

Prediksi *Channel Gain Threshold* untuk Modulasi Adaptif V2V menggunakan Algoritma *Random Forest Regression*

NAZMIA KURNIAWATI¹, AISYAH NOVFITRI², YULI KURNIA NINGSIH³

^{1,3}Jurusan Teknik Elektro, Universitas Trisakti, Indonesia

²Jurusan Teknik Telekomunikasi, Institut Teknologi Telkom Jakarta, Indonesia

Email : nazmia.kurniawati@trisakti.ac.id

Received 19 Januari 2022 | *Revised* 21 Februari 2022 | *Accepted* 3 Maret 2022

ABSTRAK

Kondisi kendaraan yang saling bergerak pada sistem komunikasi Vehicle-to-Vehicle (V2V) menyebabkan daya sinyal yang diterima berfluktuasi. Selain itu, dengan adanya pergeseran frekuensi Doppler mengakibatkan semakin sulitnya menjaga level Bit Error Rate (BER) kurang dari 0,001. Mengubah threshold channel gain pada modulasi adaptif adalah salah satu metode yang dapat diterapkan untuk menjaga level performansi tanpa mengorbankan nilai Signal to Noise Ratio (SNR). Sayangnya threshold yang memberikan SNR optimal belum diketahui. Pada penelitian ini digunakan algoritma random forest regression untuk mencari nilai threshold channel gain demi didaparkannya nilai SNR terbaik. Dari hasil prediksi dengan jumlah estimator sebanyak 7, didapatkan threshold 0.1 dan 0.3 hanya membutuhkan SNR sebesar 25.59 dB untuk menjaga BER di level < 0.001.

Kata kunci: *Modulasi Adaptif, Pergeseran Doppler, Random Forest Regression*

ABSTRACT

The condition of the moving vehicles in the Vehicle-to-Vehicle (V2V) communication system leads to fluctuating received signal power. In addition, the Doppler shift increases the difficulty to maintain the Bit Error Rate (BER) less than 0.001. Changing the channel gain threshold in adaptive modulation is one method that can be applied to maintain the performance level without sacrificing the Signal to Noise Ratio (SNR) value. Unfortunately, the threshold that provides the optimal SNR is not yet known. In this research, a random forest regression algorithm is used to determine the channel gain threshold in order to obtain the best SNR value. Based on the prediction results the number of estimators of 7, it is obtained that the thresholds of 0.1 and 0.3 only require an SNR of 25.59 dB to keep the BER at the level < 0.001.

Keywords: *Adaptive Modulation, Doppler Shift, Random Forest Regression*

1. PENDAHULUAN

Komunikasi *Vehicle-to-Vehicle* (V2V) merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sistem transportasi cerdas (**Halegoua, 2020**). Dengan adanya teknologi ini, kecelakaan lalu lintas yang disebabkan oleh *man-made-error* dapat dikurangi hingga 80% (**Thomas, 2016**). Dengan adanya sistem komunikasi ini, aktivitas seperti pembayaran tol secara otomatis, *update* peta jalan, dan *assisted navigation and driving* dapat dilakukan (**Gomez-Vega, dkk, 2017**).

Kondisi kendaraan yang bergerak menyebabkan terjadinya pergeseran frekuensi Doppler (*Doppler shift*). Pergeseran frekuensi Doppler mengakibatkan semakin terjadinya penurunan daya di sisi penerima. Penurunan daya tersebut menyebabkan semakin buruknya nilai *Bit Error Rate* (BER). Nilai maksimum BER yang diperbolehkan untuk komunikasi V2V adalah 0,001 (**Sassi, dkk, 2012**). Jika nilai daya yang diterima semakin kecil, maka semakin besar nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang dibutuhkan untuk menjaga BER pada level 0,001.

Modulasi adaptif merupakan salah satu metode yang dapat meningkatkan performansi sistem komunikasi yang menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), seperti V2V (**Jaya, dkk, 2016**). Dengan memanfaatkan skema modulasi adaptif, modulasi yang digunakan dapat disesuaikan dengan kondisi lingkungannya (**Kurniawati, dkk, 2021**). Sehingga ketika nilai *noise* rendah, skema modulasi dengan *data rate* yang lebih tinggi dapat digunakan. Sementara itu jika kondisi *noise* sedang tinggi, maka skema modulasi yang digunakan adalah yang memiliki *data rate* yang lebih rendah.

Nilai *channel gain threshold* digunakan untuk mengontrol pemilihan skema modulasi pada kanal yang terpengaruh oleh pergeseran frekuensi Doppler (f_d) (**Novfitri, dkk, 2018**). Dari hasil penelitian, dengan menerapkan *threshold* sebesar 0,25 dan 0,5 dibutuhkan SNR sebesar 26 dB untuk menjaga BER pada level 0,001. Sayangnya penentuan *threshold* tersebut masih dilakukan secara *trial and error*.

Machine learning merupakan teknik yang dapat digunakan untuk melakukan prediksi suatu nilai berdasarkan data (**Abbas, 2017**). Penggunaan *machine learning* untuk prediksi telah diimplementasikan pada bidang ekonomi (**Gogas & Papadimitriou, 2021**), biomedik (**Gupta & Nath Kaush, 2017**), militer (**Wang, dkk, 2020**), pendidikan (**Nafea, 2018**), dan lain sebagainya. Beragam algoritma *machine learning* telah dikembangkan, seperti *linear regression*, *logistic regression*, *naive bayes*, dan lain-lain (**Bonaccorso, 2017**). Algoritma tersebut memiliki karakteristik yang berbeda sehingga akan menghasilkan hasil prediksi yang juga berbeda.

Pada penelitian ini digunakan algoritma *machine learning* untuk mencari nilai *channel gain threshold* optimal yang dapat memberikan nilai SNR terkecil untuk menjaga nilai BER pada level 0.001. Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya, dilakukan perbandingan empat algoritma *machine learning*: *decision tree*, *random forest*, *Support Vector Regression* (SVR), dan *Artificial Neural Network* (ANN) (**Kurniawati, dkk, 2021**). Dari keempat algoritma tersebut, *random forest regression* menghasilkan nilai *error* prediksi terkecil. Oleh karena itu algoritma tersebut dipilih pada penelitian ini karena dapat menghasilkan prediksi yang akurat.

Struktur *paper* ini adalah sebagai berikut: Pada bagian pendahuluan dijelaskan latar belakang penelitian yang dilakukan. Pada bagian metode dijabarkan alur penelitian serta metode yang digunakan untuk mencari nilai *threshold*. Pada bagian hasil dipaparkan hasil

yang didapatkan berdasarkan metode yang digunakan. Pada bagian akhir disampaikan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

2. METODE

2.1 Pemodelan sistem

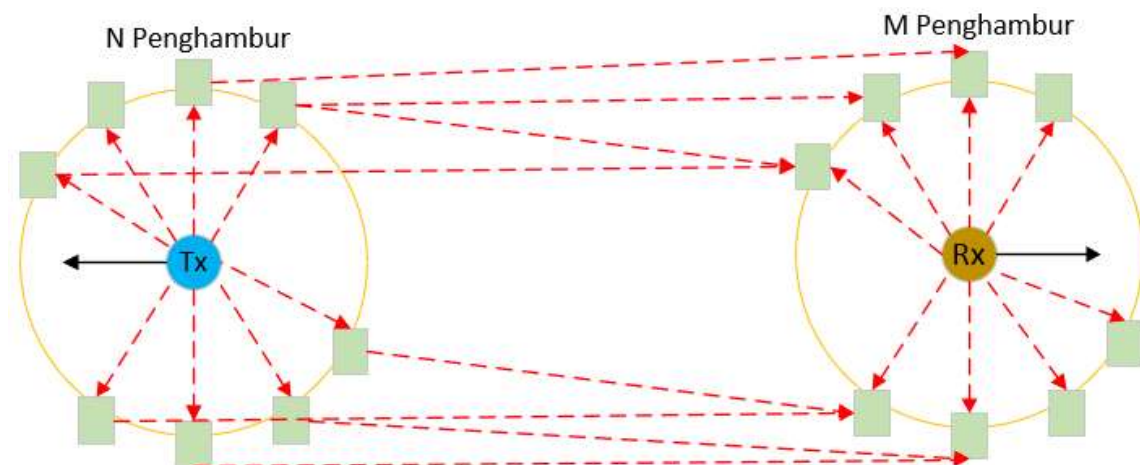
Sistem komunikasi V2V bekerja berdasarkan pada standar IEEE 802.11p. Pada standar ini, sistem komunikasi menggunakan OFDM *transceiver* dan bekerja pada frekuensi 5.9 GHz (Arena, dkk, 2020).

Berdasarkan standar IEEE 802.11p, modulasi yang yang dapat digunakan untuk V2V adalah *Binary Phase Shift Keying* (BPSK), *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), *16 Quadrature Amplitude Modulation* (16-QAM), dan 64-QAM (Arena, dkk, 2020). Tiga jenis modulasi digunakan untuk skema modulasi adaptif (Novfitri, dkk, 2018). Ketiga modulasi itu adalah BPSK yang digunakan untuk mengakomodasi *data rate* rendah, QPSK untuk *data rate* menengah, dan 16-QAM untuk *data rate* tinggi. Skema modulasi adaptif digunakan untuk menjaga nilai BER di bawah 0.001 walaupun kondisi *noise* berfluktuasi. Kondisi sinyal yang diterima dimodelkan dalam Persamaan (1):

$$r(t) = h(t) \cdot x(t) + z(t) \quad (1)$$

Di mana $r(t)$ merupakan hasil konvolusi antara kanal *fading* $h(t)$ dengan sinyal OFDM yang dikirimkan $x(t)$ dan tambahan *noise* $z(t)$ yang berada di kanal.

Kanal *wireless* pada sistem komunikasi V2V mengadopsi kondisi kanal *mobile-to-mobile* dengan *Rayleigh fading* model cincin ganda yang terpengaruh oleh pergeseran frekuensi Doppler yang disebabkan oleh perubahan kecepatan kendaraan yang bergerak (Patel, dkk, 2005). Pada model ini, penghambur terletak mengelilingi pengirim dan penerima yang berada di pusat cincin. Gambar 1 menunjukkan kondisi kanal *mobile-to-mobile* dengan *Rayleigh fading* model cincin ganda.



Gambar 1. Kanal *Mobile-to-Mobile* dengan *Rayleigh Fading* Model Cincin Ganda

Kanal *mobile-to-mobile* dengan *Rayleigh fading* model cincin ganda diadopsi dari *sum of sinusoida* (sos) yang dimodelkan menggunakan *Single Input Single Output (SISO) Non-Line of Sight* melalui Persamaan (2) (**Zajic, 2013**):

$$h(t) = \sqrt{\frac{2}{MN}} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N e^{j(2\pi f_1 t \cos \alpha_n + 2\pi f_2 t \cos \beta_m + \theta_{nm})} \quad (2)$$

dimana:

$$\alpha_n = \frac{2n\pi - \pi + \theta_n}{4N} \quad (3)$$

$$\beta_m = \frac{2(2m\pi - \pi + \psi_m)}{4M} \quad (4)$$

M dan N merupakan jumlah penghambur yang berada di sekeliling kendaraan. α_n merupakan sudut kedatangan dari penghambur θ_n . Sedangkan β_m merupakan sudut keberangkatan dari penghambur ψ_m . Parameter $\alpha_n, \theta_n, \beta_m$, dan ψ_m merupakan variabel acak yang terdistribusi seragam dan independen dari $-\pi$ hingga π . Frekuensi f_1 dan f_2 adalah frekuensi *Doppler* ternormalisasi yang didapatkan dari kecepatan relatif kendaraan. Pada penelitian ini diasumsikan f_1 bernilai sama dengan f_2 .

Hubungan antara frekuensi *Doppler* (f_d) dengan kecepatan kendaraan dimodelkan melalui Persamaan (5).

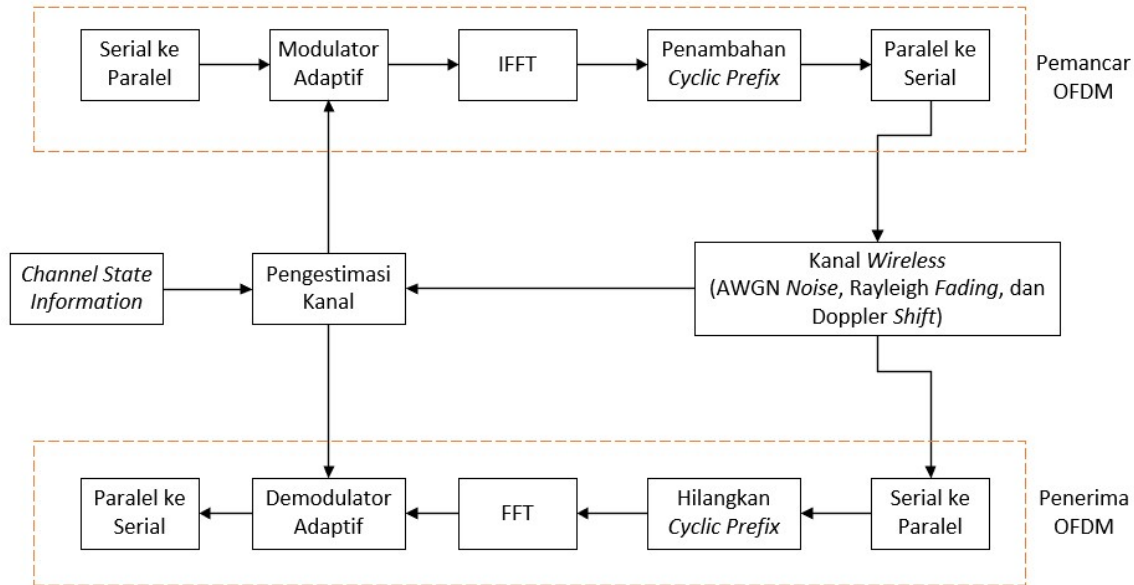
$$f_d = f_c \frac{v}{c} \quad (5)$$

f_c merupakan frekuensi *carrier* yang digunakan, v adalah kecepatan relatif kendaraan, dan c adalah kecepatan rambat gelombang elektromagnetik di udara. Sedangkan frekuensi *Doppler* ternormalisasi (ζ_d) dinyatakan dalam Persamaan (6).

$$\zeta_d = \frac{f_d}{\Delta f} \quad (6)$$

Di mana Δf merupakan frekuensi antar *subcarrier* OFDM (**Abdelgader & Lenan, 2014**).

Pemodelan sistem komunikasi V2V dengan skema modulasi adaptif secara sederhana dapat diilustrasikan pada Gambar (2).



Gambar 2. Pemodelan *Transceiver* V2V dengan Skema Modulasi Adaptif

Pemancar OFDM membangkitkan *bit* secara acak dan disusun secara paralel menurut *subcarrier* yang telah ditentukan. *Bit* tersebut kemudian dipetakan pada skema modulasi yang ditentukan oleh pengestimasi kanal.

Channel State Information (CSI) memberikan informasi kepada pengestimasi kanal yang nantinya akan digunakan untuk menentukan jenis modulasi yang digunakan. Informasi yang dikirimkan pada pengestimasi kanal adalah nilai *gain* absolut $h(t)$ yang diambil dari Persamaan (1).

Rayleigh *fading* memiliki *channel gain* $h(t)$ yang terpengaruh oleh perubahan fase/sudut. Ketika *channel gain* rendah, maka nilai daya yang diterima $r(t)$ juga rendah. Berdasarkan **(Raju & Reddy, 2016)**, semakin tinggi orde modulasi maka semakin besar SNR yang dibutuhkan untuk menjaga BER di level tertentu. Oleh karena itu saat *channel gain* rendah maka diperlukan modulasi yang tidak membutuhkan SNR yang tinggi. Sementara itu, saat *channel gain* tinggi maka modulasi orde tinggi dapat digunakan.

Untuk menentukan *threshold channel gain*, digunakan *cumulative distribution function* (CDF) dari nilai *channel gain*. Pemodelan *threshold channel gain* ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$\gamma_{BPSK} \leq \gamma_1 \quad (7)$$

$$\gamma_1 < \gamma_{QPSK} \leq \gamma_2 \quad (8)$$

$$\gamma_2 < \gamma_{16-QAM} \quad (9)$$

Di mana γ merupakan *threshold channel gain*. γ_1 menunjukkan *threshold* bawah dan γ_2 merupakan *threshold* atas *channel gain*. Jika nilai *channel gain* lebih rendah dari γ_1 maka modulasi yang akan digunakan adalah BPSK. Jika *channel gain* berada di antara nilai γ_1 dan γ_2 maka modulasi QPSK akan digunakan. Sementara itu jika nilai *channel gain* melebihi γ_2

maka modulasi yang digunakan adalah 16-QAM. *Threshold channel gain* memiliki nilai antara 0 hingga 1. Hal tersebut disebabkan γ didapatkan dari CDF *channel gain*.

Setelah melalui proses modulasi, sinyal akan melalui proses *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) untuk mengubah domain sinyal dari waktu ke domain frekuensi. Kemudian *Cyclic Prefix* ditambahkan untuk menghindari terjadinya kesalahan penerimaan bit pada penerima yang disebabkan oleh *noise* pada kanal. *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) ditambahkan pada kanal *wireless* untuk mengilustrasikan kondisi kanal di dunia nyata yang selalu terpengaruh oleh *noise*.

Pada penerima, sinyal disusun kembali secara paralel. Setelah *cyclic prefix* dihilangkan dan melalui proses FFT, sinyal akan didemodulasi. Kanal diasumsikan terestimasi sempurna sehingga penerima dapat melakukan demodulasi sesuai dengan jenis modulasi yang digunakan oleh pengirim.

2.2 Simulasi V2V

Simulasi sistem komunikasi V2V dilakukan berdasarkan hasil pemodelan sistem dengan penambahan skema modulasi adaptif seperti yang telah dijabarkan sebelumnya. Berikut ini adalah nilai parameter yang digunakan dalam simulasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
Bit yang dibangkitkan	10000 bit
Subcarrier	64 subcarrier
Orde FFT	64 orde
Cyclic prefix	25% durasi simbol
Modulasi	BPSK QPSK 16-QAM
Jumlah penghambur	8 penghambur
Frekuensi Doppler Ternormalisasi	0,01
<i>Threshold channel gain</i>	0-1 Step: 0,5

Simulasi dilakukan berulang kali dengan mengubah *threshold channel gain*. Nilai *threshold* divariasikan dari 0 hingga 1 dengan rentang perubahan adalah 0,5. Hasil simulasi akan dimasukkan ke dalam *dataset* yang digunakan oleh algoritma *machine learning* untuk melakukan prediksi.

2.3 Implementasi *Random Forest Regression*

Random forest regression merupakan algoritma yang berasal dari kombinasi beberapa *decision tree* (Kurniawati, dkk, 2020). Setiap *decision tree* pada random forest bergantung pada nilai suatu vektor acak yang sampelnya diambil secara independen dan distribusi yang sama.

Pada algoritma *random forest*, parameter jumlah estimator menunjukkan banyaknya *decision tree* dalam *forest*. Secara umum, semakin banyak jumlah estimator, semakin baik hasilnya. Namun, pada suatu titik tertentu kinerja prediksi akan menurun dikarenakan tingginya

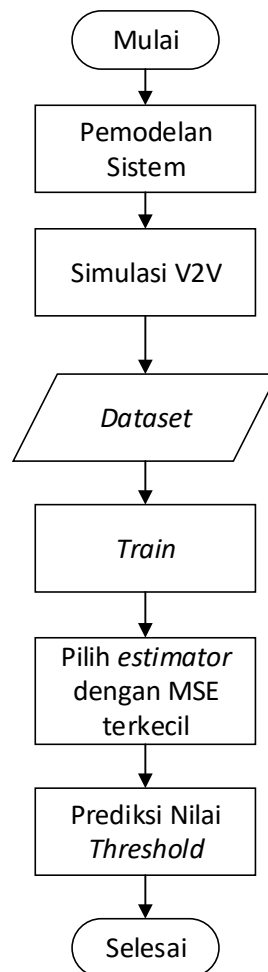
kebutuhan komputasi (**Sullivan, 2018**). Oleh karena itu perlu dicari di jumlah estimator berapa algoritma menghasilkan nilai prediksi terbaik.

Pada penelitian ini, hasil simulasi dibuat menjadi sebuah *dataset*. Selanjutnya dataset di *train* menggunakan jumlah estimator yang berbeda. Kemudian dihitung perbandingan *error* hasil prediksi dengan nilai hasil simulasi menggunakan MSE.

MSE merupakan metrik evaluasi model yang sering digunakan sebagai validasi model regresi (**Theodoridis, 2020**). Fungsi ini menghitung nilai *error* dengan cara membagi jumlah selisih kuadrat dari hasil prediksi dan hasil sebenarnya dibagi jumlah data. Semakin kecil nilai MSE maka semakin akurat hasil prediksi. Persamaan di bawah ini menunjukkan pemodelan matematis MSE.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y - y_i)^2 \quad (10)$$

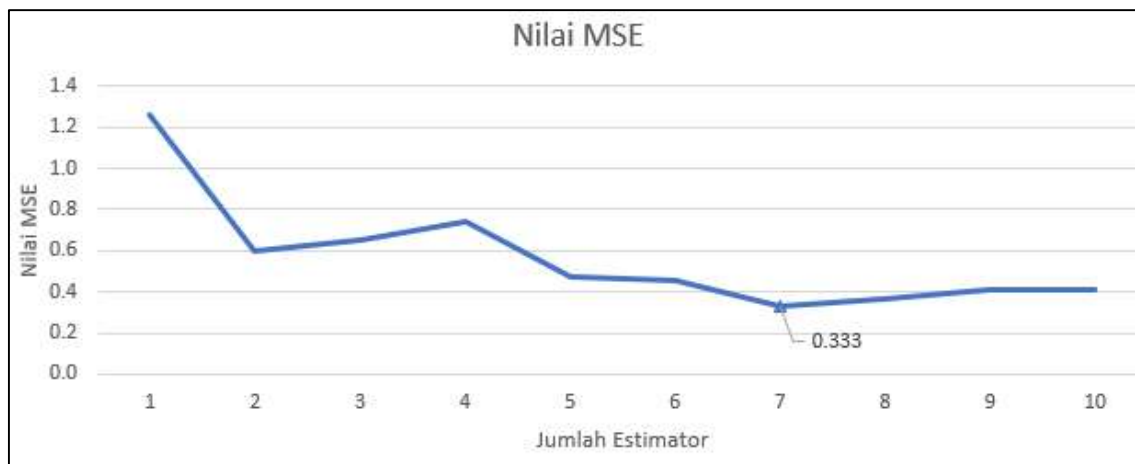
Setelah diketahui jumlah estimator yang menghasilkan MSE terkecil, dilakukan prediksi nilai *channel gain threshold* menggunakan jumlah estimator tersebut. Gambar 3 mengilustrasikan proses hingga didapatkan prediksi nilai *channel gain threshold*.



Gambar 3. Alur Prediksi Nilai Channel Gain Threshold

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil simulasi sistem V2V didapatkan nilai SNR untuk *threshold channel gain* yang berbeda-beda. Selanjutnya hasil tersebut dibuat menjadi dataset yang kemudian *di train* oleh algoritma *random forest regression* dengan jumlah estimator yang divariasikan dari satu hingga sepuluh. Lalu dilakukan *testing* dan dihitung nilai MSEnya. Gambar 4 menunjukkan nilai MSE untuk setiap estimator.



Gambar 4. Nilai MSE dengan Jumlah Estimator yang Berbeda

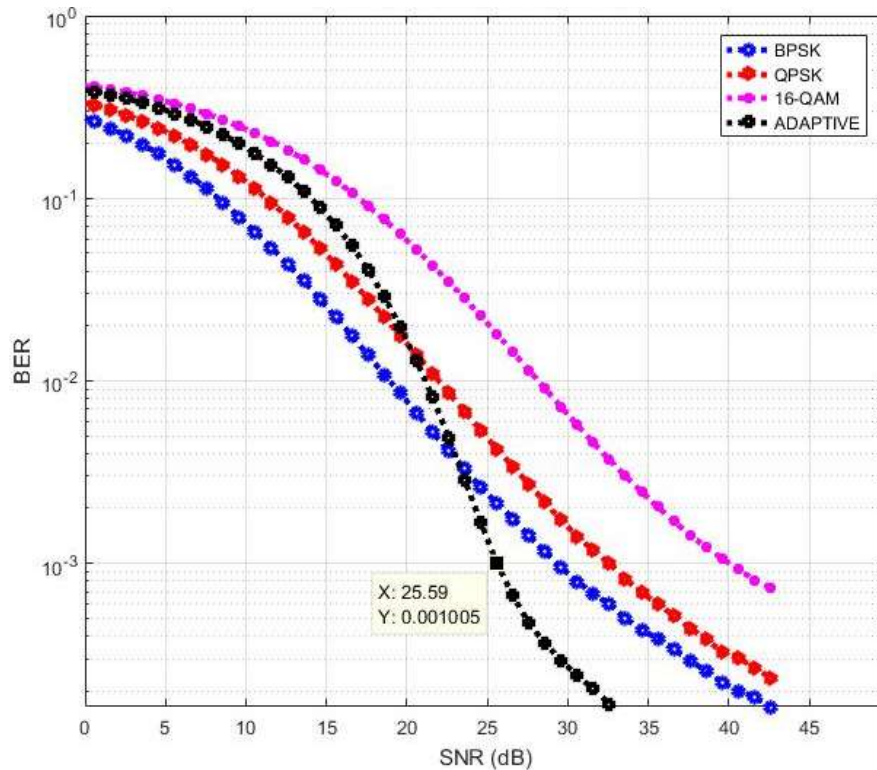
Dari grafik Gambar 4 dapat dilihat bahwa jumlah estimator yang berbeda menghasilkan MSE yang berbeda. Secara umum, nilai MSE semakin menurun dari 1,3 hingga 0,3 ketika jumlah estimator divariasikan dari 1 hingga 7. Namun ketika jumlah estimator semakin diperbanyak lagi, nilai MSE justru meningkat. Hal ini sejalan dengan pembahasan pada bagian 2,3. Karena jumlah estimator 7 menghasilkan MSE terkecil, yaitu 0,333, maka dengan jumlah estimator sebanyak 7, dilakukan prediksi nilai *channel gain threshold*.

Dengan menggunakan estimator = 7, dilakukan prediksi *channel gain threshold* dengan parameter BER maksimal 0,001 dan SNR terendah. Hasil prediksi didapatkan hasil yang ditunjukkan oleh Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Prediksi *Threshold Gain*

Threshold 1	Threshold 2	SNR (dB)
0,1	0,3	25,59

Dari hasil prediksi, dengan nilai *threshold* 0,1 dan 0,3, SNR yang dibutuhkan untuk menjaga BER tidak melebihi 0,001 adalah sebesar 25,59 dB. Untuk membandingkan performansi skema modulasi adaptif, dilakukan simulasi kembali dengan membandingkan kondisi jika sistem komunikasi menggunakan skema non-adaptif atau hanya menggunakan modulasi BPSK, QPSK, atau 16-QAM saja. Grafik di bawah ini menunjukkan hasil perbandingannya.



Gambar 5. Perbandingan SNR untuk Modulasi BPSK, QPSK, 16-QAM dan Adaptif

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa untuk mempertahankan nilai BER tidak melebihi 0,001 dibutuhkan SNR sebesar 29,9 dB jika digunakan modulasi BPSK, 33 dB jika menggunakan modulasi QPSK, dan 40 dB jika digunakan modulasi 16-QAM. Sementara itu jika digunakan skema modulasi adaptif dengan *threshold channel gain* 0,1 dan 0,3, SNR yang dibutuhkan hanya sebesar 25,59 dB. Tabel di bawah ini menunjukkan besarnya pengurangan SNR dari masing-masing modulasi dibandingkan dengan modulasi adaptif.

Tabel 3. Hasil Pengurangan SNR

Modulasi	Pengurangan SNR (dB)
BPSK	3,1
QPSK	7,41
16-QAM	14,1

Dari Tabel 3 tersebut dapat dilihat bahwa dengan menggunakan skema modulasi adaptif terjadi pengurangan SNR sebesar 3,1 dB dibandingkan jika sistem V2V menggunakan modulasi BPSK. Jika dibandingkan dengan modulasi QPSK, penggunaan modulasi adaptif dapat mengurangi SNR sebesar 7,41 dB. Sementara itu jika dibandingkan dengan modulasi 16-QAM, pengurangan SNR yang terjadi mencapai 14,1 dB.

4. KESIMPULAN

Dari hasil prediksi menggunakan algoritma *random forest regression* dengan jumlah estimator sebanyak 7, didapatkan *channel gain threshold* adalah 0,1 dan 0,3. Dari hasil pembuktian dari simulasi sistem, dengan menggunakan threshold tersebut, nilai SNR yang

dibutuhkan adalah sebesar 25,59 dB. Sehingga dapat disimpulkan, dengan menggunakan skema modulasi adaptif, nilai SNR yang dibutuhkan untuk menjaga BER tidak melebihi 0,001 dapat berkurang sebesar 3,1 hingga 14,1 dB.

DAFTAR RUJUKAN

- Abbas, O. M. (2017). Forecasting with Machine Learning. *International Journal of Computer (IJC)*, 26(1), 184–194.
- Abdelgader, A. M. S., & Lenan, W. (2014). The Physical Layer of the IEEE 802.11p WAVE Communication Standard: The Specifications and Challenges. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*.
- Arena, F., Pau, G., & Severino, A. (2020). A Review on IEEE 802.11p for Intelligent Transportation Systems. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 9(2), 22. <https://doi.org/10.3390/jsan9020022>
- Bonaccorso, G. (2017). *Machine Learning Algorithms: A reference guide to popular algorithms for data science and machine learning*. Packt Publishing Ltd.
- Gogas, P., & Papadimitriou, T. (2021). Machine Learning in Economics and Finance. *Computational Economics*, 57(1), 1–4. <https://doi.org/10.1007/s10614-021-10094-w>
- Gomez-Vega, C. A., Jaime-Rodriguez, J. J., Gutierrez, C. A., & Velazquez, R. (2017). Bit error rate performance analysis of vehicular communication systems considering velocity variations of the mobile stations. *2017 IEEE 37th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXVII)*, (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1109/CONCAPAN.2017.8278502>
- Gupta, N., & Nath Kaush, B. (2017). Machine Learning in Biomedical Mining for Disease Detection. *Journal of Artificial Intelligence*, 11(1), 39–47. <https://doi.org/10.3923/jai.2018.39.47>
- Halegoua, G. R. (2020). *Smart Cities*. The MIT Press.
- Jaya, T., Gopinathan, E., & Rajendran, V. (2016). Comparison of BER Performance of Various Adaptive Modulation Schemes in OFDM Systems. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(40). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i40/99588>
- Kurniawati, N., Fahmi, A., & Alam, S. (2021). Predicting Rectangular Patch Microstrip Antenna Dimension Using Machine Learning. *Journal of Communications*, 16(9), 394–399. <https://doi.org/10.12720/jcm.16.9.394-399>
- Kurniawati, N., Ningsih, Y. K., Puspa, S. D., & Adi, T. S. (2021). Algoritma Epsilon Greedy pada Reinforcement Learning untuk Modulasi Adaptif Komunikasi Vehicle to Infrastructure (V2I). *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, &*

- Teknik Elektronika*, 9(3), 716. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i3.716>
- Kurniawati, N., Novita Nurmala Putri, D., & Kurnia Ningsih, Y. (2020). Random Forest Regression for Predicting Metamaterial Antenna Parameters. *2020 2nd International Conference on Industrial Electrical and Electronics (ICIEE)*, (pp. 174–178). <https://doi.org/10.1109/ICIEE49813.2020.9276899>
- Nafea, I. T. (2018). Machine Learning in Educational Technology. In *Machine Learning - Advanced Techniques and Emerging Applications*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72906>
- Novfitri, A., Suryani, T., & Suwadi. (2018). Performance Analysis of Vehicle-to-Vehicle Communication with Adaptive Modulation. *2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*, (pp. 187–191). <https://doi.org/10.1109/EECCIS.2018.8692895>
- Patel, C. S., Stuber, G. L., & Pratt, T. G. (2005). Simulation of Rayleigh-Faded Mobile-to-Mobile Communication Channels. *IEEE Transactions on Communications*, 53(11), 1876–1884. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2005.858678>
- Raju, M., & Reddy, K. A. (2016). Evaluation of BER for AWGN, Rayleigh fading channels under M-QAM modulation scheme. *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, (pp. 3081–3086). <https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7755268>
- Sassi, A., Charfi, F., Kamoun, L., Elhillali, Y., & Rivenq, A. (2012). OFDM Transmission Performance Evaluation in V2X Communication. *International Journal of Computer Science Issues*, 9(2), 141–148. <http://arxiv.org/abs/1410.8039>
- Sullivan, W. (2018). *Decision Tree And Random Forest: Machine Learning And Algorithms: The Future Is Here!* CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Theodoridis, S. (2020). Mean-Square Error Linear Estimation. *Machine Learning*, 121–177. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818803-3.00013-1>
- Thomas, B. (2016). Proposed rule would mandate vehicle-to-vehicle (V2V) communication on light vehicles, allowing cars to “talk” to each other to avoid crashes. *National Highway Traffic Safety Information*.
- Wang, W., Liu, H., Lin, W., Chen, Y., & Yang, J.-A. (2020). Investigation on Works and Military Applications of Artificial Intelligence. *IEEE Access*, 8, 131614–131625. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3009840>
- Zajic, A. (2013). *Mobile-to-Mobile Wireless Channels*. Artech House.