Pengaruh Bentuk *Grip* terhadap Linearitas Daerah Elastis Kurva Uji Tarik Logam

Rusnaldy*, M. Tauviqirrahman, A. Haryudanto, S. A. Adhi
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Tembalang, Semarang
*E-mail: rusnaldy@lecturer.undip.ac.id

Abstract

Tensile tests conducted previously have occasionally yielded non-linear stress-strain curves within the elastic deformation region. Several factors could be responsible for this, one of which relates to the type of grip employed—specifically, the wedge grips that were being used. Inspection of the grip surfaces revealed that some of the teeth had undergone wear. To improve the tensile test data, new grips—referred to as "jaw grips"—were fabricated. Subsequently, tensile tests were performed on four types of materials—AISI 1018 steel, AISI 1045 steel, 6061-T6 aluminum alloy, and C36000 brass—using both types of grips. A numerical analysis using the Finite Element Method (FEM) in ANSYS was also carried out to determine the maximum von Mises stress occurring in the grips, the safety factor, and the potential for slippage during the tensile tests. The results demonstrate that replacing the wedge grips with the new jaw grips produces a linear stress-strain curve in the elastic deformation region. Furthermore, the FEM analysis indicates that the jaw grips result in lower maximum von Mises stress, a higher safety factor, and the elimination of slippage during tensile testing compared to the use of wedge grips.

Keywords: tensile testing, grip, stress-strain curves, linearity, slip

Abstrak

Pengujian tarik yang selama ini dilakukan beberapa kali terkadang menghasilkan kurva tegangan regangan yang tidak linier pada daerah deformasi elastis. Ada beberapa kemungkinan yang dapat menjadi penyebab yang salah satunya adalah karena *grip* yang digunakan. Selama ini *grip* yang digunakan adalah *wedge grip*. Pengamatan yang dilakukan pada permukaan *grip* terlihat beberapa gigi pada *grip* telah mengalami keausan. Upaya yang dilakukan untuk memperbaiki grafik hasil tarik adalah dengan membuat *grip* baru, yaitu *jaw grip*. Kemudian dilakukan pengujian tarik untuk empat jenias material, yaitu baja AISI 1018, baja AISI 1045, paduan aluminium 6061-T6 dan kuningan C36000 dengan menggunakan kedua *grip* tersebut. Analisis numerik FEM dengan menggunakan ANSYS juga dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan maksimum von Mises yang terjadi pada *grip*, nilai *safety factor* dan terjadinya *slip* pada saat pengujian tarik dilakukan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penggunaan *jaw grip* untuk menggantikan *wedge grip* yang selama ini digunakan menghasilkan kurva tegangan regangan yang linier pada daerah deformasi elastis. Hasil analisis FEM juga menunjukkan bahwa penggunaan *jaw grip* memberikan hasil berupa tegangan maksimum von Mises yang lebih rendah, nilai *safety factor* yang lebih tinggi serta tidak terjadinya *slip* saat pengujian tarik dilakukan bila dibandingkan dengan menggunakan *wedge grip*.

Kata kunci: pengujian tarik, *grip*, kurva tegangan regangan, linieritas, *slip*

1. PENDAHULUAN

Pengujian Tarik adalah salah satu metode pengujian mekanik yang paling umum digunakan untuk mengetahui karakteristik dan sifat mekanik suatu material ketika menerima beban tarik satu arah (*uniaxial tensile load*) [1-3]. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan material dalam menahan beban, tingkat keuletan dan perilaku deformasi elastis dan plastis. Melalui pengujian ini juga dapat diketahui hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) yang terjadi selama material menerima beban. Hasil pengujian tarik juga dapat digunakan untuk mengendalikan kualitas produk dari suatu proses produksi, membandingkan berbagai material yang digunakan untuk struktur dan komponen, mengevaluasi berbagai paduan logam dan untuk memenuhi kebutuhan perancangan teknik [3].

Dalam melakukan pengujian tarik harus mengacu pada standar resmi untuk memastikan keseragaman dimensi *specimen*, meningkatkan keakuratan hasil dan memudahkan dalam membandingkan data hasil pengujian. Untuk pengujian tarik logam, standar yang biasa digunakan adalah ASTM E8 [4] dan ISO 6892-1 [5]. Standar pengujian juga dijadikan sebagai acuan untuk menentukan bentuk dan dimensi spesimen uji, termasuk *grip* yang digunakan untuk memegang atau menjepit spesimen. Hasil pengujian tarik dapat berbeda meskipun material yang diuji sama dimana

perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh mesin pengujian, metode pengukuran, kecepatan pengujian, kondisi spesimen, dan prosedur pengujian [6].

Hal yang juga dapat mempengaruhi hasil pengujian tarik adalah bentuk dan geometri spesimen serta bentuk dan geometri *grip* yang digunakan untuk mencengkam spesimen uji [4]. Bentuk *grip* pada spesimen dapat memastikan bahwa spesimen dapat dijepit dengan kuat dan stabil selama proses pengujian berlangsung. Bentuk *grip* juga harus mampu menahan spesimen agar tidak mengalami pergeseran (*slip*) ketika diberi beban tarik. Selain itu, bentuk dan dimensi *grip* juga perlu diperhatikan untuk menghindari terjadinya konsentrasi tegangan yang dapat menyebabkan patahan pada daerah penjepitan, sehingga hasil pengujian menjadi kurang akurat. Di dalam standar pengujian tarik ASTM E8 sudah dijelaskan beberapa bentuk *grip* yang dapat digunakan dalam pengujian tarik, yaitu *wedge grip*, *threaded grip*, *shoulder grip* dan *serrated wedges grip* [4].

Beberapa peneliti telah mendesain dan menggunakan *grip* untuk memperbaiki kualitas hasil pengujian tarik. Akinribide dkk. berhasil mengembangan *jaw grip* untuk spesimen berbentuk silinder dengan konfigurasi dua tahap (*shoulder)* [7]. Hasilnya menunjukkan performan yang lebih baik dibandingkan desain satu tahap dan dapat digunakan untuk pengujian tarik dan menghasilkan nilai yang mendekati hasil *grip* konvensional. Mucsi juga melakukan pengembangan terhadap *grip* yang hasilnya menunjukkan bahwa sistem *grip* memiliki pengaruh penting terhadap akurasi pengujian tarik, terutama dalam pengukuran *upper yield strength* baja karbon rendah [8]. Sementara itu Spetsieris dkk. mengembangkan desain *cylindrical grip* untik pengujian tarik material komposit pada temperartur kriogenik, yang hasilnya dinilai memiliki potensi yang baik untuk pengujian tarik material tersebut [9].

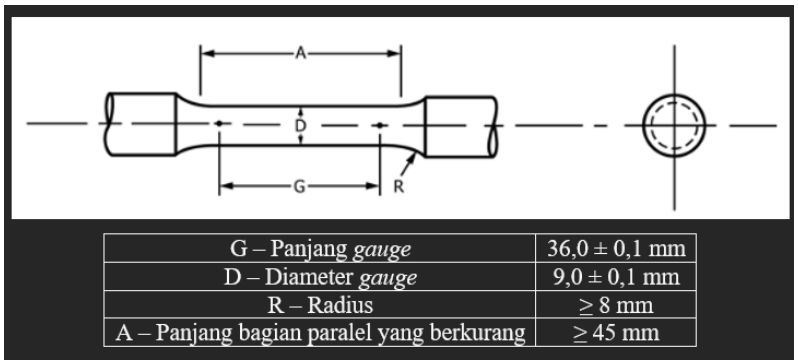
Disamping itu hasil pengujian tarik material logam yang beberapa kali dilakukan di Laboratorium Materail Teknik di Departemen Teknik Mesin Undip menghasilkan grafik uji tarik yang tidak linier meskipun material masih berada pada daerah elastis. Ketidaklinieran ini diduga dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain seperti ketidaksejajaran spesimen terhadap arah pembebanan (*misalignment*), kondisi penjepitan spesimen (*gripping*), ketidakstabilan sistem pengujian, ketelitian alat ukur regangan (*extensometer*), serta kemungkinan adanya deformasi awal akibat proses manufaktur atau preparasi spesimen. Ketidaklinieran ini dapat berpengaruh terhadap penentuan nilai modulus elastisitas yang juga sangat penting dari suatu hasil pengujian tarik.

Untuk itu, studi kali ini akan berfokus terlebih dahulu pada sistem *grip* yang selama ini digunakan untuk melakukan pengujian tarik (*wedge grip*). Apakah ketidaklinier grafik hasil uji tarik pada daerah deformasi elastis disebabkan oleh *grip* yang digunakan? Apa yang terjadi pada *grip* tersebut dan apa pengaruhnya pada hasil uji tarik akan dicari penyebabnya. Kemudian *grip* baru coba dibuat untuk mengatasi masalah tersebut. *Grip* baru yang dibuat mengacu pada apa yang telah didesain dan dibuat oleh Akinribide dkk. [7]. *Grip* lama dan *grip* baru akan digunakan untuk melakukan pengujian tarik pada 4 jenis logam, yaitu baja AISI 1018, baja AISI 1045, paduan aluminium 6061-T6 dan kuningan C36000. Simulasi FEM juga dilakukan untuk menganalisa kinerja kedua *grip* tersebut ketika pengujian tarik dilakukan.

2. MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

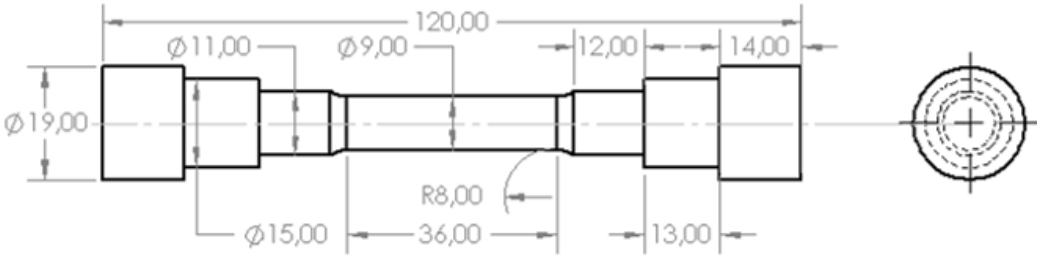
Pengujian tarik dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM E8 [4]. Material benda kerja yang digunakan pada penelitian ini adalah baja AISI 1018, baja AISI 1045, paduan aluminium 6061-T6, dan kuningan C36000. Bentuk dan dimensi spesimen dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2. Gambar 1 adalah bentuk dan dimensi spesimen untuk *wedge grip* yang selama ini digunakan untuk melakukan pengujian tarik. dan Gambar 2 adalah bentuk dan dimensi spesimen untuk *jaw grip*. Sementara itu Gambar 3 adalah bentuk *wedge grip* dan Gambar 4 adalah bentuk *jaw grip* yang digunakan pada pengujian ini. *Jaw grip* dibuat dari material baja VCN150 atau *similar* dengan baja AISI 4340. *Wedge grip* adalah penjepit spesimen benda kerja yang selama ini digunakan untuk melakukan pengujian tarik di Laboratorium Material Teknik di Departemen Teknik Mesin. Pada Gambar 3 terlihat bahwa ada beberapa bagian dari gigi-gigi *grip* tersebut yang telah mengalami aus. Mesin uji tarik yang digunakan adalah *Universal testing machine* GD-1100.

Simulasi numerik dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ANSYS 2023 R2. Model 3D dari kedua penjepit tersebut dibuat dengan bantuan *software Solidwork*. Gambar 5 dan 6 menunjukkan model kedua penjepit yang dibuat. Analisis gaya statis yang dilakukan pada simulasi ini adalah berupa gaya tarik dan gaya cekam yang terjadi saat spesimen benda uji dilakukan pengujian tarik. Hasil yang diperoleh digunakan untuk menentukan tegangan von Mises dan gaya reaksi yang terjadi pada pencekam. Nilai tegangan von Mises maksimum kemudian digunakan untuk menghitung nilai *safety factor*, sedangkan gaya reaksi pada penjepit dibandingkan dengan gaya tarik yang diaplikasikan. Hasilnya dapat digunakan untuk mengidentifikasi apakah terjadi *slip* pada pengujian tarik yang dilakukan dengan menggunakan kedua *grip* tersebut.

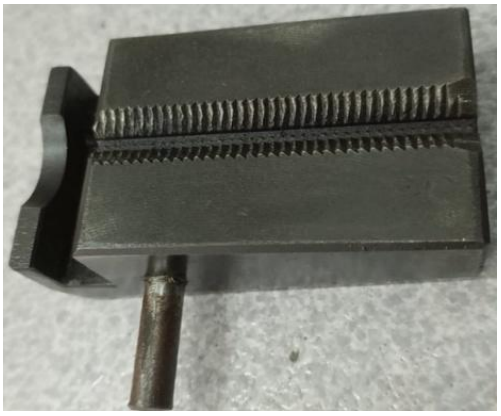


G – Panjang *gauge*	36,0 ± 0,1 mm
D – Diameter *gauge*	9,0 ± 0,1 mm
R – Radius	≥ 8 mm
A – Panjang bagian paralel yang berkurang	≥ 45 mm

Gambar 1. Bentuk dan dimensi spesimen untuk *wedge grip*



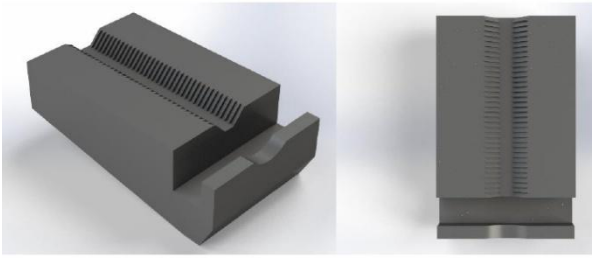
Gambar 2. Bentuk dan dimensi spesimen untuk *jaw grip*



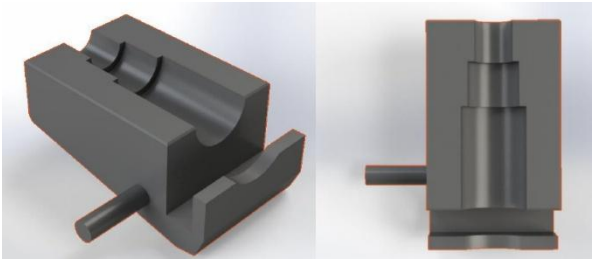
Gambar 3. Bentuk *wedge grip*



Gambar 4. Bentuk *jaw grip*



Gambar 5. Model 3D *wedge grip*

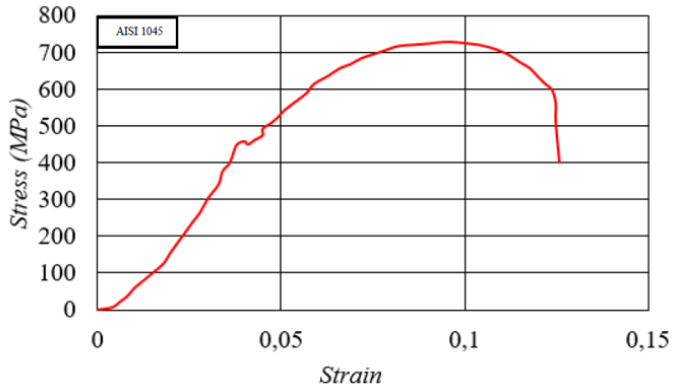


Gambar 6. Model 3D *jaw grip*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Uji Tarik dengan *Wedge Grip*

Gambar 7 menunjukkan grafik tegangan-regangan hasil pengujian tarik material baja AISI 1045 dengan menggunakan *wedge grip* yang biasa digunakan di laboratorium. Dari gambar terlihat ketidaklinieran grafik pada daerah deformasi elastis. Secara teori daerah elastis pada grafik menunjukkan hubungan tegangan dan regangan yang linier. Ketidaklinieran yang terjadi disini terlihat cukup besar. Ada beberapa penyebab yang menyebabkan hal ini dapat terjadi, salah satunya adalah karena kondisi *wedge grip* pada mesin uji tarik. Foto kondisi *wedge grip* tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. Pada gambar terlihat bahwa ada beberapa gigi *grip* yang telah aus, dimana kondisi ini dapat mengurangi kemampuan mencengkeram spesimen sehingga memungkinan terjadinya *slip* selama pengujian tarik berlangsung. Kondisi ini juga dapat menyebabkan ketidakakuratan pengukuran regangan, khususnya jika pengukuran pertambahan panjang spesimen menggunakan perpindahan *crosshead* pada mesin uji tarik. Mucsi menunjukkan bahwa kondisi *grip* yang tidak optimal berpotensi menyebabkan pembebanan tidak merata [8]. Motra dkk. membandingkan pengukuran pertambahan panjang spesimen dengan menggunakan ekstensometer, *strain gauge* dan perpindahan *crosshead* pada pengujian tarik baja struktural [10]. Hasil yang mereka peroleh menunjukkan bahwa ekstensometer dan *strain gauge* memberikan data yang lebih andal dibandingkan pengukuran *crosshead* untuk karakterisasi sifat mekanik baja. Hal ini juga mungkin menjadi penyebab mengapa terjadi ketidaklinieran pada daerah deformasi elastis pada hasil uji tarik yang diperoleh. Hajy Akbary dkk. menjelaskan bahwa ketidaklinieran juga dipengaruhi oleh deformasi pada bagian *fillet specimen* dan *compliance* pengujian [11]. Hal ini cukup menjelaskan mengapa regangan hasil *crosshead* tidak selalu sama dengan regangan aktual spesimen.



Gambar 7. Grafik tegangan-regangan pengujian tarik baja AISI 1045 dengan menggunakan *wedge grip*

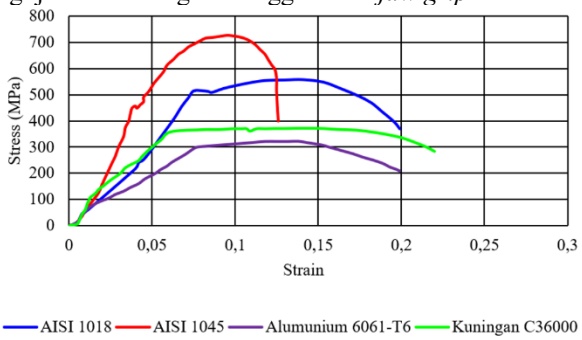
3.2 Hasil Uji Tarik dengan *Jaw Grip*

Gambar 8 menunjukkan grafik tegangan-regangan hasil pengujian tarik material baja AISI 1018, baja AISI 1045, alumunium 6061-T6, dan kuningan C36000 dengan menggunakan *wedge grip* lama. Dari grafik tersebut terlihat bahwa ketidaklinieran pada daerah deformasi elastis terjadi pada semua material yang diuji. Ketidaklinieran pada daerah elastis

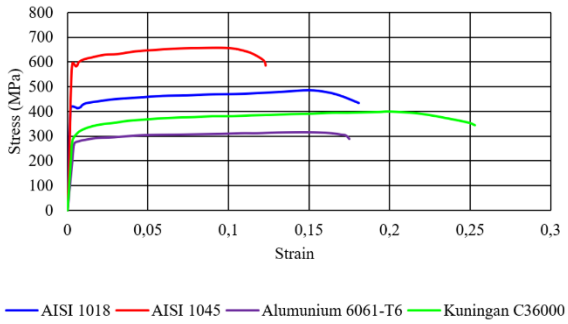
dapat berpengaruh dalam hal penentuan modulus elastisitas. Chen dkk. menjelaskan bahwa ketidaklinieran pada awal kurva juga merupakan karakteristik intrinsik material, bukan semata-mata kesalahan pengujian dan hal lain seperti yang telah dijelaskan pada subbab 3.1 [12].

Dari hasil pengujian tarik keempat material dengan menggunakan *wedge grip* yang lama memang terlihat adanya ketidaklinieran kurva terutama pada daerah elastis. *Grip* ini menjepit spesimen dengan tekanan gesek pada permukaan bagian ujungnya dan potensi *slip* relatif lebih besar jika penjepitan tidak optimal. Untuk itu dibuat *grip* baru yang memiliki bentuk yang beda, yaitu *jaw grip* (lihat Gambar 4) yang merupakan sistem penjepit spesimen yang menggunakan bagian bahu (*shoulder*) pada kedua ujung spesimen sebagai area penahan beban. Grafik tegangan-regangan keempat material yang diperoleh dari pengujian tarik dengan menggunakan *grip* ini dapat dilihat pada Gambar 9.

Karakteristik kurva dari keempat jenis material terlihat berbeda pada daerah deformasi elastis dibanding pada Gambar 8. Besarnya regangan yang terjadi di daerah deformasi elastis tidak sebesar yang terjadi pada Gambar 8 dan kurva tegangan-regangan pada hasil uji tarik dengan menggunakan *jaw grip* ini menujukkan hubungan yang linier. Hal ini menunjukkan penggunaan *grip* baru (*jaw grip*) cukup mengatasi masalah yang selama ini terjadi pada proses pengujian tarik yang dilakukan ketika menggunakan *wedge grip* yang lama yang telah mengalami aus pada beberapa gigi-giginya. Sistem penjepitan tidak hanya berfungsi menahan spesimen, tetapi juga berperan dalam menentukan keselarasan pembebanan dan distribusi tegangan di dalam spesimen selama pengujian tarik berlangsung. Sehingga perlu juga diperhatikan pengaruh adanya ketidak sejajaran pembebanan. Mucsi menjelaskan bahwa ketidaksejajaran pembebanan dapat menyebabkan munculnya momen lentur pada *specimen* [13], sehingga regangan yang terukur mungkin terjadi akibat kontribusi deformasi akibat lentur, bukan hanya deformasi tarik aksial. Hal ini mungkin dapat menjelaskan mengapa terdapat perbedaan kekuatan tarik pada kedua pengujian dengan menggunakan *wedge grip* dan *jaw grip* khususnya pada nilai kekuatan tarik maksimum pada kedua spesimen benda kerja yang terbuat dari baja AISI 1018 dan baja AISI 1045. Pengujian tarik dengan menggunakan *wedge grip* memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih besar dibanding kekuatan tarik pada pengujian tarik dengan menggunakan *jaw grip*.



Gambar 8. Grafik tegangan-regangan pengujian tarik keempat jenis logam dengan menggunakan *wedge grip*

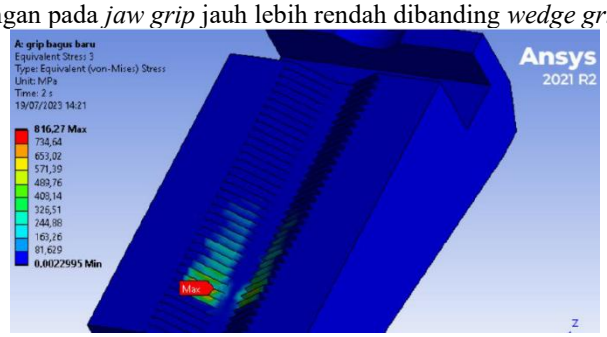


Gambar 9. Grafik tegangan-regangan pengujian tarik keempat jenis logam dengan menggunakan *jaw grip*

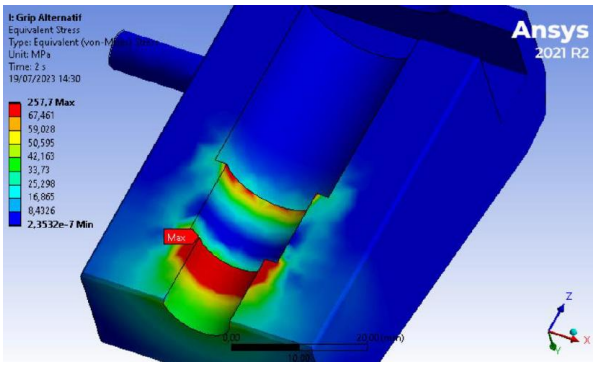
3.3 Hasil Simulasi

Pengaruh bentuk *grip* juga dianalisis dengan metode elemen hingga (*Finite Element Method*, FEM) menggunakan *software* ANSYS. Gambar 10 adalah hasil simulasi ANSYS untuk *wedge grip* dimana diperoleh nilai tegangan von Mises maksimum sebesar 816,27 MPa. Konsentrasi tegangan tertinggi terjadi pada daerah sekitar akar gigi-gigi. Gambar 10 juga memperlihatkan bahwa tegangan tinggi (sekitar 400–570 MPa) hanya terpusat pada beberapa gigi di salah satu ujung daerah bergigi, sedangkan sebagian besar badan *grip* mengalami tegangan di bawah 82 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa beban tidak terdistribusi merata pada seluruh gigi, sehingga gigi-gigi tersebut menerima beban yang lebih besar dan lebih rentan mengalami keausan maupun kerusakan. Daerah akar gigi tersebut merupakan daerah paling kritis terhadap kemungkinan terjadinya deformasi plastis atau retak pada akar gigi *wedge grip*. Namun, perlu dicatat bahwa nilai tegangan pada akar gigi yang bersudut tajam cenderung sensitif terhadap ukuran *mesh* akibat adanya singularitas tegangan. Sementara dari hasil simulasi untuk *jaw grip* diperoleh nilai tegangan von Mises maksimum sebesar 257,7

MPa (lihat Gambar 11). Tegangan maksimum yang terjadi pada *grip* ini jauh lebih kecil dibanding yang terjadi pada *wedge grip*. Konsentrasi tegangan tertinggi terjadi pada daerah kontak antara benda kerja silindris dan dudukan *grip*. Berbeda dengan *wedge grip*, tegangan pada *jaw grip* tersebar di sepanjang permukaan kontak berbentuk cincin antara bahu (*shoulder*) spesimen dan dudukan *grip*. Permukaan kontak tersebut mengalami tegangan di atas sekitar 67 MPa, sementara badan *grip* lainnya berada di bawah nilai tersebut, dan nilai maksimum 257,7 MPa hanya terjadi secara lokal pada tepi dudukan. Perlu diperhatikan bahwa skala warna pada Gambar 11 tidak linier, sehingga daerah berwarna merah mewakili rentang tegangan sekitar 67–258 MPa. Distribusi ini menunjukkan bahwa beban tarik ditahan oleh luas kontak yang lebih besar sehingga tegangan pada *jaw grip* jauh lebih rendah dibanding *wedge grip*.



Gambar 10. Nilai Tegangan von Mises untuk *wedge grip*



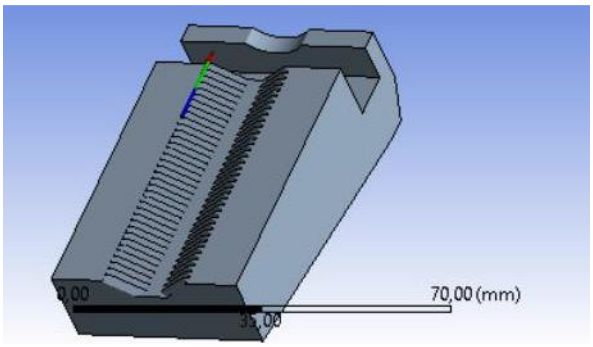
Gambar 11. Nilai Tegangan von Mises untuk *jaw grip*

Analisis keamanan atau *safety factor* (SF) pada kedua *grip* dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

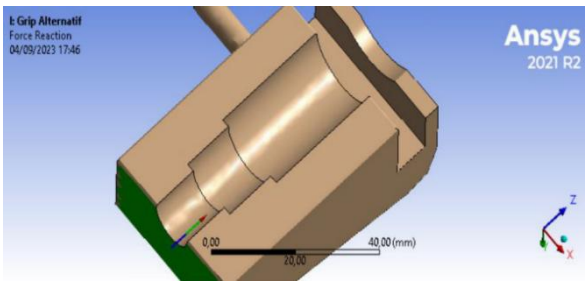
$$SF = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}}$$

dimana σ_y adalah nilai *yield strength* dari material *grip* dan σ_{max} adalah tegangan maksimum von Mises. Material yang digunakan untuk membuat kedua *grip* tersebut adalah baja VCN150 atau ekivalen dengan baja AISI 4340 dengan perlakuan panas *quenching* dan *tempering*. Data dari situs matweb diperoleh nilai *yield strength* dari baja tersebut adalah 1000 MPa [14], sehingga nilai *safety factor* dari *wedge grip* dan *jaw grip* berturut-turut adalah 1,22 dan 3,88. Dari hasil ini terlihat sangat jelas bahwa *jaw grip* memiliki nilai *safety factor* yang jauh lebih baik

Untuk mengetahui apakah *wedge grip* mengalami *slip* atau tidak dapat dilihat dari nilai gaya reaksinya. Jika nilai gaya reaksi lebih kecil dari besar gaya tarik yang diaplikasikan pada benda uji, maka spesimen uji mengalami *slip.* Pada Gambar 12 terlihat bahwa *wedge grip* memiliki nilai gaya reaksi sebesar 8886,7 N pada arah sumbu Y positif. Nilai ini sangat kecil bila dibandingkan dengan gaya tarik yang diaplikasikan sebesar 17813 N. Sehingga dapat dikatakan bahwa *grip* ini mengalami *slip*. Sementara pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa gaya reaksi pada *jaw grip* sebesar 17813 N dengan arah ke sumbu Y positif. Sama besar dengan gaya tarik yang diaplikasikan sebesar 17813 N. Sehingga dapat dikatakan bahwa *jaw grip* tidak mengalami *slip*. Dari hasil ini terlihat bahwa *jaw grip* layak digunakan untuk menggantikan *wedge grip* yang selama ini digunakan karena *slip* yang terjadi dapat menyebabkan hasil pengukuran sifat mekanik material tidak merepresentasikan kondisi material yang sebenarnya [8]. Perlu pula diperbaiki tekstur permukaan *grip* karena bukan hanya memperngaruhi kemampuan mencengkeram oleh *grip*, tetapi juga dapat mengubah karakteristik mekanik yang terukur dari spesimen dan tekstur permukaan *grip* juga mempengaruhi terjadinya *slip*, kerusakan spesimen, dan keakuratan hasil pengujian tarik [15].



Gambar 12. Gaya reaksi pada *wedge grip*



Gambar 13. Gaya reaksi pada *jaw grip*

4. KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah ketidaklinieran grafik hasil uji tarik pada daerah deformasi elastis disebabkan oleh kondisi *wedge grip* yang telah aus. Untuk itu, dibuat *jaw grip* sebagai *grip* pengganti, kemudian kedua *grip* digunakan pada pengujian tarik baja AISI 1018, baja AISI 1045, paduan aluminium 6061-T6, dan kuningan C36000, serta dianalisis dengan simulasi FEM. Dari studi yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan *jaw grip* sebagai pengganti *wedge grip* dapat memperbaiki grafik tegangan-regangan yang diperoleh, yaitu kurva pada daerah deformasi elastis menjadi linier dan regangan yang terjadi tidak sebesar jika pengujian tarik dilakukan dengan *wedge grip*.
2. Hasil analisis FEM dengan ANSYS menunjukkan bahwa tegangan von Mises maksimum pada *jaw grip* jauh lebih rendah dan nilai *safety factor*-nya jauh lebih tinggi dibanding *wedge grip*.
3. Hasil analisis FEM juga menunjukkan bahwa tidak terjadi *slip* pada pengujian tarik dengan *jaw grip*, sedangkan pada *wedge grip* terjadi *slip*.

Pada penelitian selanjutnya, pengukuran regangan perlu dilakukan dengan ekstensometer agar pengaruh *compliance* mesin dan perpindahan *crosshead* terhadap linearitas kurva dapat dihilangkan. Selain itu, perlu dilakukan simulasi FEM yang memodelkan kondisi kontak dan gigi *grip* yang aus secara lebih rinci, serta kajian pengaruh tekstur permukaan *grip* dan ketidaksejajaran pembebanan terhadap hasil uji tarik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Davis, J.R. (Ed.), 2004, Tensile Testing, 2nd Edition, ASM International, Materials Park.
[2] Callister, W.D., Rethwisch, D.G., 2018, Materials Science and Engineering: An Introduction, 10th Edition, John Wiley & Sons, Hoboken.
[3] Kuhn, H., Medlin, D. (Eds.), 2000, ASM Handbook Vol. 8: Mechanical Testing and Evaluation, ASM International, Materials Park.
[4] ASTM International, 2004, ASTM E8-04: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, ASTM International, West Conshohocken.
[5] International Organization for Standardization, 2009, ISO 6892-1: Metallic Materials – Tensile Testing – Part 1: Method of Test at Room Temperature, ISO, Geneva.
[6] Loveday, M.S., Gray, T., Aegerter, J., 2004, Tensile Testing of Metallic Materials: A Review, TENSTAND Project Report, Work Package 1.
[7] Akinribide, O.J., Ogunkoya, A.K., Momoh, I.M., Ogundare, O.D., AttahDaniel, B.E., Olusunle, S.O.O., 2013, Design and Development of Grip for Circular Test Piece in Universal Tensile Testing Machine, Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 1: 331-335.
[8] Mucsi, A., 2013, Effect of Gripping System on the Measured Upper Yield Strength Estimated by Tensile Test, Measurement, 46: 1663-1670.

[9] Spetsieris, N., Lovelock, P., Shaw, R., Gower, M., Giannis, S., 2024, Optimising Grip Designs for the Tensile Testing of Fibre-Reinforced Polymer Composites at Cryogenic Temperatures, Proceedings of the 21st European Conference on Composite Materials (ECCM21).
[10] Motra, H.B., Hildebrand, J., Dimmig-Osburg, A., 2014, Assessment of Strain Measurement Techniques to Characterise Mechanical Properties of Structural Steel, Engineering Science and Technology, an International Journal, 17: 260-269.
[11] Hajy Akbary, F., Santofimia, M.J., Sietsma, J., 2014, Elastic Strain Measurement of Miniature Tensile Specimens, Experimental Mechanics, 54: 165-173.
[12] Chen, Z., Bong, H.J., Li, D., Wagoner, R.H., 2016, The Elastic-Plastic Transition of Metals, International Journal of Plasticity, 83: 178-201.
[13] Mucsi, A., 2013, Analysis of Stress Distribution in Tensile Test Specimens Using Modified Versions of a Novel Gripping System, Universal Journal of Mechanical Engineering, 1: 109-113.
[14] Anonymous, MatWeb: Material Property Data, www.matweb.com, diakses: 2 Oktober 2026.
[15] Guldeniz, O., Cheung, K.M.C., 2026, Surface Selection at the Gripping Interface for Tensile Testing per ASTM F2516 Affects the Pseudoelastic Stress-Strain Response of Nitinol, Next Materials, 13: 102963.