

EVALUASI KINERJA DIVERSITAS BERBASIS STBC (*SPACE TIME BLOCK CODE*) MENGGUNAKAN METODE ESTIMASI KANAL MMSE (*MINIMUM MEAN SQUARE ERROR*)

Rosyid Haryadi^{*)}, Imam Santoso, and Ajub Ajulian Zahra

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}*E-mail: macrocephalon.maleoo@gmail.com*

Abstrak

Telekomunikasi nirkabel sangat rentan terhadap gangguan seperti derau dan interferensi. Adanya lintasan jamak pada sinyal dapat menimbulkan terjadinya fading yaitu naik turunnya level sinyal yang diterima karena sinyal yang diterima berinterferensi dengan sinyal yang mengalami tundaan. Fading mengakibatkan turunnya kinerja sistem telekomunikasi yang ditandai dengan tingginya BER (Bit Error Rate). Salah satu cara untuk mengatasi fading ini adalah dengan menggunakan teknik diversitas berbasis STBC. Teknik diversitas STBC menggunakan lebih dari satu antena dan mengirim salinan data yang sudah dikodekan secara simultan. Pada sisi penerima akan dilakukan decoding untuk mendapatkan kembali data yang dikirimkan. Proses decoding ini membutuhkan informasi respon kanal. Informasi keadaan kanal ini dapat diperoleh dengan estimasi. Metode yang lazim dipakai untuk estimasi adalah MMSE (Minimum Mean Square Error). Teknik STBC sendiri memiliki beberapa bentuk, diantaranya STD (Simple Transmit Diversity), EA, (Extended Alamouti), dan QOSTBC (Quasi Orthogonal Space Time Block Code). Pada tugas akhir ini dilakukan simulasi untuk mengetahui kinerja sistem diversitas berbasis STBC ini menggunakan metode estimasi kanal MMSE. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kinerja sistem STD lebih baik dari sistem tanpa diversitas dengan selisih 15dB untuk target BER 10^{-4} . Sedangkan Extended Alamouti EA hanya sedikit lebih baik dari sistem STD, yaitu berselisih sekitar 1 dB. QOSTBC lebih baik dari STD dan EA pada nilai SNR yang rendah yaitu nilai SNR di bawah 25 dB, di atas tingkat SNR tersebut, STD dan EA lebih unggul ditandai dengan nilai BER QOSTBC yang lebih rendah.

Kata Kunci : Space Time Block Code, Simple Transmit Diversity, Extended Alamouti, Quasi Orthogonal STBC, Minimum Mean Square Error

Abstract

Wireless telecommunication is very susceptible to disturbance such as noise and interference. The existence of multipath on signal propagation can cause fading, that is the fluctuation of the received signal level due to interference with the delayed signal. Fading causes a decline on the performance of the telecommunication system that is characterized by high BER (Bit Error Rate). One way to mitigate this phenomenon is to use diversity techniques based on STBC. STBC diversity technique uses more than one antenna and sends copy of the data that has been encoded, simultaneously. Receiver will decode to recover the transmitted data. The decoding process requires channel response information. This channel state information can be obtained by estimation. Common used method for estimation is MMSE (Minimum Mean Square Error). STBC technique itself has several kinds, those are STD (Simple Transmit Diversity), EA (Extended Alamouti), and QOSTBC (Quasi Orthogonal Space Time Block Code). In this final project simulation conducted to determine the performance of STBC-based diversity system using MMSE channel estimation method. The results show that the performance of the STD system is better than system without diversity with difference about 15dB for BER target 10^{-4} . While Extended Alamouti is only slightly better than the STD system, about 1dB. QOSTBC is better than STD and EA at low SNR below 25dB, above that level, STD and EA are more superior.

Keyword : Space Time Block Code, Simple Transmit Diversity, Extended Alamouti, Quasi Orthogonal STBC, Minimum Mean Square Error

1. Pendahuluan

Fading merupakan deviasi dari pelemahan sinyal karena melewati suatu kanal nirkabel. *Fading* sendiri dapat

terjadi karena adanya shadowing, yaitu lintasan sinyal terhalang oleh suatu benda. *Fading* juga dapat dikarenakan adanya lintasan jamak. *Fading* dapat menurunkan kinerja suatu sistem telekomunikasi, oleh

karena itu dilakukan berbagai cara untuk memitigasi efek dari *fading* ini. Salah satu metode yang dapat dilakukan adalah dengan diversitas. Diversitas pada pemancar yang umum diterapkan adalah *Space-Time Block Code* (STBC). Ada beberapa teknik diversitas yang berbasis pada STBC, yaitu *Simple Transmit Diversity* (STD), *Extended Alamouti* (EA), serta *Quasi Orthogonal Space-Time Block Code* (QOSTBC).

Telah dilakukan penelitian sebelumnya untuk mengevaluasi kinerja masing masing teknik diversitas berbasis STBC^[9]. Akan tetapi dalam penelitian tersebut diasumsikan sistem mengetahui keadaan kanal secara sempurna. Pada kenyataannya, dibutuhkan suatu estimator kanal.

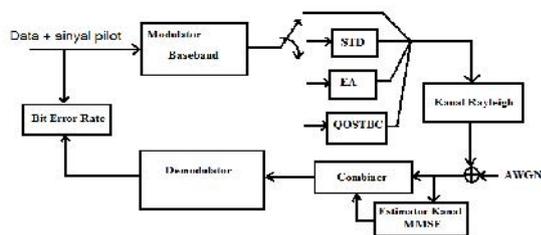
Pada tugas akhir ini dilakukan penelitian mengenai kinerja diversitas berbasis STBC dengan penerima menggunakan estimator kanal jenis *Minimum Mean Square Error* (MMSE).

Adapun tujuan yang hendak dicapai dari pembuatan Tugas Akhir ini adalah mengevaluasi kinerja masing masing diversitas berbasis STBC, diantaranya STD, EA, serta QOSTBC dengan estimator kanal MMSE.

2. Metode

2.1. Diagram Blok Simulasi

Pada tugas akhir ini dilakukan simulasi untuk menilai kinerja berbagai sistem diversitas pemancar berbasis STBC, diantaranya sistem *Simple Transmit Diversity* (STD) 2x1, *Extended Alamouti* 3x1 (EA), serta *Quasi Orthogonal STBC* (QOSTBC) 4x1. Ketiga sistem ini akan digunakan pada lingkungan dengan kanal *fading* Rayleigh. Sehingga secara umum, simulasi ini dapat digambarkan dengan diagram berikut.



Gambar 1. Diagram blok simulasi

2.2. Parameter Simulasi

Parameter yang digunakan dalam simulasi sistem berbasis STBC dalam tugas akhir ini terangkum dalam tabel 3.1 di bawah ini

Tabel 1 Parameter simulasi

Parameter	Nilai
Jumlah simbol data dipancarkan	10000 simbol
Modulasi	16QAM
Jumlah antena pemancar	1,2,3, dan 4
Jumlah antena penerima	1
Range SNR	0-40dB
Model kanal	Rayleigh fading+ AWGN
Estimator kanal	MMSE
Frekuensi pilot	10

2.3. Metode Jakes Untuk Kanal Rayleigh

Model kanal yang digunakan adalah model kanal *fading* Rayleigh. Sedangkan pendekatan yang dilakukan menggunakan metode Jakes.

Metode Jakes adalah simulator *fading* yang termasuk pada jenis *sum-of-sinusoid*, yang menggunakan superposisi dari banyak gelombang sinusoid yang memiliki fase acak.

Model Jakes mengasumsikan terdapat N buah sinar datang dengan sudut yang terdistribusi seragam, α_n sedemikian rupa sehingga sinar ke n mengalami geseran Doppler $\omega_n = \omega_m \cos(\alpha_n)$, dengan ω_m adalah geseran Doppler maksimum.

2.4. Estimator Kanal MMSE

Agar dapat mengetahui keadaan kanal, akan digunakan metode estimasi kanal MMSE.

Pemancar akan mengirim sinyal pilot yang telah diketahui oleh penerima. Penerima kemudian mengestimasi kanal melalui sinyal pilot ini. Misalkan simbol pilot yang dipancarkan adalah x_k , $\tilde{n}(t)$ adalah derau Gaussian kompleks, $g(t)$ respon impuls kanal, dan y_k adalah simbol pilot yang diterima.

Estimasi dari g berdasarkan metode MMSE adalah sebagai berikut^[7]:

$$\tilde{g}_{MMSE} = R_{gy} R_{yy}^{-1} y \quad (1)$$

Dengan R_{gy} dan R_{yy} adalah matrik kovarian silang dan matrik autokovarian, dirumuskan sebagai berikut:

$$R_{gy} = E\{gy^H\} = R_{gg} F^H X^H$$

$$R_{yy} = E\{yy^H\} = XFR_{gg}F^H X^H + \Gamma_n^2 I_N \quad (2)$$

Γ_n^2 adalah variansi noise Gaussian dan F merupakan matrik DFT

Sehingga dalam kawasan frekuensi menjadi

$$\hat{h}_{MMSE} = F \tilde{g}_{MMSE} = F Q_{MMSE} F^H X^H y \quad (3)$$

2.5. Permodelan Single Input Single Output (SISO)

Pada sistem SISO yang akan dijadikan pembanding, hanya terdapat satu antena pemancar dan satu antena penerima. Sistem ini tidak memanfaatkan teknik diversitas.

Pertama akan dibangkitkan data sejumlah 1×10^4 simbol Data tersebut kemudian dipetakan ke dalam simbol simbol 16QAM dan ditambahkan sinyal pilot.

Sinyal pilot yang dipilih adalah $3 + 3i$ karena dalam diagram konstelasi tampak sinyal tersebut memiliki energi tertinggi, sehingga membesar nilai SNR

Kemudian, data termodulasi yang telah disisipi sinyal pilot, dikirimkan ke penerima dengan dilewatkan melalui kanal Rayleigh *fading* dan ditambah dengan derau AWGN.

Pada penerima, mula mula sinyal pilot diekstrak dengan fungsi *extractpilot()*. Sinyal pilot yang diterima ini kemudian diumpankan ke fungsi *MMSE()* untuk mengestimasi keadaan kanal. Selanjutnya dilakukan demodulasi pada sinyal diterima.

2.6. Permodelan Sistem Simple Transmit Diversity (STD)

Pada STD, dua sinyal dikirimkan secara bersamaan dalam satu periode simbol melalui dua antena, yaitu s_0 di antena 0 dan s_1 di antena 1^[1]. Pada periode simbol setelahnya, dikirimkansinyal $-s_1^*$ di antena 0 dan s_0^* di antena 1, sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 Pemancaran simbol pada pengkodean STD

	Antena 0	Antena 1
Waktu t	s_0	s_1
Waktu $t+1$	$-s_1^*$	s_0^*

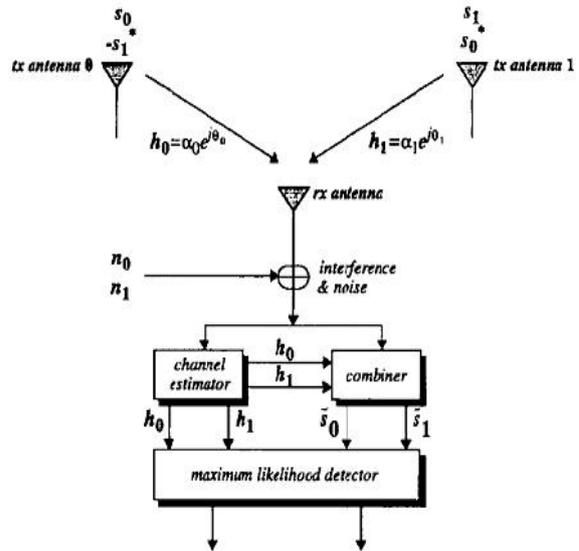
Sinyal yang diterima dapat ditulis sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 r_0 &= r(t) = h_0s_0 + h_1s_1 + n_0 \\
 r_1 &= r(t+T) = -h_0s_1^* + h_1s_0^* + n_1
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Selanjutnya sinyal ini akan memasuki combiner dengan keluaran sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \tilde{s}_0 &= h_0^*r_0 + h_1r_1^* \\
 \tilde{s}_1 &= h_1^*r_0 - h_0r_1^*
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Sinyal yang telah digabungkan ini diumpankan ke *maximum likelihood detector* untuk memutuskan sinyal apa yang telah dikirim dari pemancar.



Gambar 2 Skema sistem STD

2.7. Extended Alamouti (EA)

Extended Alamouti adalah perluasan sistem STD dengan tiga antena pemancar dengan satu antena penerima. EA menggunakan matriks transmisi sebagai berikut

$$VA = \begin{bmatrix} s_0 & s_1 & s_1 \\ -s_1^* & s_0^* & s_0^* \end{bmatrix}
 \tag{6}$$

Setelah memasuki *combiner*, sinyal menjadi

$$\begin{aligned}
 \tilde{s}_0 &= h_0^*r_0 + (h_1 + h_2)r_2^* \\
 \tilde{s}_1 &= (h_1^* + h_2^*)r_1 - h_1r_2^*
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Seperti pada STD, sinyal yang sudah digabungkan akan menuju ke *ML detector*.

2.8. Quasi Orthogonal Space Time Block Code (QOSTBC)

Dengan melonggarkan syarat ortogonal dan tetap menjaga laju kode satu, dapat dibentuk suatu matrik kode untuk empat antena pemancar, skema ini disebut *Quasi Orthogonal Space Time Block (QOSTBC)*^[3]. Pada prinsipnya ada matriks ortogonal untuk empat dan delapan antena pemancar, seperti dibuktikan oleh Tarokh^[6], akan tetapi matriks ini memiliki elemen elemen real saja, sehingga hanya dapat diterapkan untuk modulasi BPSK dan tidak bisa untuk modulasi kompleks seperti QPSK atau QAM.

Matrik QOSTBC dibangun dari empat matrik STD, sehingga didapat enam belas elemen. Matrik transmisi untuk QOSTBC adalah

$$A = \begin{bmatrix} A_{12} & A_{34} \\ -A_{34}^* & A_{12}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ -x_2^* & x_1^* & -x_4^* & x_3^* \\ x_3^* & -x_4^* & x_1^* & x_2^* \\ x_4 & -x_3 & -x_2 & x_1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Dibutuhkan dua buah ML detector. ML detector memilih nilai yang meminimalkan f_{14} dan f_{23} , secara bersamaan. Sedangkan f_{14} dan f_{23} sendiri adalah

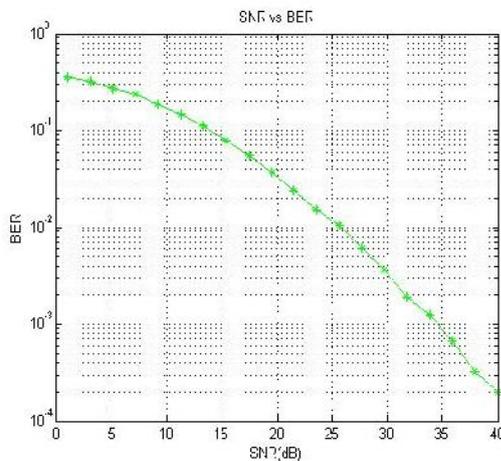
$$f_{14}(x_1, x_4) = \sum_{m=1}^M \left(\left(\sum_{n=1}^4 |r_{n,m}|^2 \right) (|x_1|^2 + |x_4|^2) + 2 \operatorname{Re} \left((-r_{1,m} r_{1,m}^* - r_{2,m}^* r_{2,m} - r_{3,m}^* r_{3,m} - r_{4,m} r_{4,m}^*) x_1 + (-r_{4,m} r_{1,m}^* + r_{3,m}^* r_{2,m} + r_{2,m}^* r_{3,m} - r_{1,m} r_{4,m}^*) x_4 - (r_{1,m} r_{4,m}^* - r_{2,m}^* r_{3,m} - r_{2,m} r_{3,m}^* + r_{1,m}^* r_{4,m}^*) x_1 x_4^* \right) \right)$$

$$f_{23}(x_2, x_3) = \sum_{m=1}^M \left(\left(\sum_{n=1}^4 |r_{n,m}|^2 \right) (|x_2|^2 + |x_3|^2) + 2 \operatorname{Re} \left((-r_{2,m} r_{1,m}^* + r_{1,m}^* r_{2,m} - r_{4,m}^* r_{3,m} + r_{3,m} r_{4,m}^*) x_2 + (-r_{3,m} r_{1,m}^* - r_{4,m}^* r_{2,m} + r_{1,m}^* r_{3,m} - r_{2,m} r_{4,m}^*) x_3 + (r_{2,m} r_{3,m}^* - r_{1,m}^* r_{4,m} - r_{1,m} r_{4,m}^* + r_{2,m}^* r_{3,m}^*) x_1 x_4^* \right) \right) \quad (9)$$

3. Hasil dan Analisa

3.1 Sistem Tanpa Diversitas

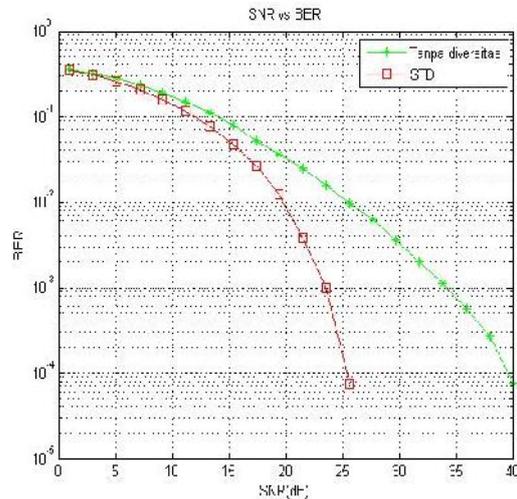
Sebagai pembandingan, disimulasikan sistem tanpa diversitas. Grafik hasil pengujian sistem tanpa diversitas ini terlihat pada gambar 3 di bawah ini. Sumbu mendatar menyatakan peningkatan SNR, sementara sumbu tegak menyatakan nilai BER yang didapat dengan nilai SNR yang bersesuaian.



Gambar 3 Hasil Pengujian Sistem Tanpa Diversitas

3.2. Simulasi Kinerja Simple Transmit Diversity (STD)

Grafik hasil simulasi sistem STD ditunjukkan oleh gambar 4. Pada gambar yang sama juga ditampilkan hasil simulasi sistem tanpa diversitas

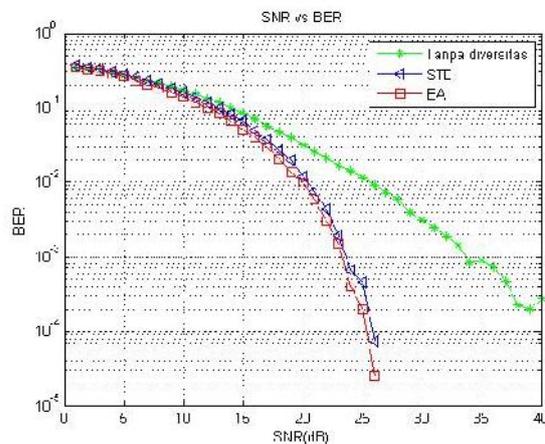


Gambar 4 Hasil simulasi sistem STD

Pada gambar terlihat jelas bahwa kinerja sistem yang menggunakan STD lebih baik daripada sistem tanpa diversitas. Dengan target BER sebesar 10^{-4} , sistem tanpa diversitas mencapai target pada nilai SNR 40 dB, sementara STD pada nilai SNR 25 dB. Maka kinerja STD lebih baik dari sistem tanpa diversitas sebesar 15dB.

Ditinjau dari sisi penggunaan daya, meskipun sistem STD menggunakan dua buah antenna pemancar, akan tetapi daya dibagi dua, sehingga daya total yang dipancarkan sistem STD sama dengan sistem dengan diversitas.

3.3. Simulasi Sistem Extended Alamouti

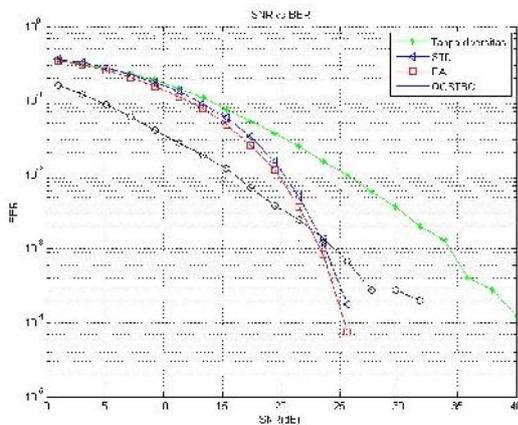


Gambar 5 Hasil simulasi sistem EA

Dari gambar di atas tampak bahwa tidak terjadi peningkatan kinerja yang signifikan dalam penggunaan sistem EA dibanding dengan STD. Sebagai contoh, dengan target BER 10^{-4} selisih SNR yang diperlukan antara sistem STD dengan EA hanya sekitar 1 dB. Dari sini dapat dikatakan bahwa penggunaan konfigurasi antenna 3x1 menggunakan pengkodean EA tidaklah efisien

3.4. Simulasi Sistem *Quasi Orthogonal Space Time Block Code* (QOSTBC)

Hasil simulasi kinerja sistem QOSTBC dibandingkan dengan sistem berbasis STBC lain, serta tanpa diversitas adalah sebagai berikut



Gambar 6 Hasil simulasi QOSTBC

Dari hasil simulasi, sistem QOSTBC memiliki kinerja lebih baik dibanding dari STD dan EA pada tingkat SNR yang rendah, sedangkan ketika SNR meningkat, STD dan EA menunjukkan keunggulan. Sebagai pembandingan, pada tingkat BER 10^{-2} sistem QOSTBC mampu memberikan gain sebesar 5 dB terhadap STD. Akan tetapi pada level SNR 23 dB, kurva QOSTBC mulai berpotongan dengan kurva STD dan EA.

Pada penerima, proses decoding QOSTBC lebih rumit dibandingkan dengan STD dan EA, selain itu juga dibutuhkan dua buah combiner, hal ini tentunya menambah cost. Akan tetapi kerumitan dan cost yang lebih tinggi ini sebanding dengan peningkatan kinerja dari sistem jika sistem tersebut ditempatkan pada lingkungan dengan tingkat derau yang tinggi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Secara umum penggunaan diversitas berbasis STBC menunjukkan adanya peningkatan kinerja sistem yang ditandai dengan kebutuhan SNR yang lebih rendah untuk target BER yang sama, sebagai contoh untuk mencapai target BER 10^{-4} STD hanya memerlukan level SNR sebesar 25 dB, sementara ketika sistem tidak menggunakan diversitas memerlukan 40dB
2. Kinerja sistem *Simple Transmit Diversity* (STD) lebih baik dari sistem tanpa diversitas dengan selisih 15dB untuk target BER 10^{-4} .
3. Kinerja sistem *Extended Alamouti* (EA) hanya sedikit lebih baik dari sistem STD, yaitu berselisih sekitar 1 dB.
4. Kinerja sistem QOSTBC lebih baik dari STD dan EA pada nilai SNR yang rendah yaitu nilai SNR di bawah 25 dB, di atas tingkat SNR tersebut, STD dan EA lebih unggul ditandai dengan nilai BER QOSTBC yang lebih rendah.

Referensi

- [1]. Alamouti, S.M. "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communication", IEEE, JSAC, vol.16 no.8, 1998
- [2]. Cho, Y.S., J. Kim, W.Y. Yang, C.G. Kang, "MIMO-OFDM Wireless Communication With MATLAB", John Wiley & Sons Pte Ltd, 2010
- [3]. Goldsmith, Andrea, "Wireless Communications", New York: Cambridge University Press, 2005
- [4]. H. Jafarkhani, "A Quasi-Orthogonal Space-Time Block Code", IEEE Trans.Comm., vol. 49, no. 1, pp.1-4, Jan 2001.
- [5]. Haykin, Simon, "Communication Systems-4th Edition", New York: John Willey&Sons, 2001.
- [6]. Nuzulia, Grifina, "Estimasi Kanal Dengan Metode Truncated Singular Value Decomposition Dan Optimal Cyclic Shift pada Sistem Lan Nirkabel", Tugas Akhir S-1, Universitas Diponegoro, 2012
- [7]. Tarokh, V., H. Jafarkhani, A.R. Calderbank, "Space Time Block Code From Orthogonal Design", IEEE Transaction On Information Theory, Vol. 45, No. 5, Juli 1999
- [8]. Van de Beek, J.J., O. Edfors, M. Sandell, S.K. Wilson, P.O. Borjesson "Channel Estimation In OFDM Systems", Proceeding of VTC Vol.2, 1995
- [9]. Uysal, M., C.N. Georgiades, "Non-Orthogonal Space Time Block Codes for 3 Tx Antennas", Electronics Letters Vol.38 No.25, 5 Desember 2002
- [10]. Wardhana, Reza Aditya, "Evaluasi Kinerja Transmit Berbasiskan Space Time Block Code", Tugas Akhir S-1, Institut Teknologi Bandung, 2007.