

PREDIKSI EMISI KARBON KENDARAAN PRIBADI DAN REKOMENDASI KENDARAAN ALTERNATIF MENGGUNAKAN MACHINE LEARNING DENGAN MODEL NEURAL NETWORK

Niken Larasati^{1*}

Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Malang, niken.larasati.2003124@students.um.ac.id¹

*Email : niken.larasati.2003124@students.um.ac.id

Abstrak

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan harian masyarakat, mobilitas juga akan semakin meningkat. Saat ini, penggunaan transportasi pribadi semakin marak seiring dengan perkembangan jumlah kendaraan bermotor yang semakin meningkat. Transportasi pribadi merupakan salah satu kontributor utama dalam terbentuknya emisi karbon. Emisi karbon merupakan suatu zat pencemar udara yang dihasilkan dari sisa pembakaran bahan bakar fosil. Meskipun banyak solusi yang telah disampaikan, mengurangi emisi karbon dari alat transportasi masih menjadi tantangan yang signifikan. Untuk membantu mengatasi masalah tersebut, aplikasi penghitungan emisi karbon kendaraan pribadi ini dapat membantu pengguna turut serta berkontribusi pada upaya pengurangan emisi karbon. Program pada penelitian ini memfasilitasi pengguna untuk menghitung emisi karbon transportasi pribadi mereka dan menemukan cara untuk mengurangi emisi karbon mereka. Penelitian ini menggunakan machine learning dengan model neural network untuk menghitung prediksi dan memunculkan rekomendasi kendaraan alternatif apabila emisi karbon yang dikeluarkan telah melampaui ambang batas emisi karbon harian. Pengguna akan diminta untuk memasukkan jarak tempuh, jenis kendaraan, tahun kendaraan, jenis bahan bakar, dan transmisi dari mobil yang mereka gunakan. Dari hasil perhitungan, apabila prediksi emisi karbon yang dikeluarkan melebihi ambang batas harian, maka program akan memberikan rekomendasi berupa kendaraan alternatif yang menghasilkan emisi karbon lebih sedikit.

Kata kunci: Machine learning, neural network, emisi karbon, prediksi, rekomendasi

PENDAHULUAN

Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010, emisi adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar. Emisi karbon merupakan sisa hasil pembakaran bahan bakar yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin [1]. Emisi tersebut dapat mengakibatkan pencemaran atau polusi udara.

Udara merupakan faktor yang sangat penting dalam kehidupan. Akan tetapi, pada saat ini kualitas udara semakin menurun akibat semakin banyaknya industri yang dibangun pada kota-kota besar dan semakin maraknya penggunaan transportasi pribadi [2]. Sejalan dengan pesatnya pertumbuhan jumlah penduduk, jumlah kendaraan bermotor yang digunakan juga semakin meningkat. Menurut data dari Badan Pusat Statistik, perkembangan jumlah kendaraan bermotor pada tahun 2019 sejumlah 133.617.012 unit dan pada tahun 2016 sejumlah 136.137.451 unit, sedangkan pada tahun 2017 sejumlah 141.992.573 unit sepeda motor. Dengan semakin meningkatnya jumlah kendaraan bermotor yang digunakan, maka kualitas udara juga akan semakin menurun setiap waktu akibat emisi yang dikeluarkan oleh kendaraan tersebut. Apabila pencemar udara telah melebihi ambang batas, maka dikhawatirkan akan mengganggu kesehatan masyarakat [3].

Menurut World In Data, pada tahun 1950 dunia mengeluarkan 6 miliar ton CO₂. Kemudian, pada tahun 1990 mencapai lebih dari 22 miliar ton. Untuk saat ini, lebih dari 34 miliar ton CO₂ dikeluarkan setiap tahun. Asia menyumbang 53% dari emisi global, ini berarti emisi per kapita di Asia hanya sedikit lebih rendah dari rata-rata emisi karbon dunia dan menjadi penyumbang emisi karbon terbesar di dunia. Berdasarkan data sekunder, sekitar 16,2% dari seluruh gas rumah kaca yang dipancarkan secara global berasal dari sektor transportasi. Emisi karbon sebagian besar berasal dari kendaraan darat yang menyumbang 11,9% dari 16,2% emisi karbon dari sektor transportasi.

Berdasarkan dataset emisi karbon yang diperoleh dari Kaggle, hal yang dapat mempengaruhi jumlah emisi karbon yang dikeluarkan oleh mobil adalah tahun kendaraan, jenis bahan bakar, tipe mobil, transmisi, dan konsumsi bahan bakar. Program pada penelitian ini menggunakan tahun kendaraan, jenis mobil, jenis bahan bakar, dan jenis transmisi sebagai masukan untuk menghasilkan prediksi dari data yang ada. Pada penelitian sebelumnya, dikatakan bahwa umur kendaraan dapat mempengaruhi hasil emisi gas buangan. Emisi karbon yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor cenderung mengalami kenaikan seiring dengan semakin tuanya umur kendaraan [3].

Faktor emisi merupakan koefisien yang menunjukkan banyaknya emisi per unit aktivitas. Unit aktivitas dapat berupa volume yang dikonsumsi atau volume yang diproduksi oleh kendaraan [4]. Setiap jenis bahan bakar memiliki faktor emisi yang berbeda-beda. Pertalite memiliki faktor emisi sebesar 375,966 g/kg, pertamax memiliki faktor emisi sebesar 317,749 g/kg, sedangkan pertamax turbo memiliki faktor emisi sebesar 234,372 g/kg [5]. Jenis bahan bakar akan berpengaruh secara signifikan terhadap besarnya emisi karbon yang ditimbulkan karena faktor emisi yang dihasilkan oleh setiap jenis bahan bakar berbeda.

Faktor lain yang dapat mempengaruhi besarnya emisi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor adalah tipe kendaraan. Setiap tipe kendaraan memiliki spesifikasinya masing-masing, seperti jenis transmisi, kelas kendaraan, jumlah silinder, dan konsumsi bahan bakar. Hal tersebut menyebabkan emisi karbon yang dikeluarkan oleh setiap tipe kendaraan menjadi berbeda. Selain itu, jenis bahan bakar juga memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap besarnya emisi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Rata-rata jumlah emisi karbon yang dihasilkan oleh kendaraan dengan bahan bakar pertamax turbo memiliki jumlah kandungan emisi karbon yang lebih rendah jika dibandingkan dengan kendaraan yang menggunakan bahan bakar pertalite [6].

Jenis transmisi juga merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi jumlah emisi karbon yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor. Berdasarkan dataset yang diperoleh, emisi karbon mobil dengan transmisi manual cenderung memiliki kandungan emisi karbon yang lebih kecil jika dibandingkan dengan emisi karbon yang dihasilkan oleh kendaraan dengan transmisi otomatis. Oleh karena itu, aplikasi ini menjadikan tahun kendaraan, jenis mobil, jenis bahan bakar, dan jenis transmisi sebagai masukan yang digunakan untuk menghitung prediksi emisi karbon yang akan dikeluarkan berdasarkan jarak tempuh tertentu.

Penelitian ini menggunakan *machine learning* dengan model *neural network*. *Machine learning* telah banyak digunakan pada penelitian sebelumnya untuk membuat prediksi, seperti prediksi harga sembako [7], prediksi tingkat pemahaman mahasiswa terhadap suatu mata kuliah [8], prediksi ekspor tanaman obat, aromatik, dan rempah-rempah [9], prediksi produksi telur ayam petelur [10], prediksi harga saham [11], prediksi penyakit jantung [12], dan prediksi status pengiriman barang [13]. Pada penelitian sebelumnya mengenai perbandingan antara model algoritma Linear Regression, Neural Network, Deep Learning, dan k-Nearest Neighbor (k-NN), diperoleh bahwa model *neural network* memiliki hasil prediksi terbaik dengan akurasi tertinggi [14]. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan model *neural network* untuk menghasilkan prediksi emisi karbon.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kesadaran tentang bahaya emisi karbon dan memberdayakan individu untuk membuat tindakan yang dapat mengurangi jejak karbon mereka. Dengan memanfaatkan teknologi canggih seperti *machine learning*, penelitian ini akan membantu pengguna dalam mengurangi emisi karbon mereka dengan memberikan beberapa rekomendasi kendaraan alternatif mengingat bahaya yang ditimbulkan dari emisi karbon sangat berbahaya terhadap lingkungan, kesehatan, bahkan ekonomi.

METODE

Pada penelitian ini, metode yang akan digunakan ialah metode *machine learning* dengan menggunakan model *neural network*. *Machine learning* merupakan bidang studi yang memberi komputer kemampuan untuk belajar tanpa diprogram secara eksplisit. *Machine learning* dapat melakukan analisis yang membantu menangani data besar dengan mengembangkan algoritma komputer [15]. Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data yang mengandung beberapa unsur penting dalam perhitungan emisis karbon. Dataset tersebut diperoleh dari *website* bernama Kaggle, sebuah *website* yang merupakan sebuah komunitas ilmu data terbesar di dunia dengan alat dan sumber daya canggih untuk membantu pengguna mencapai tujuan ilmu data.

Adapun tahap dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh bahan dan materi yang dibutuhkan guna menunjang perhitungan dalam pembuatan aplikasi ini. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari *website* bernama Kaggle. Data yang digunakan terdiri dari data tipe mobil, tahun pembuatan, kelas kendaraan, ukuran mesin, jumlah silinder, jenis transmisi, jenis bahan bakar, konsumsi bahan bakar di perkotaan dan tol, serta emisi karbon yang dihasilkan. Pada penelitian ini, sumber data digunakan untuk mendapatkan prediksi emisi karbon yang akan dikeluarkan oleh jenis kendaraan yang dipakai pengguna dengan jarak tempuh sesuai dengan titik awal dan tujuan pengguna

serta beberapa input yang diperlukan dari pengguna. Sampel data detail kendaraan dan emisi karbon yang digunakan dalam penelitian ini, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sampel Data Emisi Karbon Setiap Jenis Mobil

Tahun	Jenis Mobil	Kelas Kendaraan	Ukuran Mesin	Silinder	Transmisi	Jenis Bahan Bakar	Konsumsi Bahan Bakar Kota	Konsumsi Bahan Bakar Tol	Kombinasi (L/100 km)	Kombinasi (mpg)	Emisi Karbon
2020	Honda Civic Hatchback	Full-size	1.5	4	AV	X	7.7	6	6.9	41	162
2020	Honda Civic Hatchback Sport	Full-size	1.5	4	AV7	Z	8	6.6	7.4	38	172
2020	Honda Civic Sedan	Mid-size	1.5	4	AV7	X	7.8	6.2	7.1	40	165
2020	Honda Civic Sedan Si	Mid-size	1.5	4	M6	Z	8.9	6.4	7.8	36	183
2020	Honda Civic Type R	Full-size	2	4	M6	Z	10.5	8.4	9.6	29	223
2020	Honda CR-V	SUV: Small	1.5	4	AV	X	8.3	7	7.7	37	180
2020	Honda CR-V AWD	SUV: Small	1.5	4	AV	X	8.7	7.4	8.1	35	189
2020	Honda Fit	Station wagon: Small	1.5	4	AV	X	7	5.9	6.5	43	151
2020	Honda HR-V	Station wagon: Small	1.8	4	AV	X	8.4	7	7.8	36	181
2020	Honda HR-V AWD	Station wagon: Small	1.8	4	AV	X	8.8	7.5	8.2	34	193

Sumber: <https://www.kaggle.com/datasets/debajyotipodder/co2-emission-by-vehicles>

Selain data dari detail kendaraan dan emisi karbon yang digunakan untuk menghasilkan prediksi, ada pula data yang berisi kendaraan alternatif dan emisi karbon yang dihasilkan oleh kendaraan-kendaraan tersebut. Dataset ini digunakan untuk memunculkan daftar kendaraan alternatif beserta total emisi karbon yang dikeluarkan berdasarkan jarak yang telah di-*input*-kan pengguna. Rekomendasi kendaraan alternatif ini hanya akan muncul apabila total emisi karbon kendaraan pribadi pengguna melebihi total emisi karbon hariannya. Data kendaraan alternatif dan emisi karbon yang digunakan dalam penelitian ini, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Jenis Kendaraan Alternatif dengan Emisi Karbon yang Dihasilkan

No.	Transportation	CO2 Emission (g/km)
1.	Penerbangan jarak pendek	255
2.	Penerbangan jarak sedang	192
3.	Penerbangan jarak jauh	171
4.	Bus	105
5.	Sepeda motor	103
6.	Kendaraan listrik	53
7.	Kereta api	41

Sumber: Departemen Bisnis, Energi, dan Strategi Industri Inggris via Our World in Data

2. Persiapan data (*preprocessing*)

Pada tahap ini dilakukan perubahan format sesuai dengan kebutuhan, mereduksi variabel yang tidak diperlukan, mengganti nilai yang hilang (*missing value*), memperbaiki data yang tidak konsisten, dan mengeliminasi data yang lebih dari satu agar tidak mempengaruhi akurasi dan hasil prediksi. Pada penelitian ini, variabel yang akan digunakan adalah jenis mobil, tahun pembuatan, kelas mesin, ukuran mesin, jumlah silinder, transmisi, jenis bahan bakar, konsumsi bahan bakar perkotaan dan tol, serta emisi karbon yang ditimbulkan.

Pada tahap ini juga dilakukan visualisasi data untuk memahami hubungan antar variabelnya dan memahami struktur data. Dengan begitu, variabel yang tidak berpengaruh secara signifikan dapat

direduksi. Setelah melakukan analisis data, data dibagi dua menjadi *train set* dan *test set*. *Train set* digunakan untuk mempelajari model dengan dataset yang ada. Sedangkan *test set* digunakan untuk memeriksa akurasi model *neural network* yang digunakan.

3. Pemilihan model

Pada penelitian ini, model yang digunakan adalah model neural network dengan satu input layer, tiga hidden layers, dan satu output layer. Alasan penggunaan model neural network adalah karena model ini memiliki tingkat akurasi yang baik dan dapat mengekstrak pola yang kompleks dalam menghasilkan prediksi. Selain itu, pada penelitian sebelumnya juga telah dijelaskan bahwa model *neural network* memiliki nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) paling kecil daripada model algoritma regresi linier, *deep learning*, dan *K-Nearest Neighbor* (k-NN) [14]. Dengan nilai RMSE atau *loss function* yang semakin kecil, makin model akan menghasilkan nilai akurasi prediksi yang lebih baik. Berikut merupakan arsitektur model yang digunakan pada penelitian ini:

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense (Dense)	(None, 512)	6144
dense_1 (Dense)	(None, 512)	262656
dense_2 (Dense)	(None, 256)	131328
dense_3 (Dense)	(None, 128)	32896
dense_4 (Dense)	(None, 1)	129

Total params: 433,153		
Trainable params: 433,153		
Non-trainable params: 0		

Gambar 1. Arsitektur Model Neural Network

4. *Training* model

Pada tahap ini, model akan dilatih menggunakan *training dataset*. Setelah itu, kinerja dari model saat melakukan *training* akan diuji menggunakan *validation set*. *Validation set* merupakan himpunan data yang digunakan untuk melakukan optimasi pada model saat dilakukan *training*. Pengujian ini dilakukan untuk melihat seberapa besar kemampuan model dalam mengenali pola secara umum dan seberapa baik akurasi yang dihasilkan pada saat dilakukan *training*. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan variabel emisi karbon sebagai *test set* untuk menghasilkan prediksi.

5. Evaluasi model

Pada tahap ini, dilakukan evaluasi berupa pemeriksaan kinerja model setelah dilakukan *training*. Hasil akurasi dari beberapa input yang telah dimasukkan menunjukkan bahwa model memiliki kinerja yang baik. Model tersebut menunjukkan akurasi sebesar 98% hingga 99%.

6. Pembuatan prediksi dan rekomendasi

Setelah model dievaluasi dan dikatakan layak digunakan, maka tahap selanjutnya adalah pembuatan prediksi. Dalam pembuatan prediksi emisi karbon dalam gram per kilometer, data yang digunakan adalah data dari *test set*. Prediksi akan muncul sesuai dengan jenis kendaraan, tahun pembuatan, jenis bahan bakar, dan jenis transmisi dari mobil yang diinputkan oleh pengguna.

Pengguna juga diminta untuk memasukkan jarak tempuh guna menghitung total emisi karbon yang akan dikeluarkan oleh mobil pengguna. Apabila total emisi karbon melebihi batas maksimum harian, maka akan ditampilkan rekomendasi kendaraan alternatif dan total emisi karbon yang dihasilkan kendaraan tersebut dengan menggunakan dataset yang berbeda.

7. Evaluasi

Pada tahap ini, dilakukan evaluasi terhadap tingkat akurasi dari setiap percobaan yang dilakan dengan inputan yang berbeda. Apabila hasil akurasi baik, maka hasil prediksi akan mendekati nilai emisi karbon sesuai dengan yang ada pada dataset. Hasil akurasi dari percobaan-percobaan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa besar akurasinya cukup baik, yaitu antara 98 – 99%. Adapun hasil dan pembahasan secara detail akan dijelaskan lebih lanjut pada bagian hasil dan pembahasan.

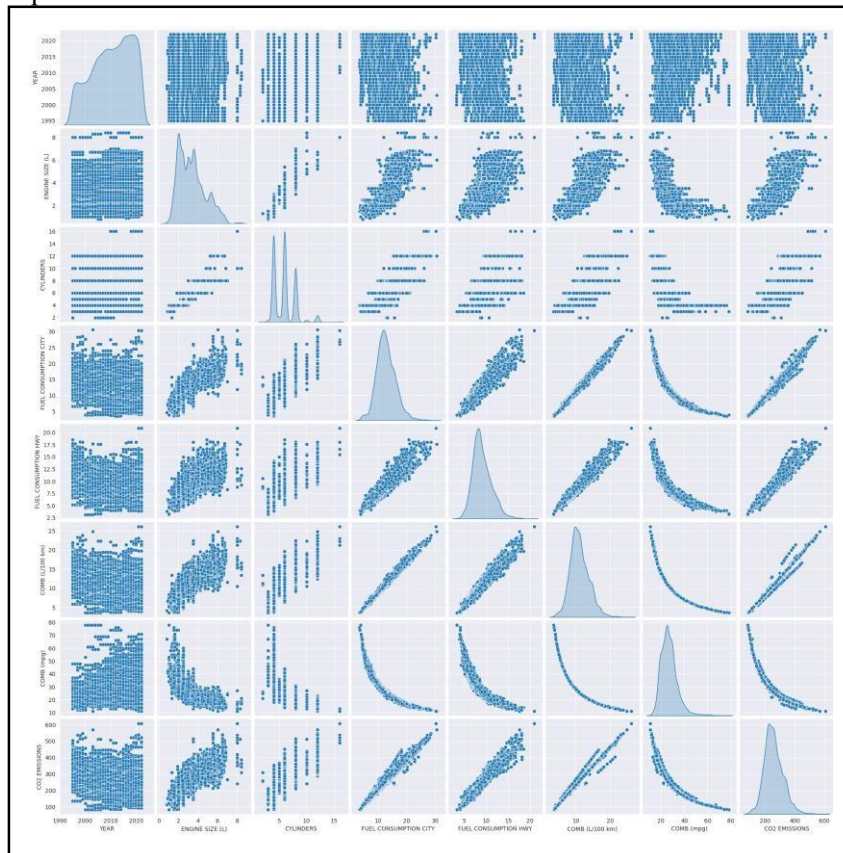
8. *Deployment (Implementasi)*

Setelah model dievaluasi dan dinyatakan layak untuk digunakan memprediksi emisi karbon, maka proses selanjutnya adalah implementasi (*deployment*). Pada tahap ini, kode program akan diimplementasikan sebagai aplikasi *mobile* dengan desain dan fitur-fitur yang sesuai. Namun, tahap ini tidak dibahas karena merupakan batasan dari artikel ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Analisis Data

Berdasarkan hasil analisis data, setiap variabel memiliki korelasi yang beragam terhadap variabel emisi karbon. Ukuran mesin, jumlah silinder, konsumsi bahan bakar perkotaan dan tol, serta kombinasi (l/100 km) memiliki korelasi positif terhadap emisi karbon yang dihasilkan. Sedangkan kombinasi konsumsi bahan bakar (mpg) dan tahun kendaraan memiliki korelasi negatif terhadap emisi karbon yang dihasilkan. Berikut merupakan visualisasi data berupa korelasi antar variabel yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 2. Scatter Plot dari Setiap Variabel yang Digunakan



Gambar 3. Korelasi Antar Tiap Variabel yang Digunakan

2. Hasil Perhitungan Prediksi dan Rekomendasi

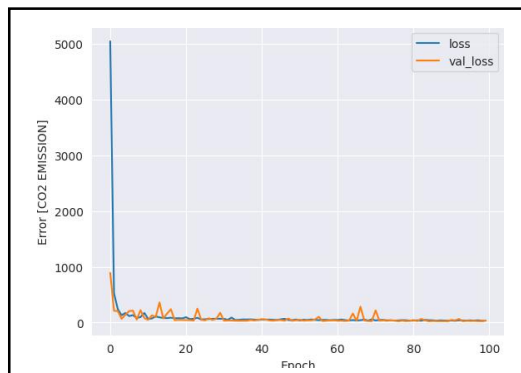
Berdasarkan hasil perhitungan dengan model yang telah digunakan, diperoleh hasil prediksi sebagai berikut:

2.1 Percobaan 1

Pada percobaan kedua, jenis mobil yang digunakan sebagai masukan adalah Honda CR-V dengan detail sebagai berikut:

- Batas maksimum emisi harian: 2.000 gram
- Jarak tempuh yang dilalui: 15 km
- Jenis mobil: Honda CR-V
- Tahun kendaraan: 2020
- Jenis bahan bakar: X
- Transmisi mobil: AV

Setelah program dijalankan, diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 4. Grafik Loss Function dan Validation Loss Percobaan 1

```

1/1 [=====] - 0s 90ms/step
This model hits an accuracy of 99.85949198404948% (an error of 0.14050801595052081%)

Predicted CO2 Emission: 180.25291442871094 g/km

Total carbon emissions: 2703.793716430664 gram.
Warning: The carbon emissions of your car exceed the maximum limit.

You have exceeded the maximum limit of carbon emissions.

Here are some alternative transportation options with lower CO2 emissions.
Recommended alternatives:
- Train with total emission 615 gram
- Electric vehicle with total emission 795 gram
- Motor cycle with total emission 1545 gram
- Bus with total emission 1575 gram

1/1 [=====] - 0s 38ms/step
This model hits an accuracy of 98.8709423423472% (an error of 1.1290576576527969%)
    
```

Gambar 5. Hasil Prediksi, Akurasi, dan Rekomendasi Percobaan 1

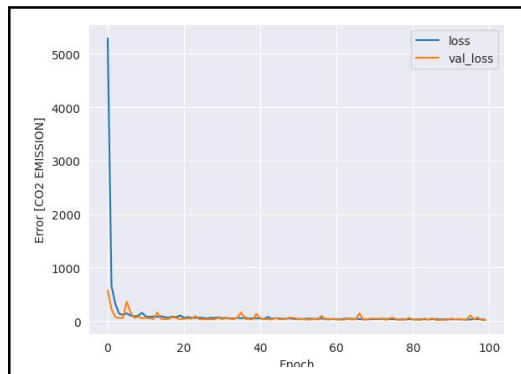
Dari hasil perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa akurasi dari model yang dijalankan adalah sebesar 99,85% dengan error sebesar 0,14 dan hasil prediksi emisi karbon sebesar 180,25 km/gram. Kemudian, karena total emisi karbon yang dikeluarkan melebihi batas emisi harian, maka muncul beberapa rekomendasi kendaraan alternatif yang menghasilkan emisi karbon lebih kecil. Kendaraan alternatif tersebut adalah kereta api, kendaraan listrik, sepeda motor, dan bus.

2.2 Percobaan 2

Pada percobaan kedua, jenis mobil yang digunakan sebagai masukan adalah Toyota Yaris dengan detail sebagai berikut:

- Batas maksimum emisi harian: 2.500 gram
- Jarak tempuh yang dilalui: 20 km
- Jenis mobil: Toyota Yaris
- Tahun kendaraan: 2020
- Jenis bahan bakar: X
- Transmisi mobil: AS6

Setelah program dijalankan, diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 6. Grafik Loss Function dan Validation Loss Percobaan 2

```

1/1 [=====] - 0s 73ms/step
This model hits an accuracy of 98.4835913873488% (an error of 1.5164086126512095%)

Predicted CO2 Emission: 157.35043334960938 g/km

Total carbon emissions: 3147.0086669921875 gram.
Warning: The carbon emissions of your car exceed the maximum limit.

You have exceeded the maximum limit of carbon emissions.

Here are some alternative transportation options with lower CO2 emissions.
Recommended alternatives:
- Train with total emission 820 gram
- Electric vehicle with total emission 1060 gram
- Motor cycle with total emission 2060 gram
- Bus with total emission 2100 gram
    
```

Gambar 7. Hasil Prediksi, Akurasi, dan Rekomendasi Percobaan 2

Dari hasil perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa akurasi dari model yang dijalankan adalah sebesar 98,48% dengan error sebesar 1,51 dan hasil prediksi emisi karbon sebesar 157,35

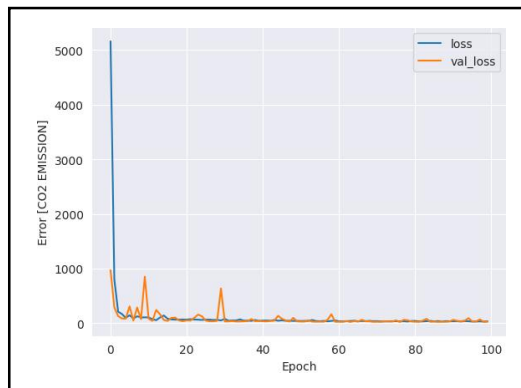
km/gram. Kemudian, karena total emisi karbon yang dikeluarkan melebihi batas emisi harian, maka muncul beberapa rekomendasi kendaraan alternatif yang menghasilkan emisi karbon lebih kecil. Kendaraan alternatif tersebut adalah kereta api, kendaraan listrik, sepeda motor, dan bus.

2.3 Percobaan 3

Pada percobaan pertama ini, jenis mobil yang digunakan sebagai masukan adalah Honda HR-V dengan detail sebagai berikut:

- Batas maksimum emisi harian: 2.000 gram
- Jarak tempuh yang dilalui: 15 km
- Jenis mobil: Honda HR-V
- Tahun kendaraan: 2020
- Jenis bahan bakar: X
- Transmisi mobil: AV

Setelah program dijalankan, diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 8. Grafik Loss Function dan Validation Loss Percobaan 3

```

1/1 [=====] - 0s 38ms/step
This model hits an accuracy of 98.8709423423472% (an error of 1.1290576576527969%)

Predicted CO2 Emission: 178.95640563964844 g/km

Total carbon emissions: 2684.3460845947266 gram.
Warning: The carbon emissions of your car exceed the maximum limit.

You have exceeded the maximum limit of carbon emissions.

Here are some alternative transportation options with lower CO2 emissions.
Recommended alternatives:
- Train with total emission 615 gram
- Electric vehicle with total emission 795 gram
- Motor cycle with total emission 1545 gram
- Bus with total emission 1575 gram
    
```

Gambar 9. Hasil Prediksi, Akurasi, dan Rekomendasi Percobaan 3

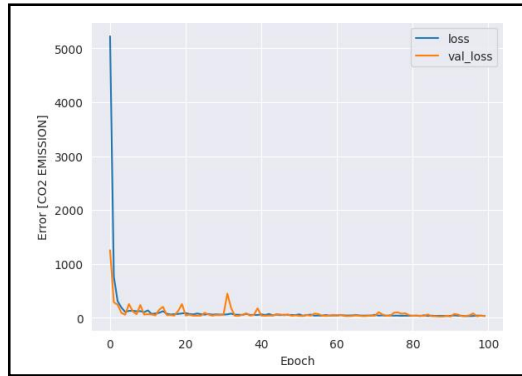
Dari hasil perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa akurasi dari model yang dijalankan adalah 98,87% dengan error sebesar 1,129 dan hasil prediksi emisi karbon sebesar 178,95 km/gram. Kemudian, karena total emisi karbon yang dikeluarkan melebihi batas emisi harian, maka muncul beberapa rekomendasi kendaraan alternatif yang menghasilkan emisi karbon lebih kecil. Kendaraan alternatif tersebut adalah kereta api, kendaraan listrik, sepeda motor, dan bus.

2.4 Percobaan 4

Pada percobaan kedua, jenis mobil yang digunakan sebagai masukan adalah Honda Civic Sedan dengan detail sebagai berikut:

- Batas maksimum emisi harian: 5.000 gram
- Jarak tempuh yang dilalui: 20 km
- Jenis mobil: Honda Civic Sedan
- Tahun kendaraan: 2022
- Jenis bahan bakar: X
- Transmisi mobil: AV7

Setelah program dijalankan, diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 10. Grafik Loss Function dan Validation Loss Percobaan 4

```

1/1 [=====] - 0s 79ms/step
This model hits an accuracy of 99.74424574110243% (an error of 0.2557542588975695%)

Predicted CO2 Emission: 161.58567810058594 g/km

Total carbon emissions: 3231.7135620117188 gram.
Your daily carbon emission remaining: 1768.2864379882812 gram
    
```

Gambar 11. Hasil Prediksi, Akurasi, dan Rekomendasi Percobaan 4

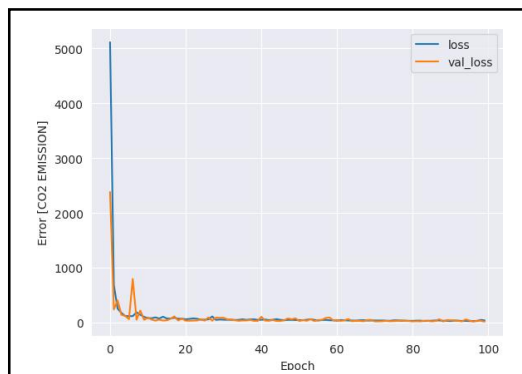
Dari hasil perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa akurasi dari model yang dijalankan adalah sebesar 99,74% dengan error sebesar 0,25 dan hasil prediksi emisi karbon sebesar 161,58 km/gram. Kemudian, karena total emisi karbon yang dikeluarkan tidak melebihi batas emisi harian, maka muncul sisa emisi karbon harian pengguna sebesar 1768,28 gram.

2.5 Percobaan 5

Pada percobaan kedua, jenis mobil yang digunakan sebagai masukan adalah BMW M5 Sedan dengan detail sebagai berikut:

- Batas maksimum emisi harian: 6.000 gram
- Jarak tempuh yang dilalui: 10 km
- Jenis mobil: BMW M5 Sedan
- Tahun kendaraan: 2022
- Jenis bahan bakar: Z
- Transmisi mobil: AS8

Setelah program dijalankan, diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 12. Grafik Loss Function dan Validation Loss Percobaan 5

```

1/1 [=====] - 0s 79ms/step
This model hits an accuracy of 98.66925352108404% (an error of 1.330746478915955%)

Predicted CO2 Emission: 326.2850036621094 g/km

Total carbon emissions: 3262.8500366210938 gram.
Your daily carbon emission remaining: 2737.1499633789062 gram

```

Gambar 13. Hasil Prediksi, Akurasi, dan Rekomendasi Percobaan 5

Dari hasil perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa akurasi dari model yang dijalankan adalah sebesar 98,67% dengan error sebesar 1,33 dan hasil prediksi emisi karbon sebesar 326,28 km/gram. Kemudian, karena total emisi karbon yang dikeluarkan tidak melebihi batas emisi harian, maka muncul sisa emisi karbon harian pengguna sebesar 2737,15 gram.

Dari lima percobaan yang telah dilakukan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Prediksi, Error, dan Akurasi

No	Jenis Mobil	Tahun	Emisi Karbon (g/km)	Prediksi Emisi Karbon (g/km)	Error	Akurasi Prediksi (%)
1.	Honda CR-V	2020	180	180,25	0,14	99,85
2.	Toyota Yaris	2020	155	157,35	1,51	98,48
3.	Honda HR-V	2020	181	178,95	1,13	98,87
4.	Honda Civic Sedan	2022	162	161,58	0,25	99,74
5.	BMW M5 Sedan	2022	322	326,28	1,33	98,67

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa hasil prediksi dari lima percobaan yang dilakukan dengan menggunakan jenis mobil yang berbeda tidak berbeda jauh dari data asli dan memiliki akurasi di atas 98%.

PENUTUP

Berdasarkan lima percobaan yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa akurasi prediksi sudah sangat baik karena semua percobaan memiliki akurasi lebih dari 98% dengan nilai error yang kecil. Apabila nilai hasil prediksi emisi karbon dibandingkan dengan data asli, perbedaannya juga sangat kecil. Contohnya, pada mobil dengan jenis Honda CR-V keluaran tahun 2020 selisih emisi asli dengan hasil prediksi hanya 0,25 dan pada mobil Honda HR-V keluaran tahun 2020 selisih emisi dengan hasil prediksi adalah 2,05. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa model *neural network* yang digunakan memiliki kinerja yang sangat baik dalam membuat prediksi.

Selain dari akurasi dan hasil prediksi model, *output* yang dihasilkan program juga menunjukkan bahwa apabila total emisi karbon yang dikeluarkan oleh kendaraan melebihi ambang batas emisi karbon harian, maka akan muncul daftar rekomendasi kendaraan alternatif yang memiliki emisi karbon lebih kecil. Namun, apabila total emisi karbon yang dikeluarkan oleh kendaraan pengguna tidak melebihi batas harian emisi karbon, maka akan muncul sisa emisi karbon pengguna.

Penelitian ini, mendorong individu untuk berpartisipasi aktif dalam mengurangi emisi karbon dengan memberikan hasil prediksi yang akurat dan rekomendasi yang memudahkan pengguna dalam mencari kendaraan alternatif mengingat bahaya yang ditimbulkan oleh emisi karbon sangat besar. Saran untuk penelitian selanjutnya, peneliti dapat menambahkan data jenis mobil yang beroperasi di Indonesia, menggunakan model lain yang berpotensi menghasilkan akurasi dan prediksi lebih baik, serta mengembangkan fitur-fitur yang ada pada aplikasi.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] R. F. Nestiti and I. F. Purwanti, "PERUBAHAN EMISI KARBONDIOKSIDA DENGAN PEMINDAHAN KENDARAAN PRIBADI KE KENDARAAN UMUM KONVENSIONAL DI KOTA SURABAYA," 2017.

- [2] I. Ismiyati, D. Marlita, and D. Saidah, "Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor," *J. Manaj. Transp. Logist. JMTRANSLOG*, vol. 1, no. 3, p. 241, Nov. 2014, doi: 10.54324/j.mtl.v1i3.23.
- [3] S. Machmud, "Analisis Pengaruh Tahun Perakitan Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor," *J. Mesin Nusant.*, vol. 4, no. 1, pp. 21–29, Jul. 2021, doi: 10.29407/jmn.v4i1.16038.
- [4] "PERATURAN MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP NOMOR 12 TAHUN 2010 TENTANG PELAKSANAAN PENGEDALIAN PENCEMARAN UDARA DI DAERAH"
- [5] R. R. Rusdiani, "KAJIAN FAKTOR EMISI KENDARAAN BERMOTOR BAHAN BAKAR GASOLIN RODA DUA DI KOTA SURABAYA".
- [6] M. Sanusi, H. Uloli, M. Y. Arafat, S. Pd, and M. Pd, "PENGARUH VARIASI JENIS BAHAN BAKAR TERHADAP EMISI GAS BUANG PADA SEPEDA MOTOR VIXION 155 cc VVA TIPE INJEKSI TAHUN 2018," 2019.
- [7] K. Puteri and A. Silvanie, "MACHINE LEARNING UNTUK MODEL PREDIKSI HARGA SEMBAKO DENGAN METODE REGRESI LINIER BERGANDA".
- [8] M. R. Raharjo and A. P. Windarto, "Penerapan Machine Learning dengan Konsep Data Mining Rough Set (Prediksi Tingkat Pemahaman Mahasiswa terhadap Matakuliah)," *J. MEDIA Inform. BUDIDARMA*, vol. 5, no. 1, p. 317, Jan. 2021, doi: 10.30865/mib.v5i1.2745.
- [9] M. Mahendra, R. Chandra Telaumbanua, A. Wanto, and A. Perdana Windarto, "Akurasi Prediksi Ekspor Tanaman Obat, Aromatik dan Rempah-Rempah Menggunakan Machine Learning," *KLIK Kaji. Ilm. Inform. Dan Komput.*, vol. 2, no. 6, pp. 207–215, Jun. 2022, doi: 10.30865/klik.v2i6.402.
- [10] I. M. Muhamad, S. A. Wardana, A. Wanto, and A. P. Windarto, "Algoritma Machine Learning untuk penentuan Model Prediksi Produksi Telur Ayam Petelur di Sumatera," vol. 1, no. 4, 2022.
- [11] M. A. D. Suyudi, E. C. Djamal, and A. Maspupah, "Prediksi Harga Saham menggunakan Metode Recurrent Neural Network," 2019.
- [12] F. Handayani, "Komparasi Support Vector Machine, Logistic Regression Dan Artificial Neural Network Dalam Prediksi Penyakit Jantung," *J. Edukasi Dan Penelit. Inform. JEPIN*, vol. 7, no. 3, p. 329, Dec. 2021, doi: 10.26418/jp.v7i3.48053.
- [13] H. K. Pambudi, P. G. A. Kusuma, F. Yulianti, and K. A. Julian, "PREDIKSI STATUS PENGIRIMAN BARANG MENGGUNAKAN METODE MACHINE LEARNING," *J. Ilm. Teknol. Infomasi Terap.*, vol. 6, no. 2, pp. 100–109, Apr. 2020, doi: 10.33197/jitter.vol6.iss2.2020.396.
- [14] F. Andreas and U. Enri, "PERBANDINGAN ALGORITMA LINEAR REGRESSION, NEURAL NETWORK, DEEP LEARNING, DAN K-NEAREST NEIGHBOR (K-NN) UNTUK PREDIKSI HARGA BITCOIN," *J. Sist. Inf.*, 2022.
- [15] A. Sindar, M. Sitorus, "Machine Learning Prediksi Karakter Pengguna Hashtag (#) Bahasa Generasi Milenial Di Sosial Media," *Indonesian Journal of Applied Informatics.*, vol. 4, No.2, pp. 165-171, Mei 2020