

## Analisis Frekuensi Natural Velg Ring 16 Menggunakan Finite Element Method

Angger Bagus Prasetyo<sup>1</sup>, Kartinasari Ayuhikmatin Sekarjati<sup>2</sup>, Sutrisna<sup>3</sup>, Iman Pradana A. Assagaf<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup>Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

<sup>2</sup>Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

<sup>4</sup>Teknik Manufaktur Industri, Politeknik ATI Makasar

Korespondensi : anggerbprasetyo@gmail.com

### ABSTRAK

Komponen kendaraan otomotif terus mengalami kemajuan desain dan bermacam variasi bentuknya, salah satunya adalah velg. Terdapat dua jenis velg yang beredar dikalangan masyarakat yaitu velg berbahan baja dan velg berbahan paduan aluminium. Pada umumnya velg paduan aluminium ini terjadi kerusakan pada bagian bibir velgnya akibat deformasi plastis, atau pecahnya spoke akibat gaya dan tungan yang melebihi nilai tegangan maksimumnya. analisis tentang bentuk frekuensi natural velg ring 16 dan bentuk normal dengan menggunakan bantuan perangkat lunak ANSYS Workbench, hal ini guna untuk mengetahui deformasi bentuk velg apabila terjadi kegagalan, selain itu mempermudah para designer untuk analisis design. Pada penelitian ini material pemodelan velg ring 16 menggunakan bahan aluminium alloy. Analisis mode getaran dengan menggunakan bantuan perangkat lunak ANSYS Workbench. Hasil analisis frekuensi natural velg ring 16 secara berturut-turut sebesar 207,68Hz, 209,1Hz, 347,37Hz, 348,37Hz, 416,45Hz, 443,42Hz, 860,36Hz, 863,1Hz, 1166,7Hz, 1168,8Hz. Kenaikan frekuensi terbesar terjadi pada mode getaran keenam menuju orde ke tujuh, dengan nilai kenaikan sebesar 416,94Hz. Nilai deformasi maksimum velg ring 16 secara berturut-turut sebesar 16, 592mm, 16,593mm, 21,887mm, 21,965mm, 11, 388mm, 11,48mm, 22,231mm, 22,445mm, 13,731mm, 13, 537mm.

Kata kunci: Frekuensi Natural, Ansys, Finite Element Method

### ABSTRACT

*Wheels are one of the automotive vehicle parts that continue to see design advancement and different shapes. There are two different kinds of alloy wheels in use by the general public: steel alloy wheels and aluminum alloy wheels. The spokes of these aluminum alloy wheels typically rupture due to force and center that exceed the maximum stress value, or the rim of the rim is damaged due to plastic deformation. Using the ANSYS Workbench software, the natural frequency shape of the ring 16 rim was compared to its normal shape to identify how the rim would flex in the event of a failure and to make it simpler for designers to examine the design. The ring 16 wheel modeling material used in this study is aluminum alloy. ANSYS Workbench is used to analyze vibration modes. The natural frequencies of the 16 ring wheels as determined by analysis are 207.68Hz, 209.1Hz, 347.37Hz, 348.37Hz, 416.45Hz, 443.42Hz, 860.36Hz, 863.1Hz, 1166.7Hz, and 1168.8Hz. With a rise of 416.94Hz, the sixth vibration mode to the seventh order has the biggest frequency increase. The 16 ring wheels' maximum deformation measurements are 16, 592, 16,593, 21,887, 21,965, 11, 388, 11, 48, 22.231, 22.445, 13,731 and 13, 537 millimeters.*

*Keyword : Natural Frequency, Ansys, Finite Element Method.*

### 1. PENDAHULUAN

Komponen kendaraan otomotif terus mengalami kemajuan desain dan bermacam variasi bentuknya, salah satunya adalah velg [1]. Oleh sebab itu, diperlukan desain baru velg mobil guna untuk memenuhi keinginan para konsumen, velg dapat diproduksi apabila telah memenuhi persyaratan pengujian. Saat ini, metode yang digunakan untuk menganalisis sebuah produk velg sifatnya trial and error, akibatnya produsen velg harus mengeluarkan biaya untuk proses pembuatannya, sehingga waktu produksi dan biaya produksi akan mengalami kenaikan [2]. Menurut [3], velg memiliki peranan yang sangat penting hal ini dikarenakan velg sebagai tempat melekatnya ban dan berfungsi untuk mentransferkan daya dari mesin dan mengendalikan gerakan dari mobil. Apabila velg terjadi kerusakan, maka akan berakibat kepada para penggunanya. Selain itu, velg tidak boleh mudah retak ataupun pecah, apabila velg retak atau pecah ketika dikendarai dalam kecepatan yang tinggi, maka akan mengakibatkan terjadinya kecelakaan terhadap pengendara itu sendiri. Oleh karena itu, pentingnya memastikan bahwa velg tersebut tidak mengalami kegagalan saat digunakan.

Pengetahuan tentang perancangan velg agar tidak menghasilkan suatu kegagalan, maka diperlukan pengetahuan yang baik oleh seorang designer. Pengetahuan yang harus dimiliki designer adalah mengerti tentang trend design velg, mengerti tentang pemodelan geometri 3D dan mengetahui kekuatan material velgnya seperti tegangan (yield strenght). Syarat design pemodelan yang dibuat harus mempunyai nilai

tegangan maximumnya dibawah nilai yield strength materialnya agar terhindar yang namanya kerusakan [4]. Terdapat dua jenis velg yang beredar dikalangan masyarakat yaitu velg berbahan baja dan velg berbahan paduan aluminium, seperti yang dijelaskan pada penelitian sebelumnya [5] velg baja memiliki kekurangan materialnya tidak sesuai dengan perkembangan zaman, dan lebih gaya. Velg paduan aluminium memiliki daerah kritis yang terletak di hub, spoke dan flange. Pada umumnya velg paduan aluminium ini terjadi kerusakan pada bagian bibir velgnya akibat deformasi plastis, atau pecahnya spoke akibat gaya dan tungan yang melebihi nilai tegangan maksimumnya.

Berdasarkan permasalahan diatas, kami melakukan analisis tentang bentuk frekuensi natural velg ring 16 dan bentuk normal dengan menggunakan bantuan perangkat lunak ANSYS Workbench, hal ini guna untuk mengetahui deformasi bentuk velg apabila terjadi kegagalan, selain itu mempermudah para designer untuk analisis design [6], [7]. Oleh karena itu, simulasi numerik menggunakan metode finite element analysis dapat meminimalisir kegagalan yang terjadi pada velg mobil. Menurut penelitian yang dilakukan [5], jumlah spoke sangat berpengaruh terhadap kekuatan velg sebuah mobil. Design spoke velg harus memiliki sistem struktural yang kuat efisien dan memiliki karakteristik seni yang indah [8]. Analisis modal merupakan sebuah metode yang digunakan oleh designer untuk mengetahui nilai frekuensi natural sekaligus bentuk mode normal suatu komponen atau struktur. Jenis analisis dinamis fundamental yang digunakan untuk membantu menentukan karakteristik getaran suatu struktur atau komponen. Bentuk mode dan frekuensi natural menjadi salah satu parameter yang harus diperhitungkan saat mendesain suatu komponen. [9]. Pada penelitian sebelumnya, menganalisis entitas meja komputer lift 3D menggunakan modal analisis, hasilnya menunjukkan kekuatan dan kekakuan meja komputer memenuhi persyaratan desain dan tidak ada resonansi [10]. Kemudian penelitian berikutnya, juga melakukan analisis frekuensi natural pada komponen mesin (piston). Hasil penelitiannya menunjukkan analisa modal dapat meningkatkan efisiensi desain piston dan mempersingkat waktu desain [11].

Analisis modal dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak ANSYS. Perangkat lunak ini sudah tidak asing lagi dikalangan engineer atau designer. Melalui pemodelan ini, karakteristik dinamis suatu struktur dapat diketahui dan ditingkatkan sebelum digunakan secara aktual [12].

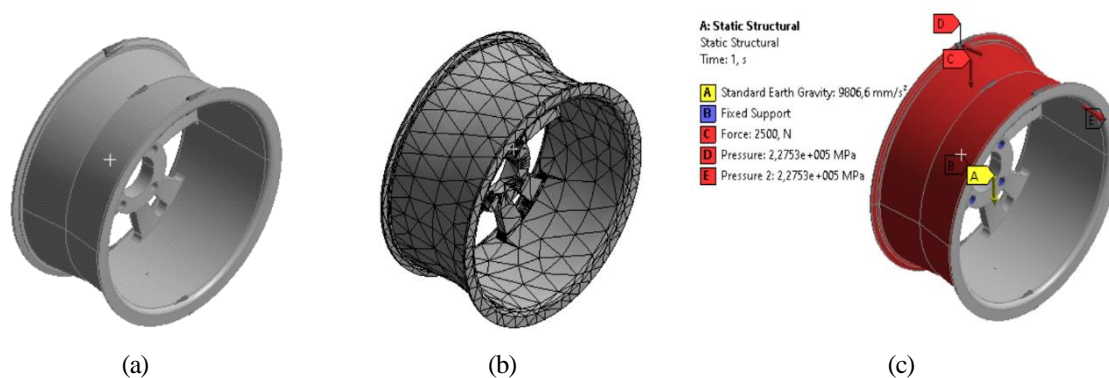
## 2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, ada beberapa tahapan yang harus dilakukan diantaranya adalah pre-processing, processing dan post processing. [13]. Pada fase pra-pemrosesan, designer memodelkan geometri dan sifat fisik dengan bantuan software CAD. Selanjutnya, fase processing model diselesaikan dengan menggunakan formulasi matematika yang sesuai dari fisika dasar, yang merupakan semacam alat untuk mengevaluasi teknologi yang diusulkan dalam hal kemampuan manufaktur bagian dan optimasi proses yang diusulkan. Pada fase pasca-pemrosesan, hasilnya diserahkan kepada teknisi untuk ditinjau. Pada tahap pertama, pembuatan velg mobil menggunakan bantuan perangkat lunak Solidwork 2022, setelah itu, gambar disimpan dalam format IGES\*. Secara umum design velg dapat dilihat pada Gambar 1. Selanjutnya, menentukan input data parameter bahan velg, pembagian domain komputasi dan initial condition pada software ANSYS Workbench. Pada penelitian ini menggunakan material aluminium alloy, hal ini dipilih karena material aluminium tahan terhadap korosi dan ringan [14].

Tabel 1. Spesifikasi Material

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Densitas</i>	2770	kgm <sup>-3</sup>
<i>Youngs Modulus</i>	7,1E+10	Pa
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	3,1E+8	Pa
<i>Tensile Yield Strength</i>	2,8E+8	Pa
<i>Compressive Yield Strength</i>	2,8E+8	Pa
<i>Poission Ratio</i>	0,33	
<i>Bulk Modulus</i>	6,9608E+10	Pa
<i>Shear Modulus</i>	2,669E+10	Pa

Pada tahap kedua, pembagian domain komputasi pada velg mobil. Pemodelan komputasi menggunakan metode simulasi dipengaruhi oleh pembagian mesh [15]. Salah satu proses yang memiliki tingkat kerumitan yang tinggi adalah pembagian grid [16]. Beberapa jenis mesh dalam simulasi antara lain tetrahedral mesh, hexahedral mesh dan polyhedral mesh [17]–[19]. Beberapa jenis mesh yang digunakan dalam simulasi diantaranya adalah tetrahedral mesh, hexahedral mesh dan polyhedral mesh [18], [20]. Pada penelitian ini mesh yang digunakan adalah tipe tetrahedral, hal ini dipilih karena sering digunakan untuk simulasi pembebanan [21] dan diterapkan pada geometri yang kompleks [22]. Secara keseluruhan tahapan simulasi pemodelan velg mobil ring 16 terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan simulasi pemodelan frekuensi natural velg mobil ring 16 (a) desain pemodelan velg ring 16 menggunakan software 3D, (b) pembagian domain komputasi, (c) initial condition velg mobil ring 16.

Tabel 2. Parameter penelitian velg

Parameter	Nilai
Type mesh	Tetrahedral Mesh
Nodes	13848
Element	6908
Mesh Metric	None
Analisisi Setting	10
Condition	Pre-Stress
Initial Condition	Fixed Support
Analysis Type	Modal
Volume	4,536E+6 mm <sup>3</sup>
Mass	12, 565 kg
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled

## 2.1 Modal Analisis

Analisis modal merupakan persamaan diferensial getaran pada suatu sistem waktu invarian linier koordinat fisik untuk koordinat modal, persamaan decoupling sebagai himpunan koordinat modal dan parameter modal yang digunakan untuk menggambarkan persamaan independen [10]. Analisis modal sendiri juga digunakan untuk menentukan karakteristik getaran (frekuensi alami dan bentuk mode) dari suatu struktur [23]. Persamaan gerak dinamis:

$$[M] \{\ddot{x}\} + [k]\{x\} = \{0\} \quad (1)$$

Getaran harmonik sederhana membentuk getaran bebas struktur, dan perpindahannya adalah fungsi sinus.

$$x = x \sin \omega t \quad (2)$$

Modal analisis, tge frekuensi getaran  $\omega_i$  dan mode  $\Phi_i$  dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$([K] - \omega_i^2[M])\{\Phi_i\} = 0 \quad (3)$$

$\{x\}$  adalah vektor perpindahan, dan  $[K]$  adalah matriks kekakuan, Persamaan nilai karakteristik  $\omega_i^2$  adalah frekuensi getaran melingkar dan frekuensi getaran alami  $f = \omega_i/2\pi$ , dengan nilai eigen yang cocok dengan vektor eigen  $\{x\}$  dan mode getaran yang sesuai dengan  $\pi/2$ .

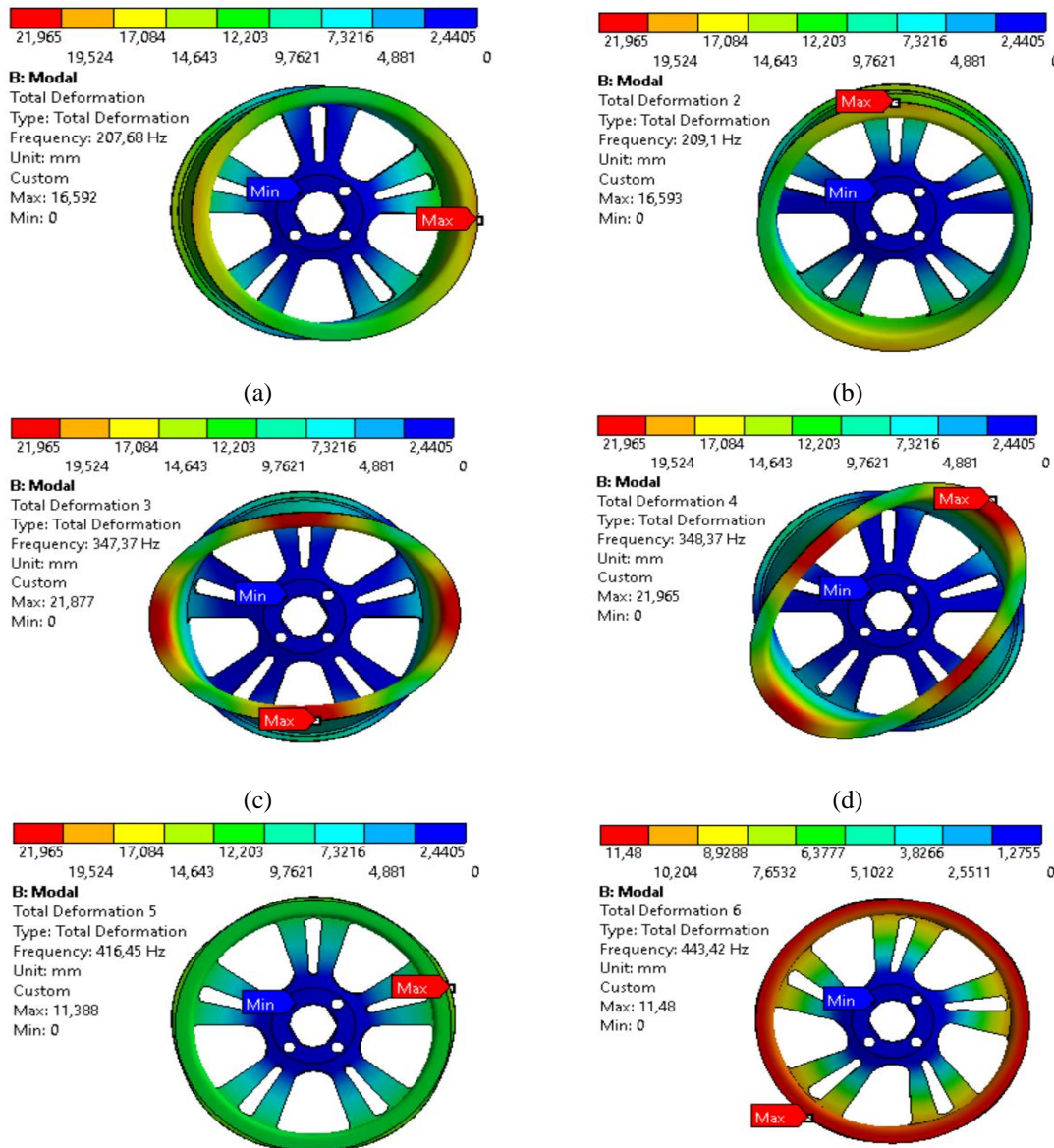
## 3. HASIL DAN ANALISIS

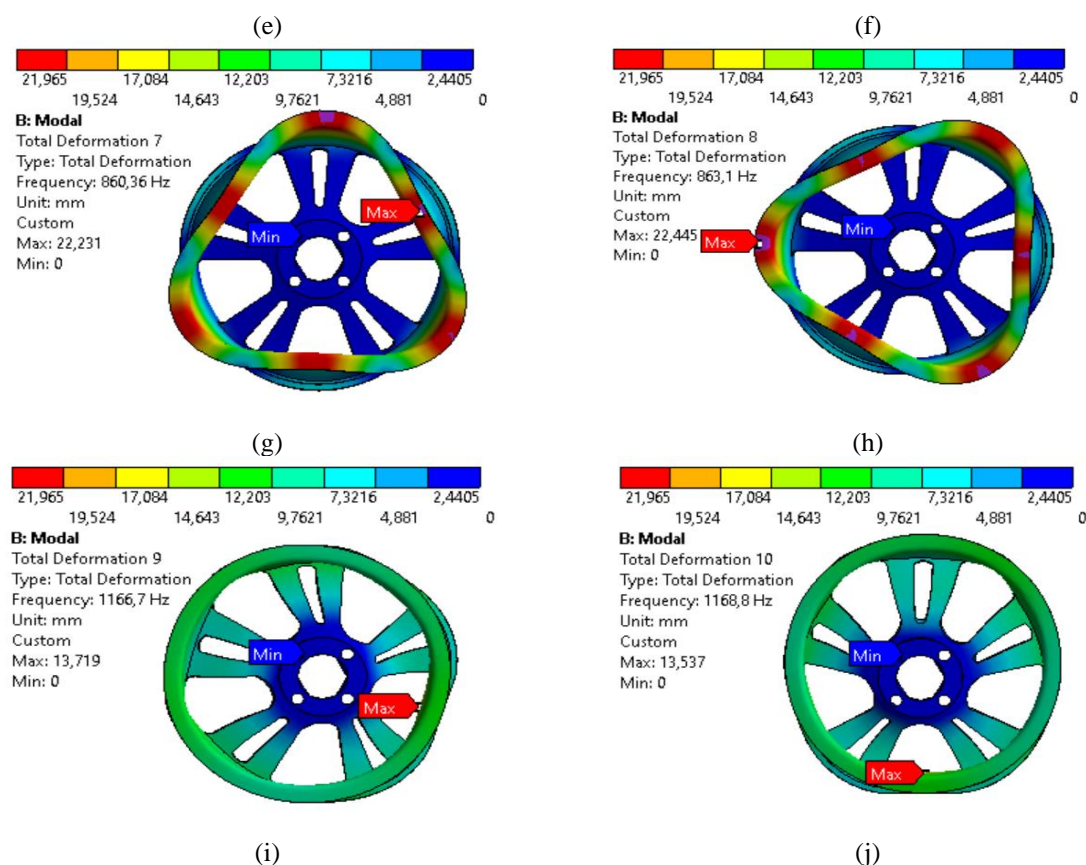
Analisis nodal merupakan cara komputasi yang efisien guna menganalisis sistem dinamis melalui karakteristik nilai eigen dan vektor eigen [9]. Analisis modal dapat dihitung menggunakan simulasi numerik dengan bantuan Ansys. Simulasi numerik ini dilakukan untuk mengetahui bentuk deformasi dan frekuensi natural dari velg mobil ring 16. Hasil analisis modal menggunakan ANSYS untuk mode pertama hingga mode kesepuluh disajikan dalam bentuk Tabel 3. Selanjutnya mode getar/frekuensi natural pertama hingga mode getar/frekuensi natural kesepuluh disajikan pada Gambar 2.

Tabel 3. Hasil frekuensi nodal velg ring 16

Mode Getar	Frekuensi Natural (Hz)	Deformation Maximum (mm)
1	207,68	16,592
2	209,1	16,593
3	347,37	21,887
4	348,37	21,965
5	416,45	11,388
6	443,42	11,48
7	860,36	22,231
8	863,1	22,445
9	1166,7	13,731
10	1168,8	13,537

Berdasarkan Tabel 3. nilai frekuensi natural mengalami kenaikan hal tersebut dibuktikan dengan nilai mode getar pertama hingga mode getar kesepuluh secara berturut-turut sebesar 207,68Hz, 209,1Hz, 347,37Hz, 348,37Hz, 416,45Hz, 443,42Hz, 860,36Hz, 863,1Hz, 1166,7Hz, 1168,8Hz. Perbedaan nilai frekuensi natural pada setiap mode getarnya memberikan suatu respon yang berbeda. Kenaikan frekuensi terbesar terjadi pada mode getaran keenam menuju orde ke tujuh, dengan nilai kenaikan sebesar 416,94Hz hal ini dikarenakan adanya defleksi yang terjadi akibat pengaruh material, konfigurasi, atau suatu kecacatan dan lainnya [24]. Deformasi maksimumnya untuk mode getar pertama hingga mode getar kesepuluh secara berturut-turut sebesar 16,592mm, 16,593mm, 21,887mm, 21,965mm, 11,388mm, 11,48mm, 22,231mm, 22,445mm, 13,731mm, 13,537mm Nilai deformasi ini cukup besar sehingga harus diantisipasi agar resonansi tidak terjadi.





Gambar 2. Mode getar velg ring 16 (a) pertama, (b) kedua, (c) ketiga, (d) keempat, (e) kelima, (f) keenam, (g) kedelapan, (h) kesembilan, (j) kesepuluh.

Hasil analisis modal berperan penting karena frekuensi resonansi efek getaran berada pada puncaknya sudah disajikan dalam bentuk pemodelan. Hal ini menjadi acuan untuk mempertimbangkan dalam memilih desain velg agar terhindar dari kegagalan. Analisis modal ini menyediakan titik awal untuk analisis dinamis harmonik dan transien, dimana detail dan bentuk mode dan frekuensi dapat dijadikan acuan untuk analisis selanjutnya.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis modal velg ring 16 dengan menggunakan bantuan perangkat lunak ANSYS Workbench dapat disimpulkan nilai frekuensi natural untuk mode pertama hingga mode kesepuluh mengalami kenaikan secara berturut-turut sebesar 207,68Hz, 209,1Hz, 347,37Hz, 348,37Hz, 416,45Hz, 443,42Hz, 860,36Hz, 863,1Hz, 1166,7Hz, 1168,8Hz. Kenaikan frekuensi terbesar terjadi pada mode getaran keenam menuju orde ke tujuh, dengan nilai kenaikan sebesar 416,94Hz. Dan Nilai deformasi maksimum velg ring 16 secara berturut-turut sebesar 16, 592mm, 16,593mm, 21,887mm, 21,965mm, 11, 388mm, 11,48mm, 22,231mm, 22,445mm, 13,731mm, 13, 537mm.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih banyak kepada semua pihak yang sudah mendukung, khususnya prodi Teknik Mesin ITNY sehingga dalam penyusunan paper ini dapat berjalan dengan baik dan lancar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fahd Riyal Pris, Budhi M Suyitno, and Amin Suhadi, "Analisis Kekuatan Velg Aluminium Alloy 17 Inc Dari Berbagai Desain Menggunakan Metode Finite Element Analysis (Fea).," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 33–39, 2019, doi: 10.35814/teknobiz.v9i2.558.
- [2] B. G. Tentua, P. Studi, T. Mesin, and U. Pattimura, "ANALISA KELELAHAN VELG RACING TOYOTA AVANSA DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA," vol. 09, no. 1, 2015.
- [3] M. Bahri and A. S. Pramono, "Analisa Kekuatan Velg Mobil Penumpang pada Simulasi Pengujian Dynamic Radial Fatigue dengan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Its*, vol. 4, no. 1, pp. 1–5, 2015.
- [4] D. A. Bhargav S and A. S. Jayaram, "Design and Analysis of Alloy Wheel for Multi-Purpose Vehicle," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, no. October, pp. 3–7, 2018, [Online]. Available: www.irjet.net.

- [5] M. Dalimunthe, H, R, Syam, B, Sabri, M, Isranuri, I, "Edisi Cetak Jurnal Dinamis , Maret 2016 ( ISSN : 0216-7492 ) Edisi Cetak Jurnal Dinamis , Maret 2016 ( ISSN : 0216-7492 )," *J. Din.*, vol. 4, no. 1, pp. 45–53, 2016.
- [6] A. B. Prasetyo and K. A. Sekarjati, "Finite Element Simulation of Power Weeder Machine Frame," *Indones. J. Comput. Eng. Des.*, vol. 4, no. 2, pp. 26–34, 2022, doi: <https://doi.org/10.35806/ijoced.v4i2.291>.
- [7] A. B. Prasetyo and K. A. Sekarjati, "Analisis Struktur Desain Pisau Pengupas Tempurung Kelapa," in *Seminar Nasional Riset & Inovasi Teknologi*, 2022, pp. 417–423.
- [8] W. Anggono, I. Pratikto, H. Suryanto, S. Hadi, and Suprihanto, "DECIDING THE OPTIMUM SPOKE ANGLE OF MOTORCYCLE CAST WHEEL USING FINITE ELEMENT APPLICATION AND PUGH'S CONCEPT SELECTION METHOD Case study: Sustainable Product Development for Motorcycle Cast Wheel," in *Seminar Nasional Teknik Mesin XIII*, Jun. 2013, pp. 1–7.
- [9] L. Ari, N. Wibawa, B. Uji, P. Antariksa, and I. Nasional, "Analisis Frekuensi Natural Rangka Main Landing Gear Pesawat UAV Menggunakan Ansys Workbench," *J. Mesin Nusant.*, vol. 5, no. 1, pp. 65–73, 2022, doi: [10.29407/jmn.v5i1.17580](https://doi.org/10.29407/jmn.v5i1.17580).
- [10] C. Jinlong and S. Zhenqian, "Finite Element Analysis of Static and Dynamic Characteristics of Elevator Desk Structure Based on ANSYS Workbench," *J. Eng. Mech. Mach.*, vol. 3, pp. 14–20, 2018, doi: <https://dx.doi.org/10.23977/jemm.2018.31003>.
- [11] B. Zheng, J. Zhang, and Y. Yao, "Finite element analysis of the piston based on ANSYS," *Proc. 2019 IEEE 3rd Inf. Technol. Networking, Electron. Autom. Control Conf. ITNEC 2019*, vol. 3, no. Itnec, pp. 1908–1911, 2019, doi: [10.1109/ITNEC.2019.8729409](https://doi.org/10.1109/ITNEC.2019.8729409).
- [12] A. B. Prasetyo, K. A. Sekarjati, and S. Haryo, "Design And Analysis of The Effect of Variation Ofcompression Force on Allen Key Using Finite Element Analysis Method," *SJME Kinemat.*, vol. 7, no. 1, pp. 39–52, 2022, doi: [10.20527/sjmekinematika.v7i1](https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v7i1).
- [13] A. B. Prasetyo and F. Fauzun, "Numerical study of effect of cooling channel configuration and size on the product cooling effectiveness in the plastic injection molding," *MATEC Web Conf.*, vol. 197, pp. 8–11, 2018, doi: [10.1051/mateconf/201819708019](https://doi.org/10.1051/mateconf/201819708019).
- [14] L. A. N. Wibawa, "Desain Dan Analisis Kekuatan Dudukan (Bracket) Ac Outdoor Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Crankshaft*, vol. 2, no. 1, pp. 19–24, 2019, doi: [10.24176/crankshaft.v2i1.2688](https://doi.org/10.24176/crankshaft.v2i1.2688).
- [15] M. M. Doustdar and H. Kazemi, "Effects of fixed and dynamic mesh methods on simulation of stepped planing craft," *J. Ocean Eng. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 33–48, 2019, doi: [10.1016/j.joes.2018.12.005](https://doi.org/10.1016/j.joes.2018.12.005).
- [16] M. Sosnowski, "Computational domain discretization in numerical analysis of flow within granular materials," *EPJ Web Conf.*, vol. 180, pp. 1–7, 2018, doi: [10.1051/epjconf/201817002095](https://doi.org/10.1051/epjconf/201817002095).
- [17] M. García Pérez and E. Vakkilainen, "A comparison of turbulence models and two and three dimensional meshes for unsteady CFD ash deposition tools," *Fuel*, vol. 237, no. September 2018, pp. 806–811, 2019, doi: [10.1016/j.fuel.2018.10.066](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.10.066).
- [18] A. B. Prasetyo, A. A. Azmi, D. S. Pamuji, and 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, pp. 400–406, 2019.
- [19] M. Sosnowski, J. Krzywanski, and R. Scurek, "A fuzzy logic approach for the reduction of mesh-induced error in CFD analysis: A case study of an impinging jet," *Entropy*, vol. 21, no. 11, 2019, doi: [10.3390/e21111047](https://doi.org/10.3390/e21111047).
- [20] M. Sosnowski, J. Krzywanski, K. Grabowska, and R. Gnatowska, "Polyhedral meshing in numerical analysis of conjugate heat transfer," *EPJ Web Conf.*, vol. 180, no. March 2019, p. 02096, 2018, doi: [10.1051/epjconf/201818002096](https://doi.org/10.1051/epjconf/201818002096).
- [21] Vutton D. V., *Fundamentals of Finite Element Analysis*, 1st ed. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2003.
- [22] H. Chen, X. Zhou, Z. Feng, and S. J. Cao, "Application of polyhedral meshing strategy in indoor environment simulation: Model accuracy and computing time," *Indoor Built Environ.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–13, 2021, doi: [10.1177/1420326X211027620](https://doi.org/10.1177/1420326X211027620).
- [23] F. T. Al-Maliky and M. J. Albermani, "Structural Analysis of Kufasat Using Ansys Program," *Artif. Satell.*, vol. 53, no. 1, pp. 29–35, 2018, doi: [10.2478/arsa-2018-0003](https://doi.org/10.2478/arsa-2018-0003).
- [24] P. Ofrial, M, T, A; Noerochim, L ;Hidayat, M, I, "Analisis Numerikal Frekuensi Natural Pada Poros Low Pressure Boiler Feed Pump PT.PJB UP Gresik," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 1, pp. F1–F6, 2017, doi: [http://dx.doi.org/10.12962/j23373539.v6i1.21080](https://dx.doi.org/10.12962/j23373539.v6i1.21080).