

Analisis Modal Pengaruh Variasi Ketebalan *Clutch Housing* menggunakan Metode Elemen Hingga

Angger Bagus Prasetyo^{1,*}, Dimas Ardiansyah Halim², Arbye S.³, Kartinasari Ayuhikmatin Sekarjati⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman No.39, Potrobangsari, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah, 56116

⁴Program Studi Teknologi Industri, Program Pendidikan Vokasi, Universitas AKPRIND Indonesia, Jl. Kalisahak No.28, Klitren, Kec. Gondokusuman, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55222

*anggerbagus@untidar.ac.id

Diterima: 11 12 2025

Direvisi: 21 01 2026

Disetujui: 30 01 2026

ABSTRAK

Clutch housing merupakan komponen penting dalam sistem *Continuously Variable Transmission* (CVT) yang bekerja pada kecepatan putar tinggi dan menerima berbagai beban dinamis, sehingga karakteristik getarannya menjadi faktor krusial dalam mencegah terjadinya resonansi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi ketebalan dinding *clutch housing* terhadap frekuensi natural dan bentuk mode getar menggunakan metode elemen hingga. Model *clutch housing* dianalisis dengan variasi ketebalan 1 mm, 2 mm, dan 3 mm melalui proses pemodelan tiga dimensi, meshing, penentuan kondisi batas, serta analisis modal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan dinding secara konsisten meningkatkan frekuensi natural pada seluruh mode getar dan menurunkan amplitudo deformasi struktur. Frekuensi natural pada mode pertama meningkat dari 94,00 Hz pada ketebalan 1 mm menjadi 180,99 Hz pada ketebalan 3 mm, sedangkan pada mode keempat meningkat dari 194,60 Hz menjadi 451,01 Hz. Ketebalan 3 mm menunjukkan amplitudo deformasi paling kecil dan respons dinamis paling stabil, serta berada pada rentang frekuensi yang lebih aman terhadap potensi resonansi pada kondisi operasi CVT. Oleh karena itu, ketebalan 3 mm direkomendasikan sebagai konfigurasi optimum dalam perancangan *clutch housing* yang lebih andal dan stabil secara dinamis.

Kata kunci: Analisis modal; *clutch housing*; ketebalan dinding; frekuensi natural; metode elemen hingga.

ABSTRACT

The clutch housing is a critical component in a Continuously Variable Transmission (CVT) system that operates at high rotational speeds and is subjected to various dynamic loads, making its vibration characteristics crucial for preventing resonance. This study aims to analyze the effect of clutch housing wall thickness variation on natural frequencies and vibration mode shapes using the Finite Element Method. The clutch housing model was analyzed with wall thicknesses of 1 mm, 2 mm, and 3 mm through three-dimensional modeling, meshing, boundary condition definition, and modal analysis. The results indicate that increasing wall thickness consistently increases the natural frequencies across all vibration modes and reduces structural deformation amplitudes. The first natural frequency increased from 94.00 Hz at a thickness of 1 mm to 180.99 Hz at a thickness of 3 mm, while the fourth mode frequency increased from 194.60 Hz to 451.01 Hz. The 3 mm thickness exhibits the smallest deformation amplitude and the most stable dynamic response, operating within a frequency range that is safer against potential resonance under CVT operating conditions. Therefore, a wall thickness of 3 mm is recommended as the optimal configuration for designing a more reliable and dynamically stable clutch housing.

Keywords: *Clutch housing; wall thickness; natural frequency; modal analysis; finite element method*

PENDAHULUAN

Sistem transmisi yang bernama *Continuously Variable Transmission* (CVT) sepeda motor, memainkan peran dalam pendistribusian daya mesin ke roda, dan menjaga kelancaran dalam proses perpindahan torsi [1]. Komponen utama yang sangat krusial dalam sistem transmisi salah satunya adalah *clutch housing*, atau dikenal di kalangan pecinta otomotif disebut mangkok ganda. *Clutch housing* merupakan salah satu komponen yang terletak pada bagian kampas ganda motor matic, yang memiliki pengaruh terhadap sistem pengereman sepeda motor [2]. Selama *clutch housing* beroperasi dengan kecepatan putar yang tinggi, maka akan mengalami kombinasi beban dinamis berupa gaya sentrifugal, gaya gesek, fluktuasi temperatur dan eksitasi getaran dari mesin. Saat ini, banyak bentuk desain *clutch housing* yang beredar di kalangan masyarakat pecinta otomotif. Kemampuan komponen ini mampu menampung kampas kopling dan elemen sentrifugal untuk mendukung beban dinamis dan vibrasi akibat putaran tinggi serta beban kontak.

Salah satu parameter geometrik yang berpengaruh langsung terhadap karakteristik dinamis struktur adalah ketebalan dinding [3]. Perubahan ketebalan memengaruhi distribusi massa, kekakuan struktural, dan momen inersia, yang pada akhirnya menentukan nilai frekuensi natural suatu komponen berputar. Secara mekanis, perubahan ketebalan akan berdampak terhadap nilai masa, kekakuan serta distribusi inersia *clutch housing*, hal ini akan mengakibatkan pergeseran frekuensi natural. Pada beberapa kasus, apabila kondisi frekuensi eksitasi mendekati frekuensi natural struktur akan menyebabkan resiko resonansi. Jika frekuensi alami beriringan dengan frekuensi operasionalnya, maka dapat menimbulkan resonansi yang berdampak terjadinya kebisingan, getaran berlebih, kelelahan material dan kerusakan lebih dini [4].

Beberapa penelitian telah melakukan analisis perilaku dinamis pada komponen *Continuously Variable Transmission* (CVT) seperti *pulley*, kampas kopling serta transmisi sabuk, namun kajian khusus tentang pengaruh ketebalan *clutch housing* terhadap bantuk frekuensi natural masih terbatas. Meskipun demikian, kajian terdahulu pada sistem CVT umumnya lebih berfokus pada analisis kinerja kopling sentrifugal, *pulley*, sistem sabuk, atau aspek termal, sementara kajian mengenai karakteristik dinamis *clutch housing* masih relatif terbatas. Lebih lanjut, penelitian yang secara khusus dan sistematis membahas pengaruh variasi ketebalan dinding *clutch housing* terhadap frekuensi natural dan mode getar hampir tidak ditemukan. Umumnya, penentuan ketebalan *clutch housing* mengandalkan pendekatan *trial and error* dan kajian data empiris, sehingga belum adanya kajian secara sistematis yang menguatkan hubungan sebab akibat variasi ketebalan dan respon dinamis komponen tersebut [5]. Beberapa peneliti sebelumnya telah kajian pada komponen *Continuously Variable Transmission* (CVT) teruma yang berkaitan dengan kinerja kopling sentrifugal [6], analisis *thermal* kampas kopling serta analisis struktur pada *pulley Continuously Variable Transmission* (CVT).

Urgensi penelitian ini terletak pada pengaruh ketebalan terhadap frekuensi natural *clutch housing*, agar nantinya menjadi acuan dasar dalam membuat rancangan *clutch housing* yang lebih rasional dan tidak tergantung pada kajian empiris. Kajian numerik yang sistematis terhadap ketebalan *clutch housing* diperlukan untuk mendeteksi kemungkinan terjadinya resonansi selama proses pengoperasian *Continuously Variable Transmission* (CVT), sehingga kegagalan akibat getaran suatu komponen dapat diminalkan sejak tahap desain [7]. Pemahaman tentang hubungan perubahan ketebalan, kekakuan struktural dan respon dinamis memberikan peluang untuk menentukan konfigurasi bentuk desain yang optimal [8]–[13], sehingga penelitian ini dapat berkontribusi dalam menyediakan literatur mengenai analisis modal *clutch housing* agar dapat dikembangkan dikemudian hari.

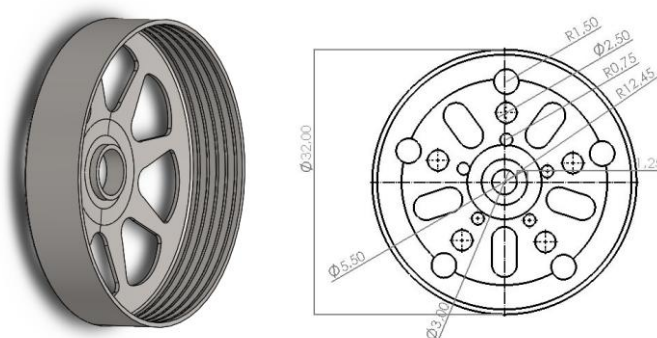
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis modal terhadap *clutch housing* dengan variasi ketebalan menggunakan metode elemen hingga. Penelitian ini menganalisis bagaimana perubahan ketebalan memengaruhi frekuensi natural, pola mode shape, dan potensi interaksi dengan rentang putaran operasi aktual dari *Continuously Variable Transmission* (CVT). Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah dalam menentukan ketebalan optimum yang tidak hanya memenuhi aspek kekuatan, tetapi juga stabilitas dinamis.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis analisis numerik yang disebut Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*). Penggunaan metode ini sangat cocok untuk mengevaluasi pengaruh variasi ketebalan terhadap karakteristik modal *clutch housing*. Pemilihan metode ini, karena dapat memvisualisasikan sebuah desain dengan bentuk kontur mengenai hubungan geometri [14], kekakuan struktural [15], dan respons dinamis yang sulit diperoleh melalui eksperimen [16] langsung pada komponen berputar. Seluruh proses analisis dilakukan secara sistematis sebagaimana dijelaskan berikut:

Pemodelan Desain

Tahap yang mendasar pada penelitian ini adalah dengan membuat sket gambar 3D dengan bantuan *software* CAD. Pemodelan mempertahankan bentuk geometri utama seperti dinding mangkok, hub bagian dalam, permukaan gesek, dan lubang ventilasi karena fitur-fitur tersebut berpengaruh langsung terhadap kekakuan dan distribusi massa. Model kemudian divariasikan pada parameter ketebalan dinding untuk membentuk beberapa konfigurasi desain yang akan dianalisis dalam studi modal. Penyederhanaan geometri diterapkan hanya pada detail minor yang tidak memengaruhi respons dinamis, sehingga efisiensi komputasi tetap terjaga tanpa mengurangi akurasi struktural.



Gambar 1. 3D *clutch housing*

Penentuan Material

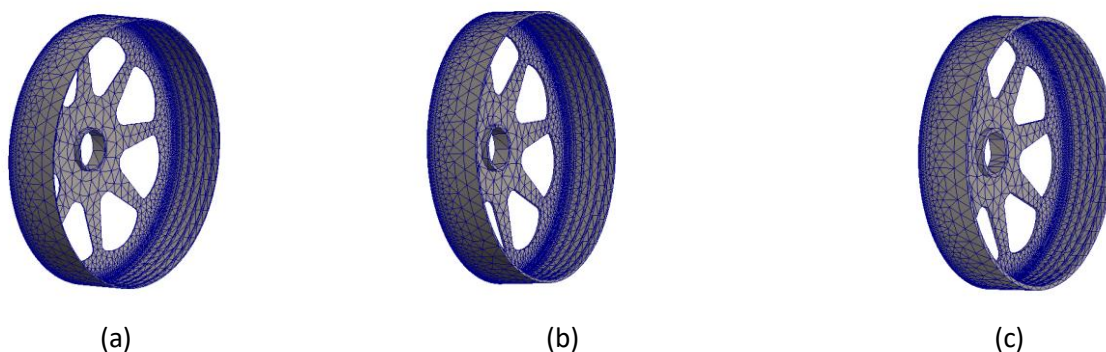
Pada tahapan penentuan material *clutch housing* penelitian ini, diasumsikan menggunakan AISI 1020. Material dimodelkan sebagai material elastis isotropik dengan parameter utama berupa modulus elastisitas, rasio poisson, dan massa jenis. Data material diambil dari spesifikasi standar yang relevan dan diterapkan secara konsisten pada seluruh variasi ketebalan. Pendekatan ini memastikan bahwa perubahan frekuensi *natural* yang diamati berasal dari perbedaan ketebalan, bukan dari variasi sifat material [17].

Tabel 1. Spesifikasi material AISI 1020

Properti	Nilai	Satuan
Elastic Modulus	2×10^{11}	N/m ²
Poisson's Ratio	0.29	N/A
Shear Modulus	7.7×10^{10}	N/m ²
Mass Density	7900	kg/m ³
Tensile Strength	420507000	N/m ²
Yield Strength	351571000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	1.5×10^{-5}	/K
Thermal Conductivity	47	W/(m·K)
Specific Heat	420	J/(kg·K)

Proses *Meshing* dan Konfigurasinya

Pada tahapan yang menjadi penentu keberhasilan dalam simulasi adalah tahap *meshing* hal tersebut dikonfirmasi pada penelitian sebelumnya [18] proses ini dilakukan menggunakan elemen *solid* tiga dimensi dengan prioritas pada kualitas elemen dan representasi geometri. Menurut penelitian yang dilakukan Sosnowski pada tahun 2018 terdapat beberapa jenis elemen untuk mendiskripsikan simulasi yaitu element *tetrahedral*, *hexahedral* dan *polyhedral* [19]. Elemen *tetrahedral* dipilih untuk mendiskripsikan untuk mengakomodasi kontur geometri *clutch housing* yang kompleks pada dinding mangkok dan lubang ventilasi. Pemilihan element *tetrahedral* dipilih karena elemen tersebut sangat cocok dan banyak diaplikasikan pada geometri yang memiliki tingkat kekompleksitasan paling tinggi hal tersebut dilakukan oleh peneliti sebelumnya [20], [21]. Ukuran elemen dibuat secara adaptif, dengan *mesh* yang lebih halus di area transisi geometri dan daerah yang diperkirakan memiliki gradien tegangan tinggi [22], [23]. Studi konvergensi *mesh* dilakukan dengan membandingkan frekuensi natural pada beberapa tingkat kerapatan *mesh*, dan *mesh* dianggap konvergen apabila perubahan frekuensi berada di bawah 5%. Konfigurasi ini memastikan bahwa hasil modal analisis tidak dipengaruhi oleh kualitas *mesh*.



Gambar 2. Mesh *clutch housing* (a) Tebal 1mm, (b) Tebal 2, (c) Tebal 3 mm

Penentuan Kondisi Batas

Tahapan selanjutnya setelah proses *meshing* adalah penentuan kondisi batas yang tujuannya untuk merepresentasikan kondisi pemasangan *clutch housing* pada poros CVT saat beroperasi. Bagian hub dalam diberikan *boundary condition* berupa *fixed support*, sehingga translasi dan rotasi pada area tersebut dikendalikan secara penuh. Pendekatan ini mencerminkan kondisi aktual di mana *clutch housing* terikat secara kaku pada poros penggerak. Tidak ada pembebanan eksternal yang diterapkan karena analisis yang dilakukan merupakan analisis getaran bebas (*free vibration*) untuk memperoleh frekuensi natural dan bentuk mode [16].

Analisis

Tahapan terakhir dari proses simulasi pemodelan *clutch housing* adalah analisis modal dilakukan menggunakan solver Metode Elemen Hingga untuk memperoleh nilai eigenfrekuensi dan *mode shape* dari setiap variasi ketebalan *clutch housing*. Mode-mode awal (umumnya 6–10 mode pertama) dievaluasi karena mode ini paling berpengaruh terhadap potensi resonansi pada rentang putaran operasi CVT. Hasil frekuensi natural kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi tren pengaruh ketebalan terhadap perubahan kekakuan dinamis dan potensi interaksi dengan eksitasi getaran selama operasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mesh merupakan representasi diskret dari domain struktur yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan keseimbangan dinamis dalam analisis elemen hingga [24]. Kualitas *mesh* berpengaruh langsung terhadap akurasi perhitungan frekuensi natural dan bentuk mode getar, sehingga evaluasi karakteristik *mesh* menjadi langkah penting dalam analisis modal [25], serta kemampuan *solver* dalam menangkap gradien aliran yang kompleks, sehingga evaluasi karakteristik *mesh* menjadi langkah metodologis yang tidak dapat diabaikan dalam analisis numerik [26]. Pada penelitian ini, tabel detail *mesh* yang disajikan memberikan gambaran mengenai variasi ketebalan geometri memengaruhi jumlah *node*, jumlah elemen, serta kualitas elemen melalui parameter *aspect ratio*, sehingga memungkinkan penilaian ilmiah mengenai konsistensi, keandalan, dan kesiapan *mesh* untuk digunakan dalam simulasi lanjutan sebagaimana yang diperlihatkan pada Tabel 1.

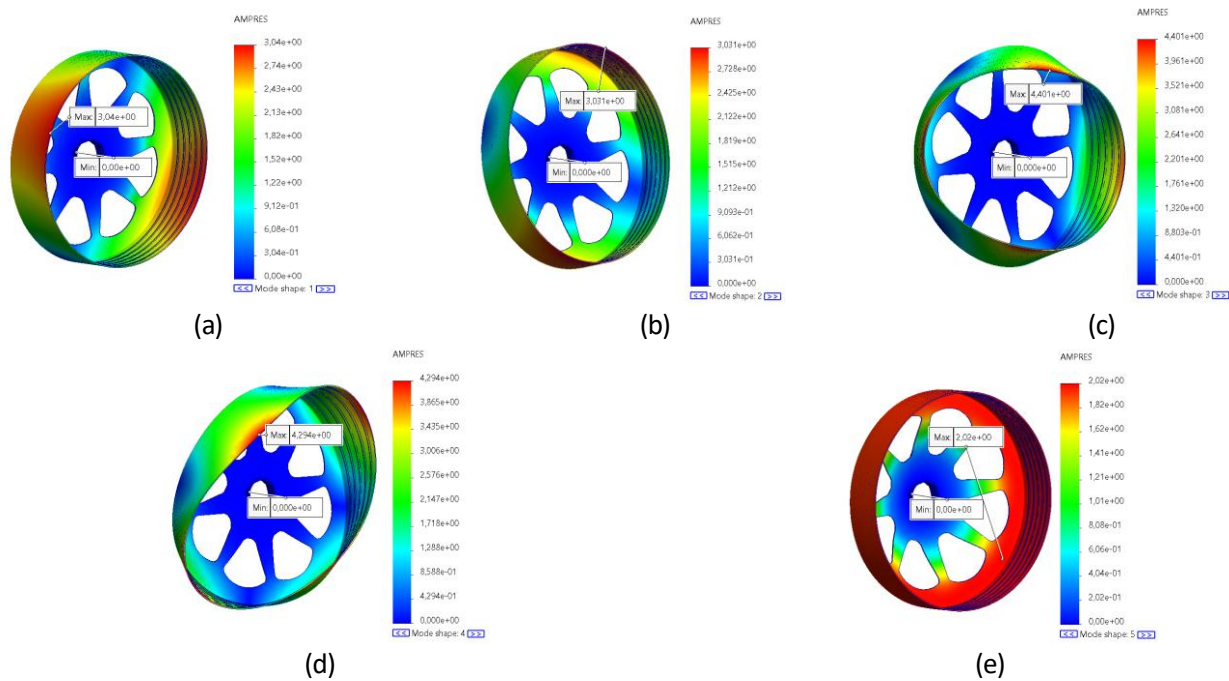
Tabel 2. detail mesh

No	Variasi Ketebalan	Jumlah Node	Jumlah Elemen	Maximum Aspect Ratio	Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	Percentage of elements with Aspect Ratio > 10
1	1	64266	32538	2607,1	66,2	13,4
2	2	86592	49242	43,9	82,7	4,8
3	3	106684	64359	57,7	89,4	3,02

Pada variasi ketebalan 1–3, terlihat bahwa peningkatan ketebalan geometri berbanding lurus dengan peningkatan jumlah node dan elemen, yaitu dari 64.266 node dan 32.538 elemen menjadi 106.684 node dan 64.359 elemen. Kenaikan ini menunjukkan bahwa model dengan ketebalan lebih besar membutuhkan discretization yang lebih padat untuk mempertahankan representasi geometri yang akurat. Perubahan paling signifikan terlihat pada *maximum aspect ratio*, yang meningkat tajam dari 2,607 menjadi 57,655. Secara teori, nilai aspect ratio yang tinggi menandakan distorsi elemen dan berpotensi menurunkan akurasi numerik, terutama pada gradien kecepatan dan tekanan [27]. Penambahan ketebalan memberi konsekuensi berupa degradasi kualitas elemen tertentu dalam *mesh* [28]. Persentase elemen dengan aspect ratio < 3 meningkat dari 66,2% menjadi 89,4%, menunjukkan bahwa meskipun terdapat sebagian kecil elemen sangat buruk (aspect ratio > 10), mayoritas elemen tetap berada dalam kategori kualitas baik. Penurunan elemen dengan *aspect ratio* > 10 dari 13,4% menjadi hanya 3,02% pada ketebalan 3 memperlihatkan bahwa proses *mesh generation* secara keseluruhan tetap adaptif dan stabil [29].

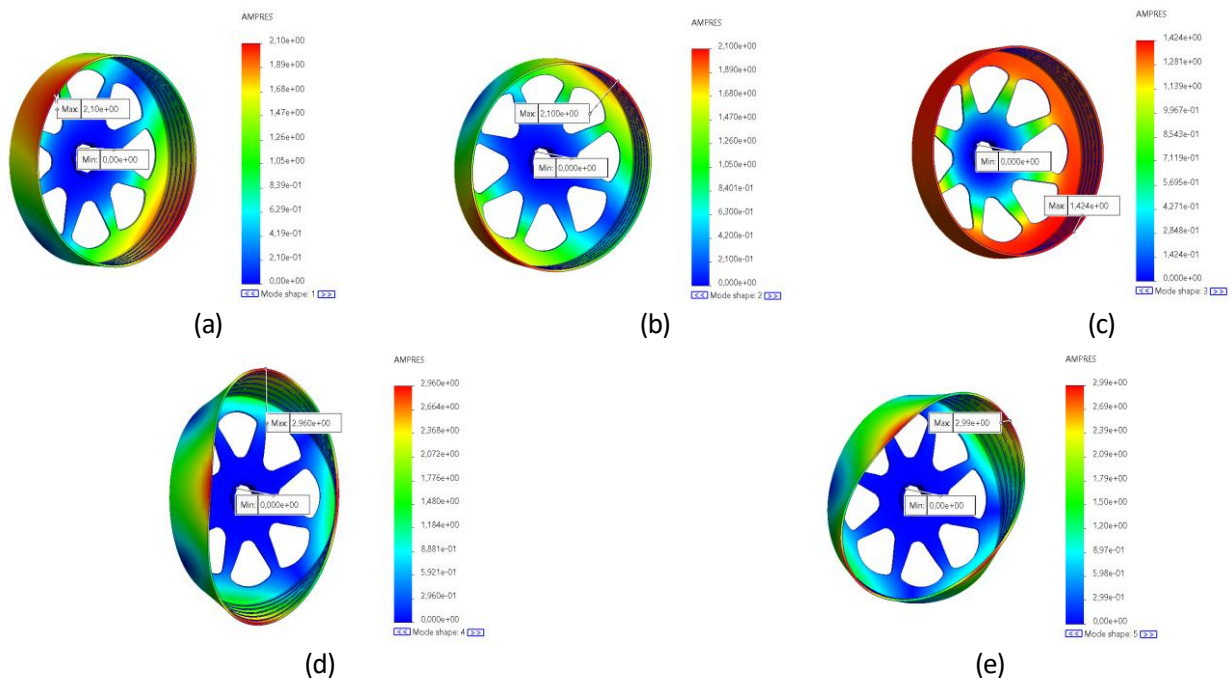
Mode Frekuensi

Frekuensi natural merupakan karakteristik dinamika struktural yang menggambarkan suatu komponen yang bergetar pada frekuensi tertentu ketika menerima gangguan tanpa adanya gaya eksternal berkelanjutan [30]. Pemahaman mengenai frekuensi natural sangat penting karena apabila frekuensi operasi suatu sistem mendekati atau menyamai frekuensi naturalnya, fenomena resonansi dapat terjadi dan menyebabkan amplifikasi getaran yang berpotensi menurunkan usia pakai maupun integritas struktural komponen [31]. Pada penelitian ini, analisis modal frekuensi natural menjadi krusial untuk memastikan bahwa struktur mampu bekerja pada rentang kecepatan putar mesin tanpa mengalami resonansi, sekaligus mengidentifikasi mode getar yang dominan sehingga perbaikan desain, penguatan lokal, atau optimasi massa dapat dilakukan secara tepat [4]. Mode frekuensi natural *clutch housing* untuk tiga variasi ketebalan, yaitu 1 mm, 2 mm, dan 3 mm dalam lima mode getar pertama. Visualisasi tersebut terlihat bahwa pola deformasi pada setiap mode umumnya konsisten antar variasi ketebalan, namun amplitudo dan karakteristik deformasinya berubah seiring meningkatnya kekakuan struktural akibat penambahan ketebalan dinding. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Tao dkk., (2025), yang menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan komponen berputar secara langsung mengubah kekakuan dinamis dan pola deformasi mode awal pada sistem mekanis [32].



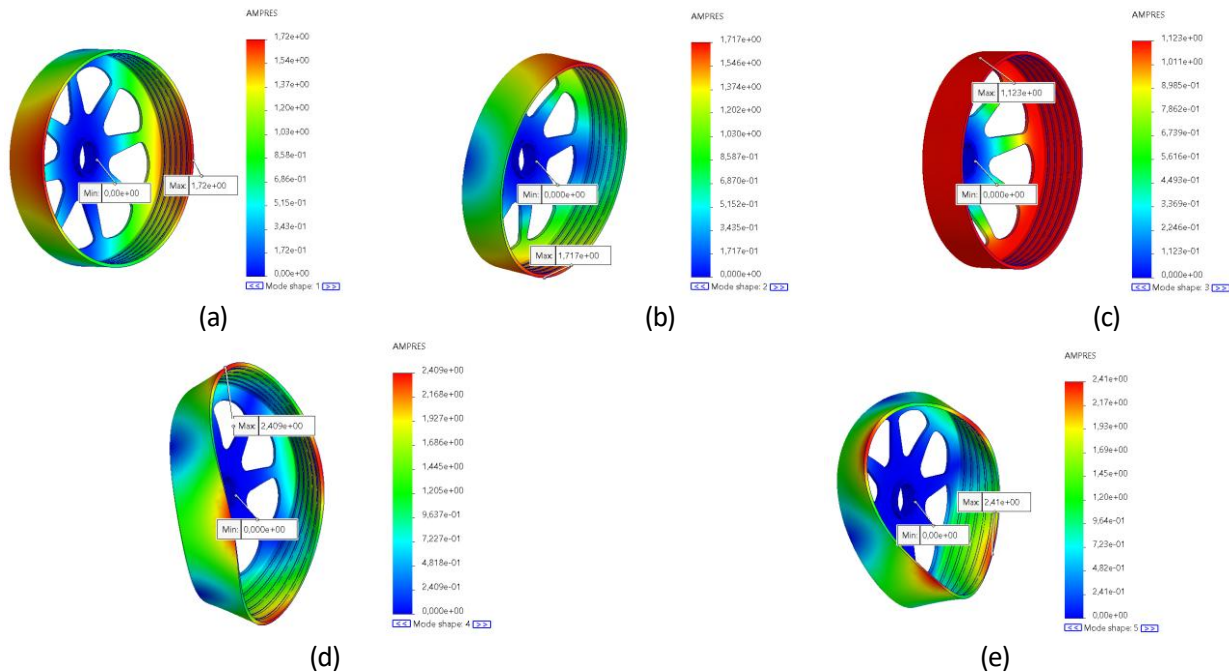
Gambar 3. Mode frekuensi *clutch housing* dengan tebal 1mm, (a) mode 1, (b) mode 2, (c) mode 3, (d) mode 4, (e) mode 5

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa *clutch housing* dengan ketebalan 1 mm, deformasi terlihat lebih fleksibel dengan pola lendutan yang lebih besar, terutama pada area dinding mangkuk dan lubang ventilasi. Hal ini menunjukkan bahwa struktur yang lebih tipis memiliki kemampuan deformasi lebih tinggi ketika tereksitasi pada frekuensi naturalnya [33]. Temuan ini konsisten dengan penelitian Shao dkk., (2023), yang menjelaskan bahwa komponen dengan kekakuan rendah akan menunjukkan amplitudo deformasi yang lebih besar pada mode awal karena sensitivitas yang lebih tinggi terhadap eksitasi getaran [34].



Gambar 4. Mode frekuensi *clutch housing* dengan tebal 2mm, (a) mode 1, (b) mode 2, (c) mode 3, (d) mode 4, (e) mode 5

Gambar 4 menunjukkan lima mode getar awal *clutch housing* dengan ketebalan dinding 2 mm, terdapat pola deformasi yang terbentuk didominasi oleh lendutan pada dinding *clutch housing* pada mode rendah, namun dengan amplitudo yang lebih kecil dan distribusi deformasi yang lebih merata dibandingkan ketebalan 1 mm. Pada mode yang lebih tinggi, deformasi mulai terlihat di sekitar lubang ventilasi, hal ini menunjukkan bahwa terjadi interaksi antara kekakuan struktur. Penurunan amplitudo deformasi pada seluruh mode ini mengindikasikan peningkatan kekakuan struktural akibat penambahan ketebalan, yang secara teoritis meningkatkan rasio kekakuan terhadap massa dan menggeser frekuensi natural ke nilai yang lebih tinggi, sehingga respons dinamis menjadi lebih stabil. Fenomena ini sejalan dengan prinsip dinamika struktur serta temuan Wu dkk. [3] dan Tao dkk. [32] yang menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan pada komponen berputar secara signifikan mengurangi deformasi mode awal dan meningkatkan stabilitas getaran, sekaligus menurunkan sensitivitas struktur terhadap potensi resonansi [30], [35].



Gambar 5. Mode frekuensi *clutch housing* dengan tebal 3mm, (a) mode 1, (b) mode 2, (c) mode 3, (d) mode 4, (e) mode 5

Pada ketebalan 3 mm yang ditunjukkan pada Gambar 5, Mode 1 hingga Mode 5 memperlihatkan deformasi yang lebih terbatas dengan amplitudo yang lebih kecil, mencerminkan meningkatnya kekakuan struktural dan kapasitas resistansi terhadap eksitasi getaran [35]. Fenomena ini selaras dengan prinsip dinamika struktur yang menjelaskan bahwa peningkatan kekakuan dan massa inersia menyebabkan pergeseran frekuensi natural menuju nilai yang lebih tinggi. Pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5, tidak hanya menampilkan representasi visual dari bentuk mode, tetapi juga memperkuat interpretasi bahwa variasi ketebalan berpengaruh langsung terhadap respons dinamis *clutch housing*, baik dalam hal karakteristik mode shape maupun sensitivitasnya terhadap potensi resonansi selama operasi.

Tabel 3. Nilai frekuensi pada setiap mode masing-masing variasi

No	Tebal	Frekuensi (Hertz)				
		Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5
1	1	94,003	95,992	193,83	194,6	258,98
2	2	130,32	131,57	301,63	304,26	304,54
3	3	180,99	181,59	368,09	451,01	451,1

Nilai frekuensi natural pada Tabel 3 menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan komponen secara konsisten meningkatkan frekuensi pada semua mode getar, mulai dari mode 1 hingga mode 5. Tren kenaikan ini sesuai dengan prinsip dinamika struktur bahwa kekakuan (*stiffness*) berbanding lurus dengan frekuensi natural, sehingga struktur yang lebih tebal cenderung memiliki frekuensi getar lebih tinggi [36]. Sebagai contoh, frekuensi pada mode 1 naik signifikan dari 94,003 Hz pada

ketebalan 1 menjadi 180,99 Hz pada ketebalan 3. Pola serupa juga terlihat pada mode-mode lebih tinggi, dengan mode 4 meningkat dari 194,6 Hz menjadi 451,01 Hz. Kenaikan nilai frekuensi ini menunjukkan bahwa perubahan ketebalan berperan signifikan dalam mengubah respons dinamis struktur, sehingga frekuensi naturalnya bergeser ke wilayah yang lebih aman dan kurang rentan terhadap fenomena resonansi [37]. Kenaikan nilai frekuensi yang cukup besar pada mode 4 dan 5, hal tersebut menunjukkan bahwa perubahan ketebalan memberikan dampak paling kuat pada bentuk mode frekuensi natural yang terkait dengan deformasi lokal dan global. Hal ini sejalan dengan temuan penelitian yang dilakukan oleh Sener dkk., (2022) menunjukkan bahwa pengaruh ketebalan merupakan salah satu langkah yang paling efektif dalam meningkatkan stabilitas dinamis komponen berputar seperti *clutch housing* [38].

KESIMPULAN

Analisis modal menunjukkan bahwa variasi ketebalan dinding clutch housing berpengaruh signifikan terhadap karakteristik dinamis struktur. Peningkatan ketebalan dari 1 mm menjadi 3 mm menaikkan frekuensi natural secara konsisten pada seluruh mode getar, dengan frekuensi mode pertama meningkat dari 94,00 Hz menjadi 180,99 Hz, sedangkan pada mode keempat meningkat dari 194,60 Hz menjadi 451,01 Hz. Selain itu, peningkatan ketebalan dinding menyebabkan penurunan amplitudo deformasi pada seluruh mode getar, di mana ketebalan 3 mm menunjukkan deformasi paling kecil dan respons dinamis paling stabil. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan efektif menggeser frekuensi natural ke rentang yang lebih aman terhadap potensi resonansi pada kondisi operasi CVT. Oleh karena itu, ketebalan 3 mm direkomendasikan sebagai konfigurasi optimum dalam perancangan clutch housing yang lebih andal dan stabil secara dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Anugrah, "Analysis of CVT (continuously variable transmission) and the influence of variations on the motorcycle," *J. Penelit. Saintek*, vol. 2, no. 27, hal. 69–80, Des 2022, doi: 10.21831/jps.v2i27.53582.
- [2] H. Wirayudha dan A. Asrori, "Analisis Modifikasi Alur Kampas Ganda dan Clutch Housing CVT terhadap Torsi Mesin 110cc," *Mars J. Tek. Mesin, Ind. Elektro Dan Ilmu Komput.*, vol. 3, no. 4, hal. 325–334, Agu 2025, doi: 10.61132/mars.v3i4.1040.
- [3] J. Wu, D. Zhang, L. Li, X. Guo, dan Y. Chen, "Dynamic characteristics analysis of rotating variable thickness thin plates with setting angles including accurate centrifugal force via NCFER," *J. Sound Vib.*, vol. 607, hal. 119067, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2025.119067>.
- [4] J. Yuan dan L. Zhang, "Natural frequency and modal analysis of tractor vibration system," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, hal. 33259, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-18736-x.
- [5] O. Access, "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. 012153, hal. 1–8, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/993/1/012153.
- [6] H. Do dan S. Oh, "CVT for a Small Electric Vehicle Using Centrifugal Belt Pulley," *Energies*, vol. 15, no. 23, hal. 8800, 2022, doi: 10.3390/en15238800.
- [7] A. B. Prasetyo dan K. A. Sekarjati, "Natural frequency analysis of compost processing machin shaft using ANSYS software," *AIP Conf. Proc.*, vol. 3145, no. 1, 2024, doi: 10.1063/5.0214076.
- [8] A. B. Prasetyo, K. A. Sekarjati, dan I. P. A. Assagaf, "Studi Numerik Pengaruh Variasi Pembebanan Troli Pengangkut Barang di Laboratorium Manufaktur ITNY Terhadap Analisis Struktur Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Energy, Mater. Manuf. Technol.*, vol. 2, no. 1, hal. 30–39, 2023, doi: <https://doi.org/10.1000/jemmtec.v2i01>.
- [9] K. A. Sekarjati, T. Rusianto, A. A. P. Susatriawan, dan A. B. Prasetyo, "Analisis Variasi Desain Beriket Towing Bar Menggunakan Metode Elemen Hingga Terhadap Nilai Keamanan Desain," *J. Energy, Mater. Manuf. Technol.*, vol. 3, no. 2, hal. 22–28, 2024, doi: <https://doi.org/10.61844/jemmtec.v3i02.776>.
- [10] R. Alda, I. A. Ariesta, S. R. Aditya, A. Rahayu, F. Nurwimbo, dan A. Bagus, "Desain dan Analisis Struktur Variasi Paddock Motor Menggunakan Metode Elemen Hingga," in *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVIII Tahun 2023 (ReTII)*, 2023, vol. 2023, no. November, hal. 116–120.
- [11] A. B. Prasetyo dan K. A. Sekarjati, "Analisis Struktur Desain Pisau Pengupas Tempurung Kelapa

- Menggunakan ANSYS 19.2,” in *Seminar Nasional Riset & Inovasi Teknologi*, 2022, hal. 417–423.
- [12] A. J. Asmara, I. Nadiansyah, A. J. Magmadian, A. A. Dhombo, H. Sraun, dan A. B. Prasetyo, “Desain dan Analisis Tegangan Double Crane Hook Kapasitas 5 Ton Menggunakan Metode Elemen Hingga,” in *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVIII Tahun 2023 (ReTII)*, 2023, vol. 2023, no. November, hal. 121–125.
- [13] K. A. Sekarjati *et al.*, “Analisis Thermal Transient dan Static Structure Pada Disc Brake Berbasis Finite Element,” *Politek. ATI Makasar*, vol. 2, no. 4, hal. 99–108, 2025, doi: <https://doi.org/10.61844/jemmtec.v4i02.1095>.
- [14] A. B. Prasetyo, K. A. Sekarjati, dan I. P. A. Assagaf, Sutrisna, “Analisis Frekuensi Natural Velg Ring 16 Menggunakan Finite Element Method,” in *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVII Tahun 2022 (ReTII)*, 2022, vol. 2022, no. November 2021, hal. 354–359.
- [15] A. B. Prasetyo dan K. A. Sekarjati, “Desain dan Analisis Frekuensi Natural Rangka Mesin Penyiang Gulma Menggunakan Metode Finite Element Analysis Design and Analysis of Natural Frequency Weed Weeding Machine Frames Using the Finite Element Analysis Method,” *J. Ris. Sains dan Teknol.*, vol. 6, no. 2, hal. 181–187, 2022, doi: 10.30595/jrst.v6i2.14428.
- [16] A. B. Prasetyo, K. A. Sekarjati, dan I. R. Putra, “Analisis Numerik Frekuensi Natural dan Mode Bentuk Rangka Mesin Pengaduk Gula Aren Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *J. Energy, Mater. Manuf. Technol.*, vol. 4, no. 1, hal. 1–9, 2025, doi: <https://doi.org/10.61844/jemmtec.v4i01.970>.
- [17] A. B. Prasetyo dan K. A. Sekarjati, “Natural Frequency Analysis of Compost Processing Machin,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 020047, no. 1, hal. 1–9, 2024, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0214076>.
- [18] A. B. Prasetyo, A. A. Azmi, D. S. Pamuji, dan R. Yaqin, “Pengaruh Perbedaan Mesh Terstruktur dan Mesh Tidak Terstruktur Pada Simulasi Sistem Pendinginan Mold Injeksi Produk Plastik,” *Pros. Nas. Rekayasa Teknol. Ind. dan Inf. XIV Tahun 2019*, vol. 2019, no. November, hal. 400–406, 2019.
- [19] M. Sosnowski, “Computational domain discretization in numerical analysis of flow within granular materials,” *EPJ Web Conf.*, vol. 180, hal. 1–7, 2018, doi: 10.1051/epjconf/201817002095.
- [20] A. B. Prasetyo, “Analisis Numerik Perpindahan Panas Pada Saluran Pendingin Plastik Injeksi Molding Menggunakan Polyhedral Mesh,” *Teknol. manufaktur*, vol. 11, no. 02, hal. 70–79, 2019, doi: <https://doi.org/10.33504/manutech.v11i02.113>.
- [21] A. B. Prasetyo, F. Fauzun, A. A. Azmi, dan S. H. Yaqin, Rizqi Ilmal, Pranoto, “Simultaneous Cooling Analysis of Injection Molding Plastic Products with Cooling System Variations,” *J. Penelit. Saintek*, vol. 25, no. 2, hal. 173–183, 2020, doi: 10.21831/jps.v25i2.34574.
- [22] A. B. Prasetyo, K. A. Sekarjati, dan S. Haryo, “Design And Analysis of The Effect of Variation Of compression Force on Allen Key Using Finite Element Analysis Method,” *SJME Kinemat.*, vol. 7, no. 1, hal. 39–52, 2022, doi: 10.20527/sjmekinematika.v7i.
- [23] A. B. Prasetyo *et al.*, “Finite Element Analysis (FEA) of blade weed design using Ansys workbench,” *Sinergi*, vol. 26, no. 3, hal. 371, 2022, doi: 10.22441/sinergi.2022.3.012.
- [24] G. Vivarelli, N. Qin, dan S. Shahpar, “A Review of Mesh Adaptation Technology Applied to Computational Fluid Dynamics,” *Fluids*, vol. 10, no. 5. 2025, doi: 10.3390/fluids10050129.
- [25] M. (宋敏) Song, C. (李超) Li, X. (郭晓威) Guo, dan J. (刘杰) Liu, “An adaptive gradient correction method based on mesh skewness for finite volume fluid dynamics simulations,” *Phys. Fluids*, vol. 37, no. 1, hal. 15140, Jan 2025, doi: 10.1063/5.0246823.
- [26] D. Gąsiorowski, “Impact of the Finite Element Mesh Structure on the Solution Accuracy of a Two-Dimensional Kinematic Wave Equation,” *Water*, vol. 14, no. 3. hal. 446, 2022, doi: 10.3390/w14030446.
- [27] Z. Yang dan J. Li, “Numerical Aeroelastic Analysis of a High-Aspect-Ratio Wing Considering Skin Flexibility,” *Aerospace*, vol. 9, no. 9. hal. 515, 2022, doi: 10.3390/aerospace9090515.
- [28] A. Katz dan V. Sankaran, “High Aspect Ratio Grid Effects on the Accuracy of Navier-Stokes Solutions on Unstructured Meshes,” *Comput. Fluids*, vol. 65, hal. 66–79, Jul 2012, doi: 10.1016/j.compfluid.2012.02.012.
- [29] M. H. A. Shiddieqy dan A. Andoko, “Effects of Angle of Attack (AoA), Aspect Ratio , and Leading-Edge

- Curvature on Supersonic Fin Performance,” *Andalisan Int. J.*, vol. 05, no. 02, hal. 210–221, 2025, doi: 10.25077/aijaset.v5i02.243.
- [30] L. Yang, S. Li, dan J. Hou, “A Comprehensive Review of Flow-Induced Vibration and Fatigue Failure in the Moving Components of Control Valves,” *Machines*, vol. 13, no. 9, hal. 766, 2025, doi: 10.3390/machines13090766.
- [31] V. Tuninetti, D. Martínez, S. Narayan, B. Menacer, dan A. Oñate, “Design Optimization of a Marine Propeller Shaft for Enhanced Fatigue Life: An Integrated Computational Approach,” *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 12, no. 12, hal. 2227, 2024, doi: 10.3390/jmse12122227.
- [32] Y. Tao, G. Tohti, H. He, dan M. Geni, “Study on the Dynamic Optimization and Design of a Flexible Rotationally Symmetric Tangential Support Plate Base,” *Applied Sciences*, vol. 15, no. 5, hal. 2554, 2025, doi: 10.3390/app15052554.
- [33] L. Chen dan H. Yi, “Optimization of natural frequency for hexachiral structure based on response surface method,” *J. Vibroengineering*, vol. 22, no. 7, hal. 1705–1714, 2020, doi: 10.21595/jve.2020.21350.
- [34] R. Shao, H. Wang, K. Lu, dan J. Song, “Effect of excitation vibration on mechanical property and stress corrosion resistance of cast steel,” *J. Vibroengineering*, vol. 25, no. 7, hal. 1230–1242, 2023, doi: 10.21595/jve.2023.23125.
- [35] M. P. Rodriguez dan P. F. Musgrave, “The role of local active stiffness on the natural frequency of a flexible propulsor,” *Smart Mater. Struct.*, vol. 34, no. 1, hal. 15028, 2025, doi: 10.1088/1361-665X/ad9a2c.
- [36] N. Hao, Z. Wang, Y. Song, S. Ruan, C. He, dan Z. Dong, “Free vibration and sound transmission properties of beetle elytron plate: structural parametric analysis,” *Heliyon*, vol. 8, no. 11, hal. e11683, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11683>.
- [37] L. Zhou *et al.*, “Vibration Characteristics Analysis and Structural Optimization of a Volute-Less Centrifugal Fan Frame,” *Applied Sciences*, vol. 15, no. 9, hal. 5069, 2025, doi: 10.3390/app15095069.
- [38] B. Şener, A. Aksen, E. Esener, dan M. Firat, “On the effect of numerical parameters in finite element through thickness modeling for springback prediction,” *Res. Eng. Struct. Mater.*, Jan 2022, doi: 10.17515/resm2022.415st0308tn.