

Optimasi Multi-Respon Massa Roller dan Sudut Pulley untuk Peningkatan Karakteristik Daya dan Torsi pada Sistem Transmisi CVT Sepeda Motor Otomatis

Khairul Suhada^{1*}, B. Umroh², Butar-Butar, Hafidz², Muhammad Idris², Iswandi²

¹⁾ Psrogram Studi Teknik Mesin, Universitas Al-Azhar, Medan, 20142

²⁾ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Medan, 20223

*Email: khairulsuhada80@gmail.com

ABSTRACT

The performance of a continuously variable transmission (CVT) system in a small-displacement automatic motorcycle is highly dependent on two adjustable components: roller mass and pulley angle. However, most previous studies have relied on a one-factor-at-a-time approach, adjusting roller mass or pulley angle separately. Consequently, their combined and interactive effects on engine performance have not been adequately quantified. This study addresses this gap by simultaneously optimizing roller mass and pulley angle on a 109.5 cc SOHC eSP automatic motorcycle to optimize engine power and torque. A custom design-based Response Surface Methodology (RSM) was applied, and thirteen experimental runs were tested on a dynamometer, with roller masses ranging from 11.4–15.6 g and pulley angles ranging from 12.8°–14.2°. A Two-Factor Interaction (2FI) model was developed and evaluated using Analysis of Variance (ANOVA). Both models were highly significant ($p < 0.0001$), with pulley angle identified as the dominant factor and the interaction ($A \times B$) between roller mass and pulley angle statistically significant for both responses. Numerical optimization based on the desirability function yielded an optimal configuration at a roller mass of 11.4 g and a pulley angle of 13.597°, delivering an engine power of 4.777 W and an engine torque of 7.29 N•m with a desirability of 0.522. This validated predictive model quantifies the roller–pulley interaction and provides practical engineering guidelines for tuning automatic motorcycle CVTs to balance power and torque.

Keywords: Continuously variable transmission; Roller mass; Pulley angle; Response Surface Methodology; Multi-response optimization; Desirability function; Engine torque.

PENDAHULUAN

Sistem continuously variable transmission (CVT) telah menjadi teknologi penggerak dominan pada sepeda motor otomatis dan skuter berkapasitas kecil, terutama karena mampu memberikan variasi rasio yang tak berjenjang serta penyaluran daya yang halus tanpa kopling manual sehingga sesuai dengan mobilitas perkotaan yang padat [1], [2], [3]. Berbeda dengan transmisi berjenjang, CVT tipe sabuk-pulley memungkinkan mesin tetap berada di dekat rentang operasi yang menguntungkan sementara rasio efektif menyesuaikan diri secara kontinu terhadap beban jalan, sehingga memperbaiki baik kemudahan berkendara maupun ekonomi bahan bakar [4]. Kemampuan adaptasi ini menempatkan CVT pada posisi sentral dalam upaya meningkatkan efisiensi sistem penggerak di segmen roda dua, tempat perolehan kecil pun bernilai strategis mengingat besarnya populasi kendaraan global serta tekanan yang semakin ketat untuk menekan konsumsi bahan bakar dan emisi [3,4]. Karena transmisi secara terus-menerus menjadi perantara aliran daya antara mesin dan roda, kalibrasi internalnya berpengaruh langsung terhadap daya mesin dan torsi mesin yang dihasilkan [5]. Penelitian eksperimental terbaru menegaskan bahwa perilaku ini tidak bersifat tetap, melainkan dapat direkayasa secara sengaja dengan mengubah elemen-elemen mekanis yang mengatur karakteristik perpindahan rasio pada variator [6], [7]

Di antara elemen mekanis tersebut, dua komponen bersifat menentukan dalam membentuk perilaku CVT, yaitu massa roller dan sudut pulley. Massa roller menetapkan gaya sentrifugal yang mendorong movable sheave dan karena itu menentukan putaran mesin saat transmisi mulai menaikkan rasio (upshift), sedangkan sudut pulley mengatur geometri kontak efektif serta laju perubahan rasio di sepanjang rentang operasi [8], [9]. Dalam praktik, nilai yang dipilih pabrikan merupakan kompromi luas antara ekonomi bahan bakar, keawetan, dan kenyamanan pengendara,

◆ bukan konfigurasi yang disetel untuk daya mesin atau torsi mesin puncak [10], [11]. Akibatnya, potensi kinerja mesin berkapasitas kecil, seperti unit 109,5 cc SOHC eSP yang dikaji dalam penelitian ini, jarang dimanfaatkan sepenuhnya pada setelan standar. Praktik penyetelan empiris telah lama menunjukkan bahwa mengubah massa roller atau sudut pulley dapat menggeser kurva daya dan torsi secara berarti, namun penyesuaian tersebut kerap dilakukan secara heuristik dan tanpa landasan kuantitatif yang kuat [12], [13]. Kesenjangan antara sensitivitas kedua parameter yang telah diakui dan ketiadaan kerangka sistematis untuk menetapkan iniliah yang memotivasi kajian berbasis model yang terstruktur mengenai bagaimana massa roller dan sudut pulley secara bersama-sama mengatur kinerja mesin.

Selama satu dekade terakhir, semakin banyak penelitian eksperimental yang berupaya mencirikan bagaimana komponen variator membentuk ulang kinerja sepeda motor otomatis. Beberapa studi berfokus pada massa roller, dengan melaporkan bahwa roller yang lebih ringan menunda perpindahan rasio dan menahan mesin pada putaran yang lebih tinggi, sehingga cenderung memperkuat akselerasi dan torsi menengah, sedangkan roller yang lebih berat menghasilkan peluncuran yang lebih halus namun lebih lambat [14], [15]. Perhatian serupa diberikan pada pulley penggerak dan yang digerakkan, tempat variasi sudut sheave terbukti mengubah rasio transmisi efektif dan pada gilirannya daya serta torsi yang dihasilkan di sepanjang rentang operasi [16], [17]. Di luar studi komponen tunggal, aliran penelitian lain mengkaji strategi penyetelan CVT yang lebih luas, termasuk karakteristik sabuk, kekakuan pegas, dan pengendalian laju rasio, dengan tujuan memperbaiki ekonomi bahan bakar dan kemudahan berkendara pada skuter dan moped [18], [19]. Sejalan dengan itu, pendekatan statistik dan berbasis model semakin banyak digunakan dalam riset mesin: Metodologi Permukaan Respon diterapkan untuk menghubungkan parameter operasi atau rancangan dengan respon kinerja, sedangkan Rancangan Komposit Terpusat digunakan untuk menyusun percobaan secara efisien dan membangun model regresi prediktif dengan jumlah percobaan yang terbatas [20], [21]. Optimasi multi-respon, yang sering diwujudkan melalui fungsi desirability, juga telah diadopsi untuk mendamaikan target kinerja yang saling bersaing dalam studi mesin pembakaran dalam [22], [23], [24]. Secara keseluruhan, literatur ini menegaskan bahwa massa roller maupun sudut pulley merupakan variabel penyetelan yang berpengaruh, dan bahwa rancangan percobaan yang sistematis menawarkan jalur yang kredibel untuk memodelkan dan mengoptimasi kinerja mesin.

Meski demikian, bukti yang ada masih terfragmentasi dalam satu aspek penting. Sebagian besar studi variator mengubah satu parameter pada satu waktu, dengan mengkaji massa roller atau sudut pulley secara terpisah sambil menahan yang lain tetap [25]. Investigasi satu faktor pada satu waktu seperti ini pada dasarnya tidak mampu mengungkapkan bagaimana kedua variabel bekerja secara gabungan, dan tidak dapat mendeteksi atau mengkuantifikasi interaksi di antara keduanya, padahal perilaku perpindahan rasio CVT diatur secara bersama-sama oleh efek sentrifugal dan geometris [26]. Sebagai konsekuensinya, permukaan respon yang menghubungkan massa roller dan sudut pulley dengan daya mesin serta torsi mesin belum dipetakan, dan tanda serta besar interaksinya belum dilaporkan [27], [28]. Kekurangan terkait bersifat metodologis: apabila rekomendasi penyetelan memang tersedia, rekomendasi tersebut sering diturunkan secara heuristik atau dari sapuan parametrik yang sempit, bukan dari model regresi tervalidasi yang mampu melakukan prediksi dan optimasi formal [29], [30]. Lebih jauh, studi yang memperlakukan daya dan torsi secara simultan sebagai respon yang saling bersaing dalam satu kerangka optimasi multi-respon masih langka, khususnya untuk mesin SOHC berkapasitas kecil yang mendominasi segmen komuter [30], [31]. Keterbatasan-keterbatasan ini menyingkapkan kesenjangan pengetahuan yang jelas mengenai pengaruh terkopel dari dua parameter CVT yang paling mudah diakses, dan kesenjangan penelitian yang bersesuaian berupa tidak adanya perlakuan yang prediktif, sadar-interaksi, dan berorientasi optimasi terhadap pengaruh gabungan keduanya.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini beranjak dari praktik satu faktor pada satu waktu yang lazim dan justru memperlakukan massa roller dan sudut pulley sebagai faktor yang bervariasi secara bersamaan dalam satu kerangka permukaan respon. Perbedaan ini tidak sekadar bersifat prosedural. Dengan menggabungkan kedua parameter dalam satu rancangan percobaan, interaksi antara massa roller dan sudut pulley ($A \times B$) dapat diisolasi dan dikuantifikasi, alih-alih tertutupi atau diasumsikan dapat diabaikan sebagaimana pada studi satu faktor yang berurutan [32],

[33]. Interaksi ini ditangkap melalui model Interaksi Dua Faktor (2FI), yang menghasilkan persamaan regresi eksplisit yang menghubungkan kedua faktor dengan daya mesin dan torsi mesin serta, tidak seperti sapuan parametrik yang bersifat deskriptif belaka, mendukung prediksi di luar titik yang diuji [34], [35]. Model yang terpasang kemudian direpresentasikan sebagai permukaan respon, sehingga pengaruh gabungan massa roller dan sudut pulley dikaji sebagai lanskap kinerja yang kontinu, bukan sekadar sejumlah setelan diskret. Yang terpenting, daya dan torsi tidak dioptimasi secara terpisah; keduanya ditangani secara simultan melalui optimasi multi-respon berbasis fungsi desirability, yang mendamaikan perilaku kedua respon yang saling bersaing dalam satu kriteria formal [36], [37]. Kombinasi inilah—model yang sadar-interaksi, permukaan respon yang terpetakan, dan optimasi multi-respon berbasis desirability yang diterapkan pada variator SOHC eSP berkapasitas kecil—yang membedakan penelitian ini dari investigasi terdahulu yang sebagian besar bersifat satu faktor dan deskriptif.

Kontribusi ilmiah yang mengalir dari pendekatan ini bersifat ganda. Pertama, penelitian ini menyediakan model prediktif tervalidasi yang mengkuantifikasi bagaimana massa roller dan sudut pulley, beserta interaksinya, mengatur daya mesin dan torsi mesin, sehingga mengubah kumpulan pengetahuan penyetelan yang heuristik menjadi hubungan yang formal dan dapat diuji. Kedua, dengan menetapkan tanda dan kekuatan relatif interaksi $A \times B$, penelitian ini memperjelas suatu mekanisme yang secara struktural tidak dapat disingkap oleh kerja satu faktor. Kontribusi rekayasanya sama nyatanya: model yang dihasilkan berfungsi sebagai pedoman berorientasi rancangan, yang memungkinkan perilaku CVT sepeda motor otomatis disetel di atas landasan rasional berbasis model alih-alih coba-coba, dan tanpa memerlukan modifikasi perangkat keras mesin yang mahal. Kontribusi-kontribusi ini membingkai tujuan penelitian secara alami. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan memodelkan pengaruh individual dan interaktif massa roller dan sudut pulley terhadap daya mesin dan torsi mesin, menilai signifikansi statistik pengaruh tersebut, serta menentukan—melalui optimasi numerik multi-respon—kombinasi parameter yang paling baik menyeimbangkan kedua respon.

METODE PENELITIAN

Sepeda Motor Uji

Percobaan dilakukan pada sepeda motor otomatis yang tersedia secara komersial dengan mesin 109,5 cc, empat langkah, satu poros bubungan di kepala silinder (single-overhead-camshaft, SOHC), berpendingin udara, dan dilengkapi teknologi enhanced Smart Power (eSP). Mesin ini memiliki diameter dan langkah $47,0 \times 63,1$ mm serta rasio kompresi 10,0 : 1, dan bahan bakar disalurkan melalui sistem injeksi terprogram (PGM-FI). Daya ditransmisikan melalui penggerak otomatis V-matic yang dipadukan dengan kopling otomatis sentrifugal tipe kering, sedangkan penyalaan disediakan oleh mekanisme elektrik dan engkol. Pada kondisi standar, mesin menghasilkan daya maksimum 6,6 kW pada 7.500 rpm dan torsi maksimum 9,3 N·m pada 5.500 rpm. Agar platform uji dapat direproduksi, keseluruhan spesifikasi pabrikan yang digunakan dalam penelitian ini dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi sepeda motor uji.

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Tipe mesin	Empat langkah, SOHC, berpendingin udara, eSP
2	Volume langkah	109,5 cc
3	Sistem suplai bahan bakar	Injeksi (PGM-FI)
4	Diameter $\times$ langkah	$47,0 \times 63,1$ mm
5	Tipe transmisi	Otomatis, V-matic
6	Rasio kompresi	10,0 : 1
7	Daya maksimum	6,6 kW / 7.500 rpm
8	Torsi maksimum	9,3 N·m / 5.500 rpm
9	Tipe starter	Elektrik dan engkol
10	Tipe kopling	Otomatis, sentrifugal tipe kering

Daya mesin dan torsi mesin diukur pada dinamometer sasis, yang berperan sebagai instrumen utama untuk memperoleh kedua respon kinerja dari setiap konfigurasi percobaan. Perangkat

dinamometer yang sama dipertahankan sepanjang percobaan sehingga setiap konfigurasi dievaluasi pada kondisi pengukuran yang identik, dengan demikian mengisolasi pengaruh variabel transmisi dari variasi apa pun yang berasal dari perangkat uji. Susunan dinamometer yang digunakan dalam pengujian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Model dinamometer.

Sistem CVT dan Variabel Penelitian

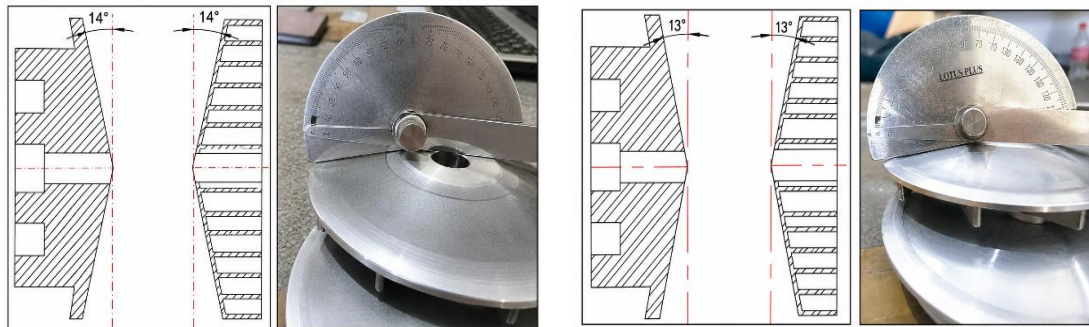
Sistem V-matic pada sepeda motor uji menyalurkan daya melalui variator sabuk-pulley yang perilakunya diatur oleh dua elemen mekanis yang dapat disetel dan menjadi perhatian dalam penelitian ini, yaitu massa roller dan sudut pulley. Kedua elemen ini diperlakukan sebagai variabel bebas, yang masing-masing dilambangkan A dan B. Massa roller, A, dinyatakan dalam gram (g), dan sudut pulley, B, dalam derajat ($^{\circ}$). Dua karakteristik kinerja ditetapkan sebagai respon terikat, yaitu daya mesin, Y1, dinyatakan dalam watt (W), dan torsi mesin, Y2, dinyatakan dalam newton-meter (N·m). Dalam analisis selanjutnya, kedua variabel bebas ditangani baik dalam bentuk terkode, yang merepresentasikan taraf faktor pada skala terstandar, maupun dalam bentuk faktor aktual, yang menyatakan model langsung dalam satuan fisik A dan B.

Massa roller ditetapkan dengan menimbang dan menyeimbangkan roller pada timbangan digital sebelum pemasangan, sehingga setiap konfigurasi bersesuaian dengan nilai A yang dituju. Prosedur penyiapan dan penyeimbangan massa roller diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses penyeimbangan massa roller.

Sudut pulley didefinisikan oleh kemiringan permukaan sheave dan diverifikasi melalui pengukuran sudut secara langsung pada pulley sebelum perakitan, sehingga setiap konfigurasi sesuai dengan nilai B yang dituju. Pengukuran sudut pulley ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengukuran sudut pulley.

Sepanjang percobaan, massa roller divariasikan pada rentang 11,4–15,6 g dan sudut pulley pada rentang 12,8°–14,2°, dengan setelan tengah A = 13,50 g dan B = 13,50° sebagai kondisi pusat. Setelah variabel bebas, representasi terkode dan aktualnya, serta kedua respon terikat didefinisikan, faktor-faktor ini beserta rentang yang ditetapkan menjadi dasar bagi Rancangan Komposit Terpusat yang digunakan untuk menyusun percobaan, sebagaimana diuraikan pada Subbab 2.5.

HASIL PERCOBAAN

Ketiga belas konfigurasi yang ditetapkan oleh Rancangan Komposit Terpusat diuji pada dinamometer, dan daya mesin (Y1) serta torsi mesin (Y2) yang tercatat untuk setiap kombinasi massa roller (A) dan sudut pulley (B) dihimpun pada Tabel 2. Kelima titik pusat yang direplikasi menghasilkan respon yang identik, yang menunjukkan konsistensi pengukuran pada kondisi pusat.

Analisis ANOVA

Untuk daya mesin, model 2FI sangat signifikan ($F = 377,92$; $p < 0,0001$). Sudut pulley (B) merupakan faktor dominan ($F = 1069,7$; $p < 0,0001$) dan suku interaksi ($A \times B$) juga signifikan ($F = 63,01$; $p < 0,0001$), sedangkan massa roller (A) tidak signifikan ($p = 0,3241$). Sisa bernilai kecil dan ketidaksesuaian tidak berkaitan dengan galat murni apa pun, konsisten dengan kecocokan model yang memadai. Rincian lengkapnya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Analisis Ragam untuk model 2FI daya mesin (Respon 1).

Sumber	Jumlah kuadrat	df	Kuadrat tengah	Nilai F	Nilai p
Model	31,59	3	10,53	377,92	< 0,0001
A – Massa roller	0,0303	1	0,0303	1,09	0,3241
B – Sudut pulley	29,8	1	29,8	1069,7	< 0,0001
AB	1,76	1	1,76	63,01	< 0,0001
Sisaan	0,2508	9	0,0279		
Ketidaksesuaian	0,2508	5	0,0502		
Galat murni	0	4	0		
Total terkoreksi	31,84	12			

Pengodean faktor bersifat terkode. Jumlah kuadrat adalah Tipe III – parsial.

Untuk torsi mesin, model 2FI juga sangat signifikan ($F = 857,41$; $p < 0,0001$). Sudut pulley (B) kembali menjadi faktor dominan ($F = 2556,8$; $p < 0,0001$), sedangkan baik massa roller (A) maupun suku interaksi ($A \times B$) signifikan (masing-masing $p = 0,0268$ dan $p = 0,0174$). Sebagaimana pada daya mesin, sisaan bernilai kecil dan kecocokan model memadai. Hasil yang bersesuaian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisis Ragam untuk model 2FI torsi mesin (Respon 2).

Sumber	Jumlah kuadrat	df	Kuadrat tengah	Nilai F	Nilai p
Model	56,23	3	18,74	857,41	< 0,0001
A – Massa roller	0,1528	1	0,1528	6,99	0,0268
B – Sudut pulley	55,89	1	55,89	2556,8	< 0,0001
AB	0,1849	1	0,1849	8,46	0,0174

Sumber	Jumlah kuadrat	df	Kuadrat tengah	Nilai F	Nilai p
Sisaan	0,1968	9	0,0219		
Ketidaksesuaian	0,1968	5	0,0394		
Galat murni	0	4	0		
Total terkoreksi	56,43	12			

Pengodean faktor bersifat terkode. Jumlah kuadrat adalah Tipe III – parsial.

Model Regresi

Model 2FI yang terpasang dinyatakan dalam bentuk faktor aktual sebagai persamaan regresi yang menghubungkan massa roller (A) dan sudut pulley (B) dengan masing-masing respon, dengan daya mesin diberikan oleh Pers. (1) dan torsi mesin oleh Pers. (2). Kedua persamaan memiliki bentuk fungsional yang sama, dengan mempertahankan kontribusi individual A dan B beserta suku interaksinya, dan hanya berbeda pada besar koefisien masing-masing.

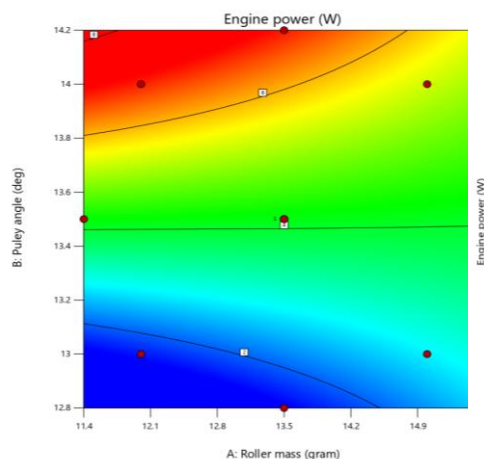
$$\text{Daya mesin} = -208,67 + 11,88 A + 15,80 B - 0,88 AB \quad (1)$$

$$\text{Torsi mesin} = -118,31 + 3,96 A + 9,18 B - 0,29 AB \quad (2)$$

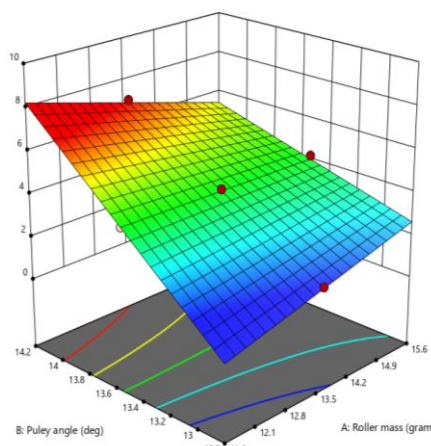
dengan A adalah massa roller (g) dan B adalah sudut pulley (°).

Analisis Permukaan Respon

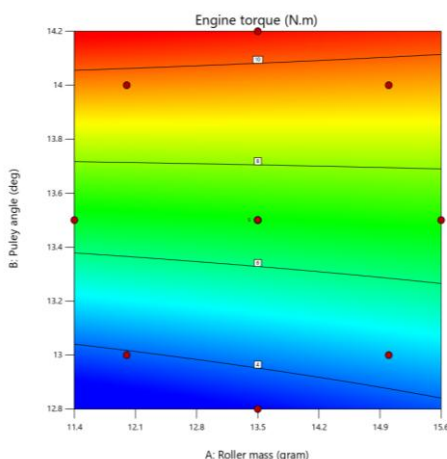
Ketergantungan setiap respon terhadap massa roller dan sudut pulley direpresentasikan oleh grafik kontur dan grafik permukaan tiga dimensi pada rentang yang dikaji: Gambar 4 dan 5 untuk daya mesin serta Gambar 6 dan 7 untuk torsi mesin.



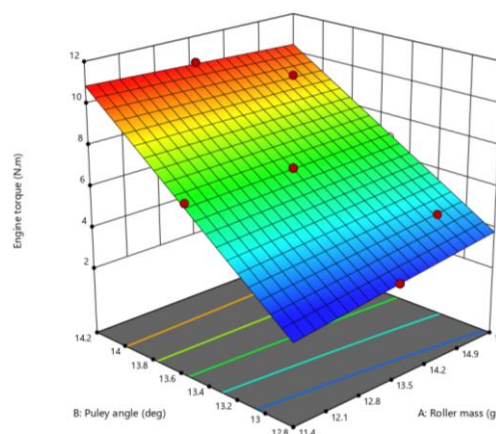
Gambar 4. Grafik kontur daya mesin.



Gambar 5. Permukaan 3D daya mesin.



Gambar 6. Grafik kontur torsi mesin.



Gambar 7. Permukaan 3D torsi mesin.

Optimasi Numerik

Optimasi dilakukan dengan sasaran, batas, bobot, dan tingkat kepentingan yang dirangkum pada Tabel 5. Diperoleh empat solusi kandidat. Optimum terpilih bersesuaian dengan massa roller 11,4 g dan sudut pulley 13,597°, yang menghasilkan desirability tertinggi sebesar 0,522; keseluruhan solusi dilaporkan pada Tabel 6.

Tabel 5. Kendala, sasaran, batas, bobot, dan tingkat kepentingan optimasi.

Nama	Sasaran	Batas bawah	Batas atas	Bobot bawah	Bobot atas	Kepentingan
A: Massa roller	dalam rentang	11,4	15,6	1	1	3
B: Sudut pulley	dalam rentang	12,8	14,2	1	1	3
Daya mesin	maksimalkan	1,47	6,98	1	1	3
Torsi mesin	minimalkan	3,2	10,7	1	1	3

Tabel 6. Solusi optimasi dan optimum terpilih.

No.	Massa roller (g)	Sudut pulley (°)	Daya mesin (W)	Torsi mesin (N·m)	Desirability	Keterangan
1	11,4	13,597	4,777	7,29	0,522	Terpilih
2	15,6	13,246	3,533	5,907	0,489	
3	15,6	13,251	3,545	5,933	0,489	
4	15,6	13,277	3,598	6,057	0,489	

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan memodelkan pengaruh individual dan interaktif massa roller dan sudut pulley terhadap daya mesin dan torsi mesin pada CVT sepeda motor otomatis berkapasitas kecil, menguji signifikansi statistiknya, dan mengidentifikasi setelan yang paling baik menyeimbangkan kedua respon. Dengan menggunakan Rancangan Komposit Terpusat, model Interaksi Dua Faktor (2FI) dipasang pada kedua respon dan terbukti sangat signifikan. Analisis menunjukkan bahwa sudut pulley merupakan variabel kendali yang menentukan bagi daya maupun torsi, bahwa massa roller berpengaruh terhadap torsi tetapi tidak terhadap daya, dan bahwa interaksi antara kedua parameter bersifat signifikan serta antagonistik—suatu kopling yang tidak dapat diungkap oleh studi satu faktor. Konsistensi antara analisis ragam, persamaan regresi, dan permukaan respon menegaskan bahwa temuan-temuan ini membentuk satu gambaran yang koheren secara mekanis, bukan hasil statistik yang terpisah-pisah. Penerapan optimasi multi-respon berbasis desirability pada model tervalidasi mengidentifikasi konfigurasi yang lebih disukai yang menyeimbangkan respon yang saling bersaing dalam rentang yang dikaji. Oleh karena itu, luaran utama penelitian ini bukan satu nilai setelan tunggal, melainkan kerangka prediktif yang sadar-interaksi yang mengubah penyetelan variator heuristik menjadi prosedur rasional berbasis model dan menyediakan pedoman rekayasa untuk mengkalibrasi CVT sepeda motor otomatis berkapasitas kecil. Penelitian lanjutan sebaiknya memperluas himpunan respon dengan menyertakan konsumsi bahan bakar, emisi, dan akselerasi, serta memvalidasi optimum prediksi melalui pengujian konfirmasi independen pada platform mesin tambahan.

Ucapan Terima Kasih

Para penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan teknis yang diberikan selama pengujian dinamometer dan penyiapan komponen CVT yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Parswajinan, S. Rajesh, B. Vijaya Ramnath, D. Vasundharadevi, V. Harish Shravan, and N. BA. Santhosh Krishna, "Design and Analysis of CVT Cooling System," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2837, no. 1, p. 012094, Oct. 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2837/1/012094.
- [2] M. Chaudhari, N. Gujar, S. Gurav, P. Gurjar, S. Habde, and A. Halake, "Analytical method to reduce the temperature of the CVT," 2024, p. 100028. doi: 10.1063/5.0217591.

- [3] S. Ariyono, B. Supriyo, B. Sumiyarso, and B. Cahyono, "Design Linkage Mechanism for Electromechanical Continuously Variable Transmission Ratio Controller Used in Motor Cycle," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1273, no. 1, p. 012072, Nov. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1273/1/012072.
- [4] V. La Battaglia, A. Giorgetti, S. Marini, G. Arcidiacono, and P. Citti, "Kinematic Analysis of V-Belt CVT for Efficient System Development in Motorcycle Applications," *Machines*, vol. 10, no. 1, p. 16, Dec. 2021, doi: 10.3390/machines10010016.
- [5] B. Krishnamurthy, J. A. Dhanraj, A. Sivakumar, and S. K. Pandu, "A review on development of powertrain for e-scooter using continuous variable transmission," 2024, p. 040008. doi: 10.1063/5.0226490.
- [6] A. Patil, P. Salke, O. Sangrulkar, M. Mitkari, and M. V Kulkarni, "Adaptive Cooling System for CVT of All Terrain Vehicles with Wireless Data Acquisition System," in *2023 International Conference for Advancement in Technology (ICONAT)*, IEEE, Jan. 2023, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICONAT57137.2023.10080733.
- [7] S. Yokeswaran, M. Palanivendhan, N. Bhalaria, V. Moradia, and S. Shrivastava, "Experimental Study of CVT for Improving Belt Life by Analyzing the Thermal properties of Sheave Material," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 993, no. 1, p. 012153, Dec. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/993/1/012153.
- [8] Y. Sofronov, K. Kamberov, K. Dimitrov, and M. Semkov, "FEA geometry optimization for high torque pushbelt CVT," 2025, p. 090006. doi: 10.1063/5.0246046.
- [9] H. B. Khaniki, H. Zohoor, and S. Sohrabpour, "Performance analysis and geometry optimization of metal belt-based continuously variable transmission systems using multi-objective particle swarm optimization," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 39, no. 11, pp. 4289–4303, Nov. 2017, doi: 10.1007/s40430-017-0816-7.
- [10] Z. Yan, D. Yin, L. Chen, and W. Shen, "Research on the torsional vibration performance of a CVT powertrain with a dual-mass flywheel damper system," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, vol. 236, no. 6, pp. 1144–1154, May 2022, doi: 10.1177/09544070211036679.
- [11] C. Duan, C. Lee, J. Yao, F. Samie, and Y. Huang, "Development of a Low Loss Clutch for CVT Reverse Function," Apr. 2019. doi: 10.4271/2019-01-0774.
- [12] B. Raizer and F. G. Dedini, "Modeling and Cinematic Analysis of half-toroidal transmission: influence of the project parameters in performance," Oct. 2008. doi: 10.4271/2008-36-0258.
- [13] R. OKUDA, K. OKUBO, T. FUJII, K. SAKAGAMI, and T. YAGASAKI, "Slip behavior in pulley groove up to sliding slip at steady state and power transmitting efficiency on metal V-belt type cvt," *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, vol. 11, no. 6, pp. JAMDSM0086–JAMDSM0086, 2017, doi: 10.1299/jamdsm.2017jamdsm0086.
- [14] C.-C. Zhu, H.-J. Liu, J.-J. Tian, Q. Xiao, and X.-S. Du, "Experimental research on the effect of structural parameters on the governing characteristics of a pulley-drive, continuously variable transmission," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, vol. 224, no. 6, pp. 775–784, Jun. 2010, doi: 10.1243/09544070JAUTO1363.
- [15] J. J. Xia, "The Shift Speed Control of CVT on Different Conditions," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 373–375, pp. 104–107, Aug. 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.373-375.104.
- [16] N. Cholis, S. Ariyono, and G. Priyandoko, "Design of Single Acting Pulley Actuator (SAPA) Continuously Variable Transmission (CVT)," *Energy Procedia*, vol. 68, pp. 389–397, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.03.270.
- [17] J. Park, J. Park, H.-T. Seo, Y. Liu, K.-S. Kim, and S. Kim, "Control of tendon-driven(Twisted-string Actuator) robotic joint with adaptive variable-radius pulley," in *2020 20th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, IEEE, Oct. 2020, pp. 1096–1098. doi: 10.23919/ICCAS50221.2020.9268279.

- [18] T. Shibayama, "CVT Control—System Integration, Ratio Choice, Shift Strategy and Dynamics, Adaptive Features, Engine Calibration, Electric Motor Assist," in *Encyclopedia of Automotive Engineering*, Wiley, 2014, pp. 1–19. doi: 10.1002/9781118354179.auto211.
- [19] K. L. Kuo, "Optimization of Hydraulic Pressure for Continuously Variable Transmission," *Adv. Mat. Res.*, vol. 317–319, pp. 529–532, Aug. 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.317-319.529.
- [20] M. Kiani, "The augmentation of existing data for improving the path of steepest ascent," *Commun. Stat. Theory Methods*, vol. 46, no. 5, pp. 2506–2518, Mar. 2017, doi: 10.1080/03610926.2011.577547.
- [21] M. Kiani, "The augmentation of existing data for improving the path of steepest ascent," *Commun. Stat. Theory Methods*, vol. 46, no. 5, pp. 2506–2518, Mar. 2017, doi: 10.1080/03610926.2011.577547.
- [22] H. Boodaghi, M. M. Etghani, and K. Sedighi, "Numerical study of hydrogen addition on the performance and emission characteristics of compressed natural gas spark-ignition engine using response surface methodology and multi-objective desirability approach," *International Journal of Engine Research*, vol. 22, no. 8, pp. 2575–2596, Aug. 2021, doi: 10.1177/1468087420945902.
- [23] P. Paramasivam and D. C., "Multi-objective optimization of CRDI engine parameters fueled with blends of diesel and sterculia foetida biodiesel: A comparative study of RSM composite desirability and meta-heuristic algorithm," *Results in Engineering*, vol. 29, p. 109719, Mar. 2026, doi: 10.1016/j.rineng.2026.109719.
- [24] O. I. Awad *et al.*, "Combustion and Emission Analysis of NH₃-Diesel Dual-Fuel Engines Using Multi-Objective Response Surface Optimization," *Atmosphere (Basel)*, vol. 16, no. 9, p. 1032, Aug. 2025, doi: 10.3390/atmos16091032.
- [25] Y. Sukrawan *et al.*, "Experimental Study of the Effect of Roller Shape Variations on the CVT System using Petrol-Pyrolytic Fuels toward the Power Characteristics of Automatic Motorcycles," *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, vol. 123, no. 1, pp. 185–194, Aug. 2024, doi: 10.37934/aram.123.1.185194.
- [26] A. Saltelli and P. Annoni, "How to avoid a perfunctory sensitivity analysis," *Environmental Modelling & Software*, vol. 25, no. 12, pp. 1508–1517, Dec. 2010, doi: 10.1016/j.envsoft.2010.04.012.
- [27] J. Wu, H. Yan, Z. Zheng, and X. Li, "Design and Optimization of Low Impact Shift Control Strategy for Aviation Transmission Power System Based on Response Surface Methodology," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 22, p. 12115, Nov. 2023, doi: 10.3390/app132212115.
- [28] K. Kadirgama, M. M. Noor, M. M. Rahman, R. A. Bakar, and A.-E. Hossein, "Fourth Order Torque Prediction Model in End Milling," *Journal of Applied Sciences*, vol. 9, no. 13, pp. 2431–2437, Jun. 2009, doi: 10.3923/jas.2009.2431.2437.
- [29] Y. Eryoldaş and A. Durmuşoğlu, "A Literature Survey on Offline Automatic Algorithm Configuration," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 13, p. 6316, Jun. 2022, doi: 10.3390/app12136316.
- [30] Z. S. Dunias, B. Van Calster, D. Timmerman, A. Boulesteix, and M. van Smeden, "A comparison of hyperparameter tuning procedures for clinical prediction models: A simulation study," *Stat. Med.*, vol. 43, no. 6, pp. 1119–1134, Mar. 2024, doi: 10.1002/sim.9932.
- [31] S. Shah, P. Mane, A. Voncken, and A. Emran, "Multibody Dynamic Analysis of Belt-Type CVT Systems in Two-Wheelers: A Study on Slip, Misalignment, and Transmission Efficiency," Jan. 2026. doi: 10.4271/2026-26-0079.
- [32] X. Dai, Y. Hu, Y. Yu, Z. He, and M. Li, "Analysis of transmission system of metal belt CVT based on ANSYS/LS-DYNA," 2020, p. 020020. doi: 10.1063/5.0014494.
- [33] R.-B. Itu, T. Mihaela, I.-B. Marc, and V. A. Florea, "Calculation of the Technological Forces Transmitted to the Extraction Tower Through Means of the Extraction Pulley," 2025, pp. 37–46. doi: 10.1007/978-3-031-80512-7_4.

- [34] K. Kadirgama *et al.*, "Prediction modeling of power and torque in end-milling," Jun. 2010, pp. 409–418. doi: 10.2495/HPSM100381.
- [35] K. Kadirgama, M. M. Noor, M. M. Rahman, R. A. Bakar, and A.-E. Hossein, "Fourth Order Torque Prediction Model in End Milling," *Journal of Applied Sciences*, vol. 9, no. 13, pp. 2431–2437, Jun. 2009, doi: 10.3923/jas.2009.2431.2437.
- [36] D. Lee, I. Jeong, and K. Kim, "A desirability function method for optimizing mean and variability of multiple responses using a posterior preference articulation approach," *Qual. Reliab. Eng. Int.*, vol. 34, no. 3, pp. 360–376, Apr. 2018, doi: 10.1002/qre.2258.
- [37] V. Marinković, "Some applications of a novel desirability function in simultaneous optimization of multiple responses," *FME Transactions*, vol. 49, no. 3, pp. 534–548, 2021, doi: 10.5937/fme2103534M.
- [38] T. Saito and A. Lewis, "Development of Traction Fluid Property Tables for a Toroidal CVT Multi-Body Simulation," Apr. 2018. doi: 10.4271/2018-01-1061.
- [39] I. W. Y. Arta, Z. Arifin, and A. Yudiantoko, "The Effect of CVT Rollers Weight on Power and Torque of Honda Vario 125 Engine in Garuda Hybrid Car 2017," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1700, no. 1, p. 012064, Dec. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1700/1/012064.
- [40] J. Zhao, M. Xiao, P. Bartos, and A. Bohata, "Dynamic engagement characteristics of wet clutch based on hydro-mechanical continuously variable transmission," *J. Cent. South Univ.*, vol. 28, no. 5, pp. 1377–1389, May 2021, doi: 10.1007/s11771-021-4709-7.
- [41] B. Supriyo, S. Ariyono, B. Tjahjono, and B. Sumiyarso, "Electro-mechanical Transmission Ratio Shifter of Rubber Belt Continuously Variable Transmission for Motorcycle Applications," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1273, no. 1, p. 012071, Nov. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1273/1/012071.
- [42] L. J. Delhaise, I. I. Mazali, Z. H. C. Daud, M. S. C. Kob, and Z. Asus, "Current usage by a DC motor to vary ratio in an electro-mechanical continuously variable transmission," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 884, no. 1, p. 012085, Jul. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/884/1/012085.
- [43] P. Jayanthi, M. K. Iyyanki, P. Vadakattu, and P. Megham, "The Case Study of Brain Tumor Data Analysis Using Stata and R," 2020, pp. 239–252. doi: 10.1007/978-981-15-1081-6_20.
- [44] L. J. Delhaise, I. I. Mazali, Z. H. C. Daud, M. S. C. Kob, and Z. Asus, "Current usage by a DC motor to vary ratio in an electro-mechanical continuously variable transmission," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 884, no. 1, p. 012085, Jul. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/884/1/012085.