

Penentuan Batas *Gain* Kanal Modulasi Adaptif V2V dengan Doppler *Shift* yang Bervariasi Menggunakan *Machine Learning*

Nazmia Kurniawati¹, Aisyah Novfitri², Arti Suryaning Tyas³

^{1,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia

²Program Studi Telekomunikasi, Institut Teknologi Telkom Jakarta, Indonesia

Article Info

Article history:

Received Oct 02, 2022

Revised Dec 23, 2022

Accepted Jan 07, 2022

Keywords:

Adaptive Modulation
Channel Gain Threshold
Doppler Shift
Machine Learning

ABSTRACT

Doppler shift is a phenomenon that occurs when the vehicle is moving. The effect of Doppler shift is a degradation in performance of Vehicle to Vehicle (V2V) communication. Adaptive modulation is a technique to improve the performance. It is done by adjusting the modulation scheme used according to noise conditions while keeping the Bit Error Rate (BER) value not exceeding 10⁻³. In this research, three Doppler shift values are used. The shift is derived from speed limit determined by The Government of Indonesia. Then machine learning algorithm is used to predict channel gain threshold that can optimize the use of Signal to Noise Ratio (SNR) with a BER limit of 10⁻³. From the prediction results, it is found that by implementing the predicted channel gain threshold, the SNR required by adaptive modulation has the lowest value compared to non-adaptive modulation schemes. The lower the required SNR value, the communication is more resistant to noise interference.

Copyright © 2022 Universitas Indraprasta PGRI.
All rights reserved.

Corresponding Author:

Nazmia Kurniawati,
Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Jakarta,
Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy Kampus UI, Kukusan, Beji, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia 16425.
Email: nazmia.kurniawati@elektro.pnj.ac.id

1. PENDAHULUAN

Doppler *shift* (pergeseran frekuensi Doppler) merupakan fenomena bergesernya frekuensi yang diterima akibat kondisi kendaraan yang bergerak [1]. Frekuensi yang diterima dapat menjadi lebih tinggi atau rendah tergantung pada arah pergerakan kendaraan[2]. Komunikasi *Vehicle-to-Vehicle* (V2V) merupakan sistem komunikasi yang memungkinkan dilakukannya komunikasi antar kendaraan yang bergerak. Dengan kondisi kendaraan yang saling bergerak, Doppler shift akan mempengaruhi komunikasi V2V. Adanya Doppler *shift* pada sistem komunikasi V2V menyebabkan terjadinya penurunan *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang diterima oleh *receiver* dan peningkatan nilai *Bit Error Rate* (BER) [3]. Dengan tingginya nilai BER maka tingkat kesalahan informasi yang diterima oleh *receiver* juga tinggi. Berdasarkan standar *Institute of Electrical and Electronic Engineering* (IEEE), maksimal nilai BER yang diperbolehkan adalah 10⁻³ [4]. Oleh karena itu, nilai BER harus dijaga untuk terus berada di bawah nilai maksimum agar performansi sistem komunikasi tidak buruk.

Penggunaan skema modulasi yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan, disebut juga dengan modulasi adaptif, merupakan salah satu cara untuk mengatasi penurunan performansi sistem komunikasi V2V yang disebabkan oleh Doppler *shift*. Pada modulasi adaptif, skema modulasi yang digunakan untuk berkomunikasi akan disesuaikan dengan level *noise* yang dilewati kendaraan[5]. Saat kondisi lingkungan yang

dilewati oleh kendaraan berada dalam level *noise* yang tinggi, maka informasi sangat rentan terhadap gangguan. Untuk mencegah tingginya kesalahan informasi yang diterima maka digunakan modulasi orde rendah. Sementara itu ketika level *noise* sedang rendah, maka dapat digunakan modulasi orde tinggi. Dengan menyesuaikan orde modulasi sesuai dengan kondisi level *noise* yang dilewati kendaraan, maka performansi sistem komunikasi V2V dapat dikontrol.

Gain kanal menentukan performansi sistem komunikasi V2V. Sinyal yang diterima oleh *receiver* merupakan penjumlahan dari *gain* kanal dengan *noise*. *Gain* kanal sendiri berupa bilangan kompleks di mana nilai magnitudonya menunjukkan atenuasi sinyal dan sudutnya menunjukkan pergeseran fase. Untuk mempertahankan daya yang diterima tetap berada dalam nilai tertentu, saat *noise* tinggi, *gain* kanal akan kecil. Sementara jika *noise* rendah, *gain* kanal akan tinggi. Pada modulasi adaptif, saat *gain* kanal rendah maka digunakan modulasi orde rendah. Sementara saat *gain* kanal tinggi, digunakan modulasi orde tinggi.

Nilai batas *gain* kanal adalah parameter yang mengatur penggunaan skema modulasi pada modulasi adaptif. Nilai batas ini berupa hasil fungsi distribusi kumulatif dari kemungkinan kondisi kanal yang didapatkan dari *Channel State Information* (CSI). Batas *gain* kanal bawah mengontrol penggunaan modulasi orde rendah dan batas *gain* kanal atas mengontrol penggunaan modulasi orde tinggi. Untuk menentukan nilai batas *gain* kanal bawah dan atas masih dilakukan secara trial and error [6]. Oleh karena itu diperlukan suatu metode yang lebih sistematis untuk menentukan nilai batas *gain* kanal.

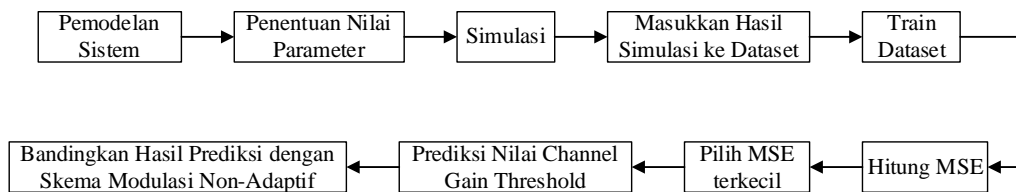
Machine learning merupakan suatu metode yang digunakan untuk melakukan prediksi suatu nilai tertentu berdasarkan *dataset* [7]. *Dataset* tersebut berisi data statistik suatu event tertentu yang berisi kondisi input dan hasilnya. Berbeda dengan pemrograman biasa di mana untuk menentukan suatu hasil diperlukan input dan seperangkat aturan, pada *machine learning*, suatu hasil diprediksi berdasarkan history dari data terdahulu. *Machine learning* telah diimplementasikan di beberapa bidang, seperti kesehatan [8], ekonomi [9], pendidikan [10], dan militer [11].

Pada penelitian ini dilakukan prediksi nilai batas *gain* kanal untuk modulasi pada sistem komunikasi V2V dengan nilai Doppler *shift* yang bervariasi menggunakan *machine learning*. Nilai Doppler *shift* yang digunakan disesuaikan dengan batas kecepatan yang ditetapkan pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2013 tentang jaringan lalu lintas dan angkutan jalan Pasal 23 Ayat 4. Pada peraturan tersebut ditetapkan kecepatan tertinggi yang diperbolehkan adalah 50 Km/jam untuk kawasan perkotaan, 80 Km/jam untuk jalan antarkota, dan 100 Km/jam untuk jalan bebas hambatan [12].

2. METODE

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap. Pada tahap pertama dilakukan pemodelan sistem komunikasi V2V. Hasil pemodelan digunakan untuk menentukan parameter pada simulasi di tahap kedua. Untuk dapat melakukan prediksi, *machine learning* membutuhkan *dataset*. Oleh karena itu simulasi dilakukan berulang kali hingga didapatkan data yang cukup untuk digunakan sebagai *dataset*. Nilai batas *gain* kanal diubah-ubah untuk mencari nilai SNR optimal dengan BER yang tidak melebihi 10^{-3} . Nilai Doppler *shift* juga diubah sesuai dengan batas kecepatan yang ditentukan.

Pada tahap selanjutnya dilakukan training *dataset* menggunakan algoritma *machine learning* dan dihitung perbandingan *error* antara nilai sebenarnya dengan nilai hasil prediksi untuk mengetahui seberapa besar perbedaan antara nilai sebenarnya dengan nilai hasil prediksi. Semakin kecil nilai *error* maka semakin kecil kesalahan hasil prediksi. Lalu dilakukan prediksi nilai batas *gain* kanal sesuai dengan nilai Doppler *shift*nya. Pada tahap akhir dilakukan simulasi kembali untuk mendapatkan perbandingan nilai SNR antara skema modulasi adaptif dan non-adaptif. Dari hasil tersebut dapat ditentukan apakah dengan skema modulasi adaptif dapat mengoptimalkan SNR yang dibutuhkan atau tidak. Gambar berikut ini menunjukkan alur penelitian.

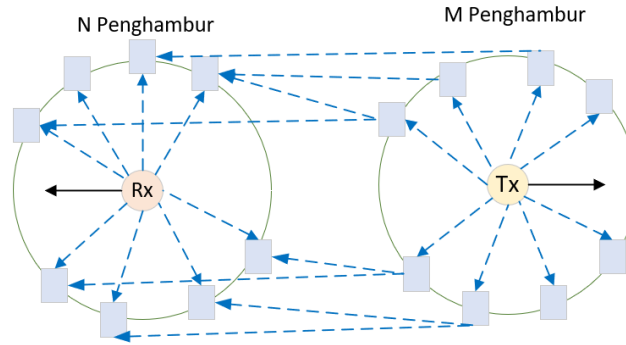


Gambar 1. Alur Penelitian

2.1 Model Sistem Komunikasi

Berdasarkan standar yang ditetapkan oleh IEEE, desain V2V mengacu pada IEEE 802.11p menggunakan *transceiver Orthogonal Frequency Division Multiplex* (OFDM) dengan frekuensi kerja 5.9 GHz [13]. Model sistem komunikasi V2V menggunakan kondisi kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* model

cincin ganda yang terpengaruh Doppler *shift* dengan penghambur yang mengelilingi *transmitter* dan *receiver*. Model kanal dapat diilustrasikan sebagai berikut.



Gambar 2. Model Kanal V2V

Sinyal yang diterima oleh *receiver*, dapat dimodelkan dengan persamaan berikut:

$$r(t) = h(t) \cdot x(t) + z(t) \tag{1}$$

$r(t)$ adalah hasil konvolusi antara *gain* kanal $h(t)$ dengan sinyal yang dikirimkan $x(t)$ dan *noise* $z(t)$.

Gain kanal V2V mengadopsi *sum of sinusoida* (sos) yang dimodelkan menggunakan *Single Input Single Output (SISO) Non-Line of Sight* dengan persamaan berikut ini [14].

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

M adalah jumlah penghambur yang mengelilingi *transmitter* (Tx) dan N adalah jumlah penghambur yang mengelilingi *receiver* (Rx). f_1 merupakan Doppler *shift* ternormalisasi yang mempengaruhi *receiver* sedangkan f_2 Doppler *shift* ternormalisasi yang mempengaruhi *transmitter*. Pada penelitian ini nilai f_1 dan f_2 diasumsikan bernilai sama dan disimbolkan dengan ζd . Untuk menghitung ζd digunakan persamaan berikut ini:

$$f_d = f_c \frac{v}{c} \tag{3}$$

$$\zeta_d = \frac{f_d}{\Delta f} \tag{4}$$

f_d adalah frekuensi Doppler dan f_c adalah frekuensi *carrier*. v adalah kecepatan kendaraan dan c adalah kecepatan rambat gelombang elektromagnetik. ζ_d adalah Doppler *shift* ternormalisasi dan Δf adalah guardband antar subcarrier OFDM.

α_n merupakan parameter yang menunjukkan sudut kedatangan antara *receiver* dengan penghambur θ_n . Sedangkan β_m adalah sudut keberangkatan antara *transmitter* dan penghambur Ψ_m . Untuk mencari α_n dan β_m digunakan persamaan berikut ini:

$$\alpha_n = \frac{2n\pi - \pi + \theta_n}{4N} \tag{5}$$

$$\beta_m = \frac{2(2m\pi - \pi + \Psi_m)}{4M} \tag{6}$$

Skema modulasi yang dapat digunakan pada IEEE 802.11p adalah *Binary Phase Shift Keying* (BPSK), *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), *16 Quadrature Amplitude Modulation* (16-QAM), dan 64-QAM [13]. Untuk penggunaan modulasi adaptif, maka digunakan beberapa skema modulasi yang diperbolehkan. Untuk penelitian ini digunakan tiga jenis modulasi untuk mengakomodasi kondisi *noise* tinggi, sedang, dan rendah.

Gain kanal membatasi penggunaan skema modulasi. Dikarenakan ada tiga modulasi yang digunakan, maka terdapat dua nilai *gain* kanal untuk membatasi modulasi. Batas *gain* kanal bawah digunakan untuk membatasi penggunaan skema modulasi orde rendah dan sedang. Batas *gain* kanal atas membatasi penggunaan skema modulasi orde sedang dan tinggi.

Nilai batas *gain* kanal disimbolkan dengan γ . Nilai batas *gain* kanal bawah disimbolkan dengan γ_1 dan batas *gain* kanal atas disimbolkan dengan γ_2 . Jika nilai γ berada di bawah nilai γ_1 , maka modulasi yang digunakan adalah BPSK. Jika γ berada di antara nilai γ_1 dan γ_2 maka modulasi yang digunakan adalah QPSK. Jika γ berada di atas nilai γ_2 maka skema modulasi yang digunakan adalah 16-QAM. Ketiga kondisi tersebut dapat dinotasikan dalam persamaan berikut ini:

$$\gamma_1 \geq \gamma_{BPSK} \tag{7}$$

$$\gamma_1 < \gamma_{QPSK} \leq \gamma_2 \tag{8}$$

$$\gamma_{16-QAM} > \gamma_2 \tag{9}$$

2.2 Parameter Simulasi

Parameter simulasi ditetapkan dari hasil pemodelan sistem yang telah dilakukan. Nilai frekuensi *carrier* f_c adalah 5.9 GHz dan *guardband* OFDM Δf adalah 156.25 KHz sesuai dengan standar IEEE 802.11p [15]. Mengadopsi model yang dibuat oleh Novfitri dkk, jumlah penghambur di pengirim dan penerima dibuat berjumlah sama yaitu 8 penghambur [6].

Untuk menentukan nilai frekuensi Doppler f_d dan Doppler *shift* ternormalisasi ζ_d digunakan batas standar kecepatan v yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah [12]. Nilai f_d dan ζ_d dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Batas Kecepatan dan Doppler Shift

Batas Kecepatan	Frekuensi Doppler (f_d)	Doppler <i>Shift</i> Ternormalisasi (ζ_d)
50 Km/jam	273.1481	0.0017
80 Km/jam	437.037	0.0028
100 Km/jam	546.2963	0.0035

Simulasi dilakukan berulang kali hingga hasil simulasinya cukup digunakan sebagai *dataset*. Nilai batas *gain* kanal diubah-ubah dari minimum 0 hingga maksimum 1 dengan step 0.1. Parameter simulasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
f_c	5.9 GHz
Δf	156.25 KHz
Modulasi	<ul style="list-style-type: none"> • BPSK • QPSK • 16-QAM
Jumlah penghambur	8
ζ_d	<ul style="list-style-type: none"> • 0.0017 • 0.0028 • 0.0035

2.3 Penerapan *Machine learning*

Untuk dapat menggunakan *machine learning*, dibutuhkan sebuah *dataset*. *Dataset* yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil dari simulasi sistem V2V dengan parameter dan nilai yang telah ditentukan pada Tabel 2.

Untuk mendapatkan *dataset*, simulasi dilakukan berulang kali dengan mengubah nilai batas *gain* kanal dan nilai Doppler *shift*. *Dataset* yang dibuat terdiri dari tiga fitur dengan jumlah data sebanyak 324 *record*. Adapun fitur pada *dataset* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Fitur *Dataset* dan Deskripsinya

Fitur	Deskripsi
γ_1	Nilai batas <i>gain</i> kanal bawah
γ_2	Nilai batas <i>gain</i> kanal atas
SNR	Nilai SNR saat BER 10^{-3}

Terdapat banyak algoritma *machine learning* yang dapat digunakan untuk melakukan prediksi. Pemilihan algoritma sangat penting dilakukan agar dapat dihasilkan prediksi yang memiliki nilai *error* sekecil mungkin. Pada penelitian ini terdapat dua nilai yang diprediksi, yaitu nilai batas *gain* kanal bawah γ_1 dan nilai batas *gain* kanal atas γ_2 . Oleh karena itu dibutuhkan algoritma yang dapat melakukan *multiclass prediction* [16].

Algoritma *random forest* merupakan salah satu algoritma *machine learning* yang dapat digunakan untuk melakukan *multiclass prediction* dengan nilai *error* yang kecil. Pada *random forest*, jumlah *estimator* digunakan untuk mengatur *error* prediksi [17].

Mean Square Error (MSE) merupakan salah satu formula yang dapat digunakan untuk menghitung *error* prediksi. MSE dihitung dengan cara mencari nilai rata-rata dari hasil selisih nilai sebenarnya dikurangi nilai hasil prediksi yang dikuadratkan [18]. Berikut ini adalah formula untuk menghitung MSE.

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

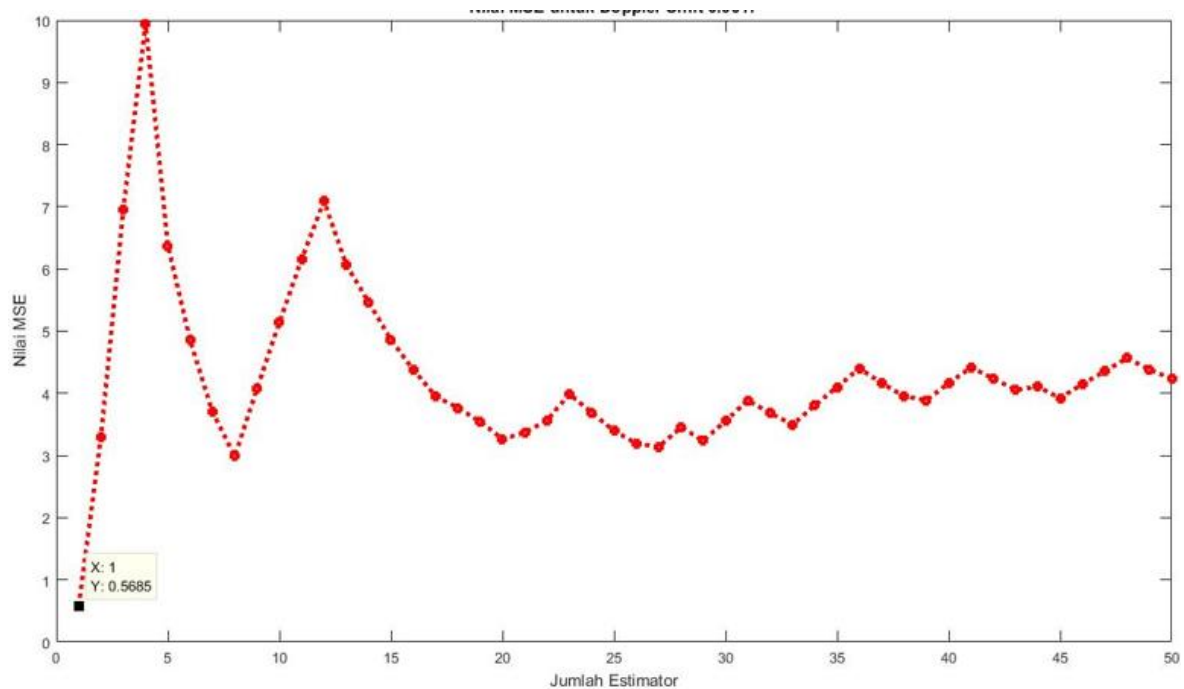
Dataset yang dibuat akan *ditrain* dengan jumlah *estimator* yang berbeda. Pada penelitian ini jumlah *estimator* yang digunakan diubah-ubah dari 1 hingga 50. Selanjutnya *estimator* dengan nilai *error* terkecil dipilih untuk melakukan prediksi nilai γ_1 dan γ_2 . Sebagai konfirmasi, simulasi V2V dilakukan kembali untuk membuktikan apakah benar nilai γ_1 dan γ_2 dapat menghasilkan nilai SNR terkecil.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil *training dataset*, dilakukan prediksi nilai γ_1 dan γ_2 dengan jumlah *estimator* yang berbeda. Selanjutnya dilakukan perhitungan MSE. Jumlah *estimator* yang menghasilkan nilai *error* terkecil dipilih untuk melakukan prediksi nilai γ_1 dan γ_2 . Kemudian dilakukan simulasi kembali untuk mengetahui nilai SNR. Pada tahap tersebut dibandingkan juga nilai SNR skema modulasi adaptif dengan nilai SNR jika digunakan skema modulasi non-adaptif untuk membuktikan keunggulan skema modulasi adaptif.

3.1 Doppler shift 0.0017

Gambar 3 menunjukkan nilai MSE dengan jumlah *estimator* yang diubah dari 1 hingga 50. Terjadi fluktuasi yang signifikan dari jumlah *estimator* 1 hingga 20. Ketika jumlah *estimator* sudah lebih dari 20, fluktuasi nilai *error* tidak terlalu signifikan. Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai *error* terkecil didapatkan saat jumlah *estimator* sebanyak 1 dengan *error* sebesar 0.5685.



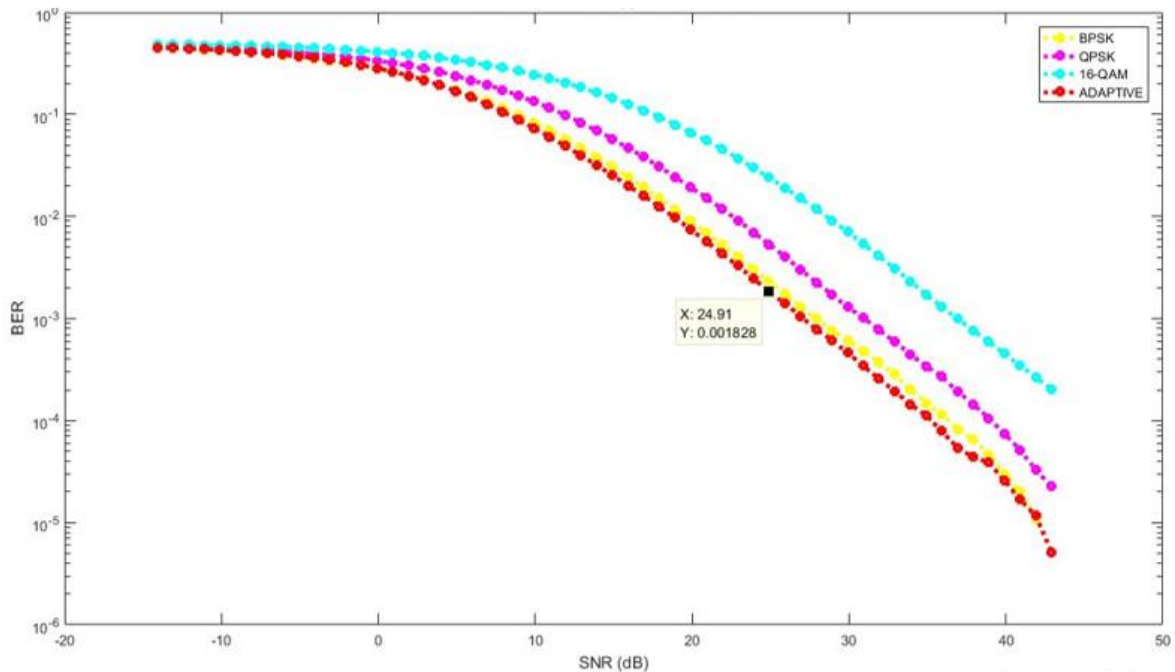
Gambar 3. Nilai MSE untuk Doppler Shift 0.0017

Setelah didapatkan *estimator* yang menghasilkan nilai *error* terkecil, dilakukan simulasi kembali untuk memprediksi nilai batas *gain* kanal bawah dan *gain* kanal atas. Dari hasil prediksi didapatkan hasil seperti ditunjukkan oleh Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Batas Gain Kanal Hasil Prediksi $z_d = 0.0017$

ζ_d	γ_1	γ_2
0.0017	0.6	0.9

Kemudian dilakukan simulasi sistem V2V kembali untuk mengkonfirmasi nilai SNR dengan menggunakan batas kanal *gain* hasil prediksi. Grafik SNR skema modulasi adaptif dibandingkan dengan tiga jenis modulasi non-adaptif, yaitu BPSK, QPSK, dan 16-QAM, sesuai dengan parameter yang disebutkan pada Tabel 2.



Gambar 4. Nilai SNR Skema Modulasi Adaptif dan Non-Adaptif untuk $\zeta_d = 0.0017$

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa secara umum, nilai SNR yang dibutuhkan oleh modulasi adaptif, garis berwarna merah, lebih kecil dibandingkan dengan non-adaptif. Dengan mengambil batas nilai BER 10^{-3} , sesuai dengan standar IEEE, didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

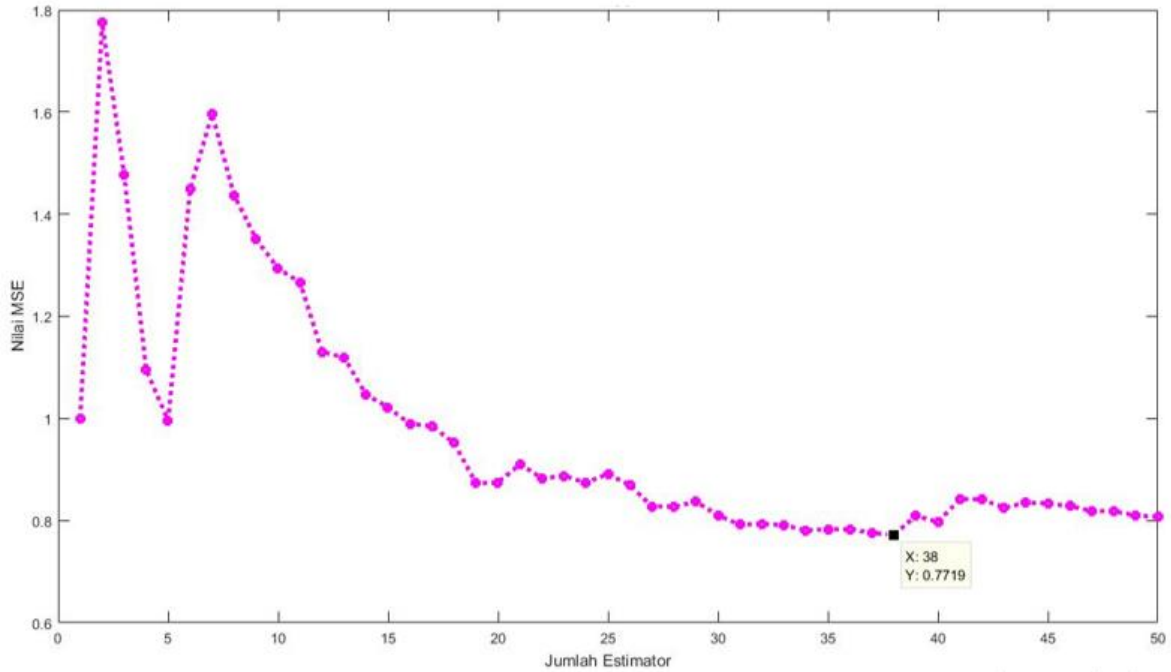
Tabel 5. Perbandingan Nilai SNR Modulasi Adaptif Dan Non-Adaptif $\zeta_d = 0.0017$

Modulasi	SNR (dB)	Selisih dengan Modulasi Adaptif (dB)
Adaptif	24.91	0
BPSK	25.91	+1
QPSK	28.91	+4
16-QAM	33.91	+9

Dari Tabel dapat dilihat bahwa pada Doppler *Shift* sebesar 0.0017 atau kecepatan 50 Km/jam, dengan modulasi adaptif dan batas *gain* kanal 0.6 dan 0.9, SNR yang dibutuhkan berkurang hingga 9 dB jika digunakan modulasi non-adaptif. Dengan semakin kecilnya SNR yang dibutuhkan maka toleransi terhadap *noise* semakin tinggi.

3.2 Doppler *shift* 0.0028

Gambar 5 menunjukkan hasil perhitungan MSE untuk Doppler *shift* 0.0028 atau kecepatan 80 Km/jam. Ketika jumlah *estimator* kurang dari 10 terjadi fluktuasi nilai MSE yang signifikan. Nilai MSE secara bertahap terus menurun ketika jumlah *estimator* semakin diperbanyak. Dari jumlah *estimator* 1 hingga 50, nilai MSE terkecil didapatkan ketika jumlah *estimator* sebanyak 38 dengan nilai MSE 0.7719.



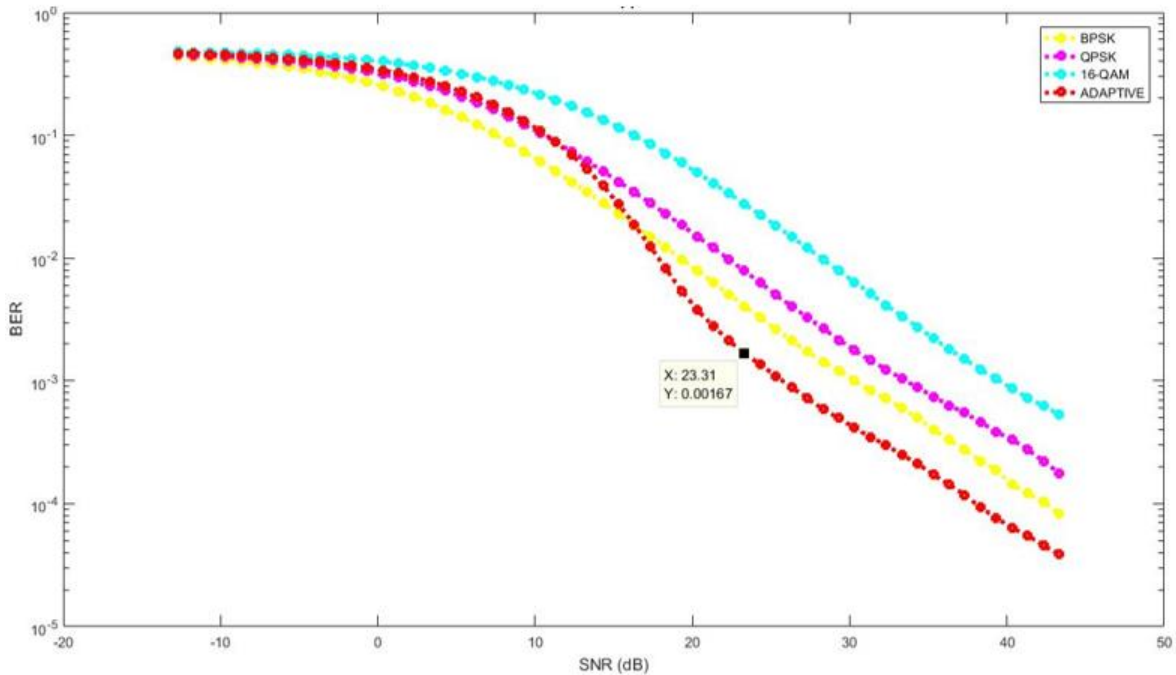
Gambar 5. Nilai MSE untuk Doppler Shift 0.0028

Dengan menggunakan jumlah *estimator* sebanyak 38, dilakukan prediksi nilai batas *gain* kanal bawah dan atas. Nilai batas *gain* kanal untuk Doppler *shift* 0.0028 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Nilai Batas Gain Kanal Hasil Prediksi $\zeta_d = 0.0028$

ζ_d	γ_1	γ_2
0.0028	0.2	0.54

Simulasi dilakukan kembali dengan menerapkan nilai batas *gain* kanal bawah dan atas sesuai hasil prediksi yang ditunjukkan pada Tabel 6 untuk mengetahui perbandingan nilai SNR antara skema modulasi adaptif dengan ketiga jenis modulasi non-adaptif. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Nilai SNR Skema Modulasi Adaptif dan Non-Adaptif untuk $\zeta_d = 0.0028$

Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai SNR yang dibutuhkan oleh modulasi adaptif nilai hampir setara dengan SNR yang dibutuhkan oleh QPSK. Namun ketika BER kurang dari 0.5, nilai SNR yang dibutuhkan oleh modulasi adaptif semakin berkurang hingga lebih kecil dari SNR yang dibutuhkan oleh BPSK. Dengan mengambil batas BER 0.001, Tabel 7 menunjukkan perbandingan nilai SNR yang dibutuhkan oleh modulasi adaptif dan non-adaptif.

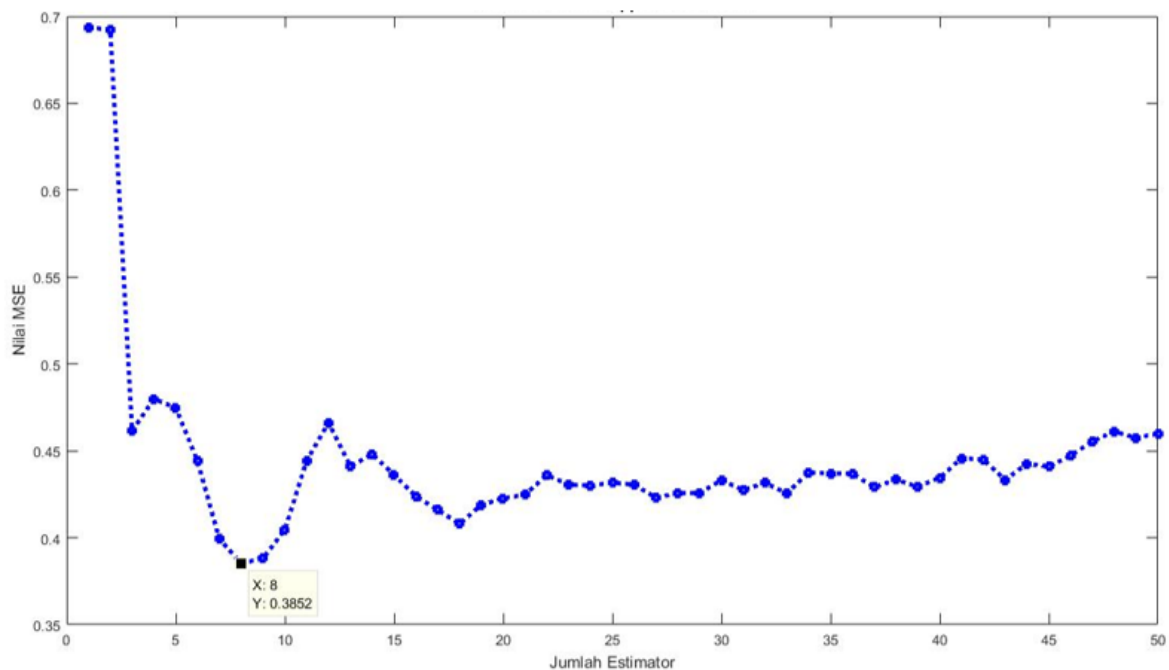
Tabel 7. Perbandingan Nilai SNR Modulasi Adaptif Dan Non-Adaptif $\zeta_a = 0.0028$

Modulasi	SNR (dB)	Selisih dengan Modulasi Adaptif (dB)
Adaptif	23.31	0
BPSK	27.31	+3
QPSK	30.31	+7
16-QAM	36.31	+13

Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa SNR yang dibutuhkan oleh modulasi adaptif dengan Doppler *shift* sebesar 0.0028 adalah 27.31 dB. Sementara itu BPSK memerlukan SNR 3dB lebih besar, QPSK membutuhkan SNR 7dB lebih besar, dan 16-QAM membutuhkan 13 dB lebih banyak.

3.3 Doppler *shift* 0.0035

Gambar 7 menunjukkan nilai MSE untuk Doppler *shift* 0.0035 atau kecepatan 100 Km/jam. Ketika jumlah *estimator* sudah lebih dari 20, grafik cenderung stabil dengan fluktuasi yang berkisar 0.1. Nilai MSE terkecil didapatkan saat jumlah *estimator* sebanyak 8 dengan nilai MSE 0.3852.



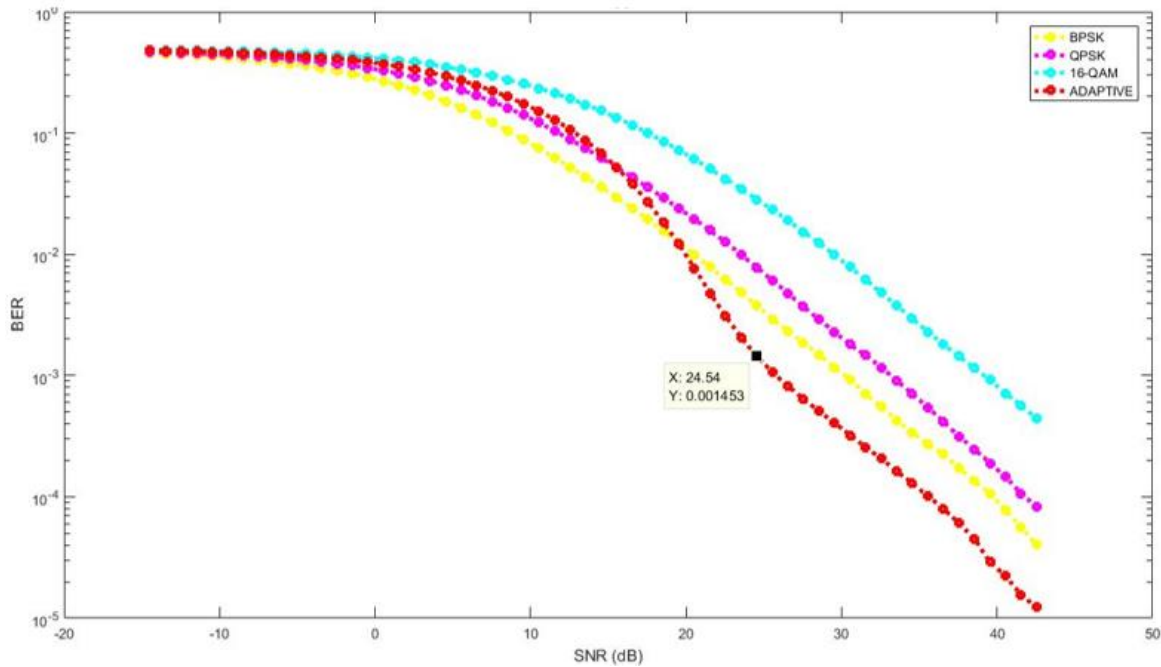
Gambar 7. Nilai MSE untuk Doppler *Shift* 0.0035

Dengan menggunakan jumlah *estimator* 8, dilakukan prediksi nilai γ_1 dan γ_2 . Hasil prediksi ditunjukkan oleh Tabel 8.

Tabel 8. Nilai Batas Gain Kanal Hasil Prediksi $z_b = 0.0035$

ζ_a	γ_1	γ_2
0.0035	0.225	0.3575

Dengan menggunakan $\gamma_1 = 0.225$ dan $\gamma_2 = 0.3575$ dilakukan simulasi untuk mencari nilai SNR yang dibutuhkan oleh modulasi adaptif. Hasil dari simulasi ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8. Nilai SNR Skema Modulasi Adaptif dan Non-Adaptif untuk $\zeta_d = 0.0035$

Dari grafik dapat dilihat bahwa ketika BER kurang dari 10⁻¹, SNR yang dibutuhkan oleh modulasi adaptif lebih tinggi dari SNR yang dibutuhkan oleh QPSK. Namun SNR yang dibutuhkan oleh modulasi adaptif semakin mengecil ketika nilai BER semakin rendah hingga lebih kecil dari BPSK. Tabel 9 menunjukkan perbandingan nilai SNR yang dibutuhkan oleh setiap modulasi.

Tabel 9. Perbandingan Nilai SNR Modulasi Adaptif Dan Non-Adaptif $\zeta_d = 0.0035$

Modulasi	SNR (dB)	Selisih dengan Modulasi Adaptif (dB)
Adaptif	24.54	0
BPSK	27.54	+3
QPSK	30.54	+6
16-QAM	36.54	+12

Dari Tabel 9 dapat dilihat bahwa SNR yang dibutuhkan oleh modulasi adaptif merupakan yang terkecil dibandingkan BPSK, QPSK, dan 16-QAM dengan selisih hingga 12 dB jika dibandingkan dengan modulasi level tertinggi.

4. PENUTUP

Dengan menggunakan algoritma *machine learning* berhasil didapatkan batas *gain* kanal yang dapat mengoptimalkan penggunaan SNR dengan batas BER 10⁻³. Dari hasil prediksi, nilai batas *gain* kanal untuk Doppler shift 0.0017 adalah 0.6 dan 0.9. Untuk Doppler shift 0.0028 batas *gain* kanal hasil prediksi adalah 0.2 dan 0.54. Sementara itu untuk batas *gain* kanal dengan Doppler shift sebesar 0.0035 adalah 0.225 dan 0.3575. Dari hasil pembuktian simulasi, didapatkan SNR yang dibutuhkan oleh modulasi adaptif dengan menggunakan batas *gain* kanal hasil prediksi memiliki nilai terendah dibandingkan skema modulasi non-adaptif. Dengan semakin kecilnya nilai SNR yang dibutuhkan maka toleransi terhadap noise semakin tinggi. Sebagai perbaikan dari metode yang digunakan, metode Deep Learning yang memiliki kemampuan komputasi lebih baik dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi hasil prediksi. Selain itu pengujian dengan menggunakan eksperimen lapangan dapat memberikan gambaran yang lebih nyata demi tercapainya implementasi sistem komunikasi V2V di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Y. Miao, X. Dong, M. A. Bourassa, and D. Zhu, "Effects of Different Wave Spectra on Wind-Wave Induced Doppler Shift Estimates," in *IGARSS 2020 - 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Sep. 2020, pp. 5705–5708, doi: 10.1109/IGARSS39084.2020.9323413.

[2] T. Gerkema, L. R. M. Maas, and H. van Haren, "A Note on the Role of Mean Flows in Doppler-Shifted

- Frequencies,” *Journal of Physical Oceanography*, vol. 43, no. 2, pp. 432–441, Feb. 2013, doi: 10.1175/JPO-D-12-090.1.
- [3] X. Shu, C. Li, W. Chen, J. Yu, and K. Yang, “Performance Analysis of V2V Radio Channel under Typical Urban Intersection Scenario,” in *2018 IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS)*, 2018, pp. 216–220.
- [4] A. Sassi, F. Charfi, L. Kamoun, Y. Elhillali, and A. Rivenq, “OFDM Transmission Performance Evaluation in V2X Communication,” *International Journal of Computer Science Issues*, vol. 9, no. 2, pp. 141–148, Oct. 2012, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1410.8039>.
- [5] N. Kurniawati and Y. K. Ningsih, “Reinforcement Learning-Based Adaptive Modulation for Vehicular Communication,” in *2021 18th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, May 2021, pp. 224–227, doi: 10.1109/ECTI-CON51831.2021.9454740.
- [6] A. Novfitri, T. Suryani, and Suwadi, “Performance Analysis of Vehicle-to-Vehicle Communication with Adaptive Modulation,” in *2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*, Oct. 2018, pp. 187–191, doi: 10.1109/EECCIS.2018.8692895.
- [7] O. M. Abbas, “Forecasting with Machine Learning,” *International Journal of Computer (IJC)*, vol. 26, no. 1, pp. 184–194, 2017.
- [8] K. Shailaja, B. Seetharamulu, and M. A. Jabbar, “Machine Learning in Healthcare: A Review,” in *2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, Mar. 2018, pp. 910–914, doi: 10.1109/ICECA.2018.8474918.
- [9] P. Gogas and T. Papadimitriou, “Machine Learning in Economics and Finance,” *Computational Economics*, vol. 57, no. 1, pp. 1–4, Jan. 2021, doi: 10.1007/s10614-021-10094-w.
- [10] I. T. Nafea, “Machine Learning in Educational Technology,” in *Machine Learning - Advanced Techniques and Emerging Applications*, InTech, 2018.
- [11] W. Wang, H. Liu, W. Lin, Y. Chen, and J.-A. Yang, “Investigation on Works and Military Applications of Artificial Intelligence,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 131614–131625, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3009840.
- [12] Indonesia, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2013 tentang Jaringan Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*. Indonesia, 2013.
- [13] F. Arena, G. Pau, and A. Severino, “A Review on IEEE 802.11p for Intelligent Transportation Systems,” *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 9, no. 2, p. 22, Apr. 2020, doi: 10.3390/jsan9020022.
- [14] A. Zajic, *Mobile-to-Mobile Wireless Channels*. Artech House, 2013.
- [15] A. M. S. Abdelgader and W. Lenan, “The Physical Layer of the IEEE 802.11p WAVE Communication Standard: The Specifications and Challenges,” 2014.
- [16] S. D. A. Bujang *et al.*, “Multiclass Prediction Model for Student Grade Prediction Using Machine Learning,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 95608–95621, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3093563.
- [17] N. Kurniawati, A. Fahmi, and S. Alam, “Predicting Rectangular Patch Microstrip Antenna Dimension Using Machine Learning,” *Journal of Communications*, vol. 16, no. 9, pp. 394–399, 2021, doi: 10.12720/jcm.16.9.394-399.
- [18] S. Theodoridis, “Mean-Square Error Linear Estimation,” in *Machine Learning*, Elsevier, 2020, pp. 121–177.