

PENGARUH VARIASI KECEPATAN PUTARAN MOTOR (RPM) PADA PROSES WIRE DRAWING TERHADAP SIFAT MEKANIK KAWAT TI-6AL-4V DENGAN PELUMASAN OLI.

Afrilman Tri Wahyudi¹, Iqbal, S.T, M.T.²

¹Afrilman Tri Wahyudi Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta

Email : triwahyudiafrilman@gmail.com

²Iqbal, S.T., M.T Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta

Email : iqbalbatuah@bunghatta.ac.id

ABSTRAK

Proses wire drawing merupakan metode manufaktur yang digunakan untuk mengurangi diameter kawat dengan menariknya melalui cetakan (dies). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan putaran motor wire drawing terhadap sifat mekanik kawat Ti-6Al-4V dengan pelumasan oli. Variabel kecepatan putaran motor yang digunakan adalah 1044 rpm dan 1350 rpm. Parameter yang dianalisis mencakup tegangan tarik maksimum, regangan, modulus elastisitas, dan kekerasan micro-Vickers. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putaran motor wire drawing menyebabkan peningkatan tegangan tarik maksimum dan modulus elastisitas, sedangkan nilai regangan cenderung menurun. Selain itu, kekerasan micro-Vickers mengalami sedikit peningkatan seiring dengan penurunan diameter kawat akibat proses wire drawing. Penggunaan pelumasan oli membantu mengurangi gesekan antara kawat dan dies, sehingga meningkatkan kualitas permukaan kawat yang dihasilkan. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan wawasan mengenai optimasi parameter wire drawing untuk meningkatkan sifat mekanik kawat Ti-6Al-4V yang banyak digunakan dalam industri penerbangan, medis, dan manufaktur presisi tinggi.

Kata Kunci: Wire drawing, Ti-6Al-4V, kecepatan putaran motor, sifat mekanik, pelumasan oli.

ABSTRACT

The wire drawing process is a manufacturing method used to reduce the diameter of a wire by pulling it through a die. This study aims to analyze the effect of variations in the rotational speed of the wire drawing motor on the mechanical properties of Ti-6Al-4V wire with oil lubrication. The motor rotational speed variables used were 1044 rpm and 1350 rpm. The parameters analyzed included maximum tensile stress, strain, elastic modulus, and micro-Vickers hardness. The results showed that increasing the rotational speed of the wire drawing motor caused an increase in maximum tensile stress and elastic modulus, while the strain value tended to decrease. In addition, the micro-Vickers hardness increased slightly along with the decrease in wire diameter due to the wire drawing process. The use of oil lubrication helps reduce friction between the wire and the dies, thereby improving the surface quality of the resulting wire. Overall, this study provides insight into the optimization of wire drawing parameters to improve the mechanical properties of Ti-6Al-4V wire which is widely used in the aviation, medical, and high-precision manufacturing industries.

Keywords: Wire drawing, Ti-6Al-4V, motor rotation speed, mechanical properties, oil lubrication.

PENDAHULUAN

Pengujian sifat mekanik suatu material merupakan langkah penting dalam memahami karakteristik dan kinerjanya dalam berbagai aplikasi teknik. Salah satu material yang sering digunakan dalam industri teknik dan manufaktur adalah paduan titanium Ti-6Al-4V. Material ini memiliki kombinasi unik antara kekuatan tinggi, ketahanan korosi yang baik, serta berat yang relatif ringan, sehingga banyak diaplikasikan dalam industri kedirgantaraan, medis, dan otomotif (Agung, 2009). Selain itu, paduan ini dikenal memiliki ketahanan yang baik pada suhu tinggi serta keuletan yang cukup tinggi dibandingkan material lain dalam kelasnya (Pu dkk., 2021). Proses wire drawing merupakan salah satu metode manufaktur yang umum digunakan untuk membentuk kawat dengan dimensi tertentu melalui penarikan melewati cetakan (dies). Dalam material seperti Ti-6Al-4V, proses ini menjadi sangat penting karena dapat mempengaruhi sifat mekanik seperti kekuatan tarik, regangan, dan kekerasan kawat (Luis dkk., 2005). Faktor utama dalam proses wire drawing yang mempengaruhi hasil akhir adalah kecepatan putaran motor (RPM) dan jenis pelumasan yang digunakan selama proses penarikan kawat (M.S. Alam dkk., 2023).

Kecepatan putaran motor berperan dalam menentukan tingkat deformasi plastis pada kawat selama wire drawing. Menurut penelitian Liu dkk. (2018), kecepatan putaran motor yang lebih tinggi dapat meningkatkan laju deformasi dan mengubah struktur mikro material, yang berdampak pada peningkatan kekuatan tarik. Namun, jika kecepatan terlalu tinggi, dapat menyebabkan perubahan sifat mekanik yang tidak diinginkan, seperti penurunan keuletan atau peningkatan tegangan sisa (Yamaoka dkk., 2019). Selain itu, penelitian A.B. Chandra dkk. (2020) menunjukkan bahwa kecepatan putaran motor yang lebih tinggi berpengaruh terhadap peningkatan suhu kawat selama penarikan, yang dapat mempengaruhi kekerasan akhir material. Selain kecepatan putaran motor, pelumasan memainkan peran penting dalam mengurangi gesekan antara kawat dan cetakan (dies), yang berdampak pada kehalusan permukaan serta ketahanan aus material (Assyakirin Azzim dkk., 2023). Penggunaan pelumas yang tepat, seperti oli, dapat meningkatkan efisiensi proses dan menjaga kualitas material yang dihasilkan. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana variasi kecepatan putaran motor dalam wire drawing dengan pelumasan oli dapat mempengaruhi sifat mekanik kawat Ti-6Al-4V.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan putaran motor dalam proses wire drawing terhadap sifat mekanik kawat Ti-6Al-4V dengan pelumasan oli. Parameter yang diuji meliputi tegangan tarik maksimum, regangan, modulus elastisitas, dan kekerasan micro-Vickers.

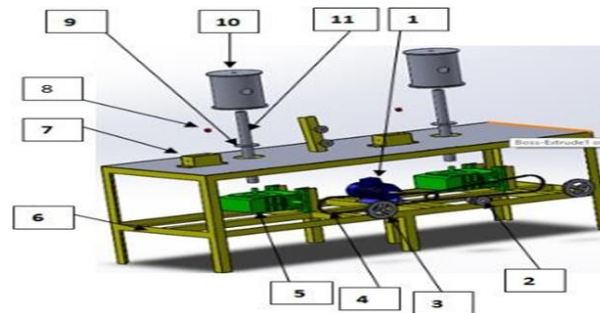
Menurut penelitian Liu dkk. (2018), metode eksperimen dengan pendekatan laboratorium efektif dalam mengamati perubahan sifat mekanik material akibat deformasi plastis. Selain itu, penelitian Yamaoka dkk. (2019) menyatakan bahwa pengujian sifat mekanik kawat setelah proses wire drawing dapat memberikan gambaran mengenai perubahan kekuatan material akibat reduksi diameter. **Bahan dan Alat Penelitian**

1. Bahan yang Digunakan:

- Kawat Ti-6Al-4V dengan diameter awal 2,1 mm (Pu dkk., 2021).
- Pelumas oli, digunakan untuk mengurangi gesekan selama proses wire drawing (Assyakirin Azzim dkk., 2023).

2. Alat yang Digunakan:

- **Mesin wire drawing**, digunakan untuk proses reduksi diameter kawat dengan kecepatan putaran motor 1044 rpm dan 1350 rpm (A.B. Chandra dkk., 2020).



Gambar 1. Mesin wire drawing.

- **Mesin uji tarik (Universal Testing Machine HT-2404)**, digunakan untuk mengukur kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas (Longhitano dkk., 2018).



Gambar 2. Mesin uji tarik (Universal Testing Machine HT-2404).

- **Mesin uji tarik (Universal Testing Machine HT-2404)**, digunakan untuk mengukur kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas (Longhitano dkk., 2018).



Gambar 3. Mesin uji kekerasan micro-Vickers.

- **Jangka sorong**, digunakan untuk mengukur diameter kawat sebelum dan sesudah wire drawing (Kalpakjian, S., dkk., 2023).



Gambar 4. Jangka sorong.

- **Stopwatch**, digunakan untuk mengukur waktu proses penarikan kawat (Nurul Izzati dkk., 2021).



Gambar 5. Stopwatch.

Prosedur Penelitian :

1. Proses Wire Drawing

- Kawat Ti-6Al-4V dipotong dengan panjang rata-rata 62 cm.
- Guna memastikan data akurat, hitung kembali sampel kawat sesudah dilakukan pemotongan kawat.
- Kawat dikencangkan pada drum penggulung mesin wire drawing.
- Mesin wire drawing dijalankan dengan kecepatan putaran motor 1044 rpm dan 1350 rpm.
- Kawat ditarik melalui dies berbahan tungsten carbide dengan variasi diameter akhir 2,0 mm, 1,9 mm, dan 1,8 mm (Rivaly dkk., 2022).
- Ukuran kawat setelah wire drawing diukur menggunakan jangka sorong.

2. Pengujian Tarik (Tensile Test)

- Sampel kawat yang telah mengalami proses wire drawing dipotong dan diberi label.
- Sampel dipasang pada mesin uji tarik HT-2404.
- Uji tarik dilakukan dengan kecepatan konstan hingga kawat putus.
- Data tegangan tarik maksimum, regangan, dan modulus elastisitas dicatat (Rivaly dkk., 2022).

3. Pengujian Kekerasan Micro-Vickers

- Sampel kawat dipotong menjadi bagian kecil (sekitar 10-20 mm).
- Sampel dipasang dalam resin epoksi untuk stabilisasi selama pengujian.
- Permukaan sampel dipoles hingga halus menggunakan kertas amplas bertingkat (240 - 1200 grit).
- Uji kekerasan dilakukan dengan mesin micro-Vickers menggunakan beban 2000 gf pada beberapa titik pengukuran (ASTM E384, 2020).
- Nilai kekerasan rata-rata dihitung dan dianalisis.

Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis secara kuantitatif menggunakan perhitungan statistik dan dibandingkan dengan literatur sebelumnya (Singh dkk., 2017).

Hasil uji tarik dianalisis menggunakan rumus:

- Tegangan tarik maksimum (σ):

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$$

Di mana **F** adalah gaya maksimum (N) dan **A** adalah luas penampang kawat (mm^2).

- Regangan (ϵ):

$$\epsilon = \frac{\delta}{L_{awal}} \cdot 100\%$$

Di mana ΔL adalah pertambahan panjang (mm) dan L_0 adalah panjang awal kawat (mm).

- Modulus elastisitas (E):

$$E = \frac{\sigma_{max}}{\epsilon}$$

Hubungan antara nilai tegangan tarik maksimum dan regangan

- a) Hasil uji kekerasan micro-Vickers dihitung menggunakan rumus:

$$HV = \frac{1.8544 \times F}{d^2}$$

Di mana F adalah beban (gf) dan d adalah panjang diagonal jejak indentasi (μm).

- b) Hasil dibandingkan antara sampel yang mengalami wire drawing pada 1044 rpm dan 1350 rpm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

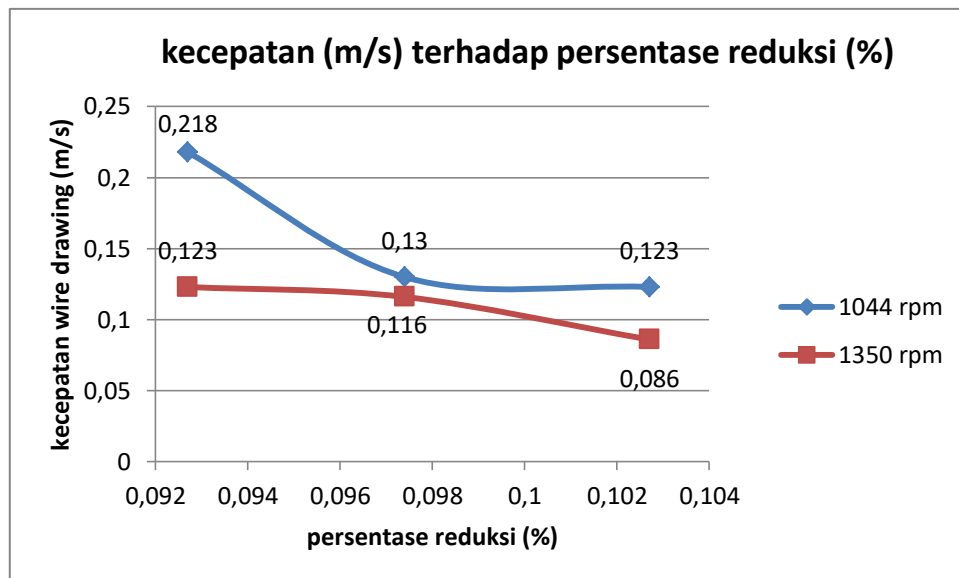
Hasil Pengujian Wire Drawing

Proses wire drawing dilakukan dengan dua variasi kecepatan putaran motor, yaitu 1044 rpm dan 1350 rpm. Berdasarkan penelitian Liu dkk. (2018), kecepatan putaran motor yang lebih tinggi dapat meningkatkan deformasi plastis pada kawat, yang berpengaruh terhadap sifat mekaniknya. Pada penelitian ini, reduksi diameter yang terjadi menunjukkan adanya peningkatan densitas dislokasi akibat tarikan yang lebih besar pada kawat dengan kecepatan putaran lebih tinggi (Yamaoka dkk., 2019).

Tabel 1. perbandingan kecepatan terhadap persentase reduksi proses wire drawing

No	Putaran motor	V_{keluar} (m/s)	Persentase reduksi (%)
1	1044 rpm	0,218	0,0927
		0,130	0,0974
		0,123	0,1027
2	1350 rpm	0,123	0,0927
		0,116	0,0974
		0,086	0,1027

Grafik kecepatan penarikan terhadap persentase reduksi



Hasil pengukuran menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan putaran motor, semakin besar reduksi diameter kawat. Data ini sesuai dengan penelitian A.B. Chandra dkk. (2020) yang menyatakan bahwa peningkatan kecepatan putaran motor dapat meningkatkan deformasi dan memperkecil diameter akhir kawat.

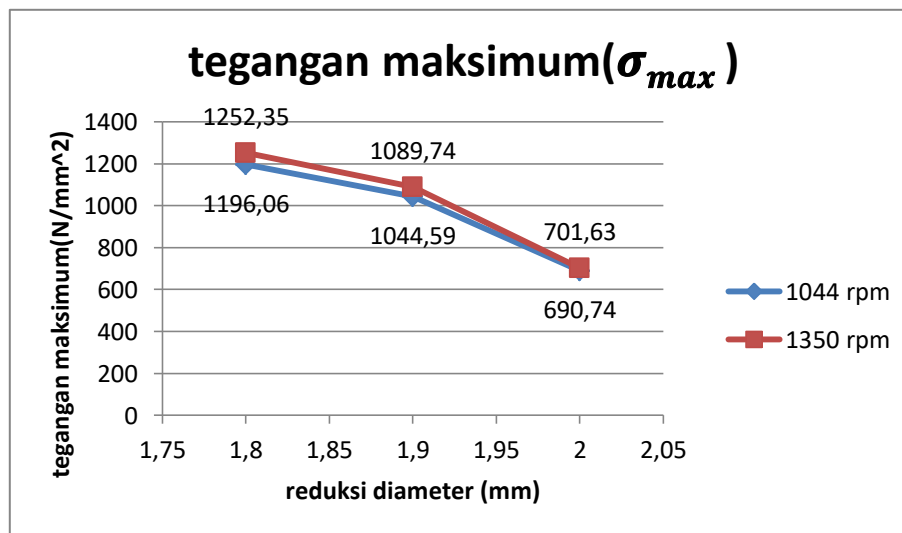
Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui tegangan tarik maksimum, regangan, dan modulus elastisitas kawat Ti-6Al-4V setelah wire drawing. Berdasarkan penelitian Kalpakjian, S. dkk. (2023), material yang mengalami deformasi plastis dalam wire drawing akan mengalami peningkatan tegangan tarik maksimum akibat perubahan struktur mikro dan peningkatan densitas dislokasi.

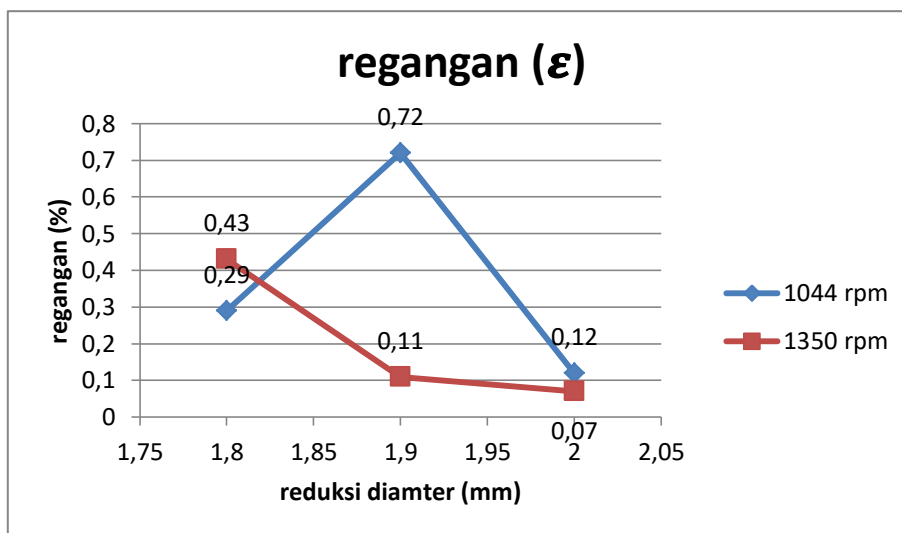
Tabel 2. pengujian proses uji tarik

No	Putaran motor	Reduksi (mm)	σ_{max} (N/mm ²)	ϵ (%)	E (N/mm ²)
1	1044 rpm	2,0	690,74	0,12	5793,27
		1,9	1044,59	0,72	1447,94
		1,8	1196,06	0,29	4177,4
2	1350 rpm	2,0	701,63	0,07	10702,9
		1,9	1089,74	0,11	9729,82
		1,8	1252,35	0,43	2908,69

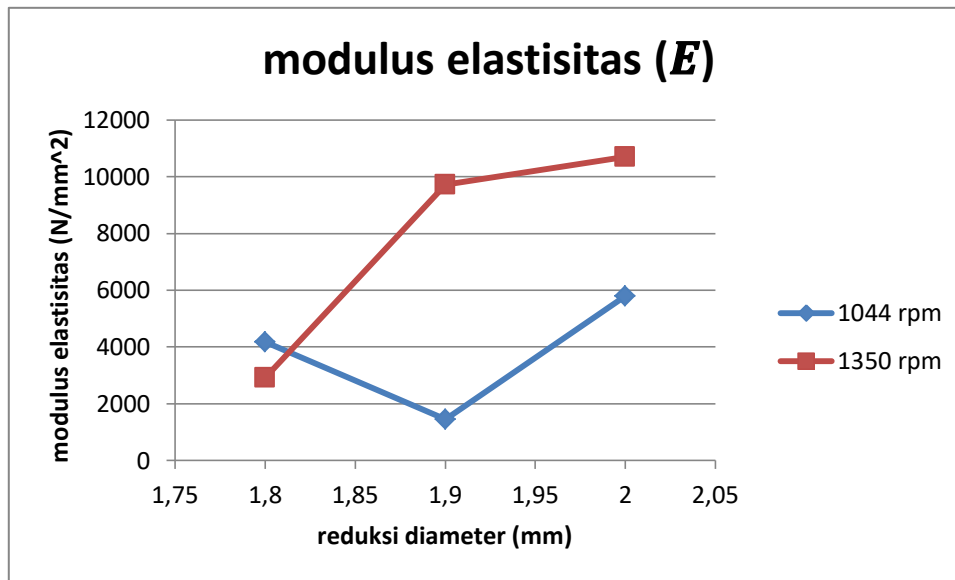
Grafik tegangan maksimum



Grafik regangan



Grafik modulus elastisitas



Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tegangan tarik maksimum meningkat seiring dengan penurunan diameter kawat. Hal ini sejalan dengan penelitian Pu dkk. (2021) yang menunjukkan bahwa proses wire drawing meningkatkan kekuatan tarik material akibat pengerasan regangan (strain hardening). Namun, penelitian ini juga menemukan bahwa regangan cenderung menurun setelah wire drawing, yang menunjukkan bahwa material menjadi lebih getas, sesuai dengan hasil yang diperoleh oleh Singh dkk. (2017).

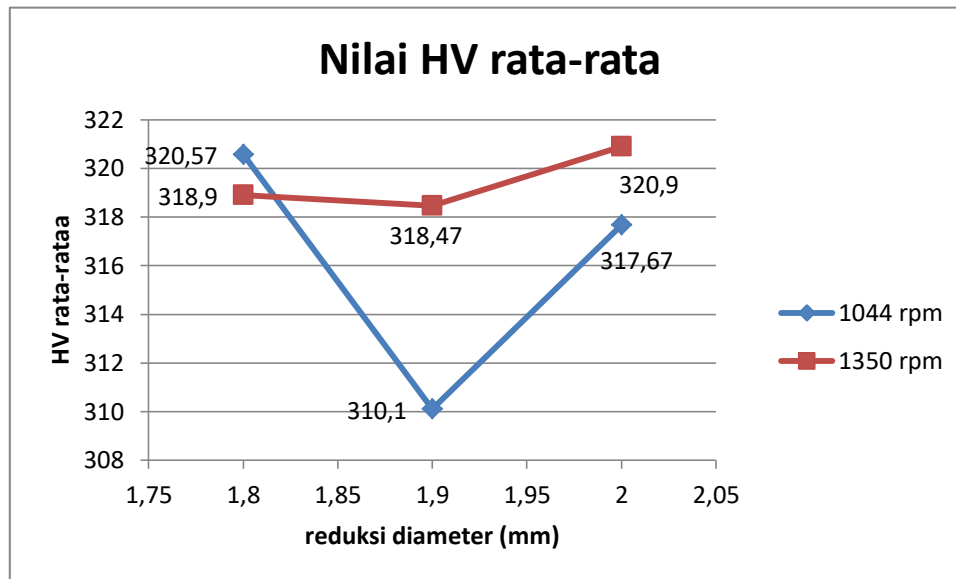
Hasil Uji Kekerasan Micro-Vickers

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui pengaruh wire drawing terhadap kekerasan kawat Ti-6Al-4V. Berdasarkan penelitian Fentje Abdul Rauf dkk. (2018), peningkatan deformasi plastis dalam wire drawing menyebabkan peningkatan kekerasan akibat perubahan distribusi tegangan dalam mikrostruktur material. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kekerasan mengalami sedikit peningkatan setelah wire drawing, tetapi tidak terdapat perbedaan signifikan antara kecepatan 1044 rpm dan 1350 rpm.

Tabel 3. uji kekerasan *micro-vickers*

No	Putaran motor	Reduksi (mm)	HV rata-rata
1	1044 rpm	2,0	317,67
		1,9	310,10
		1,8	320,57
2	1350 rpm	2,0	320,90
		1,9	318,47
		1,8	318,90

Grafik kekerasan HV rata-rata



Hasil ini mendukung penelitian Assyakirin Azzim dkk. (2023), yang menyatakan bahwa kekerasan material cenderung meningkat setelah wire drawing, namun perbedaan kecepatan putaran motor tidak berpengaruh besar terhadap peningkatan kekerasan karena material sudah mengalami tingkat pengerasan yang hampir maksimal.

Pengaruh Kecepatan Putaran Motor terhadap Sifat Mekanik

Berdasarkan hasil pengujian, kecepatan putaran motor wire drawing mempengaruhi sifat mekanik kawat Ti-6Al-4V sebagai berikut:

1. Peningkatan kecepatan putaran motor meningkatkan tegangan tarik maksimum, namun juga menyebabkan sedikit penurunan regangan, yang menunjukkan bahwa material menjadi lebih kuat tetapi kurang ulet (Luis dkk., 2005).
2. Kekerasan meningkat setelah wire drawing, namun tidak terlalu dipengaruhi oleh kecepatan putaran motor (ASTM E384, 2020).
3. Modulus elastisitas cenderung meningkat pada putaran lebih tinggi (1350 rpm), yang mengindikasikan bahwa kawat menjadi lebih kaku setelah wire drawing (Nurul Izzati dkk., 2021).
4. Kecepatan penarikan kawat lebih tinggi pada putaran 1044 rpm, namun persentase reduksi diameter tetap sebanding antara kedua kecepatan putaran motor (A.K. Singh dkk., 2017).

Hasil penelitian ini sesuai dengan beberapa studi sebelumnya dan memberikan pemahaman lebih lanjut mengenai optimasi proses wire drawing untuk meningkatkan kualitas kawat Ti-6Al-4V dalam berbagai aplikasi industri.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi kecepatan putaran motor dalam proses wire drawing terhadap sifat mekanik kawat Ti-6Al-4V dengan pelumasan oli, dapat disimpulkan bahwa:

1. **Kecepatan putaran motor wire drawing mempengaruhi sifat mekanik kawat Ti-6Al-4V.** Tegangan tarik maksimum meningkat seiring dengan penurunan diameter kawat, dengan nilai tertinggi pada diameter 1.8 mm sebesar 1252.35 MPa untuk kecepatan 1350 rpm. Hal ini sesuai dengan penelitian Pu dkk. (2021) yang menunjukkan bahwa pengerasan regangan terjadi akibat deformasi plastis dalam proses wire drawing.
2. **Regangan cenderung menurun seiring dengan berkurangnya diameter kawat.** Hal ini menunjukkan bahwa kawat menjadi lebih getas setelah wire drawing, terutama pada kecepatan yang lebih tinggi. Studi yang dilakukan oleh Liu dkk. (2018) juga menemukan bahwa regangan material akan berkurang seiring dengan meningkatnya tingkat deformasi plastis.
3. **Modulus elastisitas kawat meningkat pada kecepatan putaran motor yang lebih tinggi.** Modulus elastisitas tertinggi ditemukan pada putaran 1350 rpm, yang mengindikasikan bahwa material menjadi lebih kaku setelah wire drawing (Singh dkk., 2017).
4. **Kekerasan micro-Vickers mengalami sedikit peningkatan setelah wire drawing,** namun tidak terdapat perbedaan signifikan antara kecepatan 1044 rpm dan 1350 rpm. Hasil ini konsisten dengan penelitian Assyakirin Azzim dkk. (2023), yang menunjukkan bahwa wire drawing meningkatkan kekerasan material karena perubahan distribusi tegangan dalam mikrostruktur material.
5. **Pelumasan oli membantu mengurangi gesekan selama wire drawing,** sehingga menghasilkan permukaan kawat yang lebih baik dan meningkatkan efisiensi proses reduksi diameter. Menurut penelitian Fentje Abdul Rauf dkk. (2018), pelumasan yang tepat dapat mengurangi gaya gesek dan mempertahankan kualitas permukaan material selama proses manufaktur.

Secara keseluruhan, kecepatan putaran motor dalam wire drawing berpengaruh signifikan terhadap tegangan tarik maksimum, regangan, dan modulus elastisitas, namun tidak memberikan pengaruh besar terhadap nilai kekerasan kawat Ti-6Al-4V.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. **Menggunakan variasi kecepatan putaran motor yang lebih luas** untuk mengetahui batas optimal dalam proses wire drawing kawat Ti-6Al-4V (Luis dkk., 2005).
2. **Menguji pengaruh jenis pelumas lain** seperti grease atau pelumas berbasis air untuk dibandingkan dengan pelumasan oli dalam mengurangi gesekan dan meningkatkan kualitas kawat (Assyakirin Azzim dkk., 2023).
3. **Melakukan analisis mikrostruktur kawat Ti-6Al-4V** sebelum dan setelah wire drawing guna memahami lebih dalam perubahan struktur butiran akibat proses reduksi diameter (Nurul Izzati dkk., 2021).

4. **Menggunakan metode uji tambahan** seperti uji kelelahan material untuk mengetahui daya tahan kawat dalam penggunaan jangka panjang (Singh dkk., 2017).
5. **Menganalisis pengaruh jumlah tahap reduksi dalam wire drawing** terhadap sifat mekanik kawat untuk memahami lebih lanjut hubungan antara deformasi plastis dan peningkatan sifat material (Kalpakjian, S., dkk., 2023).

Dengan saran ini, diharapkan penelitian selanjutnya dapat memberikan wawasan lebih luas mengenai optimasi proses wire drawing untuk meningkatkan kualitas kawat Ti-6Al-4V dalam berbagai aplikasi industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, K. (2009). Diktat Kuliah Ilmu Material Teknik. *Material Teknik*, 1–108.
- Ahmad Dayu dan Iqbal., " Pengaruh Putaran Motor Wire Drawing terhadap Sifat Mekanik Kawat Ti6Al4V-ELI dengan Pelumasan Grease". *Jurnal Teknik Mesin* Vol. 12 No. 2 (2023)
- A.K. Singh, R.K. Singh, S.K. Das, "Influence of Wire Material Properties on Wire Drawing Force", *International Journal of Mechanical Sciences*, Volume 126, Pages 1-10, 2017
- A. R. Putra, M. Irfan, I. K. Putra, and E. S. Putra, "The effect of die surface condition on mechanical properties of Ti-6Al-4V wire drawing using grease lubricant," *Jurnal Teknologi Material*, vol. 22, no. 2, pp. 105-111, 2022.
- Assyakirin Azzim, Iqbal, "Effect of Wire Drawing Speed on Mechanical Properties of Ti6Al4V ELI Wire with Grease Lubrication", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 113, Issue .1-4, Pages. 159-168, 2022
- Fentje Abdul Rauf, Frans P. Sappu, Arwanto M. A. Lakat " Uji Kekerasan Dengan Menggunakan Alat Microhardness Vickers Pada Berbagai Jenis Material Teknik" *Jurnal Tekno Mesin* Vol. 5 No. 1 (2018)
- Chen, Y., Sun, S., Zhang, T., Zhou, X., & Li, S. (2020). Effects of post-weld heat treatment on the microstructure and mechanical properties of laser-welded NiTi/304SS joint with Ni filler. *Materials Science and Engineering A*, 771. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.138545>
- Czerwinski, F. (2020). Thermal stability of aluminum alloys. *Materials*, 13(15), 1–49. <https://doi.org/10.3390/ma13153441>
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2023). *Manufacturing Engineering and Technology* (7th

ed.). Pearson.

- Liu, S., Shan, X., Guo, K., Yang, Y., & Xie, T. (2018). Experimental study on titanium wire drawing with ultrasonic vibration. *Ultrasonics*, 83(August), 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2017.08.003>
- Longhitano, G. A., Larosa, M. A., Jardini, A. L., Zavaglia, C. A. de C., & Ierardi, M. C. F. (2018). Correlation between microstructures and mechanical properties under tensile and compression tests of heat-treated Ti-6Al-4 V ELI alloy produced by additive manufacturing for biomedical applications. *Journal of Materials Processing Technology*, 252, 202–210. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.09.022>
- Luis, C. J., León, J., & Luri, R. (2005). Comparison between finite element method and analytical methods for studying wire drawing processes. *Journal of Materials Processing Technology*, 164–165, 1218–1225. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.02.138>
- M.S. Alam, M.R. Khan, and M.A. Rahman, " The Influence of Reduction Ratio on the Mechanical Properties of Ti6Al4V Wire Drawing", *Advances in Materials Science and Engineering*, vol.2023, no 1-10, 2023
- M.S. Soni, A.K. Singh, R.K. Singh,"Effect of Lubrication on Wire Drawing Force",*Materials & Design*, Volume 136, Pages 161-166, 2017
- M.S. Alam , M.R. Khan, and M.A. Rahman, " The Effect of Grease Lubrication on the Efficiency of Wire Drawing of Ti6Al4V Wire", Vol. 773, No. 773-782, 2022
- Muh. Irfan, I. K. Putra, and E. S. Putra, "The effect of die size on mechanical properties of Ti-6Al-4V wire drawing using grease lubricant," *Jurnal Teknologi Material*, vol. 21, no. 2, pp. 95-100, 2020.
- Nurul Izzati, M. Irfan, I. K. Putra, and E. S. Putra, "The effect of die precision on mechanical properties of Ti-6Al-4V wire drawing using grease lubricant," *Jurnal Teknologi Material*, vol. 22, no. 1, pp. 39-44, 2021.
- Prisco, U., Martinez, G. A. S., & Kabayama, L. K. (2020). Effect of die pressure on the lubricating regimes achieved in wire drawing. *Production Engineering*, 14(5–6), 667–676. <https://doi.org/10.1007/s11740-020-00985-6>
- Pu, Z., Du, D., Wang, K., Liu, G., Zhang, D., Wang, X., & Chang, B. (2021). Microstructure,

phase transformation behavior and tensile superelasticity of NiTi shape memory alloys fabricated by the wire-based vacuum additive manufacturing. *Materials Science and Engineering: A*, 812. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.141077>

Rivaly, Afdal Yusra "Pengaruh Reduksi pada Proses Wire Drawing terhadap Sifat Mekanik Kawat Titanium Paduan (Ti-6Al-4V) ELI untuk Aplikasi Kawat Gigi"(2022).

Y. Li, J. Zhang, dan Y. Li, "The Effect of Grease Lubrication on the Wire Drawing Process of Titanium Alloy" (2023)

Yamaoka, J., Dogan, M. D., Bulovic, K., Saito, K., Kawahara, Y., Kakehi, Y., & Mueller, S. (2019). FoldTronics: Creating 3D objects with integrated electronics using foldable honeycomb structures. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300858>

Yuliyanto, "Analisis Kekerasan Permukaan Titanium-6al-4v Pada Proses Edm Sinking Dengan Aplikasi *Response Surface Methodology* (RSM)", *JURNAL MANUTECH* Vol. 9, No. 2, Desember 2017: 70– 88