



ANALYSIS OF THE EFFECT OF LUBRICATION VARIATIONS ON Ti-6Al-4V WIRE WITH CONSTANT MOTOR ROTATION SPEED (1272 RPM) IN THE METAL FORMING PROCESS THROUGH WIRE DRAWING

Aidil Harbi Saputra¹

¹Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta

aidilharbisaputra@gmail.com

Iqbal²

Dosen Prodi Teknik mesin, fakultas Teknologi industri, Universitas Bung Hatta

iqbalbatuah@bunghatta.ac.id

Abstrak

Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi pelumasan pada kawat titanium Ti-6Al-4V dalam proses *wire drawing* dengan putaran motor konstan 1272 rpm. Kawat berdiameter awal 2,1 mm direduksi bertahap hingga 1,6 mm menggunakan *dies* karbida *tungsten* bersudut 14°. Pelumas yang digunakan adalah oli SAE 20W-50 dan *grease Ergene Moly* (NLGI grade 2). Pengujian dilakukan melalui uji tarik, kekerasan *vickers*, dan analisis struktur *mikro*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa oli menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar 311,67 HV dengan modulus elastisitas 298,63 N/mm², tetapi material cenderung lebih kaku. Sebaliknya, *grease* memberikan kekerasan lebih rendah (305,3 HV) dan modulus elastisitas 104,93 N/mm², namun meningkatkan keuletan material. Struktur *micro* memperlihatkan bahwa oli menghasilkan permukaan lebih *homogen*, sementara *grease* mendukung deformasi lebih ulet. Dengan demikian, pemilihan jenis pelumas berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik kawat, di mana oli lebih sesuai untuk reduksi kecil dan *grease* lebih tepat pada reduksi besar.

Kata kunci: Ti-6Al-4V, *Wire Drawing*, variasi pelumasan, kekerasan, struktur *micro*.

Abstract

This research analyzes the effect of lubrication variations on Ti-6Al-4V titanium alloy wire during the Wire Drawing process at a constant motor speed of 1272 rpm. The wire, initially 2.1 mm in diameter, was reduced stepwise to 1.6 mm using tungsten carbide dies with a 14° angle. The lubricants used were SAE 20W-50 oil and Ergene Moly grease (NLGI grade 2). Tests included tensile testing, Vickers hardness measurement, and microstructural analysis. The results showed that oil produced the highest hardness of 311.67 HV with an elastic modulus of 298.63 N/mm², but the material tended to be stiffer. In contrast, grease gave lower hardness (305.3 HV) and an elastic modulus of 104.93 N/mm², yet improved ductility. Microstructural analysis revealed that oil provided a more homogeneous surface, while grease supported more ductile deformation. Thus, lubricant selection significantly affects the mechanical properties of the wire, with oil being more suitable for small reductions and grease for larger reductions

Keywords: Ti-6Al-4V, wire drawing, lubrication variation, hardness, microstructure.

Pendahuluan

Wire drawing adalah proses pengecilan diameter kawat melalui cetakan (*dies*) dengan prinsip deformasi plastis. Proses ini dipengaruhi oleh parameter seperti gaya tarik, geometri *dies*, reduksi penampang, kecepatan, dan pelumasan. Titanium Ti-6Al-4V banyak digunakan pada aplikasi biomedis dan industri karena biokompatibilitas dan ketahanan korosinya. Namun, sifat mekanik material ini masih

dapat ditingkatkan melalui pengaturan parameter proses, termasuk pelumasan.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan uji berupa kawat titanium Ti-6Al-4V berdiameter awal 2,1 mm dengan panjang 850 mm. Proses reduksi dilakukan secara bertahap hingga mencapai diameter 1,6 mm melalui cetakan tungsten karbida dengan sudut konvergensi 14°. Mesin *wire drawing* yang digunakan digerakkan oleh motor listrik berdaya 1,5 HP dengan kecepatan putar konstan 1272 rpm. Dua jenis pelumas digunakan dalam penelitian ini, yaitu oli SAE 20W-50 dan *grease Ergene Moly* (NLGI grade 2). Setelah proses penarikan kawat, dilakukan serangkaian pengujian meliputi uji tarik untuk

mengetahui kekuatan tarik dan regangan, uji kekerasan *Vickers* untuk mengetahui nilai kekerasan material, serta analisis struktur mikro menggunakan mikroskop metalografi guna melihat perubahan morfologi akibat perbedaan jenis pelumasan.

Hasil Pembahasan

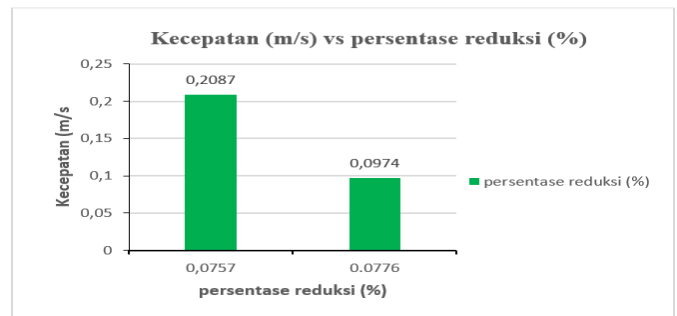
Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa kawat yang dilumasi dengan oli memperoleh nilai kekerasan tertinggi sebesar 311,67 HV, sedangkan kawat dengan pelumasan grease hanya mencapai 305,3 HV. Modulus elastisitas kawat dengan pelumasan oli tercatat sebesar 298,63 N/mm², lebih tinggi dibandingkan dengan *grease* yang hanya 104,93 N/mm². Namun demikian, hasil uji tarik memperlihatkan bahwa kawat dengan pelumasan grease memiliki regangan yang lebih tinggi, menandakan peningkatan keuletan material dibandingkan dengan kawat yang dilumasi oli. Analisis mikrostruktur memperlihatkan bahwa oli menghasilkan permukaan kawat yang lebih homogen, sementara grease menampilkan butiran yang lebih kasar dengan indikasi deformasi plastis yang lebih besar. Temuan ini mengindikasikan bahwa oli lebih sesuai digunakan untuk menghasilkan kawat dengan kekakuan tinggi pada reduksi kecil, sedangkan grease lebih tepat dipakai pada reduksi besar yang membutuhkan keuletan dan deformasi plastis lebih baik. Dengan demikian, variasi pelumasan terbukti memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik kawat Ti-6Al-4V.

Kecepatan Penarikan Kawat

Kecepatan penarikan kawat pada proses wire drawing menunjukkan perbedaan antara pelumas oli dan grease. Hasil perhitungan memperlihatkan bahwa oli menghasilkan kecepatan masuk 0,087 m/s dengan kecepatan keluar hingga 0,0964 m/s, sedangkan grease lebih rendah dengan kecepatan masuk 0,069 m/s dan kecepatan keluar maksimum 0,0776 m/s. Uji langsung menunjukkan nilai kecepatan aktual berkisar 10–13 cm/s, di mana pada beberapa tahap grease memberikan kecepatan lebih tinggi dibanding oli. Hal ini menunjukkan bahwa jenis pelumas memengaruhi kecepatan deformasi kawat selama proses penarikan.

Tabel 1 Data Hasil Uji Wire Drawing

No	Putaran motor	pelumasan	D. awal (mm)	D. akhir (mm)	L. awal (cm)	L. akhir (cm)	ΔL (cm)	t (s)	Vmasuk (m/s)
1	1272 Rpm	oli	2,1	1,6	75	78	3	9	0,087
2	1272 Rpm	grease	2.1	1,6	75	76	1	11	0,069



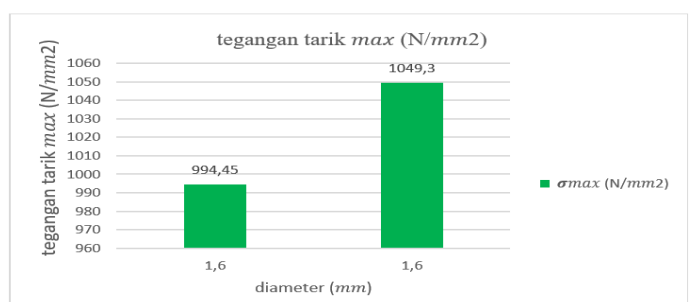
Gamabar 1 Grafik Perbandingan Kecepatan wire Drawing

Uji Tarik

Hasil uji tarik menunjukkan bahwa jenis pelumas memengaruhi sifat mekanik kawat Ti-6Al-4V. Dengan oli, regangan hanya 3,33% dan tegangan tarik maksimum 994,45 N/mm², sedangkan grease meningkatkan regangan hingga 10% dengan tegangan tarik lebih tinggi 1049,30 N/mm². Modulus elastisitas kawat berpelumas oli lebih besar (298,63 N/mm²) sehingga lebih kaku, sedangkan grease lebih rendah (104,93 N/mm²) sehingga lebih lentur. Hal ini menegaskan bahwa oli meningkatkan kekakuan, sementara grease lebih efektif dalam meningkatkan keuletan dan deformasi plastis.

Tabel 2 Data Hasil Uji Tarik

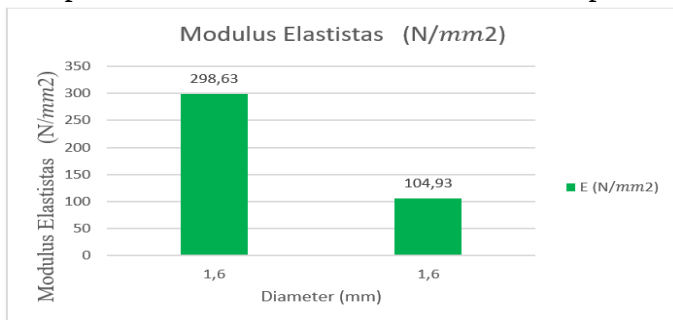
No	Putaran motor	D (mm)	A (mm ²)	L. awal (cm)	L. akhir (cm)	ΔL (cm)	Fmax (N)	σ max (N/mm ²)	ϵ (%)	E (N/mm ²)
1	1272	1,6	2,84	30	31,9	1,9	2980.40	994,45	3,33	298,63
2	Rpm	1,6	3,46	30	32,1	2,1	3027.39	1049,30	10	104,93



Gambar2 Grafik Perbandingan Uji Tarik Maksimum

Modulus Elastisitas

Hasil pengujian menunjukkan perbedaan signifikan pada modulus elastisitas, yaitu 298,63 N/mm² pada kondisi pertama dan menurun menjadi 104,93 N/mm² pada kondisi kedua. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa kemampuan material menahan deformasi elastis dipengaruhi oleh kondisi proses. Nilai modulus yang tinggi menunjukkan material lebih kaku, sedangkan nilai rendah menandakan material lebih lentur. Dengan demikian, meskipun diameter sama, variasi kondisi proses memengaruhi sifat elastisitas, sehingga kontrol parameter produksi sangat penting untuk memperoleh sifat mekanik sesuai kebutuhan aplikasi.



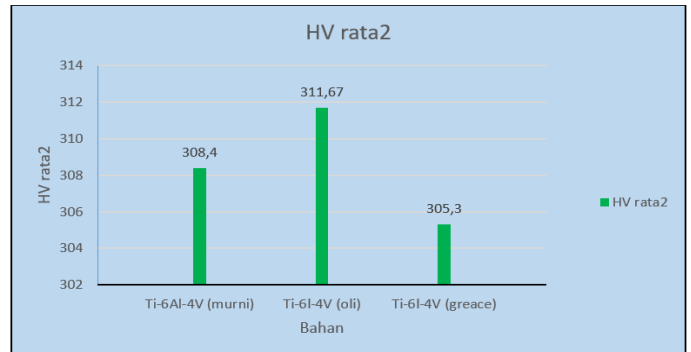
Gambar 3 grafik perbandingan Modulus Elastis

Uji Kekerasan Mikro Vickers

Pengujian kekerasan mikro Vickers memperlihatkan adanya perbedaan sifat mekanik kawat Ti-6Al-4V akibat variasi pelumasan pada proses *wire drawing*. Pelumasan menggunakan oli menghasilkan nilai rata-rata kekerasan tertinggi sebesar 311,67 HV, yang menunjukkan peningkatan kekuatan material namun disertai kecenderungan menjadi lebih kaku. Sementara itu, penggunaan *grease* menghasilkan nilai kekerasan sedikit lebih rendah yaitu 305,3 HV, namun memberikan efek positif terhadap keuletan material. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa oli lebih sesuai diterapkan pada reduksi kecil yang membutuhkan kekerasan tinggi, sedangkan *grease* lebih cocok pada reduksi besar yang memerlukan kelenturan kawat agar tidak mudah mengalami retak.

Tabel 3 Kekerasan Micro Vickers

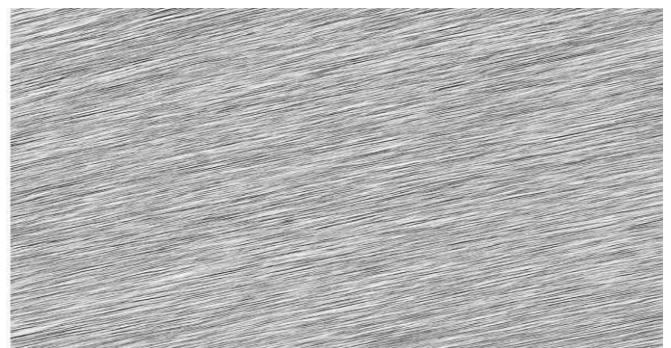
No.	Bahan / kode bahan	Titik uji	Beban Load (gf)	D1 (µm)	D2 (µm)	HV	HV rata2
1	Ti-6Al-4V (murni)	1	2000	106,63	113,71	305,6	308,4
		2	2000	106,72	112,2	309,6	
		3	2000	106,43	112,33	310	
2	Ti-6l-4V (oli)	1	2000	106,05	112,04	311,9	311,67
		2	2000	105,41	112,25	313,2	
		3	2000	106,34	112,46	309,3	
3	Ti-6l-4V (Grease)	1	2000	107,18	113,16	305,6	305,3
		2	2000	107,94	112,86	304,3	
		3	2000	106,91	113,28	306	



Gambar 4 grafik perbandinagn uji kekerasan *Micro Vickers*

Analisis Struktur Mikro

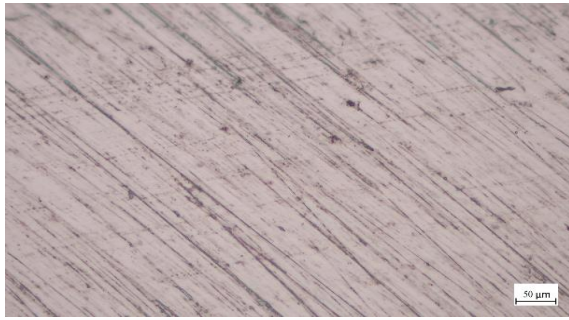
Hasil analisis struktur mikro memperlihatkan bahwa spesimen kawat yang ditarik tanpa pelumasan menunjukkan lebih banyak cacat permukaan berupa goresan kasar serta retakan mikro. Pada penggunaan oli, jumlah cacat berkurang dengan pola deformasi yang lebih merata. Sedangkan dengan pelumasan *grease*, terbentuk lapisan pelindung yang lebih tebal sehingga permukaan kawat tampak lebih halus, sementara deformasi plastis lebih dominan terjadi di bagian dalam material.



Gambar 1 struktur mikro dengan perbesaran 100 X dengan pelumasan *grease*.

Gambar 1 menunjukkan struktur mikro paduan Ti-6Al-4V dengan penggunaan *grease* pada perbesaran 100x. Permukaan tampak memiliki pola garis yang relatif kasar dan tidak seragam jika dibandingkan dengan pelumasan oli. Hal ini disebabkan oleh sifat *viskositas grease* yang lebih tinggi, sehingga gesekan dan deformasi selama proses tidak tereduksi dengan baik. Akibatnya, distribusi tegangan sisa menjadi kurang merata dan nilai kekerasan material menurun hingga 305,3 HV, lebih rendah dibandingkan kondisi tanpa menggunakan pelumas (308,4 HV) maupun dengan oli (311,67 HV). Meski demikian, penurunan kekerasan tersebut justru meningkatkan kelenturan

kawat, sehingga mampu menahan regangan lebih besar tanpa mengalami kerusakan permanen.



Gambar 2 Struktur Mikro Dengan Perbesaran 50x Dengan Pelumasan oli.

Struktur mikro paduan Ti-6Al-4V dengan pelumasan oli pada perbesaran 50x memperlihatkan pola garis yang halus dan lebih homogen dibandingkan *grease*. Oli mampu mengurangi gesekan dan menjaga stabilitas temperatur, sehingga distribusi tegangan sisa lebih merata dan deformasi plastis terkendali. Kondisi ini mendukung peningkatan sifat mekanik material, yang tercermin dari nilai kekerasan rata-rata tertinggi sebesar 311,67 HV. Dengan demikian, penggunaan oli terbukti efektif dalam mempertahankan kualitas struktur mikro sekaligus meningkatkan performa mekanik kawat Ti-6Al-4V.



Gambar 3 Struktur Mikro Dengan Perbesaran 100x Tanpa Pelumasan

Pengamatan mikro kawat Ti-6Al-4V tanpa pelumasan menunjukkan permukaan dengan goresan kasar akibat gesekan tinggi, sehingga cacat lebih banyak dibandingkan kondisi dengan pelumas. Uji kekerasan menunjukkan oli menghasilkan nilai tertinggi (311,67 HV) dengan material lebih kuat namun kaku, sedangkan *grease* lebih rendah (305,3 HV) namun memberikan kelenturan lebih baik. Hal ini menegaskan adanya hubungan timbal balik antara kekerasan dan kelenturan pada materialekerasan justru meningkatkan keuletan kawat

Kesimpulan

jenis pelumasan berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik kawat Ti-6Al-4V hasil *wire drawing*. Oli memberikan kekerasan dan kekuatan lebih tinggi, sedangkan *grease* meningkatkan keuletan dan kecepatan proses penarikan. Pemilihan pelumas perlu disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi: oli untuk reduksi kecil dengan tuntutan kekuatan tinggi, dan *grease* untuk reduksi besar yang membutuhkan keuletan

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pembimbing, Program Studi Teknik Mesin Universitas Bung Hatta, serta keluarga dan rekan-rekan atas dukungan dan bantuan yang diberikan hingga penelitian ini dapat diselesaikan.

Daftar Pustaka

- Asfarizal. (2012). "Pengaruh Variasi Sudut *Dies* Terhadap Penarikan Kawat Aluminium". *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1). Institut Teknologi Padang.
- Budinski, K. G. (2009). *Engineering materials: Properties and selection*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2014). *Materials science and engineering: An introduction* Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Carp, C. L., Huisman, C. L., & Reller, A. (2004). *Photoinduced reactivity of titanium dioxide*. *Progress in Solid State Chemistry*, 32(1–2), 33–177.
- Chongqiu Yang. (2015). "Titanium Wire Drawing with longitudinal-torsional composite ultrasonic vibration." *School of Mechatronics Engineering, Harbin Institute of Technology, China*.
- Dirja, I. (2019). "Rancang Bangun Sistem Pengukur Gaya Pada Mesin Wire Drawing Dengan Menggunakan Load Cell." *Program Teknik Mesin*, 21(2), Universitas Singaperbangsa Karawang.
- Hasib, H., Harrysson, O. L. A., & West, H. A. (2015). *Powder removal from Ti-6Al-4V cellular structures fabricated via electron beam melting*. *JOM*, 67(3), 639–646.
- Kalpajian, S., & Schmid, S. R. (2023). *Manufacturing engineering and technology* (8th ed.). Hoboken, NJ: Pearson Education.