

Pengaruh Sudut Die Penarikan Kawat Baja AISI 1006 dengan Menggunakan *Finite Element Method*

Destri Muliastri*, Prayoga Lesmana, Devi Eka Septiyani

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung

Jalan Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat 40559

*E-mail: destri.muliastri@polban.ac.id

Diajukan: 15-02-2022; Diterima: 19-08-2022; Diterbitkan: 22-08-2022

Abstrak

Pembuatan kawat umumnya termasuk dalam pengerjaan dingin atau *coldworking* yang berarti proses pengerjaan dilakukan dibawah suhu rekristalisasi dari logam tersebut, pengerjaan dingin akan mempengaruhi sifat mekanik diantaranya kekerasan, kekuatan dan keuletan. *Wire drawing* mampu menunjukkan perubahan sifat mekanik tersebut dan parameter yang mempengaruhi ialah sudut cetakan atau *die*, temperatur, pelumas dan juga persentase reduksi. Metode dari penelitian ini ialah membandingkan hasil simulasi pada *software Ansys Workbench 19.0* dan hasil perhitungan dengan teori yang sudah ada, dengan tujuan mengetahui pengaruh dari variasi sudut *die* terhadap nilai tegangan alir dan gaya penarikan. Dalam penelitian ini material *wire* yang digunakan ialah baja AISI 1006 ditarik melalui beberapa variasi sudut die 12°, 14° dan 16°, dengan koefisien gesek 0,03 untuk persentase reduksi kawat 17,36%. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah rata-rata tegangan alir dan gaya penarikan. Persentase perbedaan hasil simulasi dan teoritis dari rata-rata tegangan alir dan gaya penarikan memiliki rata-rata sebesar secara berurutan 0,95% dan 5,31 %, dengan nilai tegangan alir terbesar 141,81 Mpa dan gaya penarikan terbesar 502,63 N .

Kata kunci: Baja AISI 1006; Finite Element Method; Sudut die; Wire Drawing

Abstract

Wire making is generally included in cold working or cold working which means the working process is carried out below the recrystallization temperature of the metal, cold working will affect the mechanical properties including hardness, strength, and ductility. Wire drawing can show the changes in the mechanical properties and the influencing parameters are the angle of the mold or die, temperature, lubricant, and also the percentage of reduction. The method of this research is to compare the simulation results on the Ansys Workbench 19.0 software and the calculation results with existing theories, to know the effect of variations in die angle on the value of flow stress and withdrawal force. In this study, the wire material used was AISI 1006 steel pulled through several variations of 12°, 14°, and 16° die angles, with a coefficient of friction of 0.03 for each wire reduction percentage of 17.36%. The results obtained from this study are the average flow stress and withdrawal force. The percentage difference between the simulation and theoretical results from the average flow stress and draw force has an average of 0.95% and 5.31%, respectively, with the largest flow stress value of 141,81 Mpa and the largest tensile force of 502.63 N.

Keywords: Steel AISI 1006; Finite Element Method, Die angle, Wire Drawing

1. Pendahuluan

Seiring semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan permintaan pasar terhadap suatu produk yang memiliki nilai kualitas tinggi mendorong khususnya industri manufaktur untuk dapat menciptakan produk yang berkualitas dan mempunyai *cost of production* yang seminimal mungkin. Pembentukan logam (*metal forming*) masuk dalam kategori kelompok besar dalam proses manufaktur tak terkecuali kawat yang sering digunakan dalam bidang pemesinan, konstruksi dan berbagai bidang yang lainnya. *Wire drawing* termasuk dalam proses pembentukan logam dibawah suhu rekristalisasi untuk mengurangi luas penampang tanpa mengurangi massa dan volume. Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi hasil akhir dari penarikan kawat diantaranya ialah persentase reduksi dan sudut *approach die*, hal tersebut akan berdampak pada kualitas kawat yang berhubungan dengan sifat mekanik [1]. Sifat mekanik suatu material dapat diketahui berdasarkan nilai rata-rata tegangan alir dan gaya penarikan, besarnya tegangan berkaitan dengan besarnya luas permukaan yang bersentuhan antara kawat dan die [2].

Penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yaitu menganalisa Pengaruh Persentase Reduksi Terhadap Tegangan Alir, Regangan dan Gaya Penarikan Kawat Baja AISI 1006 dengan Finite Element Method, dalam penelitian yang telah dilakukan yaitu mengulas tentang pengaruh persentase reduksi terhadap sifat mekanis kawat setelah proses wire drawing yang dilakukan secara simulasi menggunakan software ANSYS WORKBENCH 19.0 dan dibandingkan dengan perhitungan secara teoritis. Material dies yang digunakan adalah PCD (*Polycrystalline Diamond*) dan material kawat AISI 1006, Hasil penelitian yang diperoleh adalah semakin besar persentase selisih reduksi penarikan kawat maka gaya yang dibutuhkan semakin besar, persentase perbedaan hasil perhitungan secara teoritis & simulasi adalah 2,34% [3].

Penelitian yang telah dilakukan [4], melakukan analisis pengaruh pelumas terhadap tegangan alir dan Gaya Penarikan, hasil penelitian yang diperoleh adalah semakin kecil koefisien gesek pada pelumas maka rata-rata tegangan alir akan semakin besar, persentasi perhitungan secara teoritis dan simulasi sebesar 2,45%, untuk pengaruh pelumasan terhadap gaya penarikan kawat diperoleh persentase sebesar 23,25%.

Pada Penelitian ini, dilakukan proses penarikan kawat dengan menggunakan parameter sudut dies yang berberda dari penelitian sebelumnya yang hanya menggunakan sudut 12 °. Sudut dies yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 12 °, 14° dan 16 °. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh sudut dies terhadap penarikan kawat AISI 1006 dengan menggunakan Finite Element Method, sehingga dalam proses manufaktur kawat dapat mengurangi terjadinya cacat.

2. Material dan Metodologi

2.1 BAJA AISI 1006

Baja AISI 1006 termasuk klasifikasi baja karbon rendah (*hypoeutectoid*) sesuai dengan kandungan karbon yang menunjukkan nilai 0,06% [5]. Berikut merupakan tabel komposisi unsur dan sifat mekanis AISI 1006 :

Tabel 1. Komposisi AISI 1006

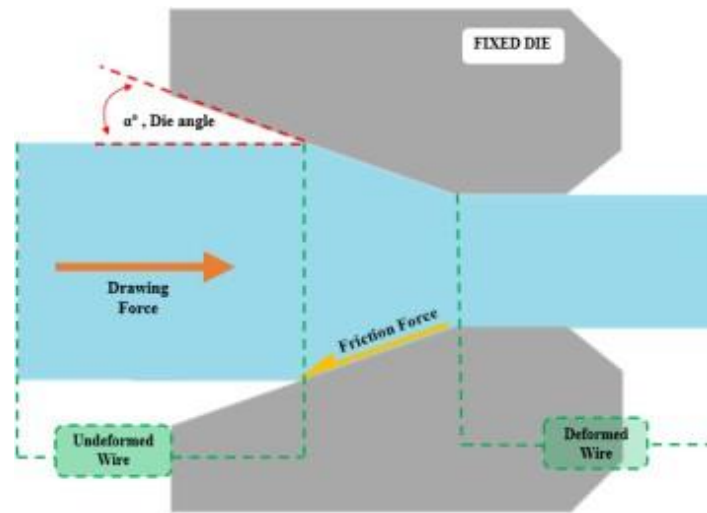
No.	Unsur	Komposisi
1.	Karbon (C)	0,06 %
2.	Silisium (Si)	0,05 %
3.	Mangan (Mn)	0,49 %
4.	Posfor (P)	0,01 %
5.	Belerang (S)	0,016 %
6.	C eq	0,15 %

Tabel 2. Sifat mekanis AISI 1006 [6]

No.	Sifat Mekanik	Metric
1.	Density	7,872 g/cc
2.	Hardness Vickers	98 VHN
3.	Kekuatan Tarik Maksimum	330 MPa
4.	Kekuatan Luluh	285 MPa
5.	Elongation	20 %
6.	Reduction Area	45 %

2.2 Wire Drawing

Pada saat proses wire drawing berlangsung batang rod akan terdeformasi plastis sesuai bentukan die, hal ini disebabkan adanya gaya reaksi yang ditimbulkan oleh permukaan die yang bersentuhan dengan batang rod dan juga karakteristik material dari batang rod maupun die [7]



Gambar 1. Ilustrasi proses wire drawing

Terdapat beberapa faktor utama yang mempengaruhi kerja pada proses penarikan kawat sehingga berdampak pada hasil keluaran kawat, faktor tersebut diantaranya adalah presentase reduksi, sudut die, dan pelumas [4]

2.3 Persentase Reduksi

Persentase reduksi merupakan besarnya rasio pengurangan dimensi initial wire dan output wire. Faktor ini berdampak pada sifat mekanik kawat semakin besar persentase reduksi maka akan menyebabkan nilai kekerasan kawat semakin tinggi, berikut persamaan yang dapat digunakan:

$$\%R = 1 - \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \times 100 \% \quad (1)$$

%R yaitu Persentase Rasio reduksi, d_1 Diameter akhir dan d_2 diameter awal dalam satuan mm [7]

2.4 Sudut Die

Sudut die memiliki fungsi untuk menentukan zona deformasi yang akan berdampak terhadap tegangan Tarik regangan kawat, Dalam perhitungan teoritis wire drawing sudut die diindikasikan sebagai varial B bersanding dengan koefisien gesek yang terjadi untuk proses wire drawing, dapat dilihat pada persamaan dibawah ini [8]:

$$B = \frac{\mu}{\tan \alpha} \quad (2)$$

μ menyatakan Koefisien gesek dan α yaitu *semi-angle die*

Salah satu indikasi die optimum dapat dilihat dari nilai delta factor yaitu rasio membentang sepanjang titik tengah dari die terhadap panjang kontak antara kawat dan die, dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\Delta = \frac{\alpha}{r} [1 + (1 - r)^{0.5}]^2 \quad (3)$$

$$\phi = \frac{\Delta}{6} + 1 \quad (4)$$

Δ yaitu delta faktor, r Rasio reduksi, ϕ yaitu *Redundant factor* [8]

2.5 Tegangan Alir

Tegangan alir merupakan sifat sebuah material untuk mempertahankan kondisi bentuknya. Nilai rata-rata tegangan alir dapat diketahui dengan persamaan berikut :

$$\sigma_0 = \frac{K \cdot \epsilon^n}{n+1} \quad (5)$$

σ_0 yaitu Rata-rata tegangan alir, K yaitu Koefisien Kekuatan (N/mm^2) dan n merupakan Eksponen pengerasan regang dan ϵ adalah Regangan Aktual,

Deformasi yang terjadi pada wire drawing adalah deformasi tak seragam, sehingga persamaan tegangan penarikan kawat dengan adanya gaya gesek dan *redundant work* dapat menggunakan persamaan berikut [4] :

$$\sigma_a = \sigma_0 \ln \left(\frac{A_1}{A_0} \right) (1 + B)\phi \quad (6)$$

$\sigma_a = \text{Effective Stress}$, $A_1 = \text{Luas Penampang Akhir (mm)}$, $A_0 = \text{Luas Penampang Awal (mm)}$. $\Phi = \text{Redundant work factor}$

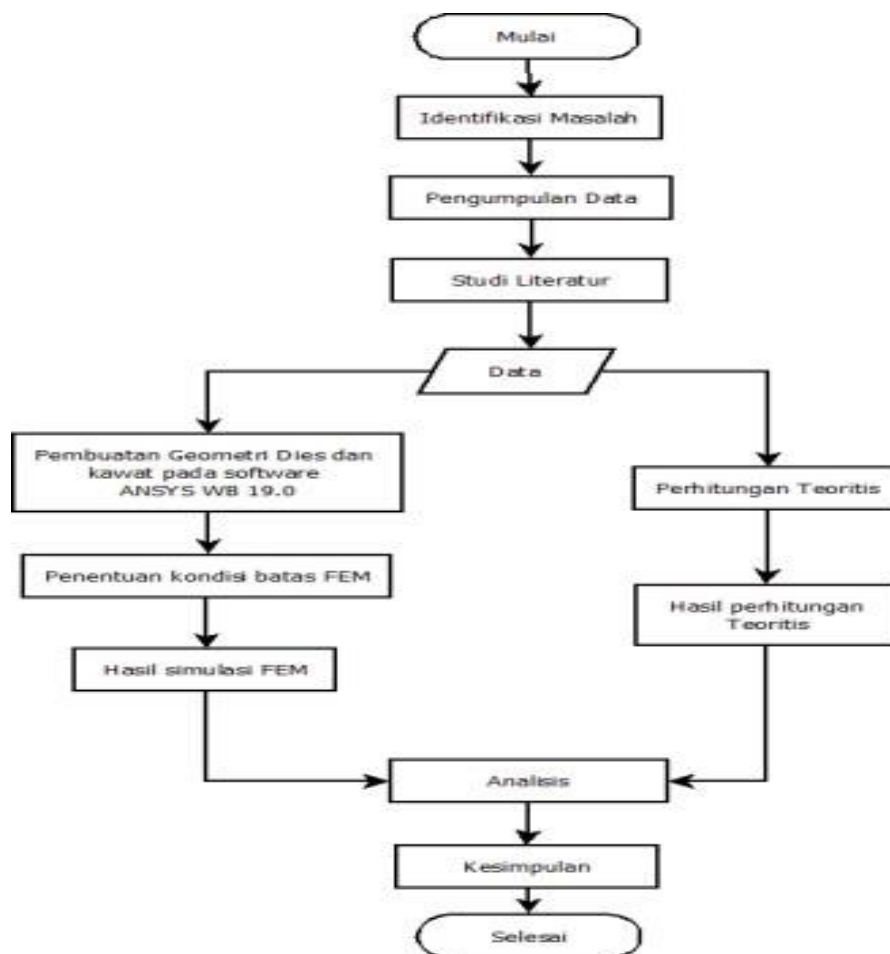
2.6 Gaya Penarikan

Persamaan yang dapat digunakan dalam perhitungan gaya penarikan adalah sebagai berikut :

$$F = A_1 \sigma_0 \left(1 + \frac{\mu}{\tan \alpha} \right) \phi \cdot \ln \frac{A_0}{A_1} \quad (7)$$

2.7 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini ada metode analisis teoritis dan simulasi menggunakan Finite Element Methode (FEM) 2D Axisymmetric pada Ansys Workbench 19.0.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Pembuatan Geometri

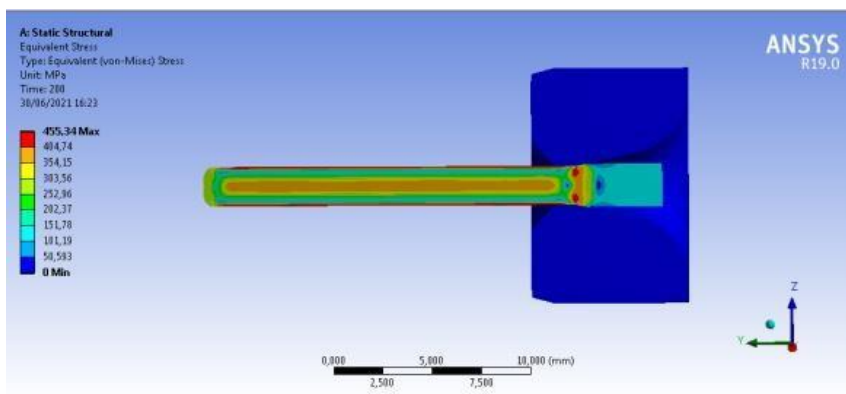
Pembuatan die dan kawat dilakukan dengan skema 2D pada design modeler, dan karena penggunaan sudut die dan initial kawat yang berbeda maka digunakan metode parametric sehingga cukup dengan input data parameter yang berubah untuk simulasi berikutnya.

3.2 Penentuan Kondisi Batas

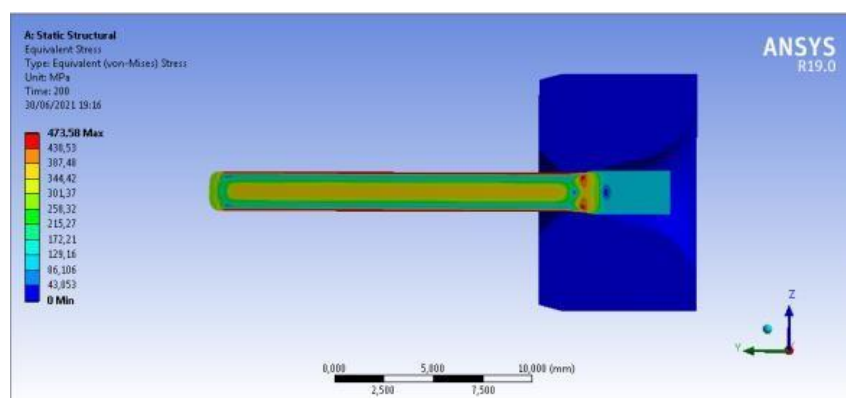
Kontak antara kawat dengan die adalah kontak gesek dengan salah satu geometri bergerak, dalam hal ini target ditunjukkan untuk bagian yang bergerak yaitu kawat, dan kontak untuk dies. Die diharapkan tidak mengalami deformasi dan tidak mengalami perpindahan maupun pergeseran, sehingga seluruh bagian die diberi kondisi fixed support, untuk kondisi kawat diberi displacement ke arah sumbu Y sampai melewati die. Dalam penentuan kondisi batas juga ditentukan nilai koefisien gesek sebesar 0,03 [9]

3.3 Hasil Simulasi FEM

Gambar 3 menunjukkan hasil simulasi pada sudut dies 12° , dapat dilihat nilai tegangan maksimum dan tegangan minimum yang terjadi selama proses wire drawing, tegangan maksimum yang diterima oleh kawat sebesar 455,34 MPa. Berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat bahwa kawat mengalami deformasi elastis hingga ke deformasi plastis, dies tetap pada bentuknya, tidak mengalami perubahan.

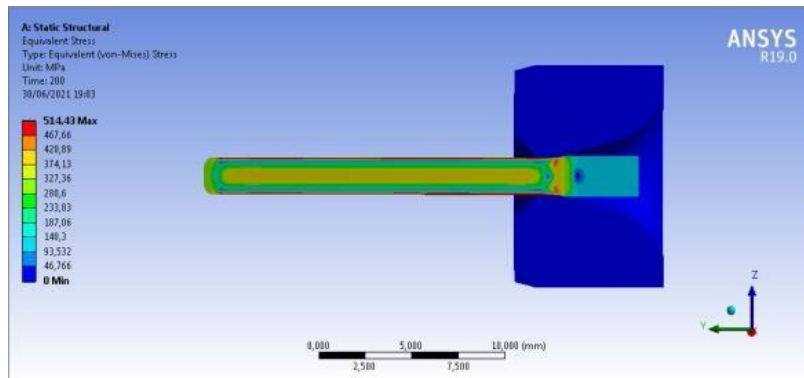


Gambar 3. Equivalent Stress Sudut 12°



Gambar 4. Equivalent Stress Sudut 14°

Gambar 4 merupakan hasil *equivalent Stress* pada sudut dies 14° , *equivalent stress* atau biasa disebut dengan *Von mises* [10]. Tegangan maksimum yang diperoleh dari hasil simulasi proses penarikan kawat dengan sudut dies 14° yaitu 473,58 Mpa. Ketika Kawat mengalami penarikan secara terus menerus, maka kawat akan mengalami deformasi dan seiring dengan hal tersebut maka kawat akan mencapai nilai tegangan alir yang maksimum [11]



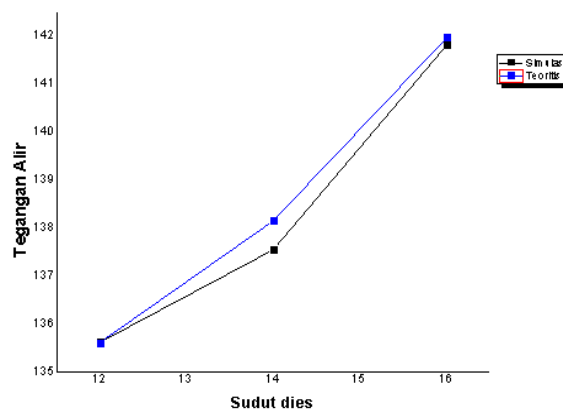
Gambar 5. Equivalent Stress Sudut 16°

Pada gambar diatas, merepresentasikan *equivalent stress* yang terjadi pada kawat saat proses wire drawing dengan persentase reduksi 17,36 % pada sudut die 16° . Dalam Gambar 5 juga dapat dilihat nilai tegangan maksimum dan tegangan minimum yang terjadi selama proses wire drawing, tegangan maksimum yang diterima oleh kawat sebesar 514,43 Mpa.

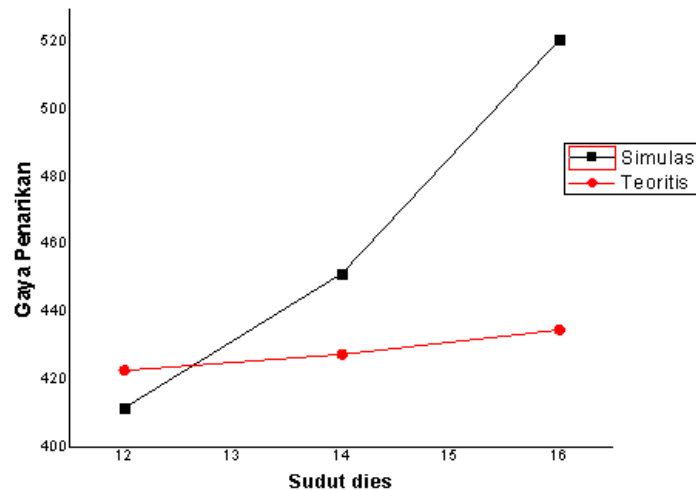
Simulasi dilakukan 3 kali untuk setiap rasio reduksi dengan variasi sudut dies 12° , 14° dan 16° . Hasil simulasi nilai tegangan yang ditampilkan ialah σ_a dan untuk gaya penarikan dilambangkan dengan F, hasil simulasi dan perhitungan teoritis dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut :

Tabel 3. Hasil Rata – Rata Tegangan Alir dan Gaya Penarikan

Sudut Approach	Rata-Rata Tegangan Alir (MPa)		Gaya Penarikan (N)	
	Simulasi	Teoritis	Simulasi	Teoritis
12°	135,62	134,62	411,65	422,701
14°	137,55	136,14	451,45	427,474
16°	141,81	138,43	502,63	434,689



Gambar 6. Grafik perbandingan pengaruh sudut die terhadap rata-rata tegangan alir secara simulasi dan teoritis



Gambar 7. Grafik perbandingan pengaruh sudut die terhadap gaya penarikan secara simulasi dan teoritis

Gambar 6 dan 7 merupakan grafik perbandingan pengaruh sudut die terhadap Tegangan Alir dan Gaya Penarikan yang di analisa secara simulasi dan teoritis. Dari hasil diatas persentase perbedaan simulasi dan perhitungan teoritis untuk nilai tegangan alir sebesar 0,95 dan nilai gaya penarikan sebesar 5,31%. Hal tersebut dikarenakan pada software Ansys Workbench 19.0 tidak ada pendefinisian Koefisien Kekuatan (K) dan nilai eksponen regangan (n) dari material itu sendiri dalam hal ini yaitu AISI 1006 yang mempunyai sifat non-linear untuk di masukan dalam simulasi pada software [12] Semakin besar sudut die dan persentase reduksi semakin besar pula perbedaan. Hal itu disebabkan karena semakin besar sudut die deformasi yang terjadi lebih tidak seragam atau non-uniform deformation.[13]

Kawat yang melewati die akan terdeformasi ketika mulai kontak dengan sudut approach die atau bagian bell. Kawat mengalami pertambahan panjang sebanding dengan nilai tegangan dan regangan sehingga penggunaan material dalam simulasi yaitu non – linear. Non-uniform deformation terjadi karena ada perubahan arah tegangan secara signifikan secara terus-menerus sampai melewati batas *Ultimate Tensile Strength* dari material.[14]

Pada proses pengecilan kawat dengan beberapa tahapan, kawat baja akan mengalami fenomena strain hardening atau pengerasan regang yang diakibatkan oleh gaya yang diterima oleh permukaan kawat secara berulang,. Strain hardening akan terjadi pada tahap pengecilan pertama sampai seterusnya, yang akan mengakibatkan kekerasan dan kekuatan kawat bertambah tetapi keuletan menurun yang diakibatkan dislokasi dari atom. [6]. Ketika gaya yang diterima kawat lebih besar dari pada tegangan luluhnya maka atom yang sudah bergeser akan sulit untuk kembali ke posisi semula, sehingga akan menyebabkan deformasi permanen. Struktur atom pada fenomena strain hardening akan mengalami dislokasi dan pertambahan panjang seiring terjadinya regangan plastis yang semakin bertambah. Dislokasi pada atom berarti terjadinya suatu pergeseran atom ke posisi yang baru, atom tersebut juga tidak jarang akan berpindah pada jalur atom lain dan akan saling menutupi. Dalam posisi seperti ini berarti suatu dislokasi atom akan menghambat dislokasi lanjutan, sehingga akan dibutuhkan energi yang relatif lebih besar untuk melakukan dislokasi lanjutan [15]

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi menggunakan software Ansys W.B 19.0 dan perhitungan secara teoritis penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Pengaruh sudut die penarikan kawat terhadap rata-rata tegangan alir ialah semakin besar sudut die semakin besar juga nilai tegangan alir yang terjadi. Pengaruh sudut die penarikan kawat terhadap gaya penarikan

menunjukkan semakin besar sudut die maka nilai gaya penarikan semakin besar, dengan total rata-rata persentase perbedaan simulasi dan perhitungan teoritis untuk pengaruh persentase pengaruh sudut die sebesar 3,13%.

Daftar Pustaka

- [1] Alfian Wijaya, Sheila Tobing dan Hadi Sutanto, “Optimasi Sudut Die, Rasio Reduksi, dan Panjang Bearing terhadap Tegangan Penarikan Kawat Aluminium dengan Finite Element Method” : Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya..
- [2] S. Sutjipto, J. T. Mesin, and P. N. Bandung, “Bahan Ajar Material – Teknik Standar- Pembelajaran Minimal,” 2015.
- [3] F. Fauziyah, Tugas Akhir “Pengaruh Persentase Reduksi Terhadap Tegangan Alir, Regangan dan Gaya Penarikan Kawat Baja AISI 1006 dengan Finite Element Method” : Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung , 2020
- [4] D. Muliastri, D. Eka Septyani, and P. Lesmana, “Pengaruh Pelumas Terhadap Tegangan Alir Dan Gaya Penarikan Kawat Aisi 1006 Menggunakan Metode Fem,” *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 13, no. 02, pp. 51–59, 2021, doi: 10.33504/manutech.v13i02.158.
- [5] W. D. Callister and J. Wiley, *Materials science*, vol. 79, no. SUPPL. 2002.
- [6] C.J. Luis, et al. “Comparison between Finite Element Method and Analytical methods for Studying Wire Drawing Processes.” *Journal of Material Processing Technology*, 2005.
- [7] D. Muliastri, S. Sutjipto, and F. Fauziah, “Percentage reduction analysis of flow stress of steel AISI 1006 by finite element method,” *4Th Int. Conf. Mater. Metall. Eng. Technol. 2020*, vol. 2384, no. December, p. 060003, 2021, doi: 10.1063/5.0071545.
- [8] M. C. Ruiz, J. Verde, A. Andrés, J. Viguri, and A. Irabien, “Environmental assessment of lubricants before and after wire drawing process,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 85, no. 3, pp. 181–191, 2001, doi: 10.1016/S0304-3894(01)00227-8.
- [9] M. Firman, M. Darsin, and H. Arbiantara B., “Analisis Kekuatan Tarik Dan Kekasaran Kawat Tembaga Hasil Drawing Akibat Variasi Persentase Reduksi,” *Rotor*, vol. 6, no. 1, pp. 50-55–55, 2013.
- [10] W. D. Callister and D. G. Rethwisch, *Fundamentals of materials science and engineering : an integrated approach LK - <https://tudelft.on.worldcat.org/oclc/798982985>*. 2012.
- [11] Roger N. Wright. *Wire Technology: Process Engineering and Metallurgy*, Elsevier Inc, 2011
- [12] S. M. Byon, S. J. Lee, D. W. Lee, Y. H. Lee, and Y. Lee, “Effect of coating material and lubricant on forming force and surface defects in wire drawing process,” *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.)*, vol. 21, no. SUPPL. 1, pp. s104–s110, 2011, doi: 10.1016/S1003-6326(11)61071-6.
- [13] P. Tornar, R. K. Pandey, and Y. Nath, “Numerical simulation of friction stress in wire drawing produced by direct extrusion process in presence of lubricant starvation,” *Procedia Eng.*, vol. 64, pp. 1320–1328, 2013, doi: 10.1016/j.proeng.2013.09.213.
- [14] M. T. Hillery and V. J. McCabe, “precessh g Materials Wire drawing at elevated temperatures using different die materials and lubricants IAVometer I Pyrometer l ~] k , k . a .. ~ N ,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 55, pp. 53–57, 1995.
- [15] O. R. Adetunji, D. Ph, S. I. Kuye, D. Ph, M. J. Alao, and B. Eng, “Microstructures of Mild Steel Spring after Heat Treatment . Microstructures of Mild Steel Spring after Heat Treatment .,” vol. 14, no. February, pp. 11–15, 2015.