



# OPTIMASI PERFORMA KENDARAAN LISTRIK KONVERSI HONDA BEAT FI 110 CC MENGGUNAKAN RESPONSE SURFACE METHOD

Rizky Wiono Berlian<sup>1)</sup>, Sudirman Rizki Ariyanto<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia  
Email : [rizky.22057@mhs.unesa.ac.id](mailto:rizky.22057@mhs.unesa.ac.id)

<sup>2)</sup> Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia  
Email : [sudirmanariyanto@unesa.ac.id](mailto:sudirmanariyanto@unesa.ac.id)

## Abstract

The transportation sector's reliance on fossil fuels has driven the development of converted electric vehicles as a more economical alternative. However, the performance of these converted vehicles—specifically the torque of the Brushless DC (BLDC) motor—remains suboptimal due to a lack of systematic controller parameter settings. This study aims to analyze the effects of power limit and load on the electric motor torque of a converted Honda Beat FI 110 cc, develop a mathematical model using Response Surface Methodology (RSM), and determine the optimal parameter combination. A quantitative experimental approach was employed using a face-centered Central Composite Design (CCD), resulting in 13 experimental combinations. Independent variables included power limit (50%, 80%, and 100%) and load (60, 70, and 80 kg), while the dependent variable was torque, measured using a chassis dynamometer. Data were analyzed via second-order polynomial regression, ANOVA, a lack-of-fit test, and desirability optimization. The results showed torque values ranging from 42.87 to 51.81 N·m, with the highest value achieved at a combination of 80% power limit and 70 kg load. The RSM model was statistically significant ( $F = 17.72$ ;  $p = 0.001$ ) and showed no lack of fit ( $p = 0.973$ ). Optimization identified the best conditions at a power limit of 87.88% and a load of 70.10 kg, yielding a predicted torque of 49.66 N·m and a composite desirability value of 0.8197. This study demonstrates that the RSM-CCD approach is effective for modeling and optimizing the torque of converted electric vehicles, thereby serving as a reference for more systematic controller parameter settings.

**Keywords:** converted electric vehicle, BLDC motor, power limit, load, Response Surface Methodology.

## Abstrak

Ketergantungan sektor transportasi terhadap bahan bakar fosil mendorong pengembangan kendaraan listrik konversi sebagai alternatif yang lebih ekonomis. Namun, performa kendaraan hasil konversi, khususnya torsi motor Brushless DC (BLDC), masih belum optimal akibat pengaturan parameter controller yang belum sistematis. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh power limit dan beban terhadap torsi motor listrik pada kendaraan konversi Honda Beat FI 110 cc, membangun model matematis menggunakan Response Surface Methodology (RSM), serta menentukan kombinasi parameter optimum. Penelitian menggunakan pendekatan eksperimen kuantitatif dengan rancangan Central Composite Design (CCD) tipe face-centered yang menghasilkan 13 kombinasi percobaan. Variabel bebas meliputi power limit (50%, 80%, dan 100%) serta beban (60, 70, dan 80 kg), sedangkan variabel terikat adalah torsi yang diukur menggunakan chassis dynamometer. Data dianalisis melalui regresi polinomial orde dua, ANOVA, uji lack of fit, dan optimasi desirability. Hasil menunjukkan bahwa torsi berada pada rentang 42,87–51,81 N·m, dengan nilai tertinggi pada kombinasi power limit 80% dan beban 70 kg. Model RSM signifikan secara statistik ( $F = 17,72$ ;  $p = 0,001$ ) dan tidak mengalami lack of fit ( $p = 0,973$ ). Optimasi menghasilkan kondisi terbaik pada power limit 87,88% dan beban 70,10 kg dengan prediksi torsi 49,66 N·m serta nilai composite desirability 0,8197. Penelitian ini membuktikan bahwa pendekatan RSM-CCD efektif untuk memodelkan dan mengoptimalkan torsi kendaraan listrik konversi sehingga dapat menjadi acuan dalam pengaturan parameter controller secara lebih sistematis.

**Kata kunci:** kendaraan listrik konversi, motor BLDC, power limit, beban, Response Surface Methodology.



## PENDAHULUAN

Kesadaran global terhadap isu lingkungan seperti peningkatan emisi karbon, pemanasan global, dan krisis energi akibat ketergantungan terhadap bahan bakar fosil kini menjadi perhatian utama dalam kebijakan pembangunan berkelanjutan di berbagai negara, termasuk Indonesia (Purnama dkk., 2025). Di sektor transportasi, sepeda motor berbahan bakar bensin berkontribusi besar terhadap polusi udara dan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), khususnya di wilayah perkotaan dengan tingkat mobilitas tinggi (Ersa dkk., 2023). Tren global menunjukkan peningkatan adopsi kendaraan listrik sebagai solusi untuk menekan emisi gas rumah kaca, dimana kendaraan listrik roda dua memiliki potensi besar karena efisiensi energi serta kesesuaiannya dengan karakteristik transportasi di negara berkembang (Badu dkk., 2025). Selain faktor lingkungan, aspek ekonomi juga menjadi pendorong utama, dimana kenaikan harga bahan bakar minyak (BBM) non subsidi di Indonesia pada April 2026, seperti Pertamina Turbo yang mencapai Rp19.400/liter dan Dexlite Rp23.600/liter, menunjukkan meningkatnya beban biaya operasional kendaraan konvensional (CNBC Indonesia, 2026). Kondisi ini tidak menutup kemungkinan bahwa jenis bahan bakar lainnya juga berpotensi mengalami kenaikan harga di masa mendatang, sehingga memperkuat urgensi pengembangan alternatif energi yang lebih stabil dan berkelanjutan seperti kendaraan listrik.

Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan berbagai kebijakan strategis untuk mempercepat pengembangan kendaraan listrik nasional, salah satunya melalui Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2023 sebagai bagian dari upaya dekarbonisasi sektor transportasi (Adittyta, 2024). Sejalan dengan itu, pengembangan kendaraan listrik tidak hanya berfokus pada peningkatan jumlah pengguna, tetapi juga pada peningkatan performa teknis kendaraan. Performa kendaraan listrik umumnya dapat diamati melalui beberapa parameter, seperti torsi, daya, kecepatan, dan efisiensi. Di antara parameter tersebut, torsi memiliki peran penting karena berhubungan langsung dengan kemampuan motor menghasilkan gaya putar, akselerasi awal, serta kemampuan kendaraan menahan beban (Mahendra dkk., 2024; Anjabtuko dkk., 2025). Meski demikian, sebagian besar penelitian yang ada masih menganalisis parameter performa secara parsial, sehingga belum mampu menjelaskan interaksi nonlinier antarvariabel sistem secara simultan maupun menentukan konfigurasi parameter optimal secara komprehensif.

Konversi sepeda motor bensin menjadi kendaraan listrik menjadi alternatif yang ekonomis di Indonesia dibandingkan pembelian kendaraan listrik baru (Prastyta dkk., 2025). Motor matic umumnya digunakan karena strukturnya sesuai untuk pemasangan baterai dan sistem kelistrikan (Derisman dkk., 2024), dengan motor BLDC sebagai penggerak utama karena efisiensi tinggi dan torsi instan (Agustus dkk., 2025). Kendala utama pada kendaraan hasil konversi terletak pada belum optimalnya performa akibat ketidaksesuaian antara karakteristik motor dan *controller* (Mahendra dkk., 2024). Parameter *controller* dan

kondisi pembebanan dapat memengaruhi torsi dan daya kendaraan listrik. Namun, dalam konteks kendaraan listrik konversi roda dua, torsi lebih relevan dijadikan respons utama karena perubahan *power limit* dan beban lebih langsung terlihat pada kemampuan motor menghasilkan gaya putar dan mempertahankan performa saat menerima beban.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa performa kendaraan listrik hasil konversi masih memiliki keterbatasan signifikan. (Delasta dkk., 2023) melaporkan bahwa kendaraan konversi BLDC 2 kW hanya mampu menempuh jarak sekitar 16 km, yang menunjukkan efisiensi energi masih rendah. Sinambela (Sinambela, 2025) menemukan terjadinya *overheating* pada *controller* pada suhu di atas 70°C yang menurunkan keandalan sistem. (Zainuri dkk., 2022) juga mengidentifikasi lonjakan arus yang meningkatkan konsumsi energi dan menurunkan efisiensi baterai. Selain itu, (Jondra dkk., 2023), melaporkan bahwa kendaraan listrik konversi hanya mampu mencapai kecepatan maksimum sekitar 54 km/jam dengan konsumsi energi 29,27 Wh/km. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa penelitian sebelumnya masih bersifat deskriptif dan belum mengkaji interaksi antarparameter sistem secara simultan dalam model matematis yang komprehensif.

Dalam implementasi nyata, pengaturan parameter *controller* seperti *power limit* dan beban sangat menentukan performa kendaraan listrik. *power limit* berfungsi sebagai pembatas daya maksimum yang mempengaruhi arus yang mengalir ke motor, sehingga berpengaruh terhadap torsi serta risiko *overcurrent* dan *overheating*. Sementara itu, besarnya beban menentukan kebutuhan torsi dan respons kendaraan terhadap kondisi operasional, beban yang terlalu besar akan meningkatkan arus dan menurunkan akselerasi, sedangkan beban yang terlalu ringan dapat membuat uji tidak merepresentasikan kondisi pemakaian nyata. Namun, pengaturan parameter ini sering dilakukan secara *trial-and-error* tanpa pendekatan sistematis, sehingga menghasilkan performa yang tidak optimal dan sulit direplikasi. Walaupun daya juga merupakan parameter penting dalam penilaian performa kendaraan listrik, daya secara matematis berkaitan dengan torsi dan putaran motor. Oleh karena itu, penelitian ini memfokuskan analisis pada torsi sebagai respons utama karena torsi lebih representatif untuk menilai kemampuan akselerasi dan kemampuan kendaraan listrik konversi dalam menghadapi variasi beban.

Pendekatan optimasi konvensional seperti *trial-and-error* maupun metode *one-factor-at-a-time* memiliki keterbatasan dalam menangkap interaksi antar variabel (Kurniawan dkk., 2025). Metode tersebut cenderung menghasilkan solusi lokal dan tidak mampu merepresentasikan kondisi sistem secara menyeluruh. Kesenjangan utama dalam penelitian ini adalah belum adanya model matematis berbasis data eksperimen yang mampu merepresentasikan hubungan *power limit* dan beban secara kuantitatif terhadap respons torsi pada kendaraan listrik konversi. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan



yang mampu menganalisis interaksi antar variabel sekaligus menentukan kondisi optimal secara sistematis.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan penggunaan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan rancangan *Central Composite Design* (CCD) sebagai pendekatan statistik untuk memodelkan hubungan antara parameter sistem dan performa kendaraan. Metode ini memungkinkan analisis interaksi antar variabel secara simultan serta visualisasi hubungan dalam bentuk *response surface* dan *contour plot*. Pendekatan ini digunakan untuk menentukan kombinasi parameter *power limit* dan beban yang menghasilkan respons torsi optimal secara statistik. Dengan fokus tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar pengaturan *controller* yang lebih sistematis untuk meningkatkan kemampuan gaya putar dan akselerasi kendaraan listrik konversi.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Kendaraan Listrik Konversi

Kendaraan listrik konversi merupakan kendaraan berbahan bakar fosil yang dimodifikasi menjadi kendaraan listrik dengan mengganti sistem penggerak berbasis mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine/ICE*) menjadi motor listrik beserta sistem pendukungnya, seperti baterai, *controller*, dan perangkat pengendali lainnya. Konversi kendaraan menjadi salah satu solusi untuk mengurangi emisi gas buang, menekan konsumsi bahan bakar fosil, serta mempercepat implementasi kendaraan listrik dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan pembelian kendaraan listrik baru.

Di Indonesia, konversi sepeda motor menjadi kendaraan listrik mulai berkembang seiring meningkatnya kebutuhan transportasi ramah lingkungan dan dukungan pemerintah terhadap percepatan ekosistem kendaraan listrik. Performa kendaraan hasil konversi dipengaruhi oleh spesifikasi motor listrik, kapasitas baterai, karakteristik *controller*, serta kondisi pembebanan kendaraan.



Gambar 1. Ilustrasi Kendaraan Listrik

### Motor Brushless DC (BLDC)

Motor Brushless Direct Current (BLDC) merupakan motor listrik sinkron yang menggunakan magnet permanen pada rotor dan kumparan pada stator. Komutasi motor dilakukan secara elektronik menggunakan *controller* sehingga tidak memerlukan sikat (*brush*). Dibandingkan motor DC konvensional, motor BLDC memiliki efisiensi

yang lebih tinggi, umur pakai lebih panjang, tingkat kebisingan rendah, dan kebutuhan perawatan yang minimal.

Kinerja motor BLDC dipengaruhi oleh beberapa parameter, antara lain tegangan suplai, arus, kecepatan putar, daya keluaran, efisiensi, dan torsi. Pada kendaraan listrik, motor BLDC banyak digunakan karena memiliki karakteristik torsi awal yang tinggi sehingga sesuai untuk aplikasi transportasi.

### Torsi Motor Listrik

Torsi merupakan kemampuan motor menghasilkan gaya putar pada poros. Besarnya torsi menentukan kemampuan kendaraan dalam melakukan akselerasi, menanjak, maupun membawa beban.

Secara umum, hubungan daya dan torsi dinyatakan sebagai

$$[P=T\omega]$$

dengan:

- (P) = daya (W)
- (T) = torsi (N·m)
- ( $\omega$ ) = kecepatan sudut (rad/s)

Semakin besar torsi yang dihasilkan motor, semakin besar pula kemampuan kendaraan untuk menggerakkan beban. Namun peningkatan torsi juga dipengaruhi oleh batas kemampuan *controller* dan kapasitas sistem kelistrikan.

### Controller Motor BLDC

Controller merupakan perangkat elektronik yang mengatur kerja motor BLDC melalui pengaturan arus dan tegangan menuju motor. Selain berfungsi sebagai pengendali kecepatan, *controller* juga menentukan karakteristik akselerasi, efisiensi, konsumsi energi, serta torsi motor.

Salah satu parameter penting pada *controller* adalah **power limit**, yaitu batas maksimum daya yang dapat disalurkan ke motor. Pengaturan *power limit* yang terlalu rendah menyebabkan torsi tidak maksimal, sedangkan pengaturan terlalu tinggi dapat meningkatkan suhu motor dan konsumsi energi sehingga menurunkan efisiensi sistem.

### Pengaruh Beban terhadap Performa Motor

Beban kendaraan merupakan massa total yang harus digerakkan oleh motor listrik, meliputi berat kendaraan, pengendara, dan muatan tambahan. Semakin besar beban yang diberikan, semakin besar pula torsi yang dibutuhkan untuk mempertahankan performa kendaraan.

Hubungan antara beban dan performa motor tidak selalu bersifat linier karena dipengaruhi oleh karakteristik *controller*, efisiensi motor, kondisi baterai, serta sistem transmisi. Oleh karena itu diperlukan pendekatan statistik untuk mengetahui hubungan aktual antara beban dan torsi.

### Chassis Dynamometer

Chassis dynamometer merupakan alat uji yang digunakan untuk mengukur performa kendaraan tanpa harus melakukan pengujian di jalan raya. Alat ini mampu mengukur torsi, daya, putaran roda, serta karakteristik



performa kendaraan dalam kondisi laboratorium yang terkontrol.

Penggunaan chassis dynamometer menghasilkan data yang lebih konsisten karena kondisi lingkungan, pembebanan, serta metode pengujian dapat dikendalikan sehingga mengurangi variasi hasil pengukuran.

### Response Surface Methodology (RSM)

Response Surface Methodology (RSM) merupakan metode statistik yang digunakan untuk membangun model matematis dan mengoptimalkan suatu proses yang dipengaruhi oleh beberapa variabel bebas. RSM mengombinasikan teknik desain eksperimen, analisis regresi, dan optimasi sehingga mampu menggambarkan hubungan antara variabel input dan respon secara kuadratik.

Model umum RSM orde dua dinyatakan sebagai

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j}^k \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon$$

dengan (Y) merupakan respon, ( $X_i$ ) variabel bebas, ( $\beta$ ) koefisien regresi, dan ( $\varepsilon$ ) galat percobaan.

Keunggulan RSM dibandingkan metode eksperimen konvensional adalah mampu memperoleh kondisi optimum dengan jumlah percobaan yang relatif sedikit.

### Central Composite Design (CCD)

Central Composite Design (CCD) merupakan salah satu rancangan eksperimen yang paling banyak digunakan dalam RSM. CCD terdiri atas titik faktorial, titik aksial, dan titik pusat (center point), sehingga memungkinkan pembentukan model kuadratik dengan akurasi yang baik.

Pada penelitian ini digunakan CCD tipe **face-centered**, di mana titik aksial berada pada nilai  $\alpha = 1$ . Rancangan ini sesuai digunakan ketika batas level faktor telah ditentukan sehingga seluruh kombinasi percobaan masih berada pada rentang kondisi operasional yang aman.

### Analisis Varians (ANOVA)

Analisis Varians (ANOVA) digunakan untuk mengevaluasi signifikansi model regresi maupun pengaruh masing-masing faktor terhadap respon. Pengujian dilakukan menggunakan nilai F dan nilai signifikansi (p-value). Model dinyatakan signifikan apabila nilai  $p < 0,05$ .

Selain itu dilakukan uji **lack of fit** untuk mengevaluasi kesesuaian model terhadap data eksperimen. Model dianggap layak digunakan apabila uji lack of fit tidak signifikan ( $p > 0,05$ ).

### Optimasi Menggunakan Desirability Function

Desirability Function merupakan metode optimasi yang mengubah setiap respon menjadi nilai desirability antara 0 hingga 1. Nilai mendekati 1 menunjukkan bahwa hasil prediksi semakin mendekati kondisi optimum sesuai tujuan optimasi.

Metode ini banyak digunakan pada RSM karena mampu menentukan kombinasi faktor terbaik berdasarkan beberapa kriteria optimasi secara simultan. Pada penelitian ini, optimasi dilakukan untuk memperoleh kombinasi

**power limit** dan beban yang menghasilkan torsi maksimum pada kendaraan listrik konversi.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis pengaruh variasi **power limit** dan beban terhadap karakteristik torsi pada kendaraan listrik hasil konversi Honda Beat FI 110 cc. Pendekatan eksperimen dipilih karena memungkinkan pengujian hubungan sebab-akibat melalui pengendalian variabel secara sistematis, sedangkan pendekatan kuantitatif digunakan karena data yang dihasilkan berupa data numerik yang dianalisis menggunakan metode statistik. Analisis dilakukan dengan **Response Surface Methodology (RSM)** untuk membangun model matematis hubungan antara variabel bebas dan variabel respons sekaligus menentukan kondisi operasi yang optimum.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Motor Pembakaran Dalam dan Bengkel Kelistrikan yang memiliki fasilitas **chassis dynamometer** untuk pengujian performa kendaraan listrik. Objek penelitian berupa sepeda motor Honda Beat FI 110 cc yang telah dikonversi menjadi kendaraan listrik menggunakan motor **Brushless Direct Current (BLDC)** berdaya 1 kW dengan sumber energi baterai 60 V. Seluruh pengujian dilakukan pada kondisi laboratorium yang terkontrol sehingga pengaruh faktor eksternal dapat diminimalkan dan hasil pengukuran memiliki tingkat konsistensi yang tinggi.

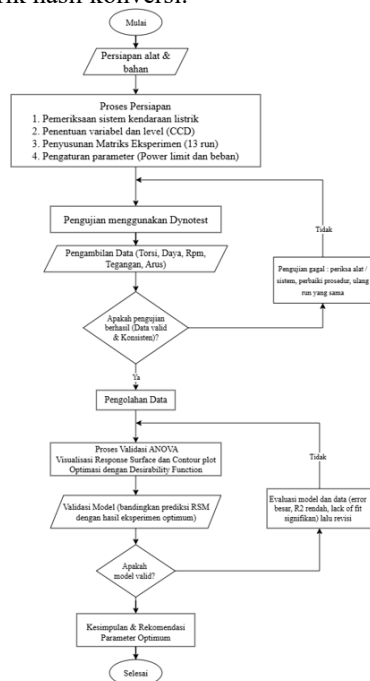
Variabel bebas dalam penelitian ini terdiri atas **power limit** controller dan beban pengendara. Power limit diuji pada tiga level, yaitu 50%, 80%, dan 100%, sedangkan beban divariasikan sebesar 60 kg, 70 kg, dan 80 kg. Variabel terikat yang diamati adalah torsi (N·m) yang dihasilkan motor listrik, sedangkan variabel kontrol meliputi spesifikasi motor BLDC, tegangan baterai, jenis baterai, tekanan ban, kondisi kendaraan, suhu lingkungan, serta prosedur pengujian yang dijaga tetap selama seluruh proses eksperimen agar perubahan respon hanya dipengaruhi oleh variabel bebas.

Desain eksperimen disusun menggunakan **Response Surface Methodology (RSM)** dengan rancangan **Central Composite Design (CCD)** tipe *face-centered*. Rancangan ini dipilih karena mampu mengevaluasi pengaruh linier, kuadratik, dan interaksi antarvariabel secara efisien dengan jumlah percobaan yang relatif sedikit. Dengan dua faktor penelitian, rancangan CCD menghasilkan 13 kombinasi percobaan yang terdiri atas titik faktorial, titik aksial, dan titik pusat (*center point*). Setiap variabel dikodekan ke dalam level -1, 0, dan +1 untuk mempermudah proses pemodelan regresi dan analisis statistik.

Pengambilan data dilakukan dengan mengoperasikan kendaraan pada setiap kombinasi perlakuan sesuai rancangan eksperimen. Nilai torsi diukur secara langsung menggunakan **chassis dynamometer**, kemudian dicatat sebagai data respon penelitian. Seluruh pengujian dilakukan dengan prosedur yang sama untuk menjamin konsistensi hasil pengukuran. Data yang diperoleh selanjutnya diolah menggunakan perangkat lunak **Minitab** untuk membentuk model regresi polinomial orde dua yang menggambarkan

hubungan antara **power limit**, beban, dan torsi kendaraan listrik.

Analisis data dilakukan melalui tahapan pembentukan model regresi, pengujian signifikansi model menggunakan **Analysis of Variance (ANOVA)**, evaluasi koefisien determinasi ( $R^2$ ), serta pengujian **lack of fit** untuk mengetahui kesesuaian model terhadap data eksperimen. Tahap akhir penelitian adalah optimasi menggunakan **desirability function** pada fitur *Response Optimizer* di Minitab untuk menentukan kombinasi **power limit** dan beban yang menghasilkan nilai torsi optimum. Hasil optimasi kemudian digunakan sebagai dasar rekomendasi pengaturan parameter controller yang lebih efektif pada kendaraan listrik hasil konversi.



**Gambar 2.** Kerangka Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan menggunakan rancangan **Central Composite Design (CCD)** tipe *face-centered* yang menghasilkan 13 kombinasi percobaan. Rancangan ini terdiri atas empat titik faktorial, empat titik aksial, dan lima replikasi titik pusat (*center point*) untuk mengestimasi galat eksperimen dan menguji kesesuaian model kuadratik. Dua variabel bebas yang diuji adalah **power limit** controller dan beban pengendara, sedangkan respons yang diamati adalah torsi kendaraan listrik hasil konversi Honda Beat FI 110 cc. Pengujian dilakukan menggunakan *chassis dynamometer* dalam kondisi laboratorium yang terkontrol sehingga hasil pengukuran memiliki tingkat konsistensi yang baik.

**Tabel 1.** Matriks Rancangan Eksperimen Central Composite Design (CCD)

| Run | Coded P | Coded L | Power Limit (%) | Beban (kg) |
|-----|---------|---------|-----------------|------------|
| 1   | -1      | -1      | 50              | 60         |
| 2   | 1       | -1      | 100             | 60         |
| 3   | -1      | 1       | 50              | 80         |

|    |    |    |     |    |
|----|----|----|-----|----|
| 4  | 1  | 1  | 100 | 80 |
| 5  | -1 | 0  | 50  | 70 |
| 6  | 1  | 0  | 100 | 70 |
| 7  | 0  | -1 | 80  | 60 |
| 8  | 0  | 1  | 80  | 80 |
| 9  | 0  | 0  | 80  | 70 |
| 10 | 0  | 0  | 80  | 70 |
| 11 | 0  | 0  | 80  | 70 |
| 12 | 0  | 0  | 80  | 70 |
| 13 | 0  | 0  | 80  | 70 |

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai rata-rata torsi berada pada rentang **42,87–51,81 N·m**. Nilai torsi terendah diperoleh pada kombinasi **power limit** 50% dengan beban 60 kg, sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada kondisi **power limit** 80% dengan beban 70 kg. Rentang hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan parameter controller dan pembebanan memberikan pengaruh nyata terhadap kemampuan motor BLDC dalam menghasilkan gaya putar. Secara umum, peningkatan **power limit** meningkatkan torsi hingga titik tertentu, namun setelah melewati kondisi optimum peningkatan tersebut tidak lagi memberikan kenaikan torsi yang signifikan.

**Tabel 2.** Hasil Pengukuran Torsi Setiap Kombinasi Percobaan

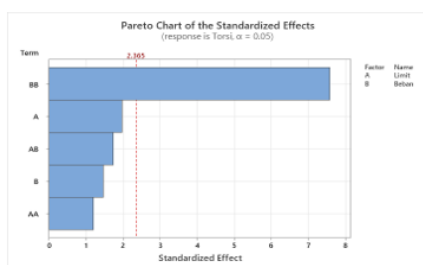
| Run | Power Limit (%) | Beban (kg) | Rata-rata Torsi (N·m) |
|-----|-----------------|------------|-----------------------|
| 1   | 50              | 60         | 42,87                 |
| 2   | 100             | 60         | 43,90                 |
| 3   | 50              | 80         | 43,84                 |
| 4   | 100             | 80         | 43,75                 |
| 5   | 50              | 70         | 47,36                 |
| 6   | 100             | 70         | 49,39                 |
| 7   | 80              | 60         | 43,71                 |
| 8   | 80              | 80         | 43,96                 |
| 9   | 80              | 70         | 48,89                 |
| 10  | 80              | 70         | 50,09                 |
| 11  | 80              | 70         | 51,80                 |
| 12  | 80              | 70         | 51,81                 |
| 13  | 80              | 70         | 49,67                 |

Data pada Tabel 4.2 memperlihatkan bahwa kombinasi **power limit** 80% dan beban 70 kg menghasilkan nilai torsi yang lebih tinggi dibandingkan kombinasi lainnya. Kondisi ini mengindikasikan bahwa performa motor BLDC tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya daya yang diberikan, tetapi juga oleh keseimbangan antara kemampuan controller, karakteristik motor, dan besarnya beban. Pada kondisi tersebut, suplai arus yang diberikan controller mampu dimanfaatkan secara lebih efisien sehingga menghasilkan torsi yang lebih besar.

Fenomena tersebut menjelaskan bahwa **power limit** maksimum (100%) tidak selalu menghasilkan performa terbaik. Ketika batas daya dinaikkan hingga maksimum, efisiensi sistem dapat menurun akibat meningkatnya rugi-rugi listrik, kenaikan temperatur motor, serta keterbatasan

karakteristik controller. Sebaliknya, pengaturan **power limit** pada tingkat menengah mampu menghasilkan distribusi arus yang lebih stabil sehingga torsi meningkat secara optimal. Hasil ini memperlihatkan adanya hubungan yang bersifat nonlinier antara **power limit** dan torsi.

Pada lima replikasi titik pusat (Run 9–13) terlihat adanya variasi nilai torsi antara **48,89 N·m** hingga **51,81 N·m**, meskipun menggunakan kombinasi parameter yang sama. Variasi tersebut menunjukkan adanya galat eksperimen yang masih berada dalam batas wajar dan dapat disebabkan oleh perubahan temperatur motor, fluktuasi tegangan baterai, karakteristik sensor dynamometer, maupun kondisi mekanis kendaraan selama pengujian. Oleh karena itu, penggunaan beberapa replikasi titik pusat sangat penting untuk memperoleh estimasi *pure error* sehingga model statistik yang dibangun menjadi lebih reliabel.



Gambar 3. Pareto Chart of the standardized effects

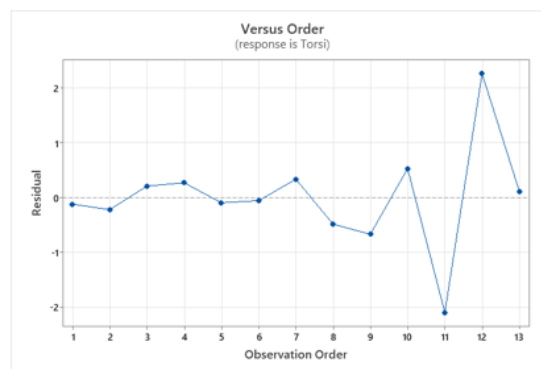
Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan **Response Surface Methodology (RSM)** untuk membangun model matematis hubungan antara variabel bebas dan respons. Berdasarkan hasil **Analysis of Variance (ANOVA)** diperoleh bahwa model regresi kuadratik yang dibangun signifikan secara statistik dengan **F-value sebesar 17,72** dan **p-value sebesar 0,001**. Nilai tersebut menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan hubungan antara **power limit**, beban, dan torsi dengan tingkat kepercayaan yang tinggi. Selain itu, komponen kuadratik beban memiliki pengaruh paling dominan terhadap perubahan torsi dengan **F-value sebesar 57,46** dan **p-value sebesar 0,000**, sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh beban terhadap torsi bersifat nonlinier.

Tabel 3. Ringkasan Hasil Analisis Statistik dan Optimasi RSM

| Parameter                      | Nilai     |
|--------------------------------|-----------|
| <b>F-value model</b>           | 17,72     |
| <b>p-value model</b>           | 0,001     |
| <b>F-value kuadratik beban</b> | 57,46     |
| <b>p-value kuadratik beban</b> | 0,000     |
| <b>Lack-of-fit</b>             | 0,073     |
| <b>p-value lack-of-fit</b>     | 0,973     |
| <b>Power limit optimum</b>     | 87,88 %   |
| <b>Beban optimum</b>           | 70,10 kg  |
| <b>Prediksi torsi optimum</b>  | 49,66 N·m |
| <b>Composite desirability</b>  | 0,8197    |

Evaluasi terhadap kelayakan model menunjukkan bahwa nilai **lack-of-fit** sebesar **0,073** dengan **p-value 0,973**

tidak signifikan, sehingga model yang diperoleh telah sesuai dengan data eksperimen dan layak digunakan sebagai model prediksi. Tidak signifikannya *lack-of-fit* menunjukkan bahwa variasi data yang muncul lebih banyak berasal dari galat acak dibandingkan kesalahan model. Dengan demikian, model regresi orde dua yang dihasilkan mampu merepresentasikan hubungan antara **power limit**, beban, dan torsi secara memadai.



Gambar 4. Plot Versus Order

Tahap akhir penelitian dilakukan melalui optimasi menggunakan fitur **Response Optimizer** pada perangkat lunak Minitab. Hasil optimasi menunjukkan bahwa kondisi optimum dicapai pada **power limit sebesar 87,88%** dan **beban sebesar 70,10 kg**, dengan prediksi torsi sebesar **49,66 N·m** serta nilai **composite desirability sebesar 0,8197**. Nilai desirability yang mendekati satu menunjukkan bahwa kombinasi parameter tersebut memiliki tingkat kedekatan yang tinggi terhadap kondisi optimum yang diinginkan. Secara keseluruhan, hasil penelitian membuktikan bahwa pendekatan **Response Surface Methodology** berbasis **Central Composite Design** efektif digunakan untuk memodelkan sekaligus mengoptimalkan performa torsi kendaraan listrik hasil konversi, sehingga dapat dijadikan dasar dalam pengaturan parameter **controller** secara lebih sistematis dan berbasis data.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian mengenai optimasi performa kendaraan listrik konversi Honda Beat FI 110 cc menggunakan *Response Surface Methodology*, dapat disimpulkan beberapa hal berikut.

1. Variasi *power limit* dan beban memengaruhi respons torsi kendaraan listrik konversi Honda Beat FI 110 cc. Nilai rata-rata torsi hasil pengujian berada pada rentang 42,87–51,81 N·m. Torsi tertinggi pada data eksperimen diperoleh pada *power limit* 80% dan beban 70 kg, sehingga peningkatan *power limit* tidak selalu menghasilkan kenaikan torsi secara linier.
2. Model RSM mampu merepresentasikan hubungan antara *power limit* dan beban terhadap respons torsi. Model dinyatakan signifikan dengan *p-value* 0,001, sedangkan nilai *lack-of-fit* yang tidak signifikan menunjukkan bahwa model layak



digunakan dalam rentang eksperimen. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa komponen kuadratik, terutama beban kuadrat, menjadi faktor paling dominan terhadap respons torsi.

3. Kondisi optimum diperoleh pada *power limit* 87,8788% dan beban 70,101 kg, dengan prediksi torsi sebesar 49,6591 N·m dan *composite desirability* sebesar 0,819694. Hasil validasi menghasilkan torsi aktual sebesar 51,87 N·m, dengan *error* 4,26% dan akurasi model 95,74%. Dengan demikian, kombinasi tersebut dapat direkomendasikan sebagai pengaturan optimum untuk meningkatkan respons torsi dalam rentang eksperimen.

#### Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan respons lain, seperti daya, efisiensi energi, konsumsi arus, temperatur motor, dan temperatur controller, agar optimasi performa kendaraan listrik konversi menjadi lebih komprehensif.
2. Pengujian berikutnya perlu menggunakan variasi parameter yang lebih luas dan jumlah pengulangan yang lebih banyak agar model yang dihasilkan lebih akurat dan reliabel.
3. Penelitian lanjutan dapat menggunakan metode optimasi multi-respons, seperti *Grey Relational Analysis*, *Genetic Algorithm*, atau *Particle Swarm Optimization*, untuk memperoleh keseimbangan antara torsi, daya, efisiensi, dan keamanan sistem.
4. Validasi hasil optimasi sebaiknya dilanjutkan melalui uji jalan agar hasil dynotest dapat dibandingkan dengan performa kendaraan pada kondisi operasional nyata.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agustus, V. N., Putra, W., Aji, S. K., Riskitasari, S., & Firdaus, A. H. (2025). *Karakterisasi Konsumsi Energi Motor Bldc terhadap Beban Dinamis pada Kendaraan Listrik Hibrida Politeknik Negeri Malang Karakterisasi Konsumsi Energi Motor Bldc terhadap Beban Dinamis pada Kendaraan Listrik Hibrida utama , yaitu motor BLDC ( Brushless Dir.*
- Aken Derisman, Muhammad Ridha Fauzi, Denur, D., Japri, J., Jusnita, J., & Zikri, Z. (2024). Konversi Sepeda Motor Yamaha Mio Sporty Menjadi Sepeda Motor Listrik dengan Metode Sambung Langsung. *Jurnal Surya Teknika*, 11(1), 379–382. <https://doi.org/10.37859/jst.v11i1.7671>
- Andzaka, N. M., Munadi, M., Haryanto, I., Jurusan, M., Mesin, T., Teknik, F., Diponegoro, U., Jurusan, D., Mesin, T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2025). *PEMODELAN DAN ANALISIS SISTEM PENGGERAK KENDARAAN LISTRIK BERBASIS MATLAB / SIMULINK UNTUK TRANSPORTASI MAHASISWA DALAM*. 13(3), 363–372.
- Anshory, I., Teknik, F., & Muhammadiyah, U. (2017). *Performance Analysis Stability Of Speed Control Of BLDC Motor Using PID-BAT Algorithm In Electric Vehicle*. 1(1), 22–28.
- Badu, M., Sodikin, S., & Ristanto, I. (2025). Analisis Perbandingan Penggunaan Kendaraan Bermotor dan Kendaraan Motor Listrik di Wilayah Soloraya Tahun 2024 (Studi Kasus: Surakarta dan Sukoharjo). *Jurnal Talenta Sipil*, 8(1), 42. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v8i1.671>
- Belinda, D., Setiadi, B., & Kunci, K. (2022). *Rancang Bangun Dynamometer Model Prony Brake untuk Alat Uji Motor Listrik*. 13–14.
- Chukwuemeka, N., Abiodun, A., & Kelly, O. (2023). *Face Centered-Central Composite Design Technique in Modeling the Effects of Delay after Mixing On the Elastic Modulus of Metakaolin Modified Black Cotton Soils*. 8(4), 38–50.
- Daniswara, C., Putri, W., Serena, K., Hayati, N., Widitya, I. W. O., Ramadhani, M. H., Nurdiansyah, D. W., Sanjaya, A. K., Fuadi, M. K., & Afanin, R. H. (2025). *JURNAL ANGKA Penggunaan Kendaraan Listrik Terhadap Pengurangan Emisi Karbon di Indonesia dan pemanasan global . Gas-gas rumah kaca yang terbentuk dari emisi karbon World Meteorological Organization ( WMO ) mengeluarkan laporan terbaru perihal WMO Global Annual to Decadal Climate Update 2024-2028 menjelaskan yakni sementara suhu rata-rata tahunan akan melebihi 1 , 5 ° C , kondisi bahan bakar fosil . Laporan terbaru dari World Resources Institute menunjukkan emisi karbon yang ditetapkan dalam Perjanjian Paris , mendukung komitmen*. 2(1), 20–30.
- Devi, L., Sunaryo, S., Statistika, J., Matematika, F., Alam, P., & Surface, A. M. R. (2014). *Kemasan Botol Plastik dengan Pendekatan Fuzzy Programming*. 3(2).
- Derringer, G., & Suich, R. (1980). *Simultaneous optimization of several response variables*. *Journal of Quality Technology*, 12(4), 214–219. <https://doi.org/10.1080/00224065.1980.11980968>
- Ersa, N. S., Akbar, S. J., Fadhliani, F., Akbar, T. I. S., & Ikhwal, M. F. (2023). Analisis Beban Emisi Pencemaran Udara Akibat Aktivitas Transportasi Kendaraan Bermotor di Jalan Keude Cunda, Kota Lhokseumawe. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 391–402. <https://doi.org/10.29103/tj.v13i2.898>
- Jondra, I., Sunaya, I., Arka, I., Parti, I., Sudiartha, I., & Widharma, I. (2023). *The Performance of Electric Vehicles Converted from Combustion Motorcycles*. 451–457. <https://doi.org/10.5220/0010947400003260>
- Kumar, M. P., & Kumar, K. V. (2020). *Response Surface Methodology – A Review*. 8(7), 558–565.



- Kurniawan, K., Hasanudin, H., Dwiyanto, A., & Putra, R. T. (2025). Optimization of BLDC Motor Geometry using Particle Swarm Optimization Algorithm to Achieve Efficiency Balance Across Various Electric Vehicle Traction Requirements. *Aviation Electronics, Information Technology, Telecommunications, Electricals, and Controls (AVITEC)*, 7(3), 321. <https://doi.org/10.28989/avitec.v7i3.3119>
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments* (9th ed.). John Wiley & Sons.
- Prastya, H. Y., Dewantara, B. Y., & Diah, I. (2025). *Karakteristik Kendaraan Konversi Sepeda Motor Listrik Motor BLDC 2000 Watt Type Hub Drive*. 8(02), 58–63.
- Purnama, N. M. A., Aini, R. F. N., Sugiarto, C. C., & Putri, M. E. S. (2025). Evaluasi Kesiapan dan Tantangan Implementasi Pajak Karbon di Indonesia dalam Perspektif Keadilan Iklim dan Pembangunan Berkelanjutan. *Menulis: Jurnal Penelitian Nusantara*, 1(6), 1179–1185. <https://padangjurnal.web.id/index.php/menulis/article/view/496>
- Putra, R. C., Sulaeman, A., & Suhendri, A. (2021). *Motor Bakar: Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang, Vol. 5, No. 2, Juli-Desember, 2021*. 5(2), 1–6.
- Rohman, M. F., Laksana, A. H., & Himawan, C. U. S. K. (2024). *Pengaruh Variasi Posisi Throttle Terhadap Arus Motor , Konsumsi Baterai , Dan Akselerasi Motor Listrik ( Modifikasi Vario 125 )*. 6–11.
- Sinambela, R. (2025). Analisis Pengujian Statis Motor Matic 110 Cc Menjadi Motor Listrik 2 Kw. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(1), 315–326. <https://doi.org/10.21776/jrm.v16i1.1961>
- Widarsaputra, A. Y., Prawatya, Y. E., & Sujana, I. (2022). *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM) UNTUK OPTIMASI PENGOLAHAN KERIPIK NANAS MENGGUNAKAN MESIN VACUUM FRYING*. 6(2), 70–77.
- Wijaya, D. E., Permana, E., Rahayu, M. A., Rasyid, A., & Hidayat, A. N. (2023). *Pengoptimalan Menggunakan Central Composite Design ( CCD ) untuk Depolimerisasi Kitosan secara Degradasi Oksidatif*. 6(Ccd), 67–76.
- Zainuri, F., Tullah, M. H., Nuriskasari, I., Subarkah, R., Widiyatmoko, W., Prasetya, S., Susanto, I., Belyamin, B., & Abdillah, A. A. (2022). Performa Kendaraan Konversi Listrik melalui Pengujian Dynotest. *Jurnal Mekanik Terapan*, 3(2), 44–49. <https://doi.org/10.32722/jmt.v3i2.4621>