

Analisa Kinerja Multiple Input Multiple Output Jaringan Sensor Nirkabel dengan Demodulasi Terdistribusi

Ari Endang Jayati¹, Sri Heranurweni², M. Sipan³

Abstract— Wireless Sensor Network has some weaknesses, such as limited power, memory and communication. Sensor is supplied with a very limited power battery. Besides, Wireless Sensor Network should also consider the available bandwidth, range sensor and sensor communication range. The main objective of this study is to analyze the performance of linear demodulation named *Zero Forcing (ZF)* and *Minimum Mean Squared Error (MMSE)* in wireless sensor network using *Multiple Input and Multiple Output (MIMO)* system with *Signal to Noise Ratio (SNR)* and *Bit Error Rate (BER)* as the parameter to measure the performance of endurance to noise. The application of ZF and MMSE linear demodulation with MIMO configuration to Wireless Sensor Network is constantly good, the performance of ZF to reach BER 10^{-3} needed SNR 21 dB, while the performance of MMSE to reach BER 10^{-3} needed SNR 18 dB.

Intisari—Jaringan sensor nirkabel memiliki beberapa kelemahan antara lain keterbatasan daya, memori dan komunikasi. Sensor dicatu oleh baterai yang mempunyai daya yang sangat terbatas. Selain itu jaringan sensor nirkabel juga harus memperhatikan ketersediaan *bandwidth*, range sensor dan range komunikasi sensor. Tujuan utama pada penelitian ini adalah menganalisa kinerja demodulasi linier yaitu *Zero Forcing (ZF)* dan *Minimum Mean Squared Error (MMSE)* pada jaringan sensor nirkabel menggunakan sistem *Multiple Input dan Multiple Output (MIMO)* dengan parameter yang digunakan untuk mengukur kinerja akan ketahanan terhadap noise adalah *Signal to Noise Ratio (SNR)* dan *Bit Error Rate (BER)*. Penerapan demodulasi linier ZF dan MMSE dengan konfigurasi MIMO yang diterapkan pada Jaringan Sensor Nirkabel ternyata tetap bagus, kinerja ZF untuk mencapai nilai BER 10^{-3} dibutuhkan SNR 21 dB, sedangkan kinerja MMSE untuk mencapai nilai BER 10^{-3} dibutuhkan SNR 18 dB.

Kata Kunci— Jaringan Sensor Nirkabel, MIMO, *Zero Forcing*, *Minimum Mean Squared Error*.

I. PENDAHULUAN

Penelitian di bidang jaringan sensor nirkabel mengalami kemajuan yang sangat pesat beberapa tahun ini. Jaringan sensor nirkabel memiliki beberapa kelemahan antara lain keterbatasan daya, memori dan komunikasi. Sensor dicatu oleh baterai yang mempunyai dengan daya yang terbatas. Selain itu jaringan sensor nirkabel juga harus memperhatikan

ketersediaan bandwidth, range sensor dan range komunikasi sensor [1].

Jayaweera pada tahun 2005 telah melakukan penelitian untuk mengatasi keterbatasan daya dengan mengusulkan arsitektur virtual Multiple Input Multiple Output (MIMO) yang bersifat kooperatif dan terdistribusi pada jaringan sensor nirkabel. Jayaweera pada tahun 2005 telah melakukan penelitian untuk mengatasi keterbatasan daya dengan mengusulkan arsitektur virtual Multiple Input Multiple Output (MIMO) yang bersifat kooperatif dan terdistribusi pada jaringan sensor nirkabel [2].

Pada tahun 2007 Tuan-Duc Nguyen juga meneliti tentang usulan skema MIMO dengan sistem kooperatif menggunakan lintasan multihop yang hemat energi. Teknik decoding yang digunakan adalah Space-Time Block Code (STBC) melalui kanal Rayleigh.

Yi Jiang pada tahun 2011 telah melakukan penelitian yang menggabungkan beberapa metode untuk penghematan energi dari segi informasi maupun dari segi pengolahan sinyal yaitu dengan cara menganalisa kinerja equalizer ZF dan MMSE pada sistem MIMO. Hasil penelitian menunjukkan terdapat gap SNR antara ZF dan MMSE untuk daerah uji SNR tinggi [2].

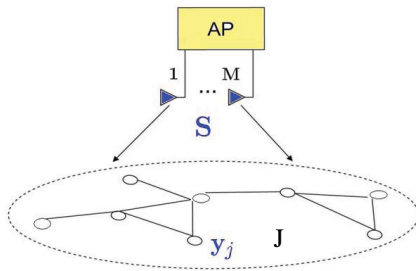
Penelitian untuk mengatasi keterbatasan sumberdaya pada jaringan sensor nirkabel sistem terdistribusi juga telah dilakukan penulis sejak tahun 2011 yaitu demodulasi berdasarkan konsensus MoM yang terdistribusi. Kemudian dilanjutkan pada tahun 2013 penelitian tentang demodulasi linier MMSE dengan algoritma *Average-Network Delay (A-ND)* untuk kegagalan link acak. Penelitian tentang *Alamouti Space Time Block Coding* pada Sistem *Wireless MIMO* juga dilakukan penulis pada tahun 2013.

Tujuan utama pada penelitian ini adalah menganalisa kinerja demodulasi sistem terdistribusi yaitu ZF pada jaringan sensor nirkabel menggunakan sistem MIMO untuk mengatasi keterbatasan daya.

II. MODEL SISTEM

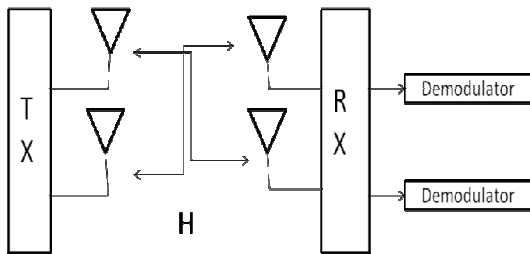
Model sistem penelitian ini seperti pada Gbr. 1. Dimana beberapa sensor disebar pada suatu daerah tertentu secara acak. Topologi yang digunakan adalah topologi jaringan serial. Topologi ini tidak membedakan sensor berdasarkan tingkatannya melainkan menganggap semua sensor mempunyai kedudukan dan fungsi yang sama didalam suatu jaringan. Pada topologi serial tiap sensor berderajat sama maksudnya memungkinkan masing-masing sensor berkomunikasi antara satu sama lain baik sebagai kontroler ataupun hanya sebagai sensor.

^{1, 2, 3} Dosen, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Semarang, Jl. Soekarno Hatta Semarang 50196 Indonesia (telp: 024-670 2757; fax: 024-6702272; e-mail: ariendang@usm.ac.id, heranur@usm.ac.id, ziphan11@gmail.com)



Gbr. 1 Model Sistem

Sumber berasal dari Access Point (AP) dengan 2 antenna yang akan memetakan matriks ruang-waktu S ukuran $M \times N$ menjadi alfabet terbatas \mathcal{A} dengan N adalah jumlah slot waktu. AP mentransmisikan S ke jaringan sensor nirkabel dengan jumlah sensor J yang mempunyai 2 antenna penerima. Sumber akan mendeteksi sensor yang tersebar. Sensor yang berada pada range sumber disebut sensor aktif [3].



Gbr. 2. Konfigurasi MIMO [3]

Jumlah antenna sumber 2 buah dan antenna sensor 2 buah sehingga konfigurasi MIMO seperti Gbr. 2. Informasi yang diterima oleh sensor kemudian akan diekualisasi dengan ekualiser *Zero Forcing* untuk menghilangkan *Inter Symbol Interference*. Range komunikasi untuk masing-masing sensor dapat ditentukan dari jarak *Euclidean*.

A. Sensor

Pada penelitian ini model penyebaran sensor adalah distribusi *uniform*. Sedangkan model pendeteksian sensor adalah model deteksi biner [2].

B. Kanal

Data dari antenna *Access Point* (AP) dikirimkan ke sensor melalui kanal *fading*. Blok yang diterima y_j ukuran $N \times 1$ pada sensor ke- j diberikan hubungan input output sbb :

$$y_j = S^T h_j + \epsilon_j \tag{1}$$

Dengan :

- y_j = sinyal yang diterima sensor ke- j
- S^T = matrik ruang waktu
- h_j = matrik kanal AP ke sensor j
- ϵ_j = noise AWGN

Topologi yang digunakan adalah topologi paralel. Komunikasi antara sensor yang berdekatan dalam *hop* tunggal

melalui saluran yang bersifat ideal dan *time-invariant*. Noise kanal adalah *additive white noise Gaussian* dan tidak berkorelasi antar kanal[3].

C. Sumber

Sumber data adalah multi antenna AP dengan jumlah antenna 2 yang mengirimkan informasi yang dimodulasi BPSK dan 2 buah antenna penerima pada sensor dengan konfigurasi MIMO [2].

D. Demodulator Linier

Algoritma demodulator linier yang digunakan adalah ZF. Persamaan demodulator *Centralized ZF* dapat dituliskan dalam bentuk tertutup [3] :

$$\hat{s}_{ZF} = \arg \min_s \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J \| y_j - H_j s \|^2 = (H^T H)^{-1} H^T y \tag{2}$$

Sedangkan demodulator MMSE dengan persamaan $\hat{s}_{MMSE} = E\{s y^T\} E^{-1}\{y y^T\} y$ yang dapat dituliskan dalam bentuk tertutup (Zhu, 2010) :

$$\hat{s}_{MMSE} = \sigma_s^2 H^T (\sigma_s^2 H H^T + I_{NM})^{-1} y = (H^T H + \sigma_s^{-2} I_{NM})^{-1} H^T y \tag{3}$$

Dimana $\sigma_s^2 := E\{s_l^2\}$, $l = 1, \dots, NM$ merupakan rata-rata energi simbol.

E. Multiple Input Multiple Output

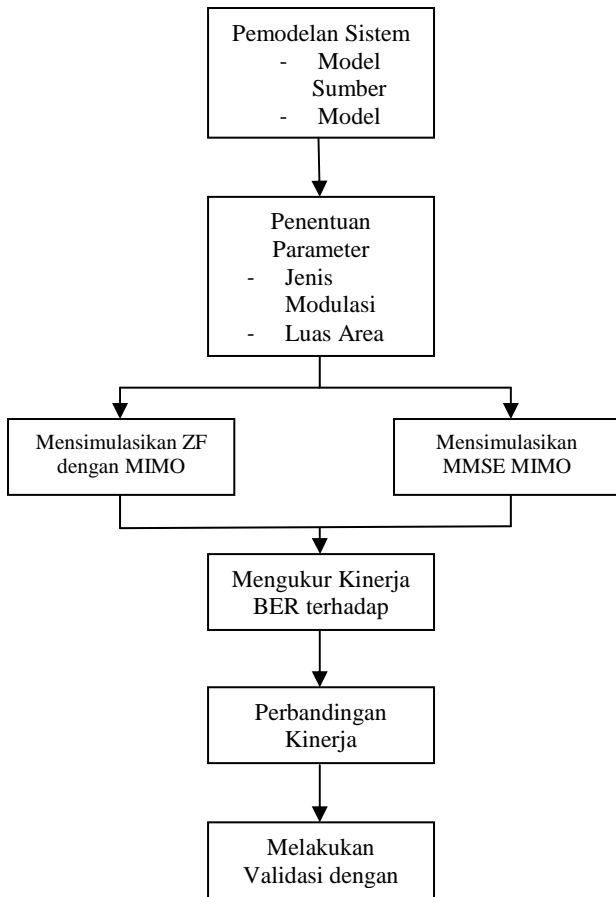
Multiple Input Multiple Output (MIMO) adalah suatu teknologi yang muncul menggunakan prinsip *diversity* dengan tujuan meningkatkan *data rate* dalam *range* yang lebih besar tanpa membutuhkan *bandwidth* atau daya transmisi yang besar [2].

Pada sisi penerima rumus untuk estimasi dari simbol yang ditransmisikan adalah:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = (H^H H)^{-1} H^H \begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_2^1 \\ y_1^{2*} \\ y_2^{2*} \end{bmatrix} \tag{4}$$

III. METODOLOGI

Langkah-langkah dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gbr. 3. Pada penelitian ini dilakukan simulasi menggunakan demodulator linier ZF dan MMSE pada jaringan sensor nirkabel dengan konfigurasi antenna MIMO 2x2. Luas area yang digunakan adalah 50m x 50m dengan node sebanyak 2 buah yang tersebar menggunakan distribusi *uniform*. Parameter lain yang digunakan adalah range komunikasi node sensor sebesar $r = 0,5$ dan kedua node dihubungkan dengan jarak *Euclidean* kurang dari $r[1]$. Simbol berasal dari sinyal yang dimodulasi BPSK dan dipetakan langsung ke matrik S dimana AP memiliki antenna $M=2$.



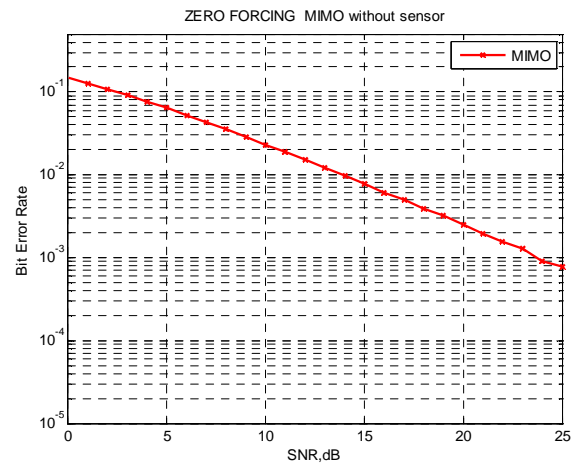
Gbr. 3. Langkah-langkah Penelitian

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. ZF dan MMSE Tanpa Sensor

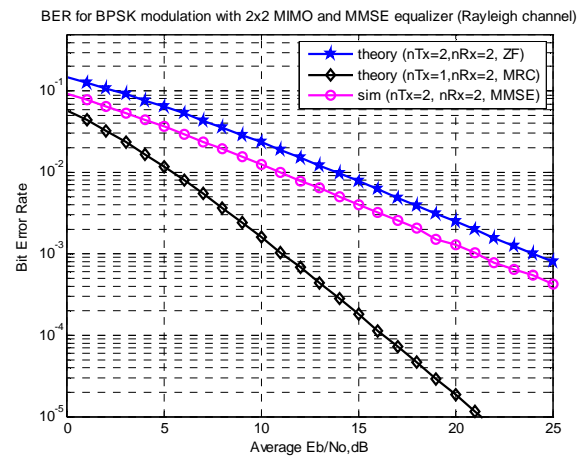
Pada bagian ini disimulasikan mengenai kinerja demodulator linier ZF dan MMSE sebelum terhubung ke jaringan sensor. Simbol berasal dari konstelasi BPSK dengan 1 simbol terdiri dari 1 bit dan dipetakan langsung ke matrik S dimana AP memiliki antena $M=2$. Kemudian dikirimkan ke sensor dengan antena penerima 2 melalui kanal *Rayleigh*. Pada sisi penerima sinyal yang diterima tiap sensor akan diekualisasi dengan ZF atau MMSE untuk mengkompensasi kanal. Kemudian hasilnya akan dikirim ke *fusion center* untuk pengambilan keputusan.

Dari hasil simulasi untuk konfigurasi MIMO dapat dilihat pada Gbr. 4.



Gbr. 4. ZF dengan konfigurasi MIMO tanpa Sensor (Jayati, 2014)

Hasil simulasi menunjukkan kinerja Zero Forcing dengan konfigurasi MIMO yang belum terhubung dengan jaringan sensor nirkabel sangat bagus, untuk mencapai nilai BER 10-3 dibutuhkan SNR 24 dB.

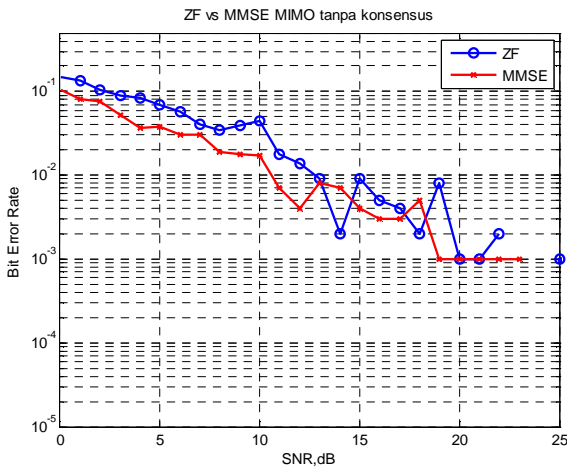


Gbr. 5. MMSE MIMO tanpa Sensor

Kinerja MMSE dengan konfigurasi MIMO yang belum terhubung ke jaringan sensor nirkabel sangat bagus karena untuk mencapai nilai BER 10-3 dibutuhkan SNR 20 dB.

B. ZF dan MMSE Dengan Sensor

Untuk simulasi berikutnya adalah menerapkan ZF dan MMSE dengan konfigurasi MIMO pada jaringan sensor nirkabel. Hasilnya seperti Gbr. 6.

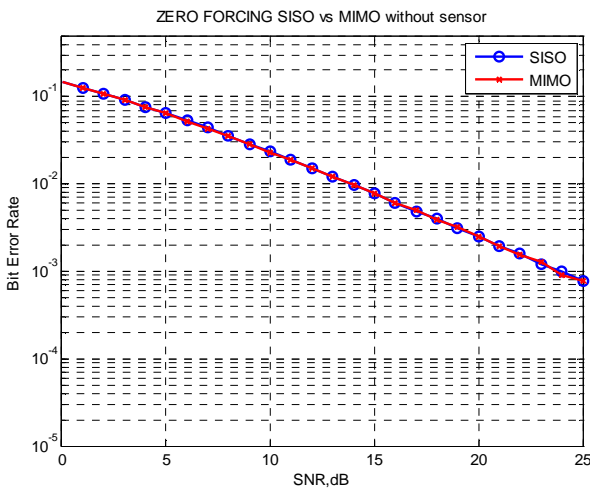


Gbr. 6. Perbandingan ZF dan MMSE dengan Konfigurasi MIMO

Perbandingan ZF dan MMSE dengan Konfigurasi MIMO setelah terhubung dengan jaringan sensor nirkabel menunjukkan kinerja MMSE lebih bagus dibandingkan ZF, hal ini dikarenakan equalizer MMSE juga mengkompensasi noise sedangkan ZF tidak. Untuk SNR rendah MMSE sangat bagus tetapi untuk SNR tinggi kinerja MMSE agak berfluktuasi, hal ini dikarenakan untuk SNR tinggi, noise yang dikompensasi juga tinggi.

C. Validasi dengan SISO

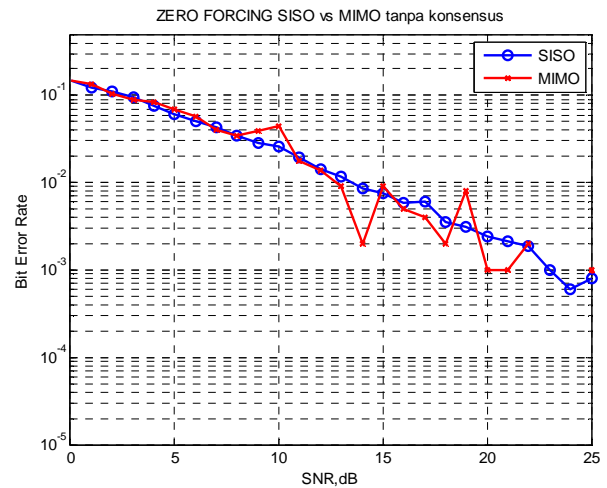
Simulasi perbandingan antara ZF MIMO dengan SISO sebelum diterapkan pada jaringan sensor nirkabel terlihat seperti Gbr. 7.



Gbr. 7. Perbandingan Zero Forcing MIMO dan SISO Tanpa Sensor [2]

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kinerja ZF untuk SISO dan MIMO sama. Hal ini karena matrik diagonal tidak nol maka ZF akan membuat interferensi menjadi nol sehingga ada penguatan pada noise.

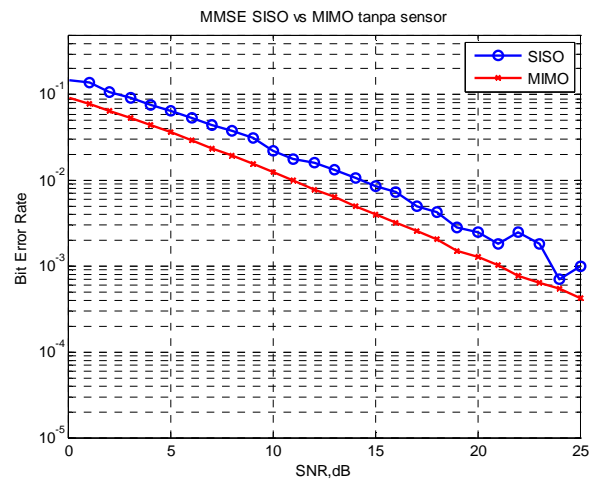
Hasil simulasi perbandingan antara ZF MIMO yang diterapkan pada jaringan sensor nirkabel dengan ZF SISO terlihat seperti Gbr. 8.



Gbr. 8. Perbandingan Zero Forcing MIMO dan SISO dengan Sensor [2]

Grafik menunjukkan bahwa kinerja ZF MIMO yang diterapkan pada Jaringan Sensor Nirkabel ternyata tetap bagus, karena untuk mencapai nilai BER10⁻³ dibutuhkan SNR 21 dB. Kinerja SISO lebih stabil karena jumlah antenna tiap sensor cuma satu dan proses perhitungannya lebih sederhana. Sedangkan kinerja ZF MIMO menunjukkan fluktuasi nilai BER, hal ini dikarenakan penransmisian sinyal yang melalui kanal Fading dan jumlah sensor dan jumlah antenna lebih dari satu sehingga lebih kompleks.

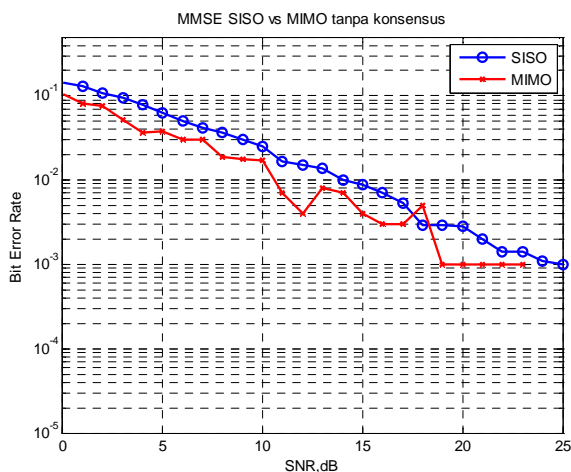
Simulasi perbandingan antara MMSE MIMO dengan SISO sebelum diterapkan pada jaringan sensor nirkabel terlihat seperti Gbr. 9.



Gbr. 9. Perbandingan MMSE MIMO dan SISO Tanpa Sensor

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kinerja MMSE untuk MIMO lebih bagus dibandingkan dengan SISO, hal ini dikarenakan manfaat MIMO adalah untuk mengurangi efek multipath fading pada komunikasi nirkabel.

Hasil simulasi perbandingan antara MMSE MIMO yang diterapkan pada jaringan sensor nirkabel dengan MMSE SISO terlihat seperti Gbr. 10.



Gbr. 10. Perbandingan MMSE MIMO dan SISO dengan Sensor

Grafik menunjukkan bahwa kinerja MMSE MIMO yang diterapkan pada Jaringan Sensor Nirkabel ternyata tetap bagus, karena untuk mencapai nilai BER 10^{-3} dibutuhkan SNR 18 dB. Kinerja SISO lebih stabil karena jumlah antenna tiap sensor cuma satu dan proses perhitungannya lebih sederhana. Sedangkan kinerja MMSE MIMO menunjukkan fluktuasi nilai BER, hal ini dikarenakan pentransmisiian sinyal yang melalui kanal Fading dan jumlah sensor dan jumlah antenna lebih dari satu sehingga lebih kompleks. Sistem MIMO lebih bagus daripada SISO karena potensinya yang begitu besar dalam meningkatkan kapasitas dan menurunkan BER ketika menggunakan multi antenna.

V. KESIMPULAN

Demodulasi linier ZF dengan konfigurasi MIMO yang diterapkan pada Jaringan Sensor Nirkabel mempunyai kinerja bagus, untuk mencapai nilai BER 10^{-3} dibutuhkan SNR 21 dB.

Perbandingan ZF dan MMSE dengan Konfigurasi MIMO setelah terhubung dengan jaringan sensor nirkabel menunjukkan kinerja MMSE lebih bagus dibandingkan ZF,

hal ini dikarenakan ekuwalizer MMSE juga mengkompensasi noise sedangkan ZF tidak.

Kinerja ZF dan MMSE MIMO dibandingkan dengan SISO pada Jaringan Sensor Nirkabel menunjukkan fluktuasi nilai BER, hal ini disebabkan pentransmisiian sinyal yang melalui kanal Rayleigh dengan jumlah sensor dan antenna lebih dari satu sehingga konfigurasi lebih kompleks.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia melalui Dirjen DIKTI yang telah membiayai Penelitian Dosen Pemula ini.

REFERENSI

- [1] A. E. Jayati dan Wirawan, "Demodulasi Berdasarkan Konsensus Terdistribusi pada Jaringan Sensor Nirkabel", Proceeding SNPs XII, 2012.
- [2] A. E. Jayati; S. Heranurweni; M. Sipan, "Analisa Kinerja Zero Forcing dengan Multiple Input Multiple Output (MIMO) pada Jaringan Sensor Nirkabel", Proceeding EECCIS, 2014.
- [3] Hao Zhu, Alfonso Cano dan Georgios B. Giannakis, "Distributed Consensus-Based Demodulation : Algorithm and Error Analysis", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 9, No. 6, 2010.
- [4] I.F Akyldiz , Y. Sankarasubramaniam dan E. Cayirci (2002), "A Survey on Sensor Network", *IEEE Commun Mag*, hal. 102-114.
- [5] Jiang, M.K. Varanasi dan Li Jian (2011), "Performance Alalysis of ZF and MMSE Equalizers for MIMO Systems : An In-Depth Study of the High SNR Regime", *IEEE Trans. On Information Theory*, vol. 57, no. 4
- [6] M.S Ullah (2011), "Performance Analysis of Wireless MIMO System by Using Alamouti's Scheme and Maximum Ratio Combining Technique", *International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies*, Vol. 8.
- [7] S.K Jayaweera (2006), " Virtual MIMO-based Cooperative Communication for Energy-Constrained Wireless Sensor Networks", *IEEE Trans. On Wireless Communication*, vol. 15, pp. 984-989.
- [8] Tuan-Duc Nguyen; Olivier Berder; Olivier Sentieys (2007), "Energy-Efficiency Optimization for Cooperative (MIMO) Schemes in WSNs", IRAMUS Thematic Informational Workshop Val Thorens.