



Analisis Pengaruh Variasi Sudut Jari-jari terhadap Ketahanan Struktur Pelek Ring 17 Menggunakan Ansys.

Agus Fikri¹⁾, Nicky Yongkimandalan²⁾, Aep Surahto³⁾, Rizki Dwi Ardika⁴⁾, Riyan Ariyansah⁵⁾, Arry Avorizano⁶⁾, Mujirudin⁷⁾, Sefrian Rizki Bintoro⁸⁾

1, 5, 6, 7) Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA, Jakarta, 12130.

2) Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UPN Veteran Jakarta, Jakarta, 12450.

3) Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam 45 Bekasi, Bekasi, 17113.

4) Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Ponorogo, Ponorogo, 63471.

8) Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jendral Soedirman, Purwokerto, 53122

e-mail: agus_fikri@uhamka.ac.id

ABSTRAK

Kemampuan pelek untuk mengatasi tantangan eksternal seperti beban jalan yang tidak merata atau dampak tabrakan, serta mampu menopang beban kendaraan, menjadi sangat penting agar tidak terjadi kegagalan struktural yang dapat menyebabkan kecelakaan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kekuatan struktural dan ketahanan deformasi dari masing-masing desain variasi modifikasi sudut pelek ring 17. Metode yang digunakan adalah pendekatan simulasi uji impact menggunakan perangkat lunak ANSYS dengan menerapkan metode explicit dynamics analysis. Dengan menerapkan variasi besar radius sudut spoke pelek yaitu 5°, 34° dan 48°. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan tertinggi terjadi pada pelek ring 17 dengan modifikasi R5 yaitu sebesar 379,72 MPa. Sedangkan, tegangan terendah terjadi pelek ring 17 dengan modifikasi R34 yaitu sebesar 344,65 MPa. Selain itu, diketahui juga nilai regangan ekuivalen maksimum pada sudut pelek R5 sebesar 0,0052116 mm/mm. Jadi modifikasi sudut spoke R34 dan R48 pada pelek dengan tegangan dan regangan yang lebih rendah cenderung memiliki performa struktural yang lebih baik dan lebih dapat diandalkan menahan beban impact.

Kata Kunci: Pelek Ring 17, Sudut spoke, Uji Impack, ANSYS.

ABSTRACT

The ability of wheel rims to withstand external challenges such as uneven road loads or collision impacts, as well as support vehicle loads, is crucial to prevent structural failures that could lead to accidents. The objective of this study is to analyze the structural strength and deformation resistance of various modified designs of the spoke radius angles of 17-inch wheel rims. The method employed involves impact simulation using ANSYS software with explicit dynamics analysis methodology, applying variations in spoke radius angles of 5°, 34°, and 48°. The research findings indicate that the highest stress occurs in the 17-inch wheel rim with the R5 modification, measuring 379.72 MPa. Conversely, the lowest stress is observed in the 17-inch wheel rim with the R34 modification, at 344.65 MPa. Furthermore, the maximum equivalent strain value at the R5 spoke angle is found to be 0.0052116 mm/mm. Thus, wheel rims with R34 and R48 spoke angle modifications exhibit lower stress and strain values, suggesting better structural performance and greater reliability in withstanding impact loads.

Keywords: 17 Ring Rims, Spoke Angles, Test Impack, ANSYS.

1. Pendahuluan

Dalam industri otomotif, pelek atau rim merupakan sebuah komponen yang mempunyai peran sangat penting

dalam menjaga keselamatan dan kenyamanan pengemudi [6]. Pelek harus mampu menghadapi berbagai tantangan eksternal, seperti beban jalan yang tidak merata, dampak tabrakan dan harus mampu menopang berat kendaraan

dengan baik agar terhindar dari potensi kegagalan struktural yang bisa mengakibatkan kecelakaan [8]. Salah satu opsi yang banyak digunakan pada kendaraan roda empat berpenumpang dan beberapa kendaraan komersial ringan, adalah pelek berukuran 17 inci. Penggunaan perangkat lunak berbasis CAD/CAE seperti ANSYS untuk melakukan pemodelan dan simulasi pengujian pada objek geometri 2D/3D telah menjadi hal yang lazim di era kemajuan teknologi digital saat ini. Dalam hal ini, simulasi uji dampak yang menggunakan ANSYS telah ditunjukkan sebagai alat yang berguna untuk mengidentifikasi respons struktural pelek terhadap beban dampak [13].

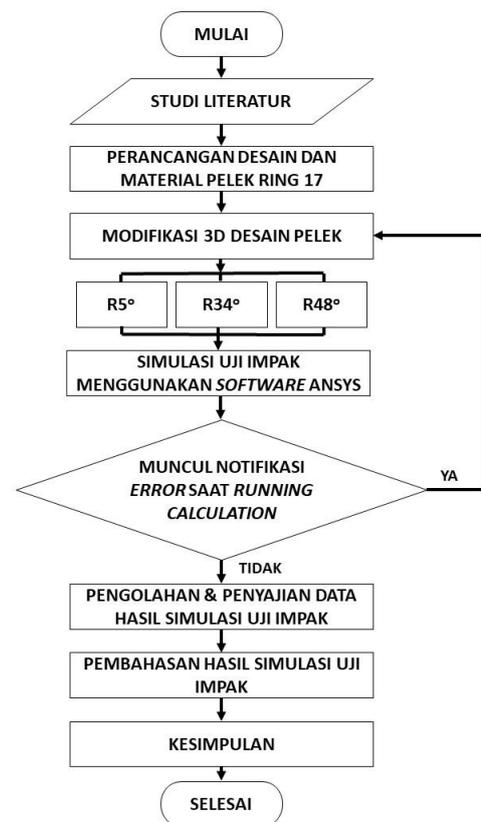
Penelitian ini menggunakan analisis dinamika eksplisit dalam menguji pelek berukuran 17 inci dengan bantuan pendekatan simulasi uji dampak yang sesuai dengan pedoman SAE J175. Pedoman SAE J175 dikenal secara internasional sebagai rambu-rambu industri yang diakui dalam menguji ketahanan struktural pelek kendaraan roda empat [11]. Dalam simulasi ini, elemen seperti tegangan dan regangan yang diterima, deformasi yang terjadi, serta respons struktural secara keseluruhan akan dipertimbangkan untuk menganalisis beban dampak yang diterapkan pada pelek ring 17. Pendekatan analisis dinamika eksplisit digunakan untuk memodelkan fenomena saat beban dampak terjadi dan untuk menganalisis bagaimana pelek merespons beban tersebut [12]. Dari latar belakang penelitian yang telah diuraikan di atas, maka didapatkan rumusan masalah pada penelitian ini yaitu, "bagaimana pengaruh desain variasi sudut jari - jari terhadap ketahanan pelek ring 17 dalam simulasi uji dampak.

Fokus penelitian ini pada *explicit dynamics analysis* pada pelek dengan ukuran ring 17 melalui simulasi uji dampak yang mengikuti referensi prosedur standar SAE J175. Perangkat lunak berbasis CAD/CAE, seperti software AutoCAD dan ANSYS, akan digunakan untuk melakukan simulasi uji dampak yang mensimulasikan dinamika eksplisit. Penelitian ini akan mempertimbangkan variasi parameter penting, termasuk material pelek, geometri pelek, dan batasan kondisi lainnya yang relevan terhadap respons struktural pelek. Penelitian ini akan memfokuskan pada simulasi uji dampak yang dilakukan secara individu pada pelek dengan ukuran ring 17, tanpa mempertimbangkan interaksi dengan komponen kendaraan lainnya. Deformasi pelek dengan ukuran ring 17 selama simulasi uji dampak berdasarkan standar SAE J175 akan menjadi fokus utama penelitian ini, termasuk deformasi lokal maupun deformasi keseluruhan pelek.

2. Metode

Dalam penelitian ini, metode analisis dinamik eksplisit digunakan untuk simulasi uji dampak menggunakan perangkat lunak ANSYS. Diagram alur di bawah ini menunjukkan langkah-langkah proses penelitian dalam Gambar 1. Sebelum

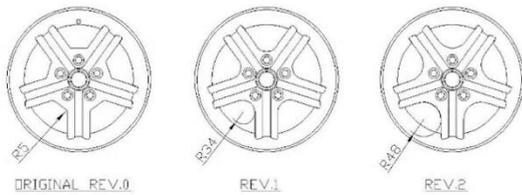
simulasi uji dampak dimulai, survei literatur tentang sumber yang relevan dilakukan. Kemudian dilakukan pemodelan desain tiga dimensi pada pelek 17 inci dan penumbuhkannya menggunakan perangkat lunak berbasis CAD. Selanjutnya, simulasi uji dampak dilakukan pada model 3D pelek menggunakan perangkat lunak ANSYS R2 2023 versi student. Apabila hasil simulasi tidak menunjukkan kesalahan program, hasilnya akan dikelola dan disajikan dalam bentuk tabel data atau gambar visualisasi dengan gradasi warna pada model 3D pelek. Dengan demikian, pengolahan data dan diskusi hasil simulasi uji dampak sebelumnya menggunakan ANSYS dapat diperoleh untuk mendapatkan beberapa kesimpulan penelitian [12]. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1. Variabel Penelitian.

Dalam penelitian ini, yang menjadi variabel bebas adalah variasi sudut jari-jari pelek ring 17. Variabel bebas ini digunakan dengan mengubah radius sudut pelek secara signifikan, yaitu 5°, 34° dan 48° sambil mempertahankan jumlah spoke yang ada pada pelek, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Variasi mengubah sudut *spoke* ini merujuk pada penelitian sebelumnya yang membandingkan perbedaan sudut jari-jari pelek [13].



Gambar 2. Variasi sudut jari-jari pelek

Variabel terikat dalam penelitian ini ialah variabel yang dicari atau yang diamati dalam penelitian meliputi kekuatan dan ketahanan pelek antara lain, tegangan ekuivalen, regangan ekuivalen dan deformasi total. Variabel kontrol mengacu pada jenis bahan yang digunakan untuk membuat pelek, yaitu paduan aluminium 6061-T6. Memilih bahan pelek yang sama untuk setiap model pelek yang akan dianalisis juga membantu mengurangi faktor yang mempengaruhi kekuatan pelek, selain mengubah sudut jari-jari.

2.2. Parameter Simulasi Uji Impak.

Parameter simulasi uji impak pelek ring 17 memerlukan input beberapa data parameter yang digunakan; kemudian, untuk parameter yang tidak perlu diubah, pengaturan standar program ANSYS dapat dilihat pada Tabel 1. Parameter simulasi uji impak yang digunakan dalam penelitian ini merujuk pada penelitian sebelumnya yang relevan [15].

Tabel 1. Parameter simulasi uji impak

Engineering Data	
Pelek Ring 17	AISI 1020
Penumbuk	Structural Steel
Mesh	
Body Sizing	6,5 mm
Physic Preference	Explicit
Element Order	Linear
Setup	
Fix Support	12 Face
Initial Velocity Penumbuk	2,213 m/s
End Time	0,016 s

2.3. Alat Penelitian.

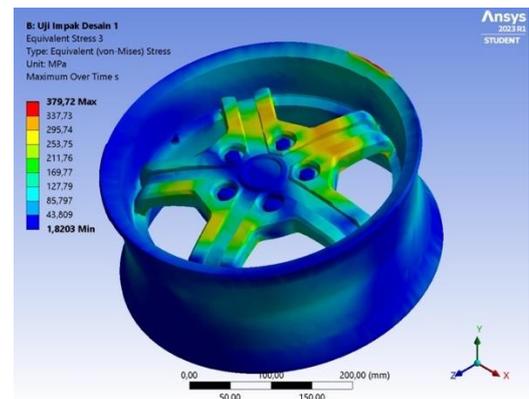
Penelitian ini menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak untuk melakukan simulasi uji impak pada pelek ring 17. Perangkat Lunak Simulasi ini menggunakan program ANSYS student. ANSYS adalah program yang memiliki kemampuan analisis dinamika yang jelas yang diperlukan untuk melakukan simulasi uji impak pada struktur

pelek ring 17. Perangkat keras yang digunakan untuk melakukan simulasi uji impak pada pelek ring 17 yaitu laptop atau komputer dengan spesifikasi prosesor AMD Ryzen 3 seri 5000, RAM 8 GB, Memori SSD 512 GB, dan kartu grafis AMD RADEON

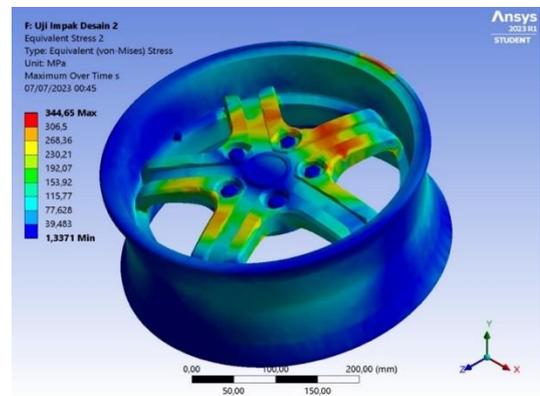
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Tegangan Pelek Hasil Simulasi

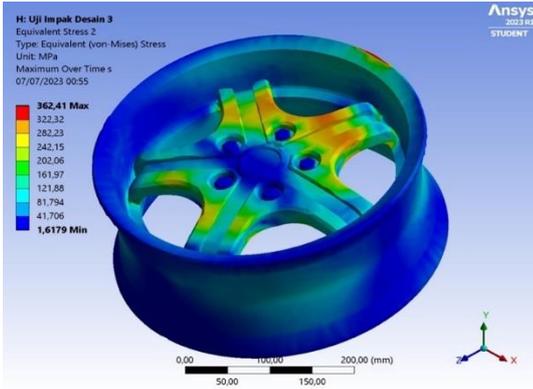
Visualisasi distribusi tegangan pada pelek ring 17 akibat beban kejut dalam simulasi uji impak ditunjukkan dengan gradasi warna biru hingga merah. Pada Gambar 3 (a, b, dan c), terlihat bahwa area pelek ring 17 yang berwarna semakin merah menunjukkan peningkatan tegangan pada area tersebut. Di sisi lain, area pelek ring 17 yang berwarna semakin biru menunjukkan penurunan tegangan pada area tersebut.



Gambar 3(a) Sebaran tegangan hasil simulasi pada pelek ring 17 dengan sudut jari – jari 5°.

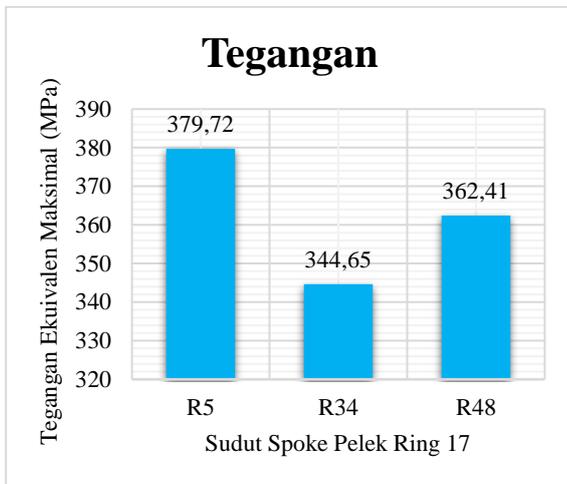


Gambar 3(b) Sebaran tegangan hasil simulasi pada pelek ring 17 dengan sudut jari – jari 34°.



Gambar 3(c) Sebaran tegangan hasil simulasi pada pelek ring 17 dengan sudut jari – jari 48°.

Berdasarkan Gambar 3, terlihat adanya perbedaan distribusi tegangan yang signifikan pada setiap variasi sudut *spoke* dalam desain pelek ring 17. Tegangan tertinggi ditemukan pada pelek ring 17 dengan variasi R 5, yaitu sebesar 379,72 MPa. Sebaliknya, tegangan terendah tercatat pada pelek ring 17 dengan variasi R 34, yaitu sebesar 344,65 MPa. Untuk rincian lebih lanjut mengenai data distribusi tegangan pada setiap desain pelek ring 17, dapat dilihat pada diagram batang di bawah ini.



Gambar 4. Data tegangan ekuivalen maksimum hasil simulasi.

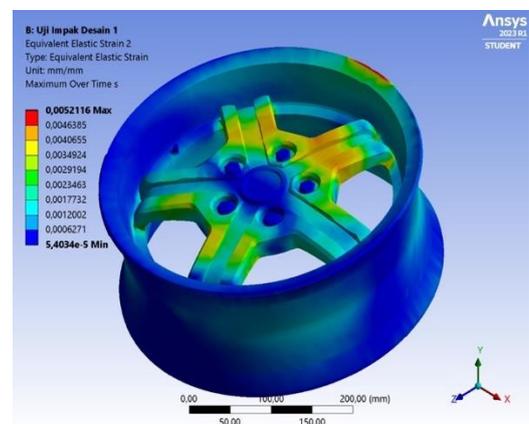
Diagram batang distribusi tegangan di atas menjelaskan bahwa variasi sudut *spoke* yang dilakukan pada R 34 dan R 48 terbukti berhasil mereduksi distribusi tegangan dibandingkan dengan R 5 yang merupakan representasi desain original pelek ring 17. Variasi pelek dengan sudut *spoke* R 34 berhasil mengurangi besar tegangan sebesar 35 MPa atau turun sebesar 9,24 %. Penurunan tegangan ini dapat diakibatkan oleh redistribusi beban yang lebih merata di sepanjang *spoke* ketika sudut *spoke* diubah. Dengan kata lain, sudut *spoke* R34 memungkinkan distribusi gaya yang

lebih efisien, mengurangi konsentrasi tegangan pada titik-titik tertentu. Hal ini mengurangi kemungkinan terjadinya keretakan atau kegagalan material, sehingga meningkatkan umur pakai pelek roda.

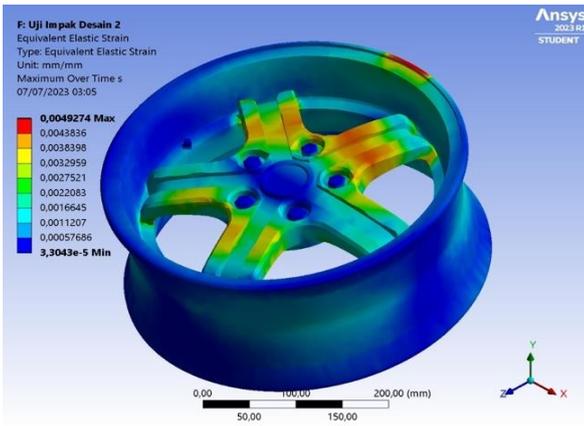
Kemudian, variasi pelek dengan sudut *spoke* R48 berhasil mengurangi besar tegangan sebesar 17,31 MPa atau turun sebesar 4,56 %. Meskipun tidak sebesar pengurangan yang dicapai oleh R34, ini tetap merupakan peningkatan yang signifikan dibandingkan desain original R5. Penurunan tegangan ini mungkin disebabkan oleh efek yang serupa dengan R34, di mana perubahan sudut *spoke* membantu mendistribusikan beban secara lebih merata, meskipun tidak seefektif pada sudut R34. Perubahan sudut *spoke* mempengaruhi cara gaya-gaya bekerja pada struktur pelek. Dalam desain original R5, sudut *spoke* mungkin menyebabkan konsentrasi tegangan tinggi pada titik-titik tertentu, meningkatkan risiko kegagalan material. Dengan mengubah sudut *spoke*, variasi R34 dan R48 membantu mendistribusikan beban lebih merata, sehingga mengurangi konsentrasi tegangan tersebut. Dengan distribusi tegangan yang lebih merata, pelek roda akan lebih tahan lama dan lebih aman digunakan, mengurangi risiko kerusakan tiba-tiba saat berkendara. Hasil simulasi ini dapat digunakan untuk mengembangkan desain pelek ring 17 yang lebih baik di masa depan, dengan sudut *spoke* yang dioptimalkan untuk distribusi tegangan yang ideal.

3.2. Regangan Pelek Hasil Simulasi.

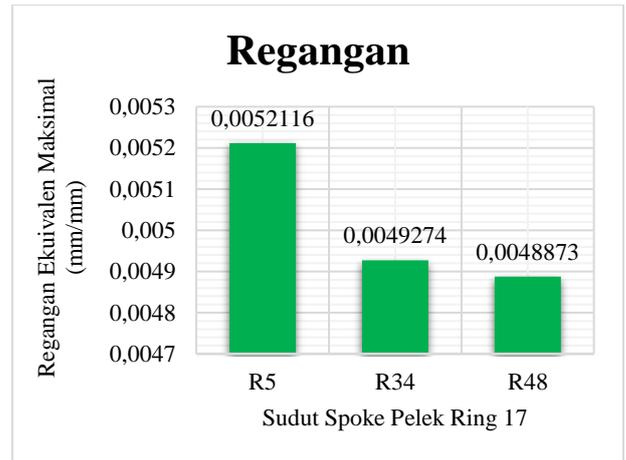
Distribusi regangan pada pelek ring 17 akibat pembebanan kejut selama simulasi uji dampak divisualisasikan dengan gradasi warna biru hingga merah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Gambar tersebut menunjukkan bahwa area pelek ring 17 yang warnanya semakin mendekati merah mengalami peningkatan regangan atau semakin meregang. Sebaliknya, area pelek ring 17 yang warnanya semakin mendekati biru menunjukkan penurunan regangan atau semakin kaku.



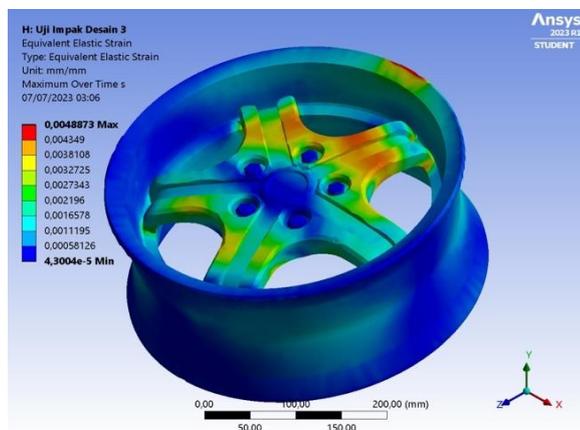
Gambar 5(a) Sebaran regangan hasil simulasi pada pelek ring 17 dengan sudut jari – jari 5°.



Gambar 5(b) Sebaran regangan hasil simulasi pada pelek ring 17 dengan sudut jari – jari 34°.



Gambar 6 Data regangan ekuivalen maksimum hasil simulasi.



Gambar 5(c) Sebaran regangan hasil simulasi pada pelek ring 17 dengan sudut jari – jari 48°.

Diagram batang distribusi regangan di atas menunjukkan bahwa variasi sudut *spoke* pada R34 dan R48 berhasil mengurangi distribusi regangan dibandingkan dengan R5, yang merupakan desain asli pelek ring 17. Namun, regangan yang terjadi pada fase ini bersifat elastis, yang berarti setelah pelek ring 17 terbebas dari beban impact, bentuknya akan berdeformasi sementara atau kembali ke bentuk semula sebelum menerima beban impact dari penumbuk. Variasi pelek dengan sudut *spoke* R34 berhasil mengurangi besar regangan sebesar 0,0002842 mm/mm atau turun sebesar 5,45 %. Penurunan regangan ini dapat diakibatkan oleh redistribusi beban yang lebih merata di sepanjang *spoke* ketika sudut *spoke* diubah. Kemudian, variasi pelek dengan sudut *spoke* R48 berhasil mengurangi besar tegangan sebesar 0,0003243 mm/mm atau turun sebesar 6,22 %.

3.3. Pembahasan.

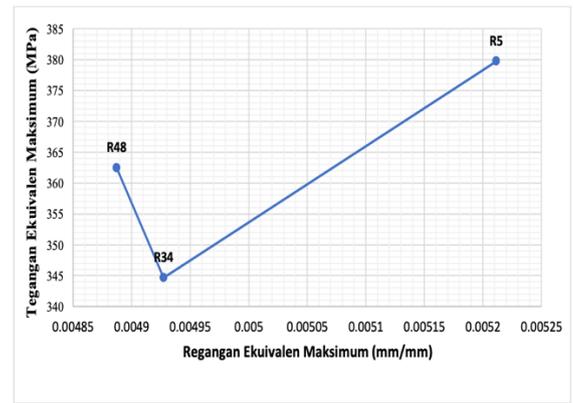
Berdasarkan hasil simulasi uji impact pada pelek ring 17 yang dilakukan menggunakan software ANSYS, terlihat beberapa perilaku yang berbeda pada setiap desain pelek. Tegangan ekuivalen maksimum mengukur tegangan yang dialami oleh material pelek saat menerima beban dari uji impact, yang dinyatakan dalam MPa (Mega-pascal). Regangan ekuivalen maksimum mengukur perubahan dimensi material pelek saat terkena beban impact, yang diukur dalam satuan mm/mm (milimeter per milimeter).

Data pada Tabel 2 menggambarkan karakteristik mekanis dari setiap desain pelek. Tegangan ekuivalen maksimum menunjukkan tegangan yang diterima oleh pelek saat terkena beban, sementara regangan ekuivalen maksimum mengindikasikan deformasi atau perubahan bentuk yang terjadi pada pelek.

Berdasarkan Gambar 5, terlihat adanya perbedaan distribusi regangan yang cukup signifikan pada setiap variasi sudut *spoke* dalam desain pelek ring 17. Regangan tertinggi tercatat pada pelek ring 17 dengan variasi R5, yaitu sebesar 0,0052166 mm/mm. Sebaliknya, regangan terendah ditemukan pada pelek ring 17 dengan variasi R48, yaitu sebesar 0,0048873 mm/mm. Untuk detail lebih lanjut mengenai distribusi regangan pada setiap desain pelek ring 17, dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 2. Data karakteristik mekanis hasil simulasi.

Sudut Spoke Pelek R17	Tegangan Ekuivalen Maksimum (MPa)	Regangan Ekuivalen Maks. (mm/mm)
5°	379,72	0,0052116
34°	344,65	0,0049274
48°	362,41	0,0048873

**Gambar 7.** Grafik tegangan – regangan maksimum hasil simulasi

Berdasarkan data di atas, pelek dengan ukuran R5 memiliki tegangan ekuivalen maksimum tertinggi, yaitu sekitar 379,72 MPa, sedangkan pelek dengan ukuran R34 memiliki tegangan ekuivalen maksimum terendah, yaitu sekitar 344,65 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa pelek R5 mengalami tegangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pelek lainnya selama simulasi uji impact. Selanjutnya, pelek dengan ukuran R5 memiliki regangan ekuivalen maksimum tertinggi, yaitu sekitar 0,0052116 mm/mm, sedangkan pelek dengan ukuran R34 memiliki regangan ekuivalen maksimum terendah, yaitu sekitar 0,0049274 mm/mm. Ini menunjukkan bahwa pelek R5 mengalami deformasi yang lebih besar selama uji impact, mengindikasikan deformasi fisik yang lebih signifikan dibandingkan pelek lainnya selama uji impact. Hal ini penting untuk diperhatikan karena deformasi berlebihan pada pelek dapat mengurangi stabilitas kendaraan dan memerlukan perawatan atau penggantian lebih cepat.

Tegangan ekuivalen maksimum dan regangan ekuivalen maksimum merupakan parameter kritis dalam analisis material. Tegangan ekuivalen maksimum menggambarkan tegangan yang dialami oleh pelek mobil yang terkena beban, sementara regangan ekuivalen maksimum mengindikasikan perubahan bentuk atau deformasi yang terjadi pada pelek. Dari grafik tegangan-regangan maksimum pada Gambar 7. dapat diamati bahwa pelek dengan variasi sudut R5 memiliki tegangan maksimum yang paling tinggi yaitu 379,72 MPa, sedangkan pelek dengan variasi sudut R34 memiliki tegangan maksimum terendah yaitu 344,65 MPa. Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa tegangan ekuivalen maksimum cenderung meningkat bersamaan dengan regangan ekuivalen maksimum. Ini menunjukkan bahwa semakin besar beban impact yang diberikan pada pelek, semakin tinggi tegangan dan regangan yang dialami oleh material pelek.

Dalam analisis variasi desain, dapat dibandingkan performa masing-masing desain pelek berdasarkan tegangan, regangan, dan total deformasi maksimum. Desain yang memiliki tegangan atau regangan ekuivalen maksimum yang lebih rendah cenderung menunjukkan keandalan yang lebih baik dan lebih mampu menahan beban. Namun, total deformasi maksimum juga harus diperhatikan dalam konteks aplikasi yang diinginkan. Desain yang memiliki total deformasi maksimum yang lebih rendah biasanya dianggap lebih baik karena menunjukkan deformasi yang lebih terkontrol dan kemungkinan kerusakan yang lebih rendah.

Dari hasil simulasi uji impact, pelek R5 mengalami tegangan ekuivalen maksimum yang tinggi dan regangan ekuivalen maksimum yang besar, menunjukkan bahwa kedua pelek ini mungkin memiliki performa yang kurang baik dalam uji impact dibandingkan dengan yang lain. Ini bisa menjadi pertimbangan dalam pemilihan pelek untuk mobil yang akan digunakan dalam situasi yang memerlukan ketahanan terhadap benturan. Oleh karena itu, desain pelek dengan tegangan, regangan, dan total deformasi maksimum yang lebih rendah cenderung memiliki performa yang lebih baik dan lebih dapat diandalkan. Namun dalam beberapa kasus, ukuran pelek tidak selalu berkorelasi dengan tegangan atau regangan. Misalnya, pelek R5 memiliki tegangan dan regangan tertinggi, tetapi pelek R34 yang lebih besar memiliki tegangan dan regangan lebih rendah. Hal ini menunjukkan perbedaan dalam karakteristik mekanik kedua jenis pelek ini. Dengan demikian, dimungkinkan faktor lain seperti komposisi material dan desain geometri juga dapat mempengaruhi perilaku pelek terhadap uji impact.

Temuan pada penelitian ini menunjukkan keselarasan dengan penelitian relevan sebelumnya yang menyoroti pentingnya variasi desain yang tepat dalam mengoptimalkan keandalan dan performa pelek [13]. Desain yang mempertimbangkan tegangan dan regangan yang rendah dapat membantu mengurangi risiko kerusakan dan memperpanjang umur pakai pelek. Selain itu, temuan penelitian ini juga selaras dengan studi relevan sebelumnya yang mengkaji kekuatan pelek berbahan aluminium alloy

telah menunjukkan bahwa tegangan ekuivalen maksimum adalah parameter kritis yang harus diperhatikan dalam analisis kekuatan dan keandalan pelek mobil [4]. Temuan penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan ekuivalen maksimum pada pelek, semakin besar kemungkinan terjadinya kegagalan atau kerusakan pada struktur pelek. Oleh karena itu, desain pelek dengan tegangan ekuivalen maksimum yang rendah diinginkan untuk memastikan keandalan dan keamanan saat beroperasi.

4. Kesimpulan

Hasil simulasi pada penggunaan sudut spoke R5 didapat nilai tegangan dan regangan sebesar 379,72 MPa dan 0,0052116 mm/mm. Sedangkan pada modifikasi dengan sudut spoke R34 didapat nilai tegangan dan regangan sebesar 344,65 MPa dan 0,0049274 mm/mm. Selanjutnya pada modifikasi R48 didapat nilai tegangan dan regangan sebesar 362,41 MPa dan 0,0048873 mm/mm. Sehingga dapat disebutkan bahwa modifikasi pada sudut spoke R34 memiliki nilai tegangan ekuivalen maksimum yang lebih rendah dibandingkan dengan R5 dan R48.

Hal ini menunjukkan kekuatan struktural pelek pada R34 itu lebih baik dibandingkan dengan R5 dan R48. Pada sudut spoke R48 mempunyai nilai regangan ekuivalen maksimum yang lebih rendah dibandingkan dengan R5 dan R34. Hal ini menunjukkan kekuatan deformasi ekuivalen maksimum pada pelek R48 itu lebih baik dibandingkan dengan R5 dan R34.

Untuk penelitian selanjutnya, penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi performa struktural pelek, seperti jenis material yang digunakan, metode produksi yang digunakan, dan lingkungan penggunaan pelek tersebut. Selain itu, pemilihan metode eksperimental atau simulasi yang tepat juga penting, serta validasi hasil penelitian dengan pengujian fisik dapat menjadi langkah-langkah yang berguna untuk memperkuat kesimpulan penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] Alawadhi, E. M. (2015). Meshing guide. In *Finite Element Simulations Using ANSYS: Vol. Release 13* (Nomor November, hal. 407–424). CRC Press.
- [2] ANSYS. (2023). *Ansys Student - Free Software Download*. Ansys Inc.
- [3] Chang, C. L., & Yang, S. H. (2009). Simulation of wheel impact test using finite element method. *Engineering Failure Analysis*, 16(5): 1711–1719.
- [4] Fahd Riyal Pris, Budhi M Suyitno, & Amin Suhadi. (2019). Analisis Kekuatan Velg Aluminium Alloy 17 Inc Dari Berbagai Desain Menggunakan Metode Finite Element Analysis (Fea). *Teknobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 9(2): 33–39.
- [5] Fatra, O., Widodo, E., & Gultom, T. Y. P. (2016). Analisis Struktur Pelek Modifikasi Airside Inspection Vehicle Mengguankan Perangkat Lunak Ansys. *Jurnal Ilmiah Aviasi Langit Biru*, 9(3): 13–22.
- [6] Gadwala, W. K., & Babu G, R. (2022). Modeling and analysis of car wheel rim for weight optimization to use additive manufacturing process. *Materials Today: Proceedings*, 62: 336–345.
- [7] Gamayel, A., & Octavianus, G. (2021). *Tutorial Ansys Workbench untuk Bidang Mekanikal* (R. R. Rerung (ed.); Jilid 1). Media Sains Indonesia.
- [8] Gao, Q., Shan, Y., Wan, X., Feng, Q., & Liu, X. (2019). 90-Degree Impact Bench Test and Simulation Analysis of Automotive Steel Wheel. *Engineering Failure Analysis*, 105(July): 143–155.
- [9] Harijono, & Purwanto, H. (2017). Analisis Keakuratan hasil Uji Impact dengan Metode Izod dan Charpy. *Seminar Nasional Hasil Penelitian*, 130–135.
- [10] Maiya, U. S., Manjunath, M., Balakrishna, S. H., & Billady, R. K. (2023). CAD Modelling and Fatigue Analysis of a Wheel Rim Incorporating Finite Element Approach. *Universal Journal of Mechanical Engineering*, 11(2): 36-45.
- [11] Mohammed Billal, K., Vinothkumar, S., Srinivasan, S., & Nesarikar, A. (2011). Simulation and test correlation of wheel impact test. *SAE Technical Papers*, September 2011.
- [12] Rizqi, R. A., Rifky, R., & Ariyansah, R. (2023). Analisis Dinamika Eksplisit Pada Pelek Ring 15 Dengan Metode Simulasi Uji Impak. *Teknobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 13(2): 101–106.
- [13] Sofyan, D., Gamayel, A., & Zaenudin, M. (2023). Simulasi Uji Impact Pada Desain Velg Berbahan ASTM A299 Diameter 15 INCH Dengan Standard Uji SAE J175. *SJME KINEMATIKA*, 8(1): 85–93.
- [14] Sunarno, S., & Zainuddin, Z. (2023). Impact Test Analysis on Steel Metal Materials and Aluminum. *Journal of Social Research*, 2(7): 2378–2392.
- [15] Yan Kosasih, D., Anggono, W., & Dwiputra Suprianto, F. (2015). Optimasi Desain Pelek Mobil Melalui Simulasi Pengujian Impact Sesuai Standar Sae J175. *Mecahnovah*, 4: 1–5.

- [16] Yang, L., Yang, H., Tan, H., Hu, P., Cheng, X., & Lu, J. (2018). Impact test simulation and structural optimization of aluminum alloy A356.2 wheel hub. *Journal of Physics: Conference Series*, 1074(1).
- [17] Zhang, Y., Liu, X., He, T., Wan, X., & Shan, Y. (2023). 13-degree impact test of long-fiber-reinforced thermoplastic composite wheel manufactured by injection molding—Improved co-simulation approach and experimental investigation. *International Journal of Impact Engineering*, 174(January): 104517.