

# Analisa Kinerja Metode Deteksi pada Sistem Komunikasi MIMO

Dian Neipa Purnamasari, Deni Tri Laksono, Adi Kurniawan Saputro, Muttaqin Hardiwansyah

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura

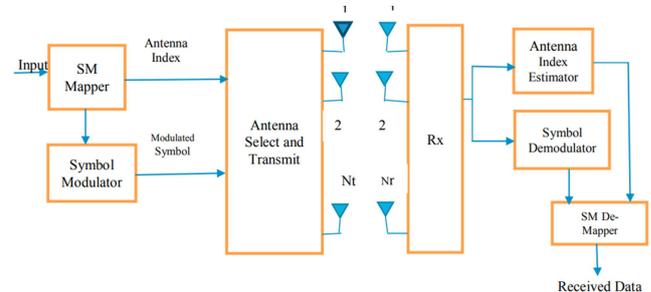
E-mail: dian.neipa@trunojoyo.ac.id, deni.laksono@trunojoyo.ac.id, adi.kurniawan@trunojoyo.ac.id, muttaqin.hardiwansyah@trunojoyo.ac.id

**Abstrak** — Teknologi MIMO (*Multiple-Input-Multiple-Output*) muncul untuk menyelesaikan permasalahan dalam sistem komunikasi dengan lintasan yang berbeda. Teknologi ini memiliki beberapa pemancar dan penerima. Salah satu tantangan pada teknologi ini adalah pengiriman sinyal informasi menggunakan kanal yang berbeda. Untuk mengatasi hal tersebut terdapat teknik deteksi sinyal yang dapat mendeteksi sinyal sesuai yang diinginkan sistem. Pada penelitian ini dilakukan analisa metode deteksi sinyal yang diterapkan pada sistem komunikasi MIMO. Metode deteksi yang diuji adalah *Zero Forcing (ZF)*, *Minimum Mean Square Error (MMSE)*, *Maximum Likelihood Detection (MLD)* dan *V-BLAST*. Parameter yang diamati pada penelitian ini adalah perbandingan *Bit Error Rate (BER)* terhadap *Signal to Noise Ratio (SNR)*. Hasil pengujian diperoleh bahwa metode deteksi yang memiliki performansi lebih baik adalah MLD, Hal ini dikarenakan sistem MIMO-MLD hanya membutuhkan SNR sebesar 12 dB untuk mencapai  $BER 10^{-3}$ . Sedangkan metode deteksi yang memiliki performansi paling lemah adalah ZF, hal ini dikarenakan ZF membutuhkan SNR sebesar 24 dB untuk mencapai  $BER 10^{-3}$ .

**Kata Kunci**— *Zero Forcing, Minimum Mean Square Error, Maximum Likelihood Detection, V-BLAST*

## I. PENDAHULUAN

Sistem komunikasi nirkabel menggunakan berbagai macam lintasan yang berbeda untuk media perambatan sinyal antara pemancar dan penerima [1]. Sinyal yang melewati lintasan yang berbeda dapat mengalami beberapa gangguan seperti pelemahan sinyal, perusakan sinyal, hingga timbul interferensi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut muncul teknologi *Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO)*. MIMO adalah teknologi nirkabel yang memiliki beberapa pemancar (Tx) dan penerima (Rx). Hal ini dilakukan agar proses transmisi data dapat dilakukan secara bersamaan serta meningkatkan pengiriman sesuai kapasitas kanal. Selain itu, terdapat sistem MIMO yang mengandalkan beberapa antena untuk mendapatkan kinerja yang optimal dengan kecepatan yang lebih tinggi melalui spatial multiplexing. Sistem ini bekerja menggunakan teknik antena diversitas yaitu *spatial diversity* [2]. Teknik *diversity* merupakan teknik pengiriman sinyal informasi melalui beberapa kanal yang berbeda. Pengiriman sinyal informasi dengan kanal yang berbeda menjadi suatu tantangan bagi sisi penerima (Tx), sehingga dibutuhkan analisa lebih lanjut untuk mengetahui teknik deteksi sinyal yang memiliki kinerja sesuai dengan sistem SM-MIMO. Pemodelan sistem pada SM-MIMO dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan Sistem pada SM-MIMO [3]

Terdapat dua kelompok metode deteksi sinyal yaitu metode linear dan non-linear. Metode linear yang biasa digunakan adalah *Zero Forcing (ZF)* dan *Minimum Mean Square Error (MMSE)*, sedangkan metode non-linear yang biasa digunakan adalah *Maximum Likelihood Detection (MLD)* dan *V-BLAST* [4]. Beberapa penelitian yang menggunakan metode deteksi linear yang diterapkan pada sistem komunikasi MIMO antara lain [5], [6], dan [7]. Sedangkan metode deteksi non-linear antara lain [8] dan [9].

Pada penelitian ini dilakukan analisa kinerja metode deteksi sinyal yang diterapkan pada sistem komunikasi MIMO. Konfigurasi MIMO yang digunakan adalah MIMO 2x2 dengan mengimplementasikan teknik ZF, MMSE, MLD, dan VBLAST. Parameter yang diamati pada penelitian ini adalah perbandingan *Bit Error Rate (BER)* terhadap *Signal to Noise Ratio (SNR)*.

## II. BAHAN DAN METODE

Metode deteksi pada sistem komunikasi terbagi menjadi dua yaitu deteksi sinyal linear dan non-linear. Pada metode sinyal linear, semua sinyal yang ditransmisikan diasumsikan sebagai sebuah gangguan kecuali untuk deretan sinyal yang diinginkan dari antena transmisi penerima. Hal ini menyebabkan interferensi sinyal yang ditransmisikan antena lainnya diminimalkan atau dibatalkan. Jenis dari metode ini adalah *Zero Forcing (ZF)* dan *Minimum Mean Square Error (MMSE)*. Sedangkan jenis metode non-linear adalah *Maximum Likelihood Detection (MLD)* dan *V-BLAST*.

### A. Zero Forcing (ZF)

*Zero forcing* merupakan metode deteksi sinyal yang paling sederhana. Cara kerja metode ini cukup mudah yaitu dengan membedakan sinyal yang diinginkan dan sinyal yang dianggap sebagai derau. Memberikan nilai null dilakukan oleh pembobot linear pada sistem sehingga semua sinyal derau dapat dihilangkan [10]. Metode ZF menull-kan interferensi dengan matriks pembobot berikut:

$$W_{ZF} = (H^H H)^{-1} H^H \quad (1)$$

Dengan  $(.)^H$  merupakan operasi transpose Hermitian. Dalam kata lain, menginvers efek dari kanal sebagai:

$$\begin{aligned} x_{ZF} &= W_{ZF} y \\ &= x + (H^H H)^{-1} H^H z \\ &= x + z_{ZF} \end{aligned} \quad (2)$$

### B. Minimum Mean-Squared Error (MMSE)

*Minimum Mean-Squared Error* merupakan metode linear yang efektif dalam mengurangi kompleksitas komputasi dan bekerja secara optimal [11]. Untuk memaksimalkan deteksi sinyal dan interferensi ditambah rasio derau, matriks pembobot MMSE diberikan sebagai berikut:

$$W_{MMSE} = (H^H H + \sigma^2 I)^{-1} H^H \quad (3)$$

Dengan catatan bahwa penerima di MMSE membutuhkan informasi noise  $\sigma^2$ .

### C. Maximum Likelihood Detection (MLD)

*Maximum Likelihood Detection* merupakan metode yang optimal untuk mendeteksi sinyal simbol-per-simbol, meskipun memiliki kelemahan pada kompleksitas yang tinggi [12]. Cara kerja metode MLD adalah dengan melakukan perhitungan jarak Euclidean antara vektor sinyal yang diterima dengan semua vektor sinyal pengirim yang berkemungkinan pada channel H, kemudian mengambil nilai pada jarak yang terpendek. MLD melakukan estimasi dengan persamaan berikut:

$$\hat{x}_{ML} = \underset{x \in C^{N_t}}{\operatorname{argmin}} \|y - Hx\|^2 \quad (4)$$

Dimana  $\|y - Hx\|^2$  adalah matriks Maksimum Likelihood. Metode MLD dapat mengoptimalkan kinerja dari detector MAP (*maximum a posteriori*) ketika semua vektor sinyal pengirim hampir sama. Akan tetapi, kompleksitas sistem MLD akan meningkat secara eksponensial seiring dengan orde modulasi atau dengan peningkatan jumlah antena. Matriks MLD memiliki rumusan  $|C|^{N_t}$  sehingga kompleksitasnya akan meningkat seiring kenaikan jumlah antena.

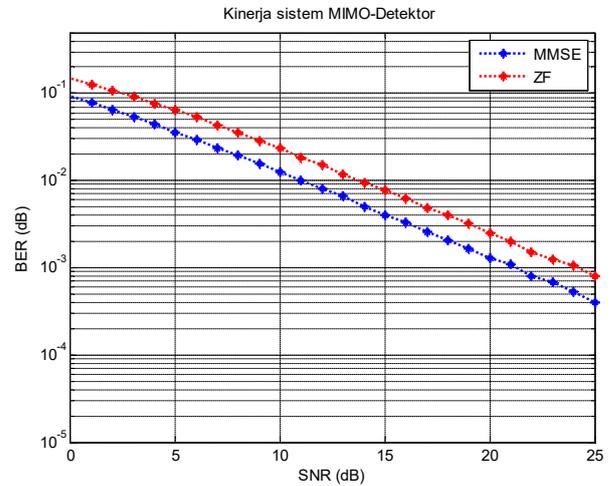
### D. V-BLAST

V-BLAST merupakan kependekan dari *Vertikal Bell Laboratories Layered Space Time*. V-BLAST merupakan skema multiple antena yang mendeteksi sinyal sesuai dengan pemesanan dan dapat diterapkan pada sistem komunikasi MIMO [13]. Metode ini membagi deretan input data menjadi beberapa sub-deretan dan mengirimkannya melalui multiple antena pemancar pada waktu dan frekuensi yang sama. V-BLAST menggunakan algoritma detektor linear seperti *Maximum Likelihood* (ML), *Successive Interference Cancellation* (SIC), *Zero Forcing* (ZF), *Minimum Mean Square Error* (MMSE), dan *Maximum Ratio Combining* (MRC). Pada penelitian ini, metode V-BLAST akan dikombinasikan dengan ZF dan MMSE.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

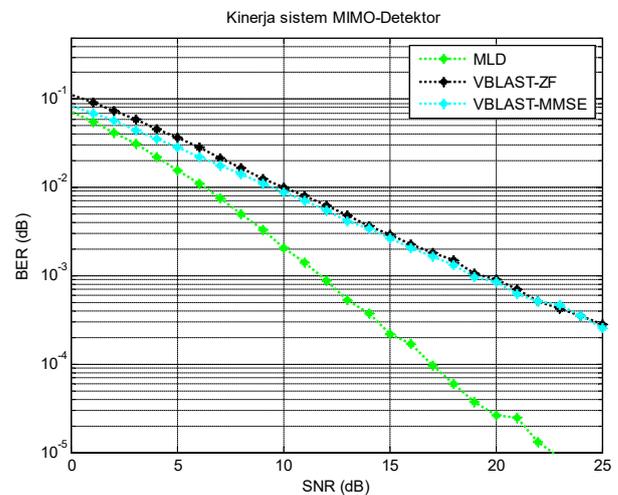
Pengujian metode deteksi pada sistem komunikasi MIMO dipengaruhi oleh jumlah antena pengirim dan

penerima berdasarkan kanal *fading Rayleigh* dan penambahan *noise*. Metode deteksi yang dibandingkan adalah metode deteksi linear dan non-linear. Metode deteksi linear meliputi *Minimum Mean-Squared Error* (MMSE) dan *Zero Forcing* (ZF), sedangkan metode deteksi non-linear meliputi *Maximum Likelihood Detection* (MLD) dan V-BLAST. Hasil perbandingan kurva BER pada metode tersebut ditunjukkan oleh Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Kurva BER pada Sistem MIMO dengan Detektor Linear

Pada Gambar 2 menunjukkan hasil perbandingan kurva BER untuk metode deteksi linear, didapatkan bahwa sistem MIMO-MMSE membutuhkan SNR sebesar 21 dB untuk mencapai BER  $10^{-3}$ , sedangkan pada sistem MIMO-ZF membutuhkan SNR sebesar 24 dB untuk mencapai BER  $10^{-3}$ .



Gambar 3. Kurva BER pada Sistem MIMO dengan Detektor Non-Linear

Pada Gambar 3 menunjukkan hasil perbandingan kurva BER untuk metode deteksi non-linear, didapatkan bahwa sistem MIMO-MLD memiliki performansi yang lebih baik dibandingkan dua metode non-linear lainnya. Hal ini dikarenakan sistem MIMO-MLD hanya membutuhkan SNR sebesar 12 dB untuk mencapai BER  $10^{-3}$ . Sedangkan pada sistem MIMO-VBLAST baik VBLAST-ZF maupun VBLAST-MMSE untuk mencapai BER  $10^{-3}$  dibutuhkan SNR sebesar  $\pm 19$  dB.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Terdapat dua metode deteksi yang dapat diterapkan pada sistem komunikasi MIMO yaitu metode linear dan non-linear. Metode ZF dan MMSE merupakan metode deteksi linear, sedangkan metode MLD dan VBLAST merupakan metode deteksi non-linear.
2. Pada metode deteksi linear, metode MMSE memiliki performansi lebih baik dibandingkan ZF karena membutuhkan SNR sebesar 21 dB untuk mencapai BER  $10^{-3}$ .
3. Pada metode deteksi non-linear, metode MLD memiliki performansi lebih baik dibandingkan V-BLAST karena membutuhkan SNR sebesar 12 dB untuk mencapai BER  $10^{-3}$ .
4. Metode MLD merupakan metode yang paling baik untuk diterapkan pada sistem komunikasi MIMO dibandingkan metode deteksi lainnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Damar W., Yakobus A. P., "Transmisi Data Citra pada Sistem Komunikasi Nirkabel dengan Teknik MIMO", KONSTELASI: Konvergensi Teknologi dan Sistem Informasi, Vol. 1, No. 2, (2021).
- [2] Perahia, Eldad and Stacey, Robert. "Next Generation Wireless LANs-Throughput, Robustness, and Reliability in 802.11n", Cambridge University Press, 2008.
- [3] Sachan, V., Shankar, R., Kumar, I., & Mishra, R. K., "Performance Analysis of SM-MIMO System Employing Binary PSK and M'ary PSK Techniques Over Different Fading Channels". *Procedia Computer Science*, 152, 323–332, 2019.
- [4] A. S. Qisthi, W. A. Syafei, dan I. Santoso, "Peningkatan Kinerja Wi-Fi 802.11n menggunakan MIMO Dekoder Berbasis MLD pada Konfigurasi Antena 4x4", *TRANSIENT*, Vol. 2, No. 4, Desember 2013.
- [5] Riadi, A., Boulouird, M., & Hassani, M. M., "ZF/MMSE and OSIC Detectors for UpLink OFDM Massive MIMO systems", 2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT), 2019.
- [6] Riadi, A., Boulouird, M., & Hassani, M. M., "ZF and MMSE Detectors Performances of a Massive MIMO System Combined with OFDM and M-QAM Modulation", *Wireless Personal Communications*, 2020.
- [7] Waliullah et al., "Study the BER Performance Comparison of MIMO Systems using BPSK Modulation with ZF and MMSE Equalization", *Australian Journal of Engineering and Innovative Technology*, 2(5), 77-84, 2020.
- [8] Y. Li, C. Gao, M. S. Leeson, dan X. Li, "Asymptotic analysis of V-BLAST MIMO for coherent optical wireless communications in Gamma-Gamma turbulence", *Optics Express*, Vol. 26, Issue 21, pp. 27931-27944, 2018.
- [9] Cao, Y., Su, W., & Batalama, S. N. "A Novel Receiver Design and Maximum-Likelihood Detection for Distributed MIMO Systems in Presence of Distributed Frequency Offsets and Timing offsets". *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1–1, 2018.
- [10] E. Roza dan M. Mujirudin, "Sistem Mimo dan Aplikasi Penggunaannya", *Rekayasa Teknologi* Vol. 6, No. 2, 2013.
- [11] Liu, L., Peng, G., Wang, P., Zhou, S., Wei, Q., Yin, S., & Wei, S. "Energy- and Area-Efficient Recursive-Conjugate-Gradient-Based MMSE Detector for Massive MIMO Systems", *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1–1, 2020.
- [12] He, K., Wang, Z., Li, D., Zhu, F., & Fan, L. "Ultra-reliable MU-MIMO detector based on deep learning for 5G/B5G-enabled IoT", *Physical Communication*, 101181, 2020.
- [13] Alfawaz, O., Eddin, M. A., Alnajjar, K. A., & El-Moursy, A. A. "Improved Parallel ZF-VBLAST Detector for MIMO System", 2020 International Conference on Communications, Signal Processing, and Their Applications (ICCSPA), 2021.