

ANALISIS UNJUK KERJA TEKNIK PENGKODEAN STBC DAN WATERFILLING PADA SISTEM D-MIMO

Nyoman Gunantara

Staff Pengajar Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali, 80361
(Email : gnr252@yahoo.co.id)

Abstrak

Kemajuan teknologi komunikasi, maka dikembangkan sistem D-MIMO (*Distributed MIMO*). Pada sistem D-MIMO, fading yang mempengaruhi adalah fading skala besar dan fading skala kecil. Kedua jenis fading itu akan mengakibatkan kualitas sinyal akan menjadi berkurang yang akhirnya menurunkan unjuk kerja sistem komunikasi. Untuk mengantisipasi hal tersebut maka dikembangkan teknik pengkodean STBC dan *waterfilling*.

Pada konfigurasi sistem D-MIMO yang sama untuk teknik pengkodean STBC dan teknik *waterfilling* maka diperoleh unjuk kerja teknik pengkodean STBC lebih baik dibandingkan dengan teknik *waterfilling*.

Kata kunci : D-MIMO, STBC, *waterfilling*

1. PENDAHULUAN

Sebelum dikembangkannya teknologi sistem D-MIMO, maka penelitian dilakukan pada sistem C-MIMO. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa penggunaan dari spektrum (*bandwidth*) menjadi efisien, dan kebutuhan daya pancar pada sisi pemancar menjadi berkurang. Selain itu kapasitas kanal yang dapat dikirimkan dari sistem C-MIMO menjadi bertambah.

Penelitian terus dikembangkan sehingga memunculkan teknologi D-MIMO yaitu sistem multi antenna dimana antara antenna pemancar dan penerima letaknya secara terdistribusi. Dengan demikian pada sistem D-MIMO maka jarak akses antara pemancar dan penerima dapat dibuat lebih dekat serta menimbulkan adanya *macrodiversity*. Melalui sistem D-MIMO ini akan menimbulkan fading skala besar dan fading skala kecil.

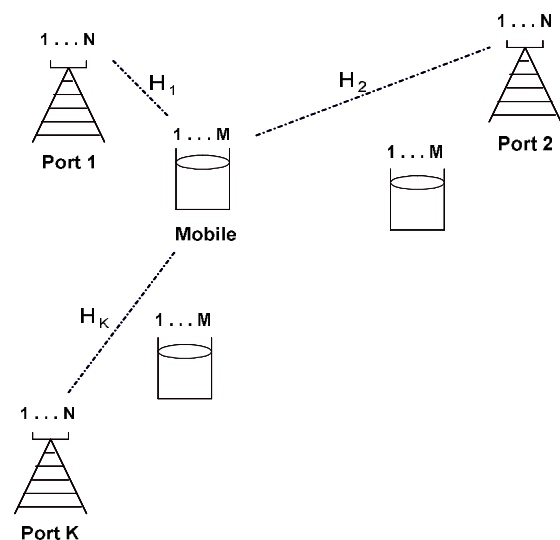
Berikut ini dijelaskan tentang penelitian-penelitian yang mendukung pada tulisan ini.

2. DASAR TEORI

2.1. Sistem D-MIMO

Sistem D-MIMO merupakan sistem MIMO terdistribusi dengan M jumlah antenna penerima yang dikelilingi oleh banyaknya K port dengan N jumlah antenna pemancar. Dapat ditulis sebagai D-MIMO (M,N,K). Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.

Dalam pentransmisiian sinyal informasi dari pemancar ke penerima pada sistem D-MIMO akan mengalami fading. Fading didefinisikan sebagai fenomena fluktuasi acak pada level sinyal yang diterima, yang disebabkan oleh banyaknya lintasan pada transmisi sinyal.



Gambar 1. Distributed MIMO (M,N,K)

Fading dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu fading skala besar dan fading skala kecil[4]. Fading skala besar berhubungan dengan rugi-rugi lintasan sinyal sebagai fungsi jarak dan shadowing yang disebabkan oleh obyek yang besar seperti bangunan dan perbukitan. Ini terjadi seperti peralatan mobile berpindah melalui jarak pada daerah cakupan. Sejak variasi akibat shadowing terjadi relatif dalam jarak yang jauh dan fluktuasi level sinyal yang lambat, variasi ini disebut dengan fading skala besar.

Sedangkan fading skala kecil digunakan untuk menjelaskan perubahan fluktuasi amplitudo sinyal radio pada periode waktu dan jarak yang pendek.

Hasil dari fading tersebut maka kanal D-MIMO dapat ditulis sebagai berikut :

$$\mathbf{H}_d \sim \sqrt{d^{-n} \cdot 10^{\frac{\alpha}{10}}} \cdot \mathbf{h} \quad (1)$$

dengan :

- Hd = kanal D-MIMO
- d = jarak pemancar dan penerima
- n = pangkat dari jarak
- σ = standar deviasi dari shadowing
- h = kanal berdistribusi Rayleigh

2.2. Teknik Pengkodean STBC

STBC merupakan suatu teknik pengkodean blok dalam ruang dan waktu. Maksudnya adalah pengkodean yang disusun dari beberapa simbol dalam satu ruang yang dikirimkan melalui teknik diversity ruang melalui beberapa periode waktu. Setiap periode pengiriman, akan dikirimkan simbol-simbol yang berbeda.

Pengkodean blok dalam ruang dan waktu akan dikirimkan melalui MIMO terdistribusi. Setiap port pemancar akan mengirimkan simbol-simbol hasil pengkodean secara bersamaan.

Pengkodean STBC biasanya ditulis dalam bentuk matriks yaitu p baris dan n kolom dari matriks G. Nilai-nilai dari matriks G adalah kombinasi linier dari variabel s1, s2, ... , sk dan konjugatnya.

Dalam penelitian ini kode STBC yang digunakan adalah sebagai berikut:[8]

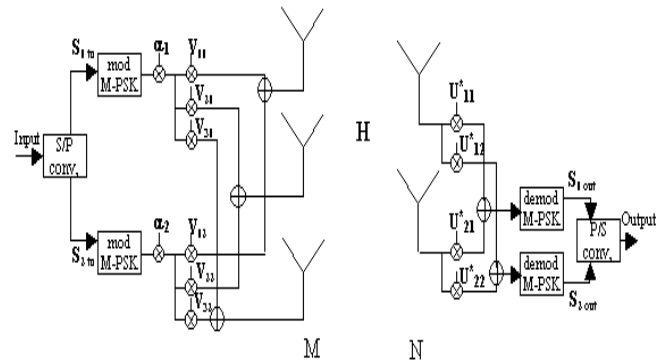
$$G_2 = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 \\ -S_2^* & S_1^* \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$G_3 = \begin{pmatrix} S_1 & S_2 & S_3 \\ -S_2 & S_1 & -S_4 \\ -S_3 & S_4 & S_1 \\ -S_4 & -S_3 & S_2 \\ S_1^* & S_2^* & S_3^* \\ -S_2^* & S_1^* & -S_4^* \\ -S_3^* & S_4^* & S_1^* \\ -S_4^* & -S_3^* & S_2^* \end{pmatrix} \tag{3}$$

$$G_4 = \begin{pmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ -S_2 & S_1 & -S_4 & S_3 \\ -S_3 & S_4 & S_1 & -S_2 \\ -S_4 & -S_3 & S_2 & S_1 \\ S_1^* & S_2^* & S_3^* & S_4^* \\ -S_2^* & S_1^* & -S_4^* & S_3^* \\ -S_3^* & S_4^* & S_1^* & -S_2^* \\ -S_4^* & -S_3^* & S_2^* & S_1^* \end{pmatrix} \tag{4}$$

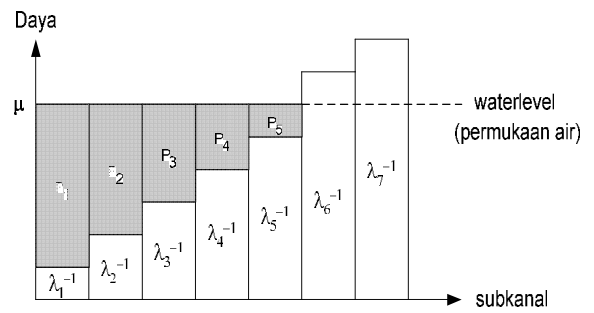
2.3. Teknik Waterfilling

Waterfilling merupakan metode pembagian daya pada sub-sub kanal untuk meningkatkan unjuk kerja sistem. Teknik waterfilling erat hubungannya dengan teknik dekomposisi nilai singular seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem MIMO dengan teknik SVD dan Waterfilling

Bila tiap tiap subkanal pada sistem memiliki gain λ_i yang merupakan nilai eigen yaitu kuadrat dari komponen-komponen diagonal matriks S, maka subkanal dengan gain terbesar akan mendapat porsi daya yang besar pula seperti terlihat pada Gambar 3.[7]



Gambar 3. Pembagian Daya Secara Waterfilling

Notasi P_i menjelaskan daya yang diberikan untuk tiap subkanal, jumlah variabel i adalah $1 \leq i \leq S_k$ dimana S_k adalah jumlah subkanal, yang adalah $\min(M,N,K)$. Besarnya daya tiap subkanal P_i adalah sebagai berikut :

$$P_i = (\mu - \lambda_i^{-1}) \tag{5}$$

waterlevel μ dapat ditulis sebagai berikut :

$$\mu = \frac{1}{S_k} \left[P_t + \sum_{i=1}^{S_k} \frac{1}{\lambda_i} \right] \tag{6}$$

Pembagian level daya ini digunakan modulasi BPSK, QPSK, dan 8-PSK dengan probabilitas kesalahan pada kanal AWGN adalah :

BPSK :

$$P_s = Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right) \quad (7)$$

QPSK :

$$P_s = 2Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right)\left[1 - \frac{1}{2}Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right)\right] \quad (8)$$

M-ary PSK, untuk $M_{ary} > 4$:

$$P_s = 2Q\left(\sqrt{\frac{2E_s}{N_0} \sin \frac{\pi}{M_{ary}}}\right) \quad (9)$$

Besarnya nilai SNR setelah melalui teknik waterfilling pada tiap subkanal adalah penjumlahan SNR awal dengan daya waterfilling dan nilai eigen λ_i . Secara matematis dapat ditulis pada persamaan berikut :

$$(SNR)_i = (SNR) + 10 \log_{10} P_w + 10 \log_{10} \lambda_i \quad (10)$$

di mana :

P_w = daya waterfilling

3. METODOLOGI

3.1. Konfigurasi Sistem D-MIMO

Konfigurasi dari sistem D-MIMO yang digunakan pada penelitian ini adalah model D-MIMO dimana penerima berada di tengah-tengah daerah cakupan. Daerah cakupan dari sistem D-MIMO dianggap berbentuk bujursangkar $10 \times 10 \text{ km}^2$.

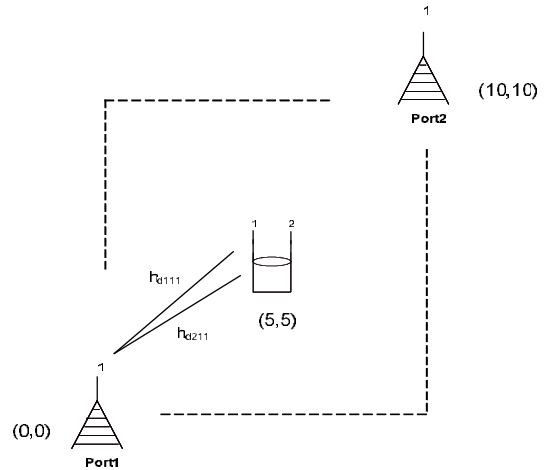
Model D-MIMO yang digunakan dalam penelitian ini adalah D-MIMO (2,1,2), (3,1,3), dan (4,1,4). Konfigurasi dari model D-MIMO tersebut akan dijelaskan berupa gambar berikut.

Konfigurasi D-MIMO (2,1,2)

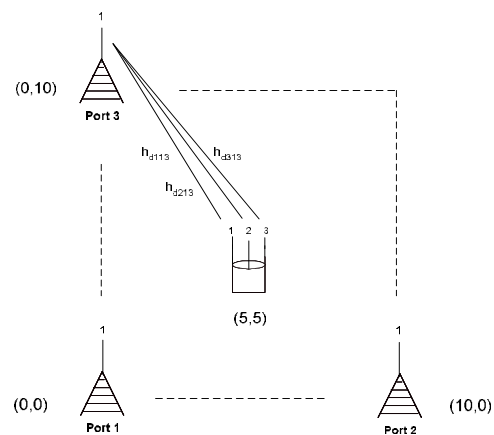
Model D-MIMO (2,1,2) terdiri dari dua buah port pemancar dengan masing-masing terletak pada posisi (0,0) dan (10,10) dengan menggunakan antenna sebanyak satu buah. Sedangkan penerima terletak pada posisi (5,5) dengan jumlah antenna sebanyak 2 buah seperti terlihat pada Gambar 4.

Konfigurasi D-MIMO (3,1,3)

Untuk model D-MIMO (3,1,3) terdiri dari tiga buah port pemancar dengan posisi tiap-tiap port pemancar adalah (0,0), (10,0), dan (0,10) dengan menggunakan antenna sebanyak satu buah. Sedangkan posisi penerima dengan jumlah antenna sebanyak 3 buah diletakkan pada posisi (5,5). Model D-MIMO (3,1,3) dapat dilihat pada Gambar 5.



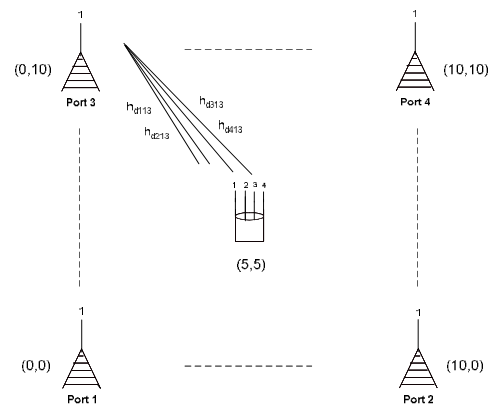
Gambar 4. Model D-MIMO (2,1,2)



Gambar 5. Model D-MIMO (3,1,3)

Konfigurasi D-MIMO (4,1,4)

Model D-MIMO (4,1,4), dimana posisi tiap-tiap port pemancar berturut-turut adalah (0,0), (10,0), (0,10), dan (10,10) dengan masing-masing menggunakan antenna pemancar sebanyak satu buah. Sedangkan penerima terletak pada posisi (5,5) dengan menggunakan 4 buah antenna. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Model D-MIMO (4,1,4)

3.2. Metodologi Perhitungan BER D-MIMO dengan Teknik Pengkodean STBC

Langkah-langkah yang dilakukan yaitu :

1. Menentukan kode STBC yang akan digunakan.
Kode STBC yang digunakan yaitu kode G_2 , G_3 , dan G_4 .
2. Pemodelan sistem D-MIMO.
Untuk STBC G_2 model D-MIMO yang digunakan yaitu D-MIMO (2,1,2). Model D-MIMO (2,1,2) dapat dilihat pada Gambar 4 dimana jumlah antena penerima yang digunakan sebanyak 2 buah. STBC G_3 model D-MIMO yang digunakan yaitu D-MIMO (3,1,3). Model D-MIMO (3,1,3) dapat dilihat pada Gambar 5. Dan STBC G_4 model D-MIMO yang digunakan yaitu D-MIMO (4,1,4). Model D-MIMO (4,1,4) dapat dilihat pada Gambar 6.
3. Pemodelan Kanal D-MIMO.
Model kanal D-MIMO yang digunakan untuk penerima yang berada pada titik tengah daerah layanan adalah model kanal D-MIMO tanpa pengaruh jarak ($H_{d,ij}$). Proses dari pembentukan kanal tersebut dapat dilihat pada persamaan (1).
4. Menentukan nilai E_b/N_0 sebesar 0, 2, 4, 6, 8 dB.
5. Membangkitkan vektor data termodulasi QPSK sebanyak 25.000 simbol.
6. Demultipleks data.
7. Mengubah data simbol menjadi data bit
8. Membangkitkan noise AWGN sebanyak jumlah ruang dan periode kode.
9. Multipleks data simbol.
10. Mengubah simbol terima menjadi bit terima.
11. Menentukan *error* dan P_e .
12. Simulasi dilakukan sebanyak 1000 sampel. Dan hasil yang digunakan adalah nilai rata-ratanya.
13. Memplot hasil simulasi.

3.3. Perhitungan BER pada D-MIMO dengan Teknik Waterfilling

Langkah-langkah yang dilakukan yaitu :

1. Pemodelan sistem D-MIMO.
Model D-MIMO yang digunakan yaitu D-MIMO (2,1,2), (3,1,3), dan (4,1,4). Model D-MIMO tersebut secara berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 4, 5, dan 6 tetapi jumlah antena pemancar yang digunakan tiap port sebanyak satu buah.
2. Pemodelan Kanal D-MIMO.
Model kanal D-MIMO yang digunakan untuk penerima yang berada pada titik tengah daerah layanan adalah model kanal D-MIMO tanpa pengaruh jarak ($H_{d,ij}$). Proses dari pembentukan kanal tersebut dapat dilihat pada persamaan (1).
3. Menentukan SNR sebesar 0, 2, 4, 6, 8 dB.
4. Proses SVD dan Waterfilling.
Tahapan proses dari teknik SVD dan Waterfilling dapat dilihat pada Gambar 2.

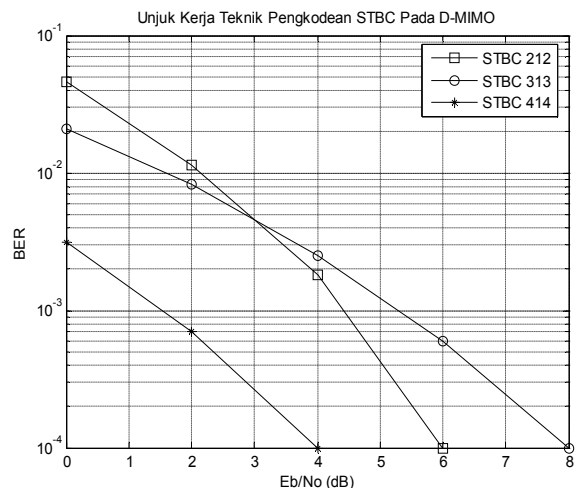
Dari proses tersebut didapatkan nilai SNR untuk tiap subkanal. Nilai SNR tiap subkanal akan menentukan vektor simbol yang dikirim.

5. Membangkitkan data sebanyak 100.000 bit.
6. Proses modulasi dan demodulasi.
Modulasi yang digunakan yaitu BPSK, QPSK, dan 8-PSK.
8. Membangkitkan noise AWGN.
9. Membandingkan bit kirim dan bit terima.
10. Simulasi dilakukan sebanyak 1000 sampel. Dan hasil yang digunakan adalah nilai rata-ratanya.
11. Memplot hasil simulasi.

4. HASIL SIMULASI

4.1. BER D-MIMO dengan Teknik Pengkodean STBC

Hasil simulasi untuk kinerja BER D-MIMO dengan teknik pengkodean STBC dapat dilihat pada Gambar 7.



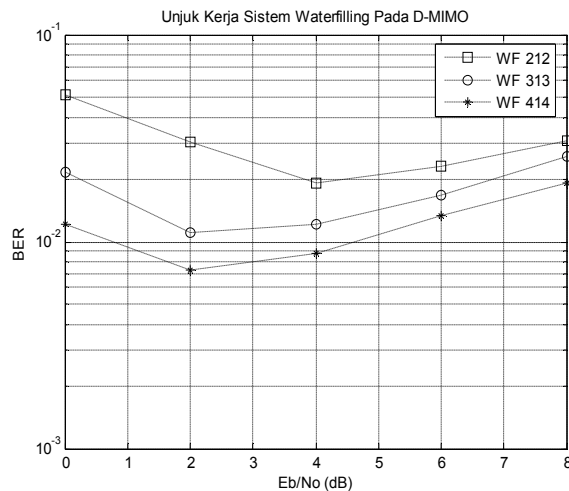
Gambar 7. Kinerja BER D-MIMO pada STBC G_2 , G_3 , dan G_4

Dari Gambar 7 ditunjukkan bahwa kinerja pengkodean STBC berturut turut dari G_2 , G_3 , dan G_4 adalah semakin membaik. Tetapi pada SNR di atas 3 dB maka pengkodean G_2 lebih baik dibandingkan G_3 .

4.2. BER D-MIMO dengan Teknik Waterfilling

Menghitung BER dengan teknik Waterfilling pada model D-MIMO (2,1,2), (3,1,3), dan (4,1,4) dengan menggunakan simulasi Monte Carlo. Adapun hasil simulasinya dapat dilihat pada Gambar 8.

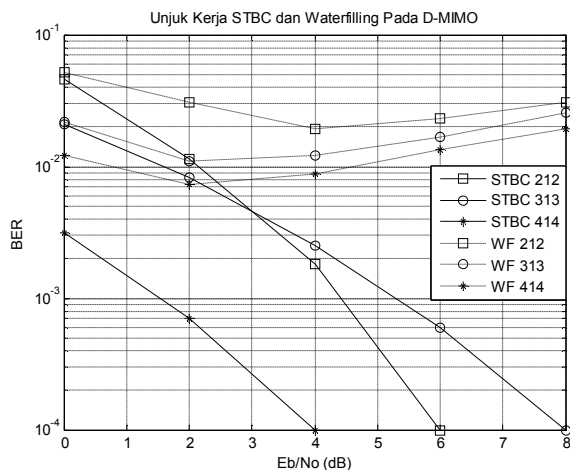
Dalam Gambar 8 ditunjukkan bahwa dengan teknik waterfilling maka unjuk kerja pada D-MIMO dengan konfigurasi D-MIMO (2,1,2), (3,1,3), dan (4,1,4) adalah menunjukkan kinerja yang bertambah baik secara berturut-turut. Tetapi pada SNR di atas 2 dB maka kinerja teknik *waterfilling* akan bertambah buruk untuk ketiga jenis konfigurasi tersebut.



Gambar 8. BER D-MIMO dengan Teknik Waterfilling

4.3. Analisis Teknik Pengkodean STBC dan Waterfilling pada Sistem D-MIMO

Unjuk kerja dari kedua teknik tersebut yaitu teknik pengkodean STBC dan waterfilling pada sistem konfigurasi D-MIMO yang sama dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. BER D-MIMO Dengan Teknik STBC dan Waterfilling

Dari Gambar 9 dapat diketahui bahwa unjuk kerja maksimum dari teknik waterfilling adalah terletak pada maksimum SNR 2 dB. Sedangkan pada SNR di atas 2 dB maka kinerjanya menjadi bertambah jelek. Ini disebabkan bahwa dengan teknik waterfilling maka terjadi penggunaan daya yang optimal sehingga kinerja komunikasi menjadi baik. Untuk SNR dari 0 – 2 dB maka unjuk kerja teknik waterfilling memiliki nilai BER yang lebih kecil pada konfigurasi D-MIMO (4,1,4) dibandingkan teknik pengkodean STBC pada konfigurasi D-MIMO (3,1,3) dan (2,1,2). Pada SNR 2 dB unjuk kerja pada teknik pengkodean STBC dan waterfilling memiliki nilai BER yang sama. Sedangkan SNR di atas 2 dB maka unjuk kerja teknik pengkodean STBC lebih baik dibandingkan teknik waterfilling pada semua konfigurasi D-MIMO.

5. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut :

1. Unjuk kerja maksimum dari teknik waterfilling adalah terletak pada maksimum SNR 2 dB. Sedangkan pada SNR di atas 2 dB maka kinerjanya menjadi bertambah jelek. Ini disebabkan bahwa dengan teknik waterfilling maka terjadi penggunaan daya yang optimal sehingga kinerja komunikasi menjadi baik.
2. Untuk SNR dari 0 – 2 dB maka unjuk kerja teknik waterfilling memiliki nilai BER yang lebih kecil pada konfigurasi D-MIMO (4,1,4) dibandingkan teknik pengkodean STBC pada konfigurasi D-MIMO (3,1,3) dan (2,1,2).
3. Pada SNR 2 dB unjuk kerja pada teknik pengkodean STBC dan waterfilling memiliki nilai BER yang sama.
4. SNR di atas 2 dB maka unjuk kerja teknik pengkodean STBC lebih baik dibandingkan teknik waterfilling pada semua konfigurasi D-MIMO.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A. Goldsmith, **Wireless Communications**. Stanford University Press, 2005.
- [2]. B. Sklar, **Digital Communications Fundamentals and Applications**, Prentice Hall PTR, USA, 2001
- [3]. D. P. Palomar, "Practical Algorithms for a Family of Waterfilling Solutions", *IEEE Transaction on Signal Processing*, Vol. 53, No. 2, February 2005.
- [4]. D. Tse and P. Viswanath, **Fundamentals of Wireless Communications**. Cambridge University Press, September 10, 2004.
- [5]. H. Zhang and H. Dai, "On The Capacity of Distributed MIMO Systems", *Conference on Information Sciences and Systems, Princeton University*, March 17-19, 2004.
- [6]. I. A. Glover and P. M. Grant, **Digital Communications**, Pearson Education Limited. England, 2004.
- [7]. J. G. Proakis, **Digital Communications**. McGraw-Hill, Singapore, 2001.
- [8]. J. G. Proakis and M. Salehi, **Contemporary Communication Systems**
- [9]. T. S. Rappaport, **Wireless Communication Principles and Practice**, Prentice Hall, USA, 2002.
- [10]. V. Tarokh, H. Jafarkhani, A. Robert C, "Space-Time Block Coding for Wireless Communications: Performance Results", *IEEE Journal On Selected Areas In Communications*, Vol. 17, No. 3, March 1999.