ke bentuk pulsa *raised cosine* seperti pada *transmitter*, kemudian sinyal dilakukan sinkronisasi *preamble* dengan memilih nilai korelasi tertinggi antara *sample preamble* yang di pemancar dengan *sample* sinyal keluaran *matched filter* di penerima. Dimana nilai korelasi tertinggi menunjukan posisi awal dari *preamble*. Kemudian awal *preamble* di tambah dengan panjang *sample preamble* untuk mengetahui posisi awal deretan data (*pilot* dan simbol). Deretan data yang telah diketahui di *down-sample*, kemudian dilakukan estimasi kanal dan menetukan awal dari *frame* OFDM yang pertama didapat pada penerima dengan melakukan *cross correlation* antara *preamble* yang di penerima dengan LTS pada pemancar [6]. Rumus untuk persamaan *cross correlation* :

$$C\,n = \sum_{L=0}^{M} \sum_{k=1}^{N} r(t^* + k + n)s^*(t^*N + k)$$

Dimana r adalah keseluruhan *preamble* pada penerima, s merupakan satu buah LTS, N merupakan panjang data OFDM dan M merupakan jumlah dari LTS yang di *cross correlation*. Setelah itu dilakukan proses menghapus nilai CP sebelum diubah menjadi bentuk serial dan selanjutnya Sampel yang diterima dalam domain waktu didemodulasi oleh FFT sehingga dihasilkan simbol-simbol OFDM dalam domain frekuensi Setelah proses FFT dilakukan maka langkah selanjutnya yaitu proses equalizer dimana proses ini bertujuan untuk mengatasi nilai magnitudo dan respon fasa yang rusak [7]. Untuk mengatasi nilai magnitude menggunakan hasil dari cross-corelation sementara untuk mengatasi respon fasa menggunakan pilot. Setelah proses equalizer, maka data informasi akan melalui proses demodulasi sehinggga didapatkan kembali deretan bit yang dikirimkan oleh pemancar.

b. Estimasi Kanal

Proses estimasi kanal ini dilakukan dengan menyisipkan pilot pada data yang ditransmisikan. Penyusunan letak pilot yang digunakan untuk melakukan estimasi kanal ada dua tipe, yaitu susunan tipe blok dan susunan tipe *comb*. Pada penelitian ini hanya digunakan penyusunan pilot tipe *comb* dengan metode cross correlation bertujuan untuk melakukan estimasi kanal dan juga menetukkan awal dari *frame* OFDM yang pertama. Setiap *symbol* OFDM memiliki *symbol pilot* pada *subcarrier-subcarrier* yang ditempatkan secara periodic, yang mana digunakan



untuk interpolasi dalam domain frekuensi untuk estimasi kanal sepanjang sumbu frekuensi. Tipe susunan Pilot ini cocok untuk kanal *fast fading* tetapi tidak untuk kanal *frequency selective*. Susunan pilot tipe *comb* digambarkan seperti gambar 5.

Gambar 5. Susunan simbol (a) sebelum disisipi simbol pilot (b) setelah disisipi simbol pilot tipe comb

c. Parameter Pengukuran

Dalam sistem MIMO-OFDM STBC alamouti digunakan beberapa parameter untuk dapat menjalankan sistem

tersebut pada WARP Parameter yang digunakan seperti pada Tabel 2.

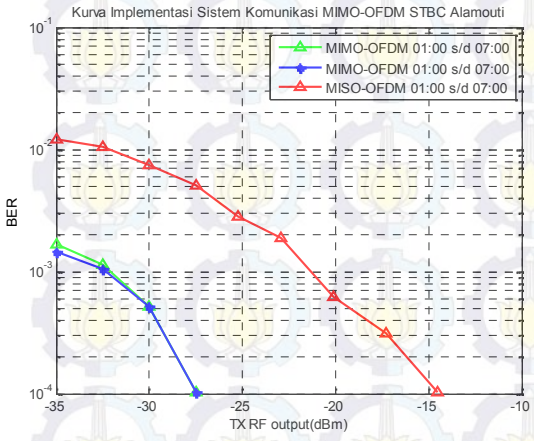
Tabel 2.
Parameter pengukuran

Parameter	Nilai
Bit rate	24 Mbps
QPSK *Symbol rate per carrier* (baud rate)	12 MBd
Jumlah *subcarrier*	64 (48 data + 4 p ilot)
OFDM *symbol rate*	250 kBd
Ratio *cyclic prefix*	25 %
Bit Terkirim	16384 bit
Jarak *node* Tx dan Rx	Bervariasi
Setting Gain pada WARP: - Tx *Baseband*: - Tx RF: - Rx Baseband: - Rx RF:	 3 0- 60 (-35 d Bm s/d -4.7 d Bm) 22 2
Jenis *Obstacle*	Jaring - jaring kawat

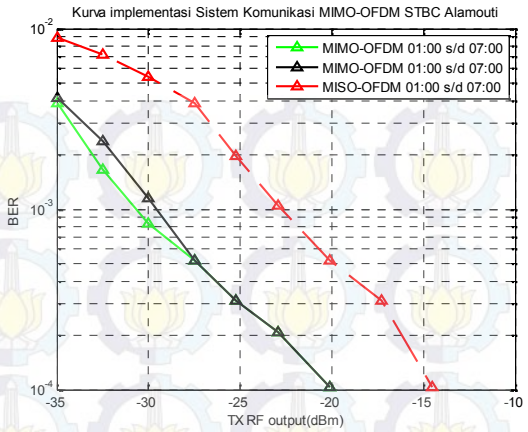
3. Hasil Pengukuran

Pengukuran kenerja sistem dibandingkan dalam dua kondisi pengukuran yang berbeda yaitu pada kondisi *indoor* dan *outdoor* dengan skema *line-of-sight*. Hasil pengukuran-pengukuran yang dilakukan bertujuan untuk menganalisis *performance* dari sistem MIMO-OFDM STBC alamouti yang dibandingkan dengan sistem MISO-OFDM STBC alamouti. Parameter yang digunakan dapat dilihat pada tabel 2.

Hasil pengukuran indoor dan outdoor pada jarak 4 meter dalam kondisi LOS. Pada kondisi indoor diperlihatkan pada gambar 6. Dapat dilihat. Pada gambar tersebut terlihat dengan jelas bahwa kenerja sistem MIMO-OFDM lebih baik jika di bandingkan dengan MISO-OFDM karena saat daya pancar -22.9375 dBm nilai BER untuk sistem MIMO-OFDM sudah 0 sedangkan sistem MISO-OFDM bernilai $2.8x10^{-2}$. pada saat outdoor tidak jauh berbeda dengan kondisi indoor. Kondisi outdoor dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 6. Pada kondisi Indoor



Gambar 7. Pada kondisi outdoor

Sementara untuk perbandingan kondisi indoor dan outdoor untuk sistem MIMO-OFDM tidak jauh berbeda meskipun untuk daya pancar -27.5 dBm nilai BER untuk indoor $5.21x10^{-3}$ dan pada saat outdoor bernilai $1.146x10^{-2}$. Hal ini terjadi bisa dikarenakan pada saat indoor terdapat *obstacle* yang ada dalam ruangan.

4. KESIMPULAN

Pada sistem MIMO-OFDM STBC alamouti yang diimplementasikan pada WARP sangat di butuhkan proses estimasi kanal pada penerima untuk mengatasi error pada kanal *real*. Kenerja MIMO-OFDM dan MISO-OFDM untuk kondisi indoor dan outdoor tidak jauh berbeda. Sementara perbandingan kenerja MIMO-OFDM dengan MISO-OFDM pada saat kondisi indoor dan outdoor tampak jelas perbandingannya contoh saat indoor sistem MIMO-OFDM lebih baik jika di bandingkan dengan MISO-OFDM karena saat daya pancar -22.9375 dBm nilai BER untuk sistem MIMO-OFDM sudah 0 sedangkan sistem MISO-OFDM bernilai $2.8x10^{-3}$, dan outdoor sistem MIMO-OFDM daya pancar -14.5 dBm nilai BER bernilai 0 untuk sistem MISO-OFDM bernilai $5.21x10^{-3}$. Dari pengukuran tersebut teknik MIMO-OFDM dapat dikatakan memiliki kenerja yang baik untuk diterapkan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Uma Shanker Jha and Ramjee Prasad. *OFDM Towards Fixed and Mobile Broadband Wireless Access*. Artech House. London. 2007.

[2] Gesbert, David et al. From Theory to Practice: An Overview of MIMO Space-Time Coded Wireless Systems. Tutorial Paper. IEEE Journal On Selected Areas In Communication. Oslo University. Norway. 21:p. 3. 2003.

[3] SM, Alamouti. *A simple transmit diversity technique for wireless communications*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 16:p. 1451-1458. 1998.

[4] Hwang, Taewon., Chenyang Yang., Gang Wu., Shaoqian Li., Geoffrey Ye Li., "OFDM and Its Wireless Applications: A Survey", IEEE Transactions On Vehicular Technology, vol. 58, no. 4, Mei 2009

[5] Ezio Biglieri, et al, "*MIMO Wireless Communications*," Cambridge University Press, New York, 2007.

[6] Hwang, Taewon., Chenyang Yang., Gang Wu., Shaoqian Li., Geoffrey Ye Li., "OFDM and Its Wireless Applications: A Survey", IEEE Transactions On Vehicular Technology, vol. 58, no. 4, Mei 2009

[7] Vercimak, Luke., Karl Weyeneth., "Software Defined Radio", Bradley University.