



DESAIN DAN ANALISIS PENGARUH VARIASI GAYA TEKAN PADA ALLEN KEY MENGGUNAKAN METODE *FINITE ELEMENT ANALYSIS*

DESIGN AND ANALYSIS OF THE EFFECT OF VARIATION OF COMPRESSION FORCE ON ALLEN KEY USING FINITE ELEMENT ANALYSIS METHOD

Angger Bagus Prasetyo¹⁾, Kartinasari Ayuhikmatin Sekarjati²⁾, Sigiet Haryo Pranoto³⁾, Sutrisna⁴⁾

^{1,4}Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

²Program Studi Teknik Industri, Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

³Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur, Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia

email: anggerbprasetyo@gmail.com¹⁾*, sekar@akprind.ac.id²⁾, shp904@umkt.ac.id³⁾, sutrisna@itny.ac.id⁴⁾

Received:
11 Desember
2021

Accepted:
17 Juni 2022

Published:
30 Juni 2022

© 2022 SJME
Kinematika All
Rights Reserved.

Abstrak

Allen key merupakan alat bantu untuk mengencangkan, melonggarkan dan melepas baut bekepala segi enam. Alat bantu harus mampu menahan beban dan menahan kontak. Simulasi pemodelan allen key dilakukan untuk mengetahui pengaruh deformasi dan angka keamanan dari sebuah desain. Software ANSYS R19.2 membantu untuk menganalisis pemodelan. Parameter deformasi, regangan, tegangan mengalami kenaikan disetiap variasi pembebanan dengan nilai terbesar pada variasi beban 325N nilai deformasi sekitar 8,9135mm, Regangan sebesar $2,2 \times 10^{-3}$ mm, tegangannya sebesar $4,54 \times 10^2$ Mpa. Angka keamanan setiap variasi pembebanan adalah 15, nilai tersebut menunjukkan desain, variasi yang diberikan dan jenis material aman untuk digunakan sampai pembebanan 325N.

Kata Kunci: allen key, deformasi, strain, stress, safety factor

Abstract

Allen key is a tool that is used to tighten, loosen, and remove hexagon head bolts. Auxiliary equipment must be capable of withstanding the weight and contact. To test the effect of deformation and a design's safety factor, an Allen key modelling simulation was used. The ANSYS R19.2 program aids in modelling analysis. The deformation value was about 8.9135mm, the strain was 2.2×10^{-3} mm, and the stress was 4.54×10^2 Mpa with the greatest value at the load variation of 325N, the deformation value was about 8.9135mm, the strain was 2.2×10^{-3} mm, and the stress was 4.54×10^2 Mpa. Each loading variation has a safety value of 15, which shows the design, variation, and kind of material that is safe to use up to 325N loading.

Keywords: allen key, deformasi, strain, stress, safety factor

DOI: 10.20527/sjmekinematika.v7i1.201

How to cite: Prasetyo, A.B., Sekarjati, K.A., Pranoto, S.H., & Sutrisna., "Desain Dan Analisis Pengaruh Variasi Gaya Tekan Pada Allen Key Menggunakan Metode Finite Element Analysis". *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 7(1), 39-52, 2022.

PENDAHULUAN

Alat bantu dalam dunia permesinan sangat membutuhkan alat bantu guna memudahkan manusia dalam pekerjaannya khususnya pada bidang otomotif. Terdapat berbagai macam jenis alat bantu yang beredar di masyarakat antara lain adalah obeng, kunci tang dan lain sebagainya [1]. Alat bantu ini harus memiliki kemampuan dalam menahan beban tangan atau beban dari kepala mur sehingga tidak terjadi kerusakan pada alat bantu. Penggunaan kunci dalam dunia otomotif terdapat beberapa permasalahan yang sering dialami diantaranya adalah bengkok saat digunakan, terkadang patah ataupun tidak dapat mencekram dengan kuat. *Allen key* merupakan salah satu kunci permesinan yang kegunaannya untuk melepas, melonggarkan dan mengencangkan baut berbentuk bulat namun didalamnya terdapat lubang segi enam. *Type allen key* yang beredar di pasaran mulai berbentuk *hexagonal*, *diamond/ballpoint*, *torx*, *tork with hole in tip* dan *hex bit* dengan berbagai ukuran mulai dari 1,5 mm hingga 10 mm. Berdasarkan dari permasalahan tersebut maka hal yang penting adalah melakukan analisis kegagalan yang bertujuan untuk mengetahui terjadinya kegagalan dalam sebuah alat bantu.

Untuk menganalisis kegagalan pada alat bantu permesinan yakni menggunakan metode FEA (*Fenite Element Analysis*), metode tersebut merupakan metode pendekatan untuk memperoleh pendekatan secara numerik menggunakan bantuan komputer dengan cara mendiskritisasi menjadi bagian kecil yang berhingga jumlahnya, sehingga bagian kecil tersebut digabungkan dan dianalisis secara perhitungan [2]. Metode FEA (*Fenite Element Analysis*) juga dapat membantu engineer untuk memperoleh data gaya pembebanan secara teoritis pada pemodelan [3], [4]. Pertambahan panjang akibat gaya (*strain*), distribusi tegangan, *displacement* dari sebuah geometri dan bentuk tertentu, regangan pada sebuah material dapat dianalisis menggunakan FEA (*Fenite Element Analysis*) [5], [6], [7].

Berdasarkan hasil pemaparan permasalahan diatas, tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi gaya tekan terhadap desain *allen key hexagonal* menggunakan FEA (*Fenite Element Analysis*). *Allen key* ukuran 10 mm dipilih karena alat bantu tersebut sering digunakan untuk melepas dan mengencangkan baut pada kaliper cakram dan baut *shock breaker*. Hasil yang didapatkan berupa tegangan, regangan dan *displacement* pada *allen key* serta *safety factor* pada setiap pembebanan sebagai pedoman untuk tahap proses manufakturnya.

METODE PENELITIAN

Desain *allen key hexagonal* digambar menggunakan *software CAD Solidwork 2017*. Penentuan desain dari *allen key* menyesuaikan terhadap penggunaannya yakni untuk melepas kaliper cakram dan *shock breaker*. Dimensi *allen key type hexagonal* mempunyai dimensi yang ditunjukkan Tabel 1. Model penentuan parameter geometri dapat dilihat pada Gambar 1. Bahan *allen key hexagonal* menggunakan material *chrome vanadium* yang memiliki sifat mekanik dan fisik sesuai dengan Tabel 2. Pemilihan material tersebut karena *allen key hexagonal* yang beredar dipasaran dan mempunyai elastisitas pada struktur logamnya sehingga material tersebut lebih kuat dan lentur [7].

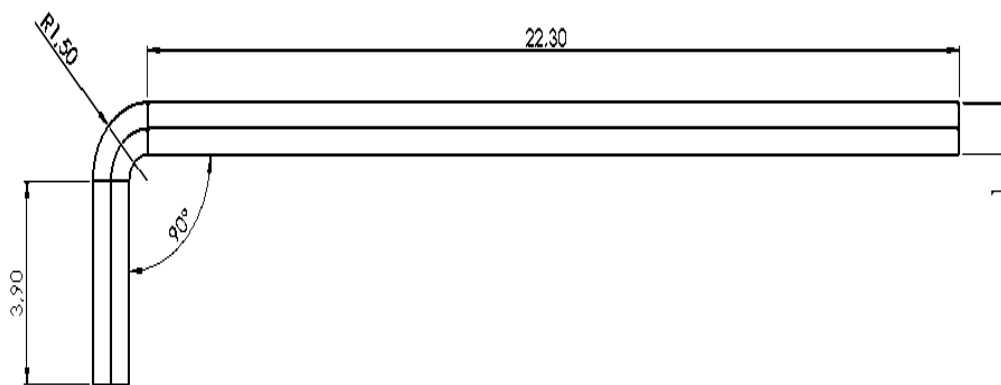
Tabel 1. Ukuran geometri *allen key hexagonal*

No	Geometri	Ukuran
1	Panjang	225 mm
2	Lebar	39 mm
3	Diameter	10 mm
4	Diameter sudut	15 mm
5	Sudut kemiringan	90 °

Tabel 2. Sifat mekanik material *chrome vanadium* [7]

No	Parameter	Nilai
1	Density	7850 Kg/m ³
2	Young's Modulus	2.07*10 ⁵ Mpa
3	Poison's Ratio	0.3
4	Shear Modulus	0.793*10 ⁵ Mpa
5	Minimum tensile strength	1310-2069 Mpa

Pemodelan simulasi menggunakan *software* ANSYS 19.2. Parameter pemodelan FEA (*Fenite Element Analysis*) dimasukkan kedalam sistem *software*. Sebelum dilakukan tahapan simulasi, terlebih dahulu dilakukan proses *meshing*, proses tersebut bertujuan untuk meminimalisir terjadinya eror saat melakukan simulasi [8]. Jenis *mesh* yang digunakan adalah *hexahedral mesh*, penggunaan *mesh* tersebut dipilih untuk stabilitas numerik dan konvergensi [9], [10].

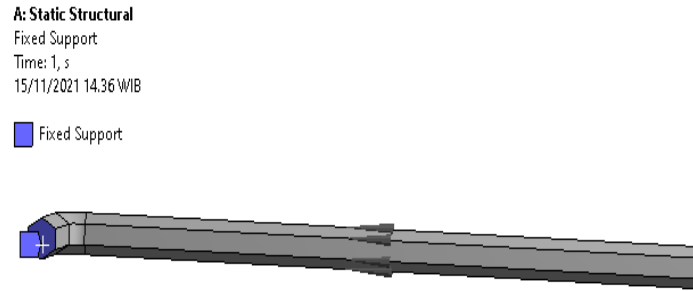


Gambar 1. Model *Allen Key Hexagonal* Dengan Diameter

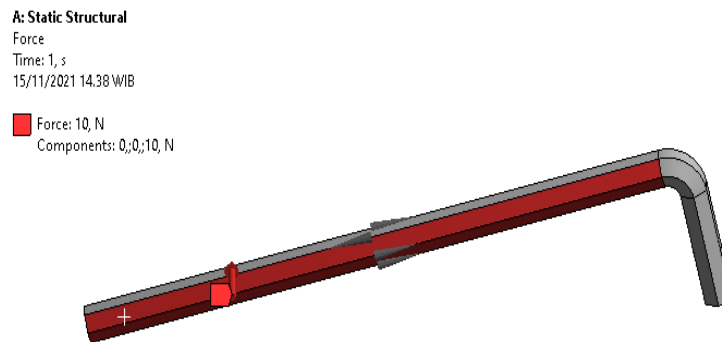


Gambar 2. Hasil *Mesh Hexahedral*

Hasil *mesh* tipe *hexahedral* pada simulasi *allen key type hexagonal* dapat ditunjukkan pada Gambar 2 dengan jumlah *node* sebanyak 12.216 dan jumlah *elements* sebanyak 2002. Setelah proses *meshing* selesai dilakukan, kemudian melakukan penentuan kondisi awal tumpuan tetap seperti yang ditunjukkan Gambar 3. Penentuan tumpuan tetap ini diberikan di bagian kepala *allen key* yang mengalami kontak langsung dengan kepala baut tersebut. Sedangkan pembebanannya menggunakan variasi 125N, 175N, 225N, 275N dan 325N di tunjukkan pada Gambar 4. Pembebanan diletakkan pada bagian pegangan *allen key* karena bagian tersebut mengalami pembebanan saat *allen key* digunakan.



Gambar 3. Peletakan Tumpuan Tetap



Gambar 4. Peletakan Pembebanan Pada Allen Key Type Hexagonal

Parameter hasil proses simulasi menggunakan *software* ANSYS 19.2 antara lain adalah deformasi total, regangan elastis ekivalen, tegangan ekivalen dan faktor keamanan. Perhitungan tegangan *von mises* pada FEA [11] dijabarkan menggunakan persamaan berikut

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{Bmatrix} (1-\nu)\epsilon_x + \nu\epsilon_y + \nu\epsilon_z \\ \nu\epsilon_x + (1-\nu)\epsilon_y + \nu\epsilon_z \\ \nu\epsilon_x + \nu\epsilon_y + (1-\nu)\epsilon_z \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Dimana E merupakan *Modulus Young*, ϵ adalah regangan, σ adalah tegangan, ν adalah poisson rasio. Sedangkan untuk menghitung angka keamanan ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut

$$SF = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{max \text{ bahan}}} \quad (2)$$

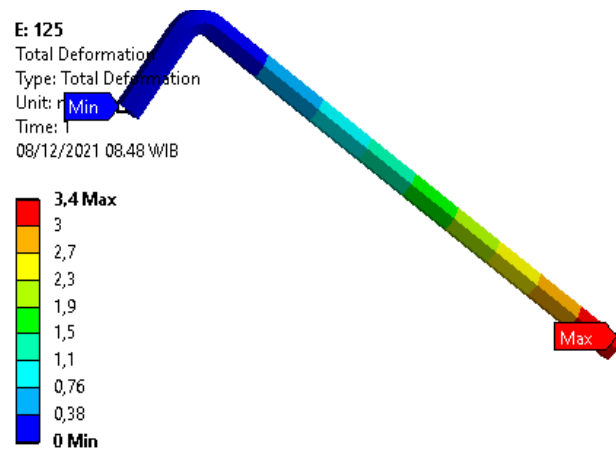
Dimana SF adalah angka keamanan, σ_{max} adalah tegangan yang diijinkan dan $\sigma_{max \text{ bahan}}$ adalah tegangan yang diterima bahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

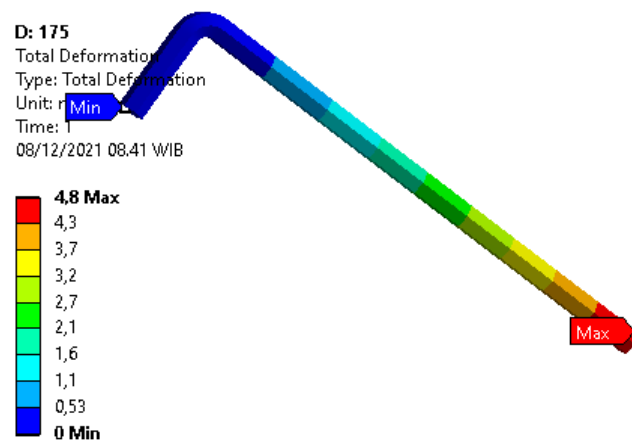
Total Deformation

Indikator yang penting untuk menentukan apakah material yang digunakan tangguh menahan beban yang diberikan adalah deformasi. Deformasi diakibatkan karena material tersebut menerima gaya atau beban. Semakin kecil angka yang dihasilkan dari deformasi, maka material tersebut semakin kuat [11]. Hasil simulasi pemodelan *static structur* terlihat pada Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9. Hasil gambar tersebut menunjukkan sebaran deformasi terlihat pada bagian sisi bawah ke arah atas *allen key*. Distribusi pola kontur tersebut menunjukkan tidak signifikan deformasi pada pemodelan *allen key* sehingga bentuk geometri tidak mengalami perubahan bentuk setelah menerima pembebanan yang diberikan [12]. Hal tersebut mengartikan tegangan yang diberikan masih berada di area elastis bahan, selain itu deformasi menjadi aspek terpenting ketika

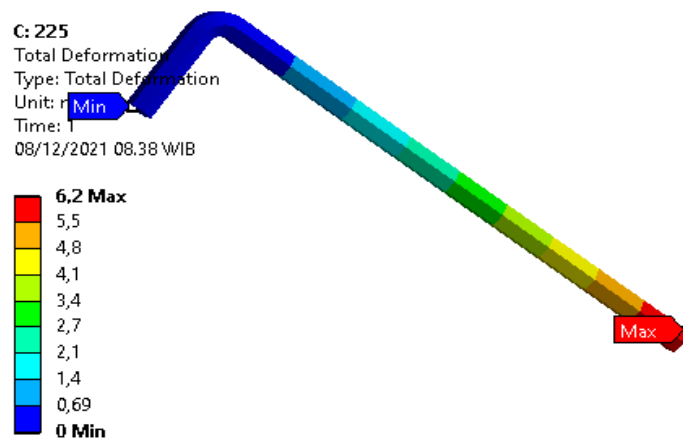
melakukan analisa hal ini dikarenakan dapat merubah bentuk dan menurunkan kegunaan dari *allen key* [12]–[14].



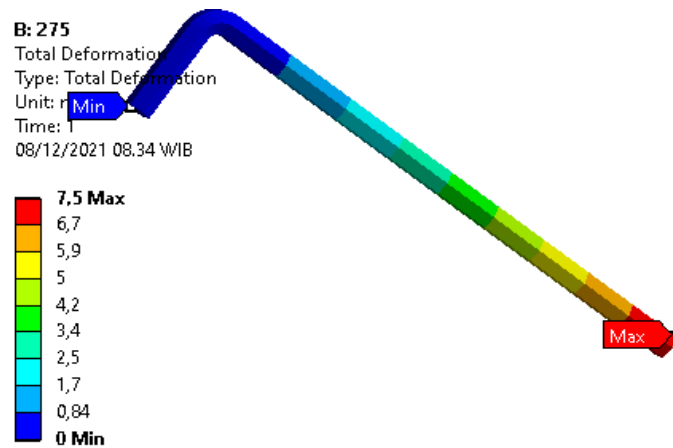
Gambar 5. Hasil *Total Deformation* Simulasi Pembebanan 125 N



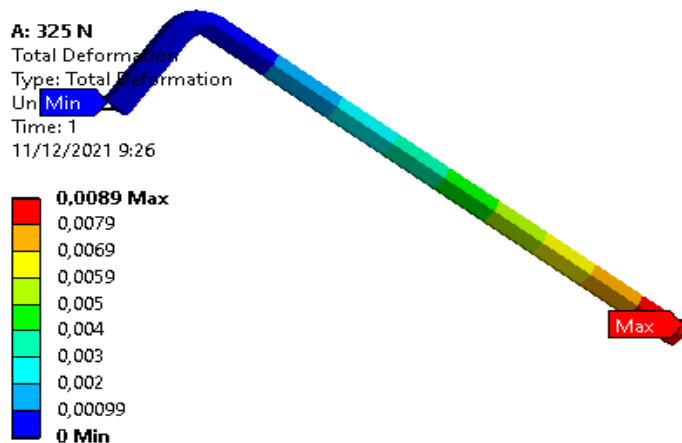
Gambar 6. Hasil *Total Deformation* Simulasi Pembebanan 175 N



Gambar 7. Hasil *Total Deformation* Simulasi Pembebanan 225 N



Gambar 8. Hasil *Total Deformation* Simulasi Pembebanan 275 N

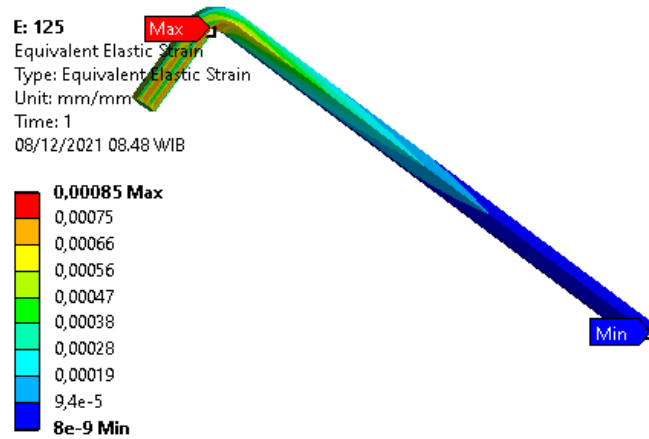


Gambar 9. Hasil *Total Deformation* Simulasi Pembebanan 325 N

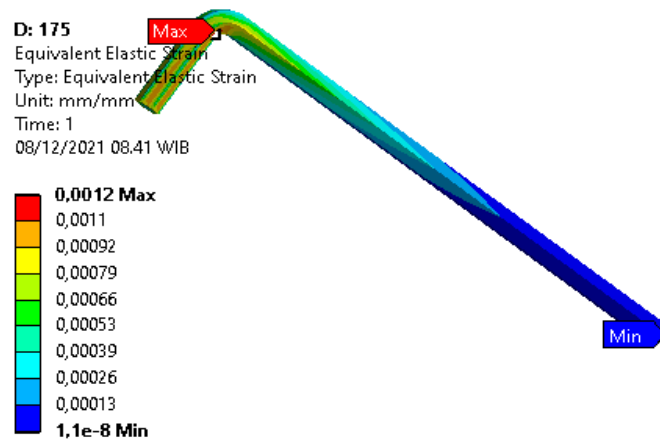
Hasil analisis yang diperoleh dari simulasi pembebanan 125 N, 175N, 225N, 275N, dan 325N diperoleh nilai deformasi maximum berturut-turut sebesar 3,4283 mm, 4,7996mm, 6,1709mm, 7,5422mm, dan 8,9135mm. sedangkan nilai deformasi minimum semua variasi sebesar 0 mm yang artinya tidak terjadi perubahan. Nilai deformasi terbesar pada variasi beban 325N sebesar 8,9135mm, dan ketika desain *allen key* diberi pembebanan tinggi, *allen key* tidak berubah secara signifikan. Hal tersebut mengartikan komponen tidak rusak dan dapat digunakan dengan aman [5].

Equivalent Elastic Strain

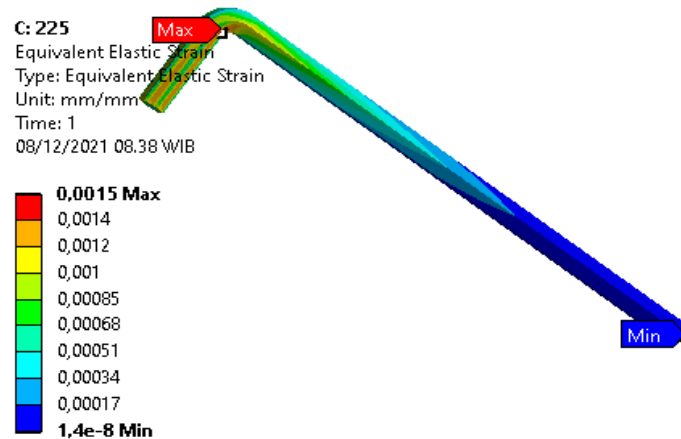
Salah satu aspek luaran yang dihasilkan dari simulasi pemodelan *static structure* pada *allen key* adalah regangan, selain itu jenis bahan yang digunakan juga akan berpengaruh terhadap hasil regangannya [12]. Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12, Gambar 13, dan Gambar 14 menunjukkan hasil simulasi pemodelan tidak berpengaruh hasil dari bentuk kontur regangan. Regangan terbesar terjadi pada bagian sisi lengkung dari desain *allen key*. Hal tersebut disebabkan karena distribusi tegangan dan regangan dipengaruhi dari letak pembebanan yang ditetapkan [15].



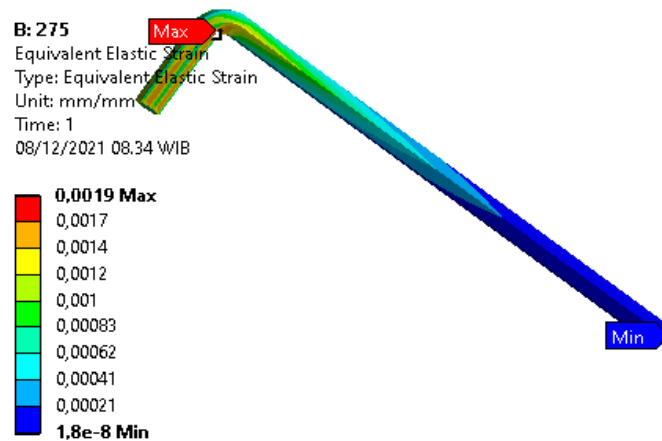
Gambar 10. Hasil *Equivalent Elastic Strain* Simulasi Pembebanan 125 N



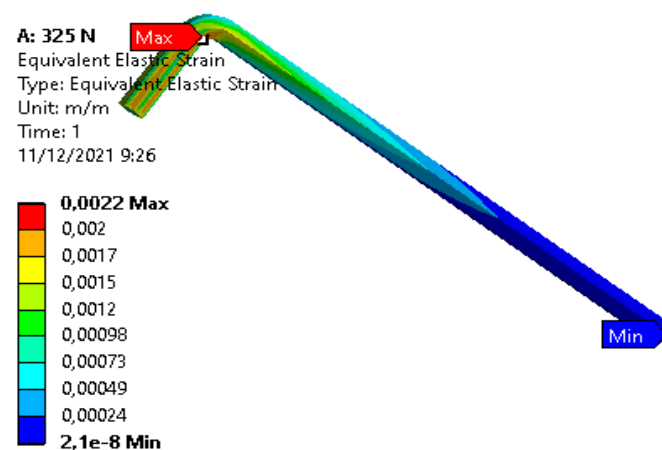
Gambar 11. Hasil *Equivalent Elastic Strain* Simulasi Pembebanan 175 N



Gambar 12. Hasil *Equivalent Elastic Strain* Simulasi Pembebanan 225 N



Gambar 13. Hasil *Equivalent Elastic Strain* Simulasi Pembebanan 275 N

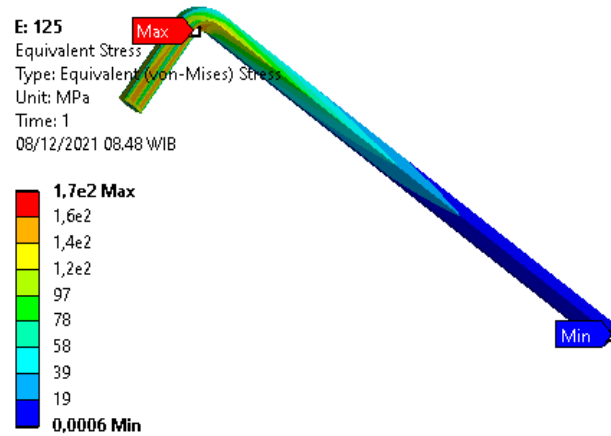


Gambar 14. Hasil *Equivalent Elastic Strain* Simulasi Pembebanan 325 N

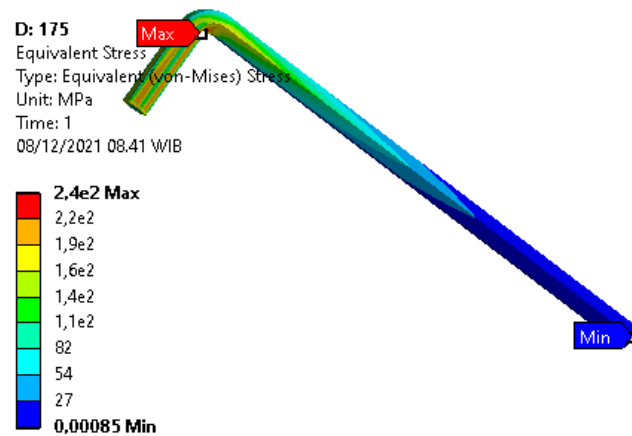
Hasil yang diperoleh dari simulasi pembebanan dengan variasi 125N, 175N, 225N, 275N dan 325N diperoleh nilai *equivalent elastic strain maximum* secara berturut-turut sebesar $8,54 \times 10^{-4}$ m/m; $1,18 \times 10^{-4}$ m/m; $1,52 \times 10^{-3}$ m/m; $1,86 \times 10^{-3}$ m/m dan $2,20 \times 10^{-3}$ m/m. Sedangkan nilai *equivalent elastic strain minimum* sebesar $7,97 \times 10^{-9}$ m/m; $1,12 \times 10^{-8}$ m/m, $1,43 \times 10^{-8}$ m/m, $1,75 \times 10^{-8}$ m/m dan $2,07 \times 10^{-8}$ m/m. Nilai *equivalent elastic strain* simulasi pemodelan *allen key* terbesar sebesar $2,20 \times 10^{-3}$ m/m pada pembebanan 325N

Equivalent Stress

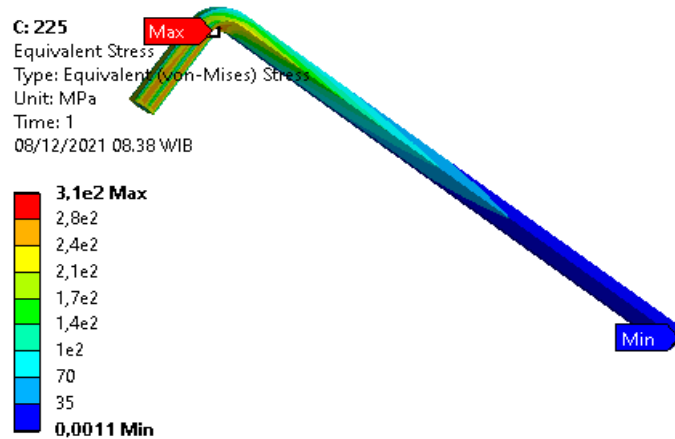
Perhitungan untuk menemukan solusi permasalahan nilai batas pada sebuah pemodelan sistem yakni menggunakan metode *finite element analysis*. Pada simulasi pembebanan variasi 125 N, 175 N, 225 N, 275 N dan 325 N menunjukkan persebaran tegangan yang sama sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 15, Gambar 16, Gambar 17, Gambar 17 dan Gambar 18. Pola distribusi kontur pemodelan memperlihatkan sisi lengkung memiliki nilai tegangan tinggi sama, apabila diperhatikan secara detail terdapat perbedaan distribusi relatif kecil. Semakin besar nilai gaya yang diberikan pada sebuah pemodelan maka *stress* yang terjadi semakin besar [16].



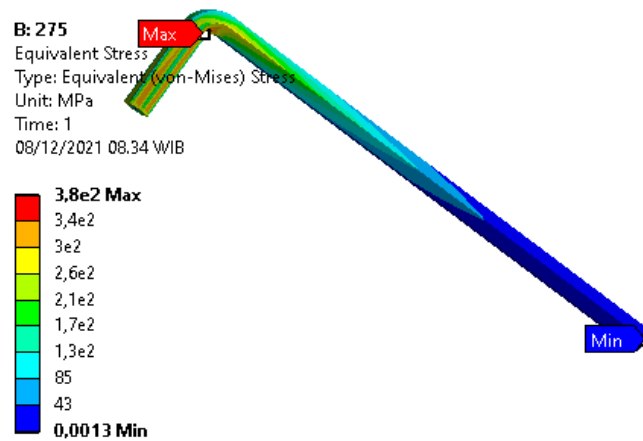
Gambar 15. Hasil *Equivalent Stress* Simulasi Pembebanan 125 N



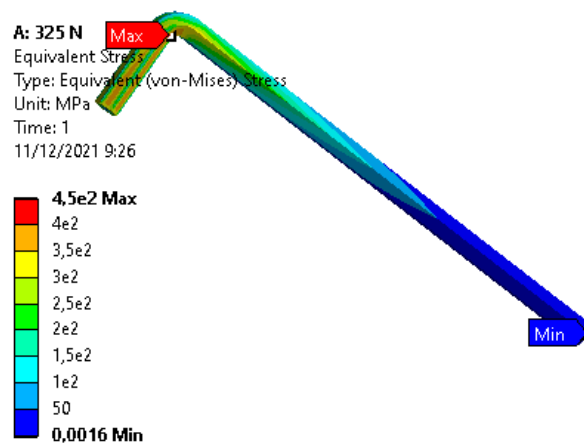
Gambar 16. Hasil *Equivalent Stress* Simulasi Pembebanan 175 N



Gambar 17. Hasil *Equivalent Stress* Simulasi Pembebanan 225 N



Gambar 18. Hasil *Equivalent Stress* Simulasi Pembebanan 275 N



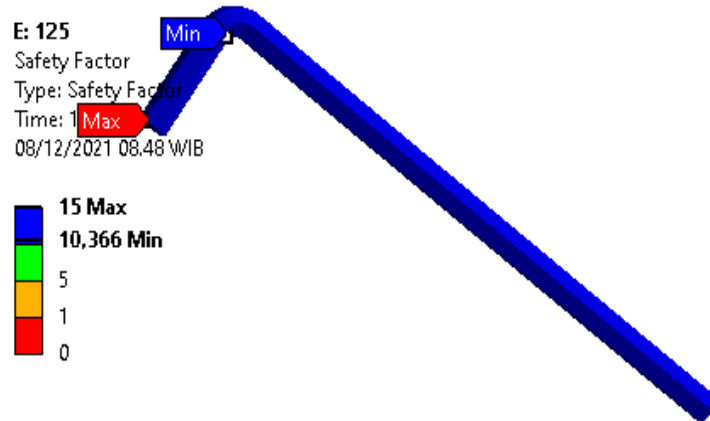
Gambar 19. Hasil *Equivalent Stress* Simulasi Pembebanan 325 N

Hasil analisis simulasi menunjukkan kenaikan equivalent stress mengalami kenaikan dengan bertambahnya beban yang diberikan. Nilai *equivalen stress maximum* pada variasi pembebanan 125N, 175N, 225N, 275N dan 325N secara berturut-turut sebesar $1,75 \times 10^2$ Mpa; $2,45 \times 10^2$ Mpa; $3,15 \times 10^2$ Mpa; $3,84 \times 10^2$ Mpa dan $4,54 \times 10^2$ Mpa. Sedangkan nilai *equivalen stress minimum* sekitar $6,62 \times 10^{-4}$ Mpa; $8,45 \times 10^{-4}$ Mpa; $1,09 \times 10^{-3}$ Mpa; $1,33 \times 10^{-3}$ Mpa dan $1,57 \times 10^{-3}$ Mpa. Nilai *equivalent stress* mengalami peningkatan seiring bertambahnya pembebanan. Hal tersebut disebabkan pemberian *equivalent stress* berbanding lurus dengan gaya yang didapatkan [17].

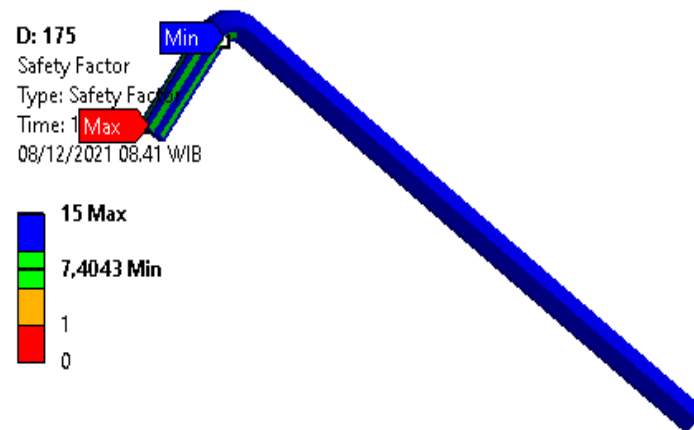
Safety Factor

Safety Factor atau faktor keamanan merupakan suatu hal yang penting dalam perancangan dan analisis struktur secara menyeluruh sehingga dapat terjamin keamanan dari sebuah desain. Parameter terpenting dalam melakukan sebuah desain dan pengujian tegangan pada suatu bentuk objek saat menerima beban dari luar baik itu beban tarik maupun tekan adalah faktor keamanannya [12], [14], [18]. Untuk memperoleh faktor keamanan dapat diperoleh dengan membandingkan antara tegangan yang diberikan dengan tegangan luluh beban [11]. Hasil simulasi pemodelan ditunjukkan pada Gambar 20, Gambar 21, Gambar 22, Gambar 23 dan Gambar 24. Simulasi pemodelan *static structur allen key* menunjukkan perubahan distribusi angka keamanan. Hasil angka kewanaman yang didapat dari hasil simulasi menunjukkan bahwa angka keamanan pada desain *allen key* dikatakan aman terhadap pembebanan yang diberikan. Hal tersebut, ditunjukkan oleh nilai

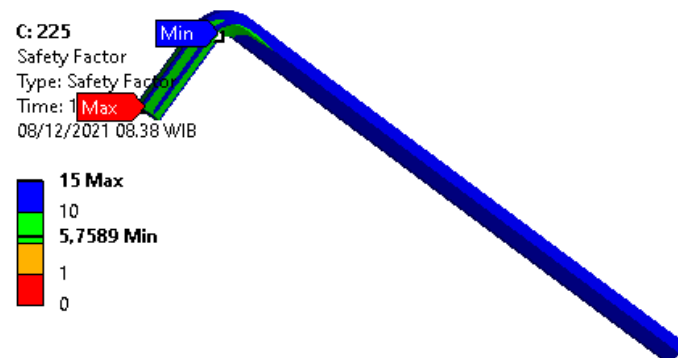
angka keamanannya diatas 1 dari tegangan yang bekerja dan memenuhi syarat mampu menahan pembebanan dinamis [11], [12], [14].



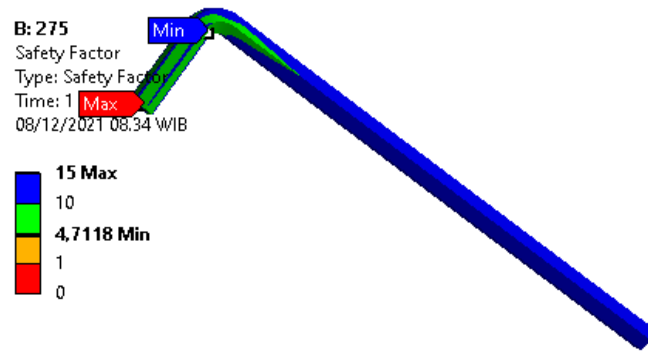
Gambar 20. Hasil *Safety Factor* Simulasi Pembebanan 125 N



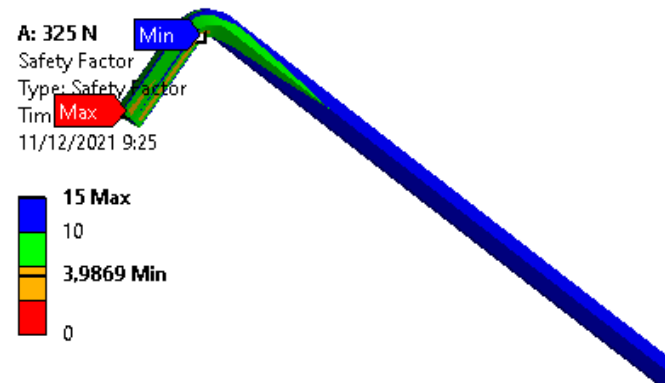
Gambar 21. Hasil *Safety Factor* Simulasi Pembebanan 175 N



Gambar 22. Hasil *Safety Factor* Simulasi Pembebanan 225 N



Gambar 23. Hasil *Safety Factor* Simulasi Pembebanan 275 N



Gambar 24. Hasil *Safety Factor* Simulasi Pembebanan 325 N

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dan analisis dapat disimpulkan deformasi, regangan dan tegangan pada pemodelan allen key variasi pembebanan 125N, 175N, 225N, 275N dan 325N mengalami kenaikan setiap pembebanan. Nilai terbesar terjadi variasi pada pembebanan 325N yakni dengan nilai deformasi sekitar 8,9135mm, Regangan sebesar $2,2 \times 10^{-3}$ mm, tegangannya sebesar $4,54 \times 10^2$ Mpa. Angka keamanan pada setiap variasi pembebanan adalah 15, hal tersebut menunjukkan desain, variasi yang diberikan dan jenis material aman untuk digunakan, sebab angka keamanan lebih dari 1 dari tegangan pada benda kerja.

REFERENSI

- [1] I. G. Zakaria; Rachmanto, Tri; Yudhyadi, "Stress Analysis Kunci Kombinasi Pas-Ring Menggunakan Simulasi Statis Autodeks Inventor," 1384.
- [2] L. Rusdiyana, Suhariyanto, G. D. Winarto, S. Hadi, and M. Mursid, "Desain dan Analisa Pisau Penghancur Bonggol Jagung Sebagai Bahan Pakan Ternak," *J. Energi dan Manufaktur*, vol. 9, no. 1, pp. 49–53, 2016, [Online]. Available: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jem/article/view/25527>.
- [3] R. I. Yaqin, A. B. Prasetyo, P. Pritiansyah, M. H. Amrullah, and B. M. T. Pakpahan, "Studi Numerik Umur Kelelahan (Fatigue Life) Pada Propeller Kapal Penangkap Ikan Dengan Kapasitas Mesin 24 Hp," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.)*, vol. 6, no. 1, pp. 8–17, 2020, doi: 10.31884/jtt.v6i1.245.
- [4] R. I. Yaqin, J. P. Siahaan, and S. H. Pranoto, "Analisis Tegangan Propeller Kapal Penangkap Ikan Di Kota Dumai Menggunakan Finite Element Analysis," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.)*, vol. 5, no. 2, p. 56, 2019, doi: 10.31884/jtt.v5i2.225.
- [5] J. Pratama and M. Mahardika, "Finite element analysis to determine the stress distribution, displacement and safety factor on a microplate for the fractured jaw case," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1941, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1063/1.5028080.
- [6] N. B. Dantulwar, R. G. Maske, and J. T. Patel, "Finite Element Analysis of Ball Valve Assembly for Earthquakes," *Int. Conf. Ideas, Impact Innov. Mech. Eng.*, no. 6, pp. 1460–1467, 2017.
- [7] D. S. A. B. K. Sataynarayan, K; Uges, Tamada, Gowri, G; Ganesh, "Design and Static Analysis on a Helical Spring for Two Wheeler," *JAC A J. Compos. Theory*, vol. III, no. March, pp. 1439–1449, 2020.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] M. Sosnowski, J. Krzywanski, K. Grabowska, and R. Gnatowska, "Polyhedral meshing in numerical analysis of conjugate heat transfer," *EPJ Web Conf.*, vol. 180, pp. 4–9, 2018, doi: 10.1051/epjconf/201817002096.
- [11] L. A. N. Wibawa, "Desain dan Analisis Tegangan Alat Pengangkat Roket Kapasitas 10 Ton Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Energi dan Teknol. Manufaktur*, vol. 2, no. 01, pp. 23–26, 2019, doi: 10.33795/jetm.v2i01.31.
- [12] R. I. Yaqin, M. L. Umar, S. H. Pranoto, A. B. Prasetyo, and B. H. Priyambodo, "Studi Perancangan Pisau Pada Mesin Pencacah Plastik Menggunakan Finite Element Analysis," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.)*, vol. 7, no. 1, p. 44, 2021, doi: 10.31884/jtt.v7i1.320.
- [13] Z. Yin and L. Xu, "Finite element analysis and optimization design of paper cutter cutting blade based on ANSYS," *Proc. - 2018 Int. Conf. Robot. Intell. Syst. ICRIS 2018*, pp. 475–478, 2018, doi: 10.1109/ICRIS.2018.00125.
- [14] S. H. Pranoto, S. Yatnikasari, M. N. Asnan, and R. I. Yaqin, "Desain dan Analisis Mata Pisau Pencacah Untuk Pengolahan Sampah Plastik Menggunakan Finite Element Analysis," *Infotekmesin*, vol. 11, no. 2, pp. 147–152, 2020, doi: 10.35970/infotekmesin.v11i2.260.
- [15] M. S. . M. L. K. . S. Ramadhan, "Perancangan dan Simulasi Frame Mobil Gokart," *ENTHALPY-Jurnal Ilm. Mhs. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 1–10, 2018.
- [16] saP isanibmoK icnuK sisylanA ssertS" رازی, "Ring Menggunakan Simulasi Statis Pada Autodesk Inventor," 1384, [Online]. Available: https://perpustakaan.ft.unram.ac.id/index.php?p=show_detail&id=7005.
- [17] G. Sitepu, "ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR ' TANK DECK ' KAPAL LCT AT 117 M TNI AL," vol. 14, pp. 39–48, 2016.
- [18] A. ;Khristyso. S. F. Mulyanto, I. P.;Trimulyono, "Analisa Kekuatan Konstruksi Internal Ramp Sistem Steel Wire Rope Pada Km. Dharma Kencana Viii Dengan Metode Elemen

Hingga,” *Kapal*, vol. 2, no. 3, pp. 85–92, 2014, doi: 10.14710/kpl.v11i2.7267.