

# Desain Sistem Fuel Cell sebagai Sumber Alternatif Mobil Listrik

Muhajir<sup>1</sup>, Ira Devi Sara<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Universitas Multi Data Palembang, Indonesia;

<sup>2</sup>Teknik Elektro; Universitas Syiah Kuala, Indonesia;

Email : [Muhajirelektro15@gmail.com](mailto:Muhajirelektro15@gmail.com) (M), [ira.sara@unsyiah.ac.id](mailto:ira.sara@unsyiah.ac.id) (I.D.S);

**Abstrak** : Peningkatan emisi CO<sub>2</sub> global dan tingginya konsumsi bahan bakar fosil pada sektor transportasi mendorong pengembangan teknologi kendaraan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem Fuel Cell sebagai sumber energi alternatif pada mobil listrik guna memenuhi kebutuhan daya kendaraan secara optimal dan berkelanjutan. Objek penelitian menggunakan spesifikasi mobil listrik Nissan Leaf S dengan kebutuhan daya maksimum 110 kW. Jenis fuel cell yang digunakan adalah *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) yang beroperasi pada suhu 60 - 80°C. Perancangan dilakukan melalui perhitungan parameter listrik stack meliputi tegangan, arus, resistansi internal, serta analisis kebutuhan daya kendaraan pada kondisi jalan mendatar, menanjak, dan menurun. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa satu sel menghasilkan tegangan open circuit sebesar 1,17 V dan tegangan kerja 0,8 V. Dengan konfigurasi 505 sel diperoleh tegangan stack sebesar 404 V dan arus 276,23 A sehingga menghasilkan daya maksimum 111,5 kW. Hasil simulasi Matlab Simulink menunjukkan sistem mampu memenuhi kebutuhan daya kendaraan baik pada kondisi normal maupun variasi kemiringan jalan. Penelitian ini membuktikan bahwa desain sistem Fuel Cell yang dirancang layak digunakan sebagai sumber energi alternatif mobil listrik dengan performa yang stabil dan efisien.

## Kata Kunci :

**Abstract** : The increase in global CO<sub>2</sub> emissions and the high consumption of fossil fuels in the transportation sector encourage the development of environmentally friendly vehicle technology. This study aims to design a Fuel Cell system as an alternative energy source in electric cars to meet vehicle power needs optimally and sustainably. The object of the study uses the specifications of the Nissan Leaf S electric car with a maximum power requirement of 110 kW. The type of fuel cell used is a Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) which operates at a temperature of 60 - 80°C. The design is carried out through calculations of stack electrical parameters including voltage, current, internal resistance, and analysis of vehicle power requirements on flat, uphill, and downhill road conditions.

Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 2026, Vol. 7, No. 1, pp 1 – 17

Received : 24 Februari 2026

Accepted : 2 Maret 2026

Published : 3 Maret 2026



**Copyright**: © 2022 by the authors. [Jurnal Energi Baru dan Terbarukan](#) (p-ISSN: [2809-5456](#) and e-ISSN: [2722-6719](#)) published by Master Program of Energy, School of Postgraduate Studies. This article is an open access article distributed under the terms and condition of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#) (CC BY-SA 4.0).

The calculation results show that one cell produces an open circuit voltage of 1.17 V and a working voltage of 0.8 V. With a 505 cells configuration, a stack voltage of 404 V and a current of 276.23 A is obtained, resulting in a maximum power of 111.5 kW. The results of the Matlab Simulink simulation show that the system is able to meet vehicle power requirements both under normal conditions and variations in road slopes. This research proves that the Fuel Cell system design is suitable for use as an alternative energy source for electric cars with stable and efficient performance.

**Keywords :** Electric Vehicle, Fuel Cell, Renewable Energy

---

## 1. Pendahuluan

Peningkatan terbesar emisi CO<sub>2</sub> berdasarkan tahun 2021 menyumbang 36% dari peningkatan emisi global, karena penggunaan semua bahan bakar fosil meningkat untuk membantu memenuhi pertumbuhan permintaan listrik. ((IEA), 2021). Sektor transportasi di Indonesia mengonsumsi lebih dari 40% total penggunaan minyak bumi nasional, yang sebagian besar masih bergantung pada impor, sehingga menjadikannya pengguna minyak terbesar sekaligus konsumen energi terbesar. Transportasi darat menyumbang sekitar 90% terhadap konsumsi energi pada sektor transportasi. Selain itu, transportasi jalan raya juga berkontribusi lebih dari 80% terhadap total emisi sektor transportasi, dengan laju pertumbuhan emisi rata-rata sebesar 1,56% per tahun hingga tahun 2024 (Padhilah, et al., 2025).

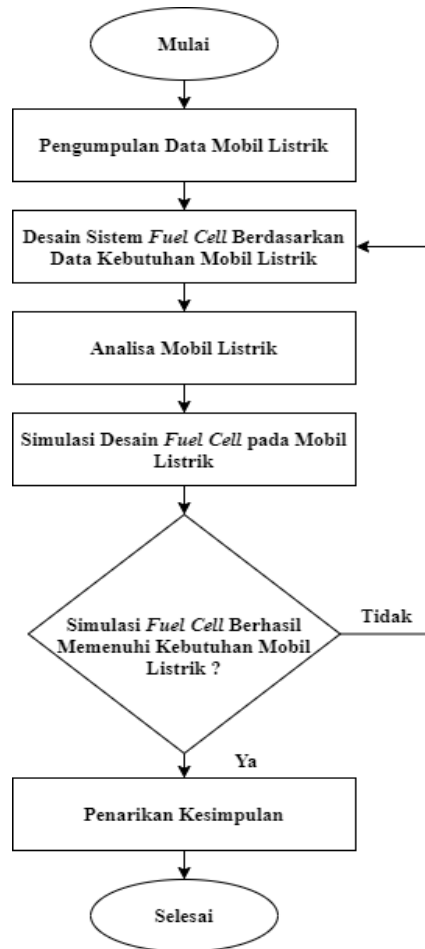
Salah satu solusi yang berkembang adalah kendaraan listrik (Electric Vehicle/EV). Namun kendaraan listrik berbasis baterai (Battery Electric Vehicle/BEV) masih memiliki keterbatasan berupa waktu pengisian yang lama, degradasi baterai, jarak tempuh terbatas, dan kebutuhan infrastruktur pengisian yang besar (Wu & Yang, 2023). Selain itu, teknologi baterai menghadapi tantangan kepadatan energi dan umur pakai yang mempengaruhi performa kendaraan (Qasem & Abdulrahman, 2024). Sebagai alternatif, kendaraan listrik berbasis Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV) menggunakan hidrogen sebagai sumber energi untuk menghasilkan listrik melalui reaksi elektrokimia. Teknologi ini hanya menghasilkan air dan panas sehingga termasuk kendaraan nol emisi (Hassan, Azzawi, Sameen, & Salman, 2023). Selain itu, FCEV menawarkan keunggulan jarak tempuh dan waktu pengisian (refuelling) dibanding BEV pada segmen jarak jauh dan kendaraan komersial (Kusuma, Ruliyanta, Kusumoputro, & Iswadi, 2025). Bahkan konsumsi energi kendaraan berbasis fuel cell dapat 29 - 66% lebih efisien dan menurunkan emisi hingga 31 - 80% dibanding kendaraan konvensional (Halder, et al., 2024).

Perkembangan teknologi fuel cell semakin pesat karena efisiensi tinggi dan tidak menghasilkan polutan berbahaya. Jenis yang paling cocok untuk kendaraan adalah *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) karena memiliki temperatur operasi rendah, respon cepat, dan densitas daya tinggi (Aminudin, et al., 2023). Selain itu integrasi sistem fuel cell pada kendaraan dipengaruhi oleh desain stack, manajemen udara, manajemen air, serta sistem kontrol energi (Ren, Shen, Xuebing, & Du, 2022). Meskipun demikian, implementasi FCEV masih menghadapi tantangan seperti biaya hidrogen, infrastruktur pengisian, serta desain sistem yang efisien (Herlambang, et al., 2025). Selain itu, performa sistem fuel cell pada kendaraan dipengaruhi oleh integrasi stack, manajemen energi, dan strategi kontrol yang tepat untuk menekankan peran energy management strategies dan pengaturan operasi cell untuk meningkatkan efisiensi (Xu, Ma, Zheng, & Huang, 2023).

Toyota Mirai generasi awal tahun 2019 memiliki daya keluaran stack sebesar 114,6 kW (gross power). Penelitian tersebut juga mengonfirmasi bahwa sistem penyimpanan hidrogen pada kendaraan ini menggunakan tangki bertekanan sekitar 10.000 psi atau setara  $\pm 690 - 700$  bar, yang merupakan standar umum kendaraan penumpang berbasis fuel cell modern (Raceanu, Bizon, & Varlam, 2022). Penelitian lainnya mengevaluasi sistem fuel cell dengan daya hingga 90 kW, dan menunjukkan bahwa peningkatan tekanan katoda dapat meningkatkan densitas arus serta output daya, namun berimplikasi pada kenaikan konsumsi daya parasitik dari kompresor udara. tekanan operasi fuel cell pada katoda dan anoda sistem otomotif umumnya berada pada rentang 1,0 - 2,5 bar (absolute pressure) (Kim, Kim, & Min, 2024). Kemudian penelitian lainnya juga menyatakan bahwa variasi tekanan katoda pada kisaran 1,2 - 2,0 bar berpengaruh signifikan terhadap peningkatan performa elektrokimia dan efisiensi sistem (Tan, Hu, Liu, Chen, & Xuan, 2022). Daya keluaran fuel cell stack pada kendaraan listrik berbasis PEMFC untuk segmen kendaraan penumpang umumnya berada pada kisaran 80 – 120 kW, sebagaimana dicontohkan oleh Toyota Mirai (114 kW) dan Hyundai NEXO (95 - 110 kW), tergantung pengukuran gross atau net). Sementara itu, kendaraan berat memanfaatkan konfigurasi multi-stack sehingga total daya sistem dapat mencapai 100 - 300 kW atau lebih, sesuai kebutuhan operasionalnya (Lohse-Busch, et al., 2019). Berdasarkan berbagai penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa meskipun teknologi Fuel Cell Electric Vehicle memiliki potensi besar dalam mengurangi emisi karbon dan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, masih diperlukan perancangan sistem yang optimal, efisien, dan terintegrasi agar dapat diimplementasikan secara luas. Oleh karena itu, penelitian mengenai Desain Sistem Fuel Cell Sebagai Sumber Alternatif Mobil Listrik menjadi penting untuk menjawab tantangan teknis, efisiensi energi, serta keberlanjutan sistem transportasi masa depan.

## **2. Metode Penelitian**

Tahapan Penelitian yang dilakukan melibatkan beberapa proses. Diagram alir untuk menggambarkan setiap tahapan dengan rinci sebagaimana terlihat pada Gambar 1 berikut.



**Gambar 1.** Flowchart Penelitian

## 2.1 Pengumpulan Data Kebutuhan Mobil Listrik

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data untuk mengetahui kebutuhan dari mobil listrik. Adapun data yang diperoleh yaitu jenis mobil listrik merk Nissan Leaf S dan spesifikasi dari mobil listrik tersebut adalah sebagai berikut.



**Gambar 2.** Mobil Listrik Nissan Leaf S (EVSpecifications, 2025)

Untuk spesifikasi mobil listrik di rincikan dalam tabel sebagai berikut.

**Tabel 1.**

Spesifikasi Mobil Listrik Nissan Leaf S (EVSpecifications, 2025)

| Spesifikasi              | Data                                |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Model Manufaktur         | <i>Nissan Leaf S</i>                |
| Massa Mobil              | 1592 kg                             |
| Dimensi                  | 4,4 m x 1,7 m x 1,5 m               |
| Motor Listrik            | <i>Permanent Magnet Synchronous</i> |
| Tegangan                 | 350 V                               |
| Daya                     | 110 kW                              |
| Maksimum Daya RPM        | 3283 – 9795 rpm                     |
| Torsi                    | 320 Nm                              |
| Maksimum Torsi RPM       | 3283 rpm                            |
| Akselerasi 0 – 70 km/jam | 10,5 detik                          |
| Koefisien Drag           | 0,28                                |
| Efisiensi Transmisi      | 0,85                                |
| Koefisien Hambatan Putar | 0,015                               |
| Rasio Poros              | 8,1938                              |
| Diameter Ban             | 16 Inci                             |

## 2.2 Desain Sistem Fuel Cell

Untuk memenuhi kebutuhan daya dari mobil listrik Nissan Leaf S sebesar 110 kW maka Fuel Cell harus didesain melebihi dari total kapasitas daya dari mobil listrik Nissan Leaf S. Untuk mendesain sistem Fuel Cell yang mampu memenuhi kebutuhan daya mobil listrik maka perlu diketahui beberapa nilai parameter yang diformulasikan sebagai berikut.

### 1. Menghitung tegangan dan arus fuel cell

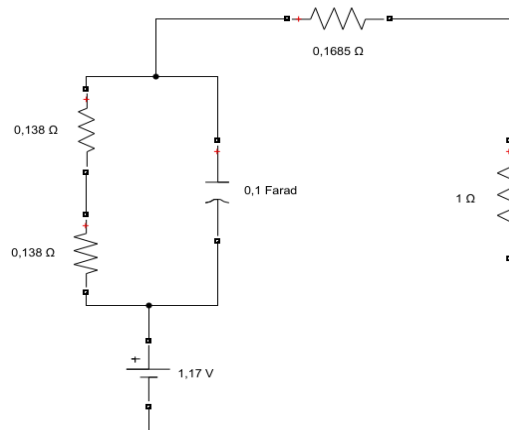
Untuk menghitung tegangan dan arus dari Fuel Cell maka perlu diketahui suhu operasi Fuel Cell dan bahan bakar Fuel Cell menggunakan jenis liquid ataupun gas. Pada desain Fuel Cell ini jenis yang digunakan adalah *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC), dimana untuk Fuel Cell jenis PEMFC ini menggunakan gas sebagai bahan bakar dan beroperasi pada suhu 60-80 oC. Oleh karena itu untuk mendapatkan tegangan satu sel Fuel Cell pada open circuit maka perlu digunakan formulasi seperti berikut.

$$E = \frac{-\Delta G_f}{2F}$$

$$E = \frac{-226,1 \times 1000 \text{ J/mol}}{2 \times 96485}$$

$$E = 1,17 \text{ Volt}$$

Dari formulasi diatas tegangan yang didapatkan dari satu sel Fuel Cell yaitu 1,17 Volt. Kemudian untuk mendapatkan arus pada Fuel Cell rangkaian harus dibuat closed loop dengan nilai beban 1  $\Omega$  yang berfungsi untuk mendapatkan nilai arus yang tinggi. Nilai tegangan Fuel Cell, nilai beban dan nilai resistor lainnya diaplikasikan pada rangkaian ekivalen dari Fuel Cell berikut.



Gambar 3. Rangkaian Fuel Cell

Diketahui :

$$\begin{aligned} E &= 1,17 \text{ V} \\ R_{conc} &= 0,138 \, \Omega \\ R_{act} &= 0,138 \, \Omega \\ R_{ohmic} &= 0,1865 \, \Omega \\ R_{load} &= 1 \, \Omega \\ C &= 0,1 \text{ F} \end{aligned}$$

Ditanya : arus Stack Fuel Cell..?

Jawab :

1. Menghitung resistansi total

$$\begin{aligned} R_{total} &= R_{conc} + R_{act} + R_{ohmic} + R_{load} \\ R_{total} &= 0,138 + 0,138 + 0,1865 + 1 \\ R_{total} &= 1,4625 \, \Omega \end{aligned}$$

2. Menghitung arus fuel cell

$$\begin{aligned} I &= \frac{V_s}{R_{total}} \\ I &= \frac{1,17}{1,4625} \\ I &= 0,8 \text{ A} \end{aligned}$$

3. Menghitung tegangan tiap resistor

$$\begin{aligned} V_{load} &= R_{load} \times I \\ V_{load} &= 1 \times 0,8 \\ V_{load} &= 0,8 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{ohmic} &= R_{ohmic} \times I \\ V_{ohmic} &= 0,1865 \times 0,8 \\ V_{ohmic} &= 0,1492 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{conc} &= R_{conc} \times I \\V_{conc} &= 0,138 \times 0,8 \\V_{conc} &= 0,1104 \text{ V}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{act} &= R_{coc} \\V_{act} &= 0,1104 \text{ V}\end{aligned}$$

4. Menghitung tegangan stack fuel cell

$$\begin{aligned}V_{FC} &= N_S \times (E - V_{ohmic} - V_{act} - V_{conc}) \\V_{FC} &= 505 \times (1,17 - 0,1492 - 0,1104 - 0,1104) \\V_{FC} &= 404 \text{ V}\end{aligned}$$

5. Menghitung arus stack fuel cell

$$\begin{aligned}I_{FC} &= \frac{V_{FC}}{R_{total}} \\I_{FC} &= \frac{404}{1,4625} \\I_{FC} &= 276,23 \text{ A}\end{aligned}$$

Dengan mendapatkan nilai tegangan stack Fuel Cell dan arus stack Fuel Cell, maka nilai daya akan didapatkan dengan menggunakan formula berikut.

$$\begin{aligned}P_{FC} &= V_{FC} \times I_{FC} \\P_{FC} &= 404 \times 276,23 \\P_{FC} &= 111,5 \text{ kW}\end{aligned}$$

### 2.3 Analisa Daya Mobil Listrik

Untuk mengetahui daya yang dibutuhkan pada mobil listrik disaat melaju pada kecepatan 70 km/jam, maka harus diketahui beberapa parameter seperti total gaya yang dihasilkan pada saat mobil melaju, kecepatan rotasi serta torsi pada ban mobil dan motor listrik. Tahapan untuk mengetahui besar daya mobil listrik sebagai berikut.

1. Menghitung gaya mobil listrik

- a) Rolling resistance force

$$\begin{aligned}F_{rolling} &= m \times g \times C_{rr} \\F_{rolling} &= 1638 \times 9,81 \times 0,015 \\F_{rolling} &= 241 \text{ N}\end{aligned}$$

- b) Grade resistance force

$$\begin{aligned}F_{grade} &= m \times g \times \sin \theta \\F_{rolling} &= 1638 \times \sin 0 \\F_{rolling} &= 0 \text{ N}\end{aligned}$$

c) Acceleration force

$$\begin{aligned}F_{acce} &= m \times acceleration \\F_{rolling} &= 1638 \times 1,84 \\F_{rolling} &= 3013,92 \text{ N}\end{aligned}$$

d) Aerodynamic force

$$\begin{aligned}F_{aero} &= \frac{1}{2} \times \rho \times C_d \times A \times v^2 \\F_{aero} &= \frac{1}{2} \times 1,2 \times 0,28 \times 2,79 \times 19,44^2 \\F_{aero} &= 177,13 \text{ N}\end{aligned}$$

e) Tractive effort force

$$\begin{aligned}F_{Tractive\ Effort} &= F_{rolling} + F_{grade} + F_{aero} + F_{acce} \\F_{rolling} &= 241 + 0 + 177,13 + 3013,92 \\F_{rolling} &= 34321,05 \text{ N}\end{aligned}$$

## 2. Menghitung kecepatan rotasi dan torsi pada ban mobil listrik

a) Kecepatan sudut

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{70 \times \frac{5}{18}}{0,4} \\ \omega &= 46,61 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

b) Kecepatan rotasi ban

$$\begin{aligned}v_{wheel} &= \frac{60 \times \omega}{2\pi} \\ v_{wheel} &= \frac{60 \times 46,61}{2 \times 3,14} \\ v_{wheel} &= 464,42 \text{ rpm}\end{aligned}$$

c) Torsi

$$\begin{aligned}\tau_{wheel} &= F_{tractive\ effort} \times Diameter\ ban \\ \tau_{wheel} &= 3432,05 \times 0,4 \\ \tau_{wheel} &= 1372,82 \text{ Nm}\end{aligned}$$

## 3. Menghitung kecepatan rotasi dan torsi pada motor

a) Kecepatan rotasi motor

$$\begin{aligned}v_{motor} &= axle\ ratio \times v_{wheel} \\ v_{motor} &= 8,1938 \times 464,42 \\ v_{motor} &= 3805,36 \text{ rpm}\end{aligned}$$

b) Torsi motor

$$\begin{aligned}\tau_{motor} &= \frac{\tau_{wheel}}{axle\ ratio} \\ \tau_{motor} &= \frac{1372,82}{8,1938} \\ \tau_{motor} &= 167,54 \text{ Nm}\end{aligned}$$

c) Torsi motor setelah transmisi

$$\tau_{losses} = \frac{\tau_{motor}}{efficiency}$$

$$\tau_{motor} = \frac{167,54}{0,85}$$

$$\tau_{motor} = 197 Nm$$

#### 4. Menghitung kebutuhan daya mobil listrik

Setelah mendapatkan parameter berupa gaya mobil listrik, kecepatan putaran serta torsi pada ban dan motor listrik sehingga didapatkan daya yang dihasilkan oleh motor listrik pada pengaplikasian mobil listrik sebagai berikut.

$$P_{motor} = \frac{2\pi \times \tau \times v}{60}$$

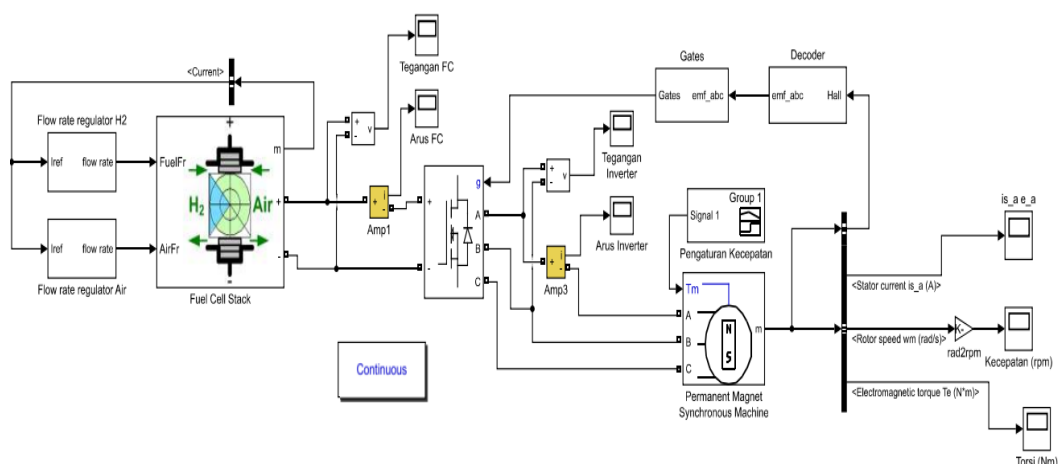
$$P_{motor} = \frac{2 \times 3,14 \times 3085,36 \times 197}{60}$$

$$P_{motor} = 78,4 kW$$

Setelah melakukan perhitungan dapat diketahui bahwa pada saat mobil listrik melaju dengan kecepatan 70 km/jam, daya yang dihasilkan oleh mobil listrik sebesar 78,4 kW.

#### 2.4 Desain Sistem Mobil Listrik Fuel Cell

Berdasarkan parameter yang sudah didapatkan maka dirancang simulasi sistem Fuel Cell untuk melayani beban mobil listrik menggunakan aplikasi Matlab Simulink. Simulasi desain sistem Fuel Cell terhadap mobil listrik dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.

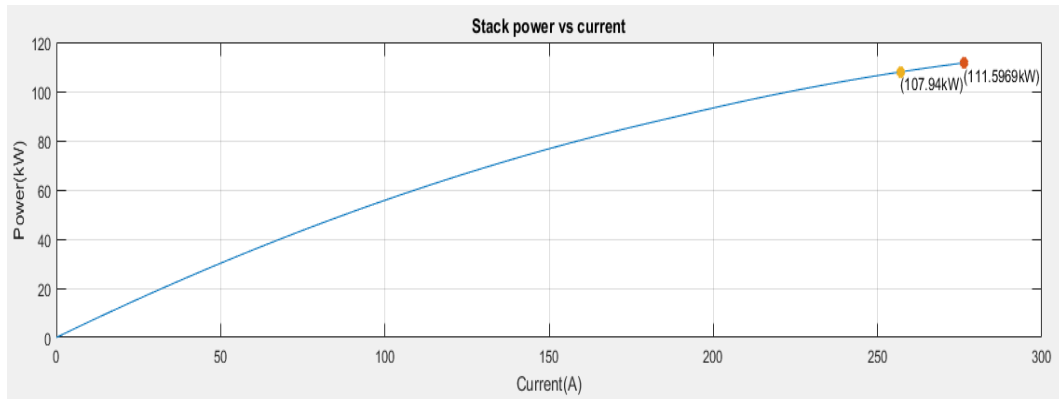


Gambar 4. Desain Sistem Fuel Cell untuk Mobil Listrik menggunakan Matlab Simulink

Dari simulasi di atas dapat dilihat ada 2 komponen utama untuk sistem mobil listrik yaitu komponen pembangkit listrik yang berupa Fuel Cell dan komponen penggerak mobil listrik yaitu motor sinkron permanent magnet.

### 3. Pembahasan

Output parameter Fuel Cell didapatkan dari hasil perhitungan dengan mempertimbangkan nilai  $R_{conc}$ ,  $R_{act}$ ,  $R_{ohmic}$  dan  $R_{load}$ . Hasil dari mempertimbangkan nilai resistansi dan jumlah dari sel sehingga didapatkan daya dari Fuel Cell seperti Gambar 5 berikut.

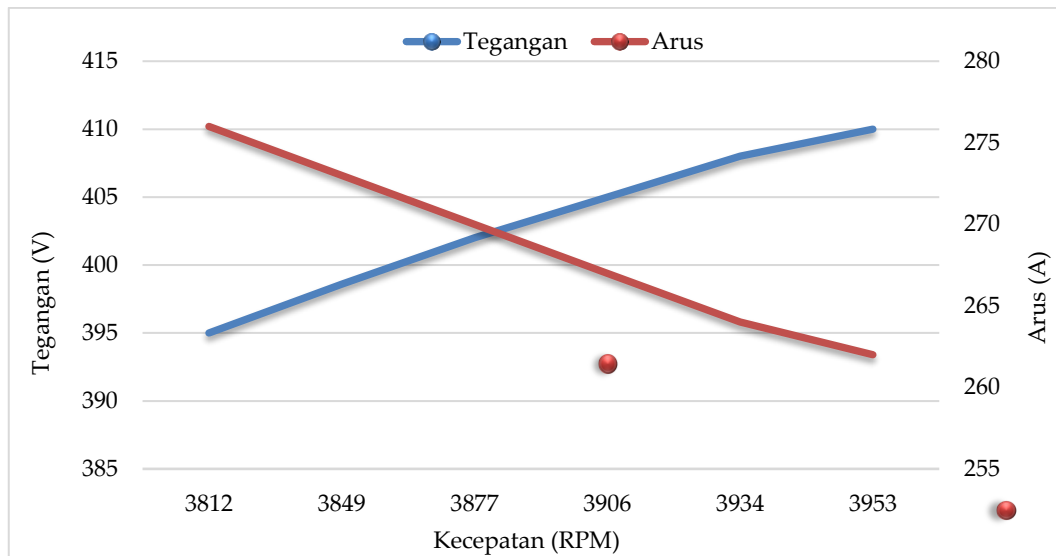


Gambar 5. Grafik Perbandingan Daya dan Arus Fuel Cell

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa daya tersebut didapatkan dari hasil perhitungan Fuel Cell yang sudah diatur dengan menetapkan nilai  $R_{conc}$ ,  $R_{act}$ ,  $R_{ohmic}$ ,  $R_{load}$ , dan banyaknya cell. Hasil perhitungan Fuel Cell mendapatkan tegangan satu sel Fuel Cell pada open circuit sebesar 1,17 V dan tegangan pada closed circuit sebesar 0,8 V. Dengan mengalikan 505 sel didapatkan tegangan stack Fuel Cell yaitu sebesar 404 V dengan nilai arus sebesar 276,34 A. Kemudian dengan menetapkan nilai tegangan dan arus stack Fuel Cell diperoleh daya dari stack Fuel Cell maksimal sebesar 111 kW. Dengan daya sebesar 111 kW maka memenuhi spesifikasi dari mobil listrik Nissan Leaf S yang membutuhkan daya 110 kW.

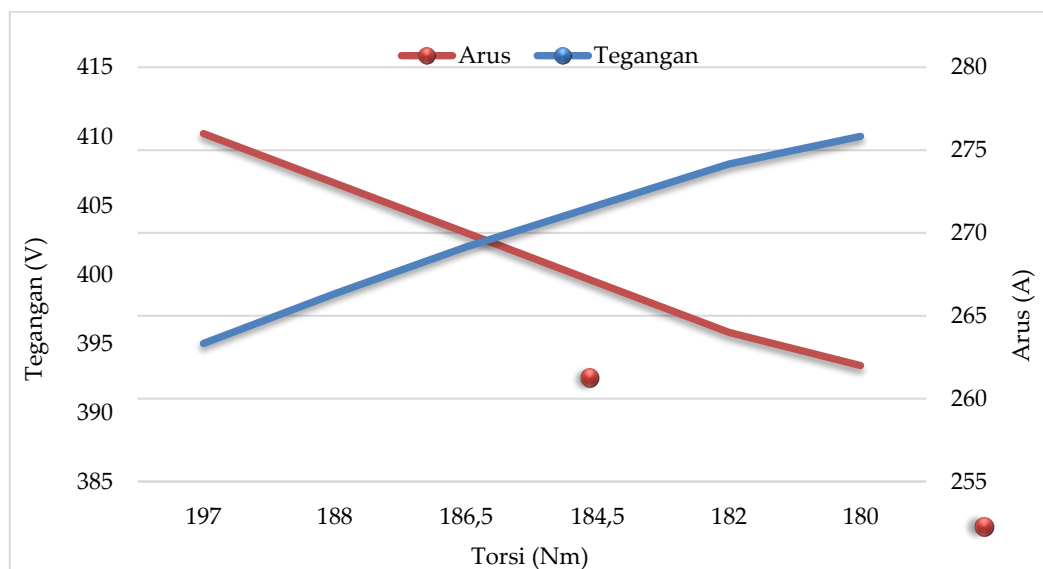
#### 3.1. Pengujian mobil listrik kondisi jalan mendatar

Untuk pengujian mobil listrik Fuel Cell pada kondisi jalan mendatar maka harus diketahui berapa besar nilai torsi dan kecepatan yang dihasilkan oleh mobil listrik.



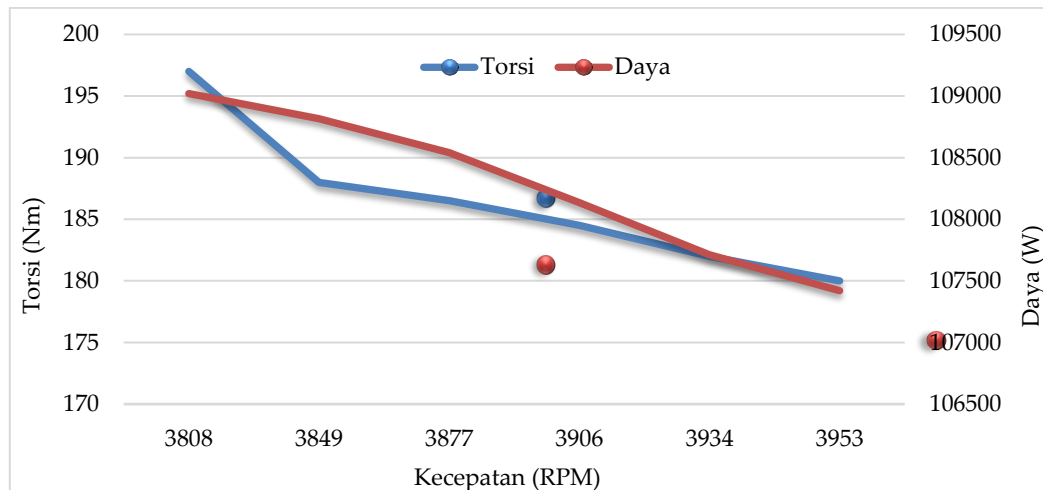
Gambar 6. Perbandingan Tegangan dan Arus terhadap Kecepatan

Dari Gambar 6 dapat dilihat nilai tegangan berbanding lurus terhadap kecepatan dan nilai arus berbanding terbalik terhadap kecepatan. Kecepatan mobil akan semakin tinggi dikarenakan nilai tegangan semakin tinggi. Kemudian nilai arus akan semakin rendah seiring dengan kecepatan semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh prinsip kerja dari motor sinkron permanen magnet. Pada motor sinkron permanen magnet nilai kecepatan diatur oleh nilai tegangan.



Gambar 7. Perbandingan Tegangan dan Arus terhadap Torsi

Dari Gambar 7 dapat dilihat nilai tegangan berbanding terbalik terhadap torsi dan nilai arus berbanding lurus terhadap torsi. Nilai tegangan akan semakin tinggi dikarenakan nilai torsi yang semakin rendah. Kemudian nilai arus akan semakin rendah seiring menurunnya torsi. Hal ini disebabkan oleh prinsip kerja dari motor sinkron permanen magnet. Pada motor sinkron permanen magnet nilai torsi diatur oleh arus. Jadi semakin besar nilai nilai arus maka torsi akan semakin tinggi.

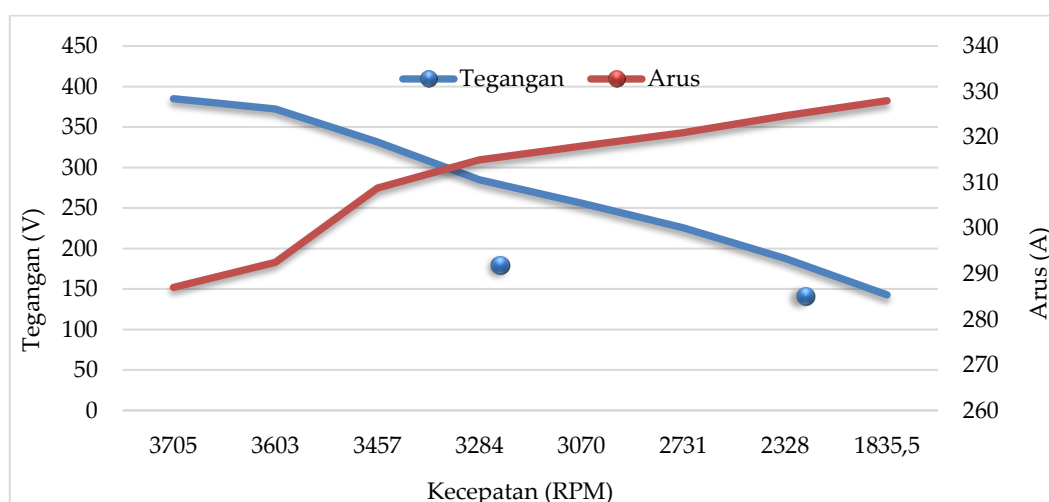


Gambar 8. Perbandingan Daya dan Torsi terhadap Kecepatan

Dari Gambar 8 dapat dilihat torsi berbanding terbalik terhadap kecepatan dan daya juga berbanding terbalik terhadap kecepatan. artinya semakin tinggi kecepatan membuat torsi semakin rendah begitu juga dengan daya juga ikut semakin rendah. Pada Gambar 8 kecepatan mobil pada kondisi jalan mendatar diatur dengan kecepatan yang berbeda, dikarenakan pada saat kondisi jalan mendatar tidak memungkinkan sebuah mobil berjalan dengan kecepatan yang sama sehingga kecepatan dari mobil diatur dengan kecepatan yang akan semakin tinggi seiring dengan waktu. Dengan bertambahnya kecepatan menyebabkan nilai torsi semakin rendah, sehingga nilai tegangan semakin tinggi dan nilai arus akan semakin rendah. Hal ini membuat daya dari mobil semakin rendah seiring dengan bertambahnya kecepatan mobil.

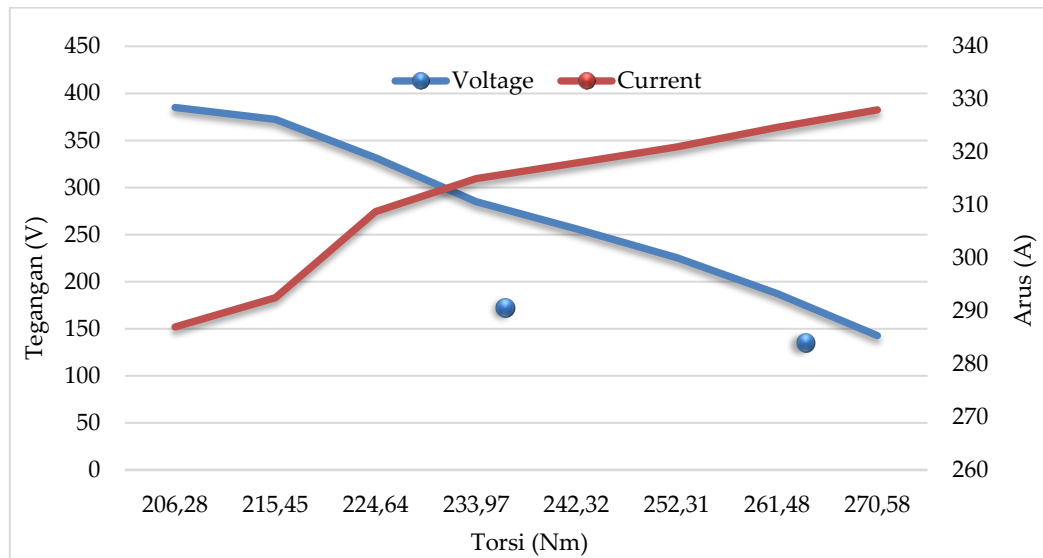
### 3.2. Pengujian mobil listrik kondisi jalan menanjak

Untuk pengujian mobil listrik Fuel Cell pada kondisi menanjak maka harus diketahui berapa besar nilai tanjakan yang sanggup ditanjaki oleh mobil listrik. Pada pengujian ini tanjakan dimulai sudut  $0,57^\circ$  sampai tanjakan dengan sudut  $4,57^\circ$ .



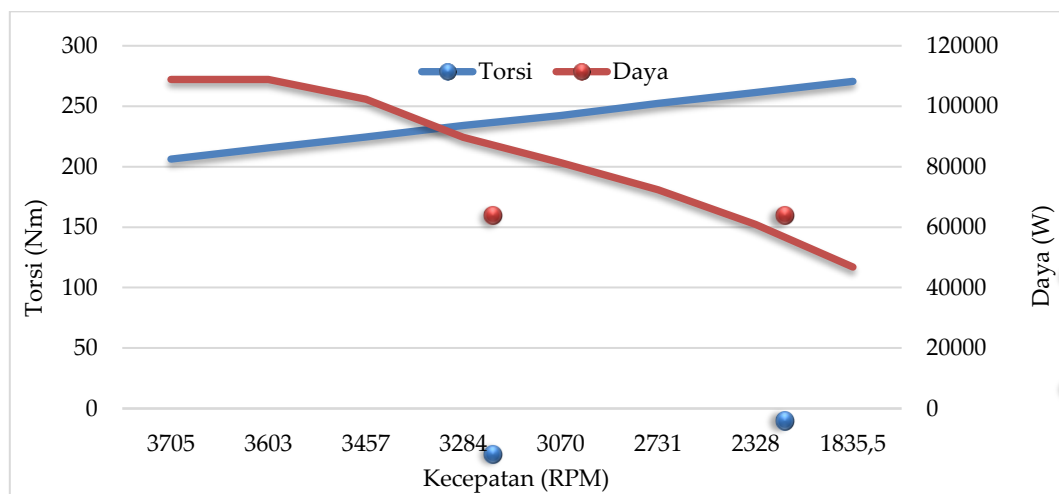
Gambar 9. Perbandingan Tegangan dan Arus terhadap Kecepatan

Dari Gambar 9 dapat dilihat nilai tegangan berbanding lurus terhadap kecepatan dan nilai arus berbanding terbalik terhadap kecepatan. Untuk nilai tegangan semakin rendah dikarenakan kecepatan mobil semakin menurun pada kondisi menanjak. Sedangkan nilai arus semakin tinggi seiring tingginya tanjakan yang membuat nilai torsi semakin tinggi. Pada motor sinkron permanen magnet kecepatan diatur oleh nilai tegangan.



Gambar 10. Perbandingan Tegangan dan Arus terhadap Torsi

Dari Gambar 10 dapat dilihat nilai arus berbanding lurus terhadap torsi dan nilai tegangan berbanding terbalik terhadap torsi. Untuk nilai tegangan semakin rendah dikarenakan kecepatan mobil semakin menurun pada kondisi menanjak. Sedangkan nilai arus semakin tinggi seiring tingginya tanjakan yang membuat nilai torsi semakin tinggi. Pada motor sinkron permanen magnet torsi diatur oleh nilai arus.

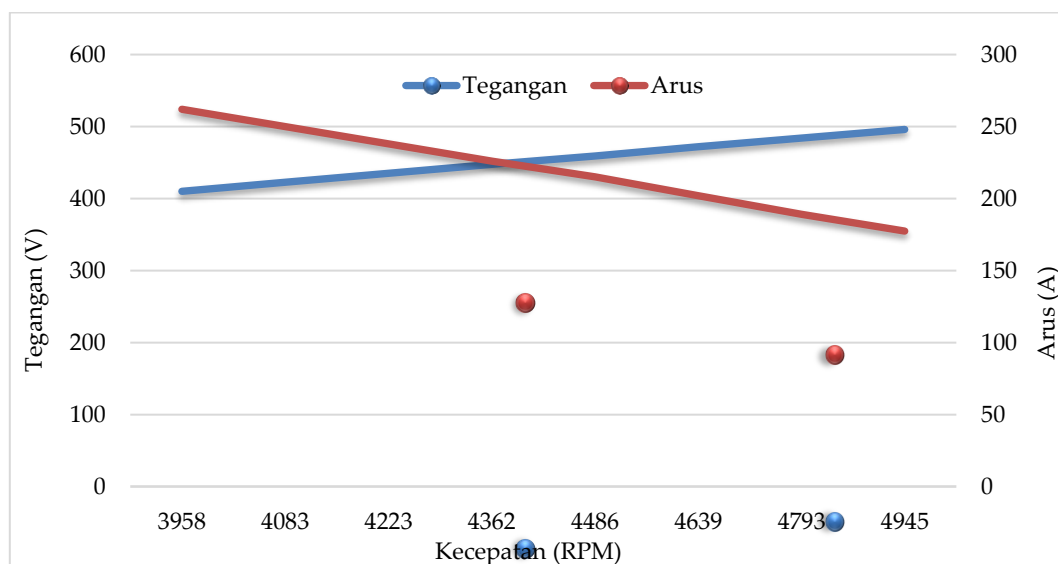


Gambar 11. Perbandingan Daya dan Torsi terhadap Kecepatan

Dari Gambar 11 dapat dilihat torsi berbanding terbalik terhadap kecepatan dan daya berbanding lurus terhadap kecepatan. artinya semakin rendah kecepatan membuat torsi semakin tinggi dan semakin rendah kecepatan membuat daya juga ikut semakin rendah. Pada saat sudut tanjakan  $0,57^\circ$  didapatkan nilai torsi 206.28 Nm dengan kecepatan 3705 rpm dan daya 110.495 Watt. Kemudian pada saat sudut tanjakan  $4,57^\circ$  didapatkan nilai torsi 207.58 Nm dengan kecepatan 1835 rpm dan daya 46.805 Watt. Dari nilai grafik tersebut dapat dilihat semakin tinggi tanjakan maka kecepatan semakin menurun sehingga membuat torsi semakin besar. Dengan menurunnya kecepatan menyebabkan nilai tegangan semakin menurun dan dengan bertambahnya torsi menyebabkan nilai arus semakin tinggi. Hal ini membuat daya dari mobil semakin rendah seiring dengan tingginya tanjakan yang membuat menurunnya kecepatan mobil.

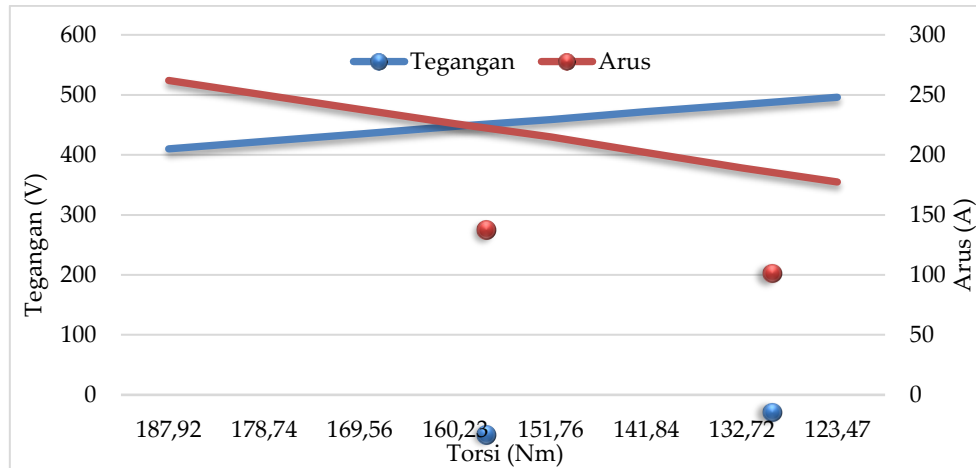
### 3.3. Pengujian mobil listrik kondisi jalan menurun

Untuk pengujian mobil listrik Fuel Cell pada kondisi menurun maka harus diketahui berapa besar nilai torsi dan kecepatan yang dihasilkan oleh mobil listrik. Pada pengujian ini turunan dimulai sudut  $0,57^\circ$  sampai turunan dengan sudut  $4,57^\circ$ . Pada kondisi menurun nilai  $\theta$  bernilai minus (-).



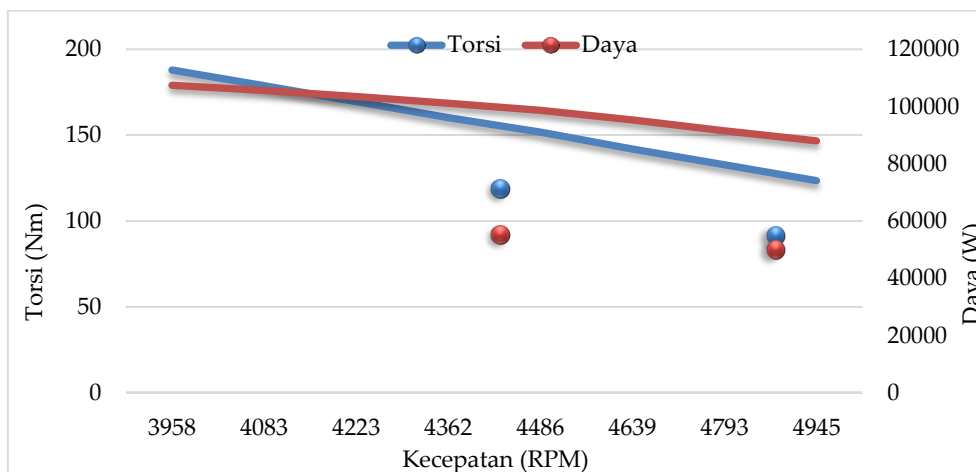
Gambar 12. Perbandingan Tegangan dan Arus terhadap Kecepatan

Dari Gambar 12 dapat dilihat nilai tegangan berbanding lurus terhadap kecepatan dan nilai arus berbanding terbalik terhadap kecepatan. Untuk kecepatan semakin tinggi dikarenakan kondisi jalan menurun sehingga tegangan akan semakin tinggi. Kemudian untuk nilai arus semakin rendah seiring bertambahnya kecepatan.



Gambar 13. Perbandingan Tegangan dan Arus terhadap Torsi

Dari Gambar 13 dapat dilihat nilai tegangan berbanding terbalik terhadap torsi dan nilai arus berbanding lurus terhadap torsi. Untuk nilai tegangan semakin tinggi dikarenakan kondisi jalan menurun sehingga kecepatan mobil semakin tinggi. Kemudian untuk nilai arus semakin rendah seiring bertambahnya kecepatan sehingga membuat nilai torsi ikut semakin rendah.



Gambar 14. Perbandingan Daya dan Torsi terhadap Kecepatan

Dari Gambar 14 dapat dilihat torsi berbanding terbalik terhadap kecepatan dan daya juga berbanding terbalik terhadap kecepatan. artinya semakin tinggi kecepatan membuat torsi semakin rendah dan semakin tingginya kecepatan membuat daya juga ikut semakin rendah. Pada saat sudut turunan  $0,57^\circ$  didapatkan nilai torsi 187,92 Nm dengan kecepatan 3958 rpm dan daya 107.420 Watt. Kemudian pada saat sudut turunan  $4,57^\circ$  didapatkan nilai torsi 123,47 Nm dengan kecepatan 4945 rpm dan daya 87.990 Watt. Dari nilai grafik tersebut dapat dilihat semakin rendahnya turunan maka kecepatan semakin tinggi sehingga membuat torsi semakin rendah. Dengan meningkatnya kecepatan menyebabkan nilai tegangan semakin tinggi dan dengan menurunnya torsi menyebabkan nilai arus semakin rendah. Hal ini membuat daya dari mobil semakin rendah seiring dengan rendahnya tanjakan yang membuat meningkatnya kecepatan mobil.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan simulasi, sistem Fuel Cell berbasis PEMFC yang dirancang mampu memenuhi kebutuhan daya mobil listrik Nissan Leaf S sebesar 110 kW dengan daya maksimum stack sebesar 111,5 kW. Pada kondisi jalan mendatar diperoleh performa optimal dengan peningkatan tegangan untuk menaikkan kecepatan kendaraan. Pada kondisi menanjak, peningkatan arus diperlukan untuk menghasilkan torsi yang lebih besar guna mengatasi hambatan tanjakan, sehingga kecepatan menurun namun torsi meningkat. Sedangkan pada kondisi menurun, kecepatan meningkat akibat kenaikan tegangan dan penurunan arus yang menyebabkan torsi lebih rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem Fuel Cell mampu menyesuaikan karakteristik tegangan dan arus sesuai kebutuhan beban kendaraan pada berbagai kondisi jalan. Dengan demikian, desain sistem Fuel Cell yang dikembangkan terbukti layak dan potensial sebagai sumber energi alternatif kendaraan listrik yang efisien dan ramah lingkungan.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Elektro Universitas Multi Data Palembang dan Program Studi Teknik Elektro Universitas Syiah Kuala atas dukungan akademik, fasilitas penelitian, serta bimbingan yang diberikan selama proses penelitian ini berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh pihak yang telah memberikan masukan, dukungan teknis, serta motivasi dalam penyusunan dan penyelesaian penelitian ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

#### Daftar Pustaka

- (IEA), I. E. (2021). *Global Energy Review: CO2 Emissions in 2021* Global emissions rebound sharply. France: International Energy Agency (IEA Publications).
- Aminudin, M., Kamarudin, S., Lim, B., Majilan, E., Masdar, M., & Shaari, N. (2023). An overview: Current progress on hydrogen fuel cell vehicles. *International Journal of Hidrohen Energy*, 4371-4388.
- EVSpecifications. (2025). *2025 Nissan Leaf S - Specifications and price*. Diambil kembali dari EVSpecifications: <https://www.evspecifications.com/en/model/5f40355>
- Halder, P., Babaie, M., Salek, F., Shah, K., Stevanovic, S., Bodisco, T. A., & Zare, A. (2024). Performance, emissions and economic analyses of hydrogen fuel cell vehicles . *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 1-19.
- Hassan, Q., Azzawi, I. D., Sameen, A. Z., & Salman, H. M. (2023). Hydrogen Fuel Cell Vehicles: Opportunities and Challenges. *Sustainability*, 1-26.
- Herlambang, Y. D., Apriandi, N., Negara, K. M., Raharjant, R., Angraini, L. M., Alfauzi, A. S., & Marliyati. (2025). Trends, Advances, and Future Directions in Fuel Cell Electric Vehicle Performance: A Bibliometric Analysis Using the PAGER Framework. *Automotive Experiences*, 72-97.
- Kim, Y., Kim, . J., & Min, K. (2024). Analysis of Power Consumption on BOP System in a Fuel Cell Electric Bus According to the Fuel Cell Load Range. *International Journal of Automotive Technology*, 701-715.

- Kusuma, I., Ruliyanta, Kusumoputro, R. A., & Iswadi, A. (2025). Electric Vehicle Review: BEV, PHEV, HEV, or FCEV? *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, 70-83.
- Lohse-Busch, H., Stutenberg, K., Duoba, M., Liu, X., Elgowainy, A., Wang, M., & Wallner, T. (2019). Automotive fuel cell stack and system efficiency and fuel consumption based on vehicle testing on a chassis dynamometer at minus 18°C to positive 35°C temperatures . *Journal of Hydrogen Energy*, 1-18.
- Padhilah, F. A., Surya, I. R., Adiatma, J. C., Sari, R. P., Permono, R. H., & Pradityo, R. (2025). *Indonesia Sustainable Mobility Outlook 2025 : Driving Transport Decarbonization: Multi-pathways to Sustainable Mobility in Indonesia*. Indonesia: Institute for Essential Services Reform (IESR).
- Qasem, N. A., & Abdulrahman, G. A. (2024). A Recent Comprehensive Review of Fuel Cells: History, Types, and Applications. *International Journal of Energy Research*, 1-36.
- Raceanu, M., Bizon, N., & Varlam, M. (2022). Experimental Results for an Off-Road Vehicle Powered by a Modular Fuel Cell Systems Using an Innovative Startup Sequence. *Energies*, 1-23.
- Ren, W., Shen, J., X. L., & Du, C. (2022). A Review of Fuel Cell System Technology: From Fuel Cell Stack to System Integration. *International Journal of Automotive Manufacturing and Materials*, 1-11.
- Tan, J., Hu, H., Liu, S., Chen, C., & Xuan, D. (2022). Optimization of PEMFC system operating conditions based on neural network and PSO to achieve the best system performance. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35790-35809.
- Wu, Y., & Yang, Y. (2023). Assessment of new hydrogen fuel cell technology in Electrical vehicles application and how it would improve the EV's performance. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 164-168.
- Xu, E., Ma, M., Zheng, W., & Huang, Q. (2023). An Energy Management Strategy for Fuel-Cell Hybrid Commercial Vehicles Based on Adaptive Model Prediction. *Sustainability*, 1-20.