MACHINERY JURNAL TEKNOLOGI TERAPAN
VOL.6 NO.1, FEBRUARI 2025

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

ANALISA PENGARUH PENDINGINAN MENGGUNAKAN METODE KRIOGENIK DAN *DROMUS COOLANT* TERHADAP KEKERASAN DAN KEKASARAN PADA BENDA KERJA DI MESIN BUBUT

Zurianti[1)], Ella Sundari[2)*], Adian Aristia Anas[2)]
[1)]Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Srijaya Negara, Bukit besar, Palembang, 30139, Indonesia
[2)]Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar, Palembang, 30139, Indonesia
*email korespondensi: e_sundari@polsri.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Received:
09/08/24

Received in revised:
08/02/25

Accepted:
03/03/25

Online-Published:
17/04/25

©2025 The Authors. Published by Machinery: Jurnal Teknologi Terapan (Indexed in SINTA)

doi:
http://doi.org/10.5281/zenodo.15234420

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan metodologi kuantitatif untuk menguji mana yang lebih baik nilai kekasaran maupun nilai kekerasannya dari kedua metode pendinginan kriogenik dan dromus coolant terhadap pembuatan kunci chuck pada mesin bubut dengan material baja AISI 1045. Serta menggunakan metode analisa ANOVA untuk mengolah hasilnya. Dan dari hasil pengukuran menggunakan alat uji kekasaran Surface Roughness Tester yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa kunci chuck yang dibuat di mesin bubut dengan metode pendinginan kriogenik lebih kecil nilai kekasarannya yaitu di tingkat N7 sedangkan metode dromus coolant di tingkat N9 menurut standar kekasaran ISO atau DIN 4763:1981, yang berarti kunci chuck yang melalui proses pendinginan dengan metode kriogenik dapat menghasilkan permukaan yang lebih halus dibanding permukaan yang menggunakan metode pendinginan dromus coolant. Dan dari hasil pengujian Vickers disimpulkan bahwa pendinginan dengan metode kriogenik dapat meningkatkan kekerasan kunci chuck dengan material baja AISI 1045 yaitu sebesar, (10,62%) dromus coolant dan (14,64%) untuk kriogenik.

Kata Kunci *Kriogenik, Dromus Coolant, Kekasaran, Kekerasan .*

ABSTRACT

This study uses a quantitative methodology to test which is better than the roughness value and hardness value of both cryogenic cooling and dromus coolant methods for the manufacture of chuck locks on lathes with AISI 1045 steel material. As well as using the ANOVA analysis method to process the results. And from the results of the measurement using the Surface Roughness Tester roughness test tool carried out, it can be concluded that the chuck lock made on a lathe using the cryogenic cooling method is less roughness value, namely at the N7 level while the dromus coolant method at the N9 level according to the ISO or DIN 4763:1981 roughness standard, This means that chuck locks that go through the cryogenic cooling process can produce a smoother surface than the surface that uses the Dromus Coolant cooling method. And from the results of the Vickers test, it was concluded that cooling by the cryogenic method can increase the hardness of the chuck lock with AISI 1045 steel material, which is as much as, (10.62%) dromus coolant and (14.64%) for cryogenic acid.

Keywords *: Cryogenic, Dromus Coolant, Roughness, Hardness.*

1. PENDAHULUAN

Industri permesinan terkhususnya di mesin bubut tentu saja akan berkembang terus seiring dengan bertambahnya pengetahuan teknologi di dunia ini. Pada penelitian ini dijelaskan peran kriogenik untuk

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

permesinan berbagai material [1][2][3]. Kriogenik adalah bidang sains yang sangat unik di mana menyelidiki tentang cara kerja dalam pemanfaatan material pada suhu yang sangat rendah dan pada suhu tertentu dilakukan proses pengawetan untuk mempertahankan kualitas suatu benda [4][5][6], untuk di permesinan industri sendiri proses pendinginan dengan metode kriogenik di sebut nitridisasi di mana pada saat penggunaan media kriogenik nitrogen cair atau karbon dioksida dapat mengontrol suhu pemotongan tinggi dalam operasi permesinan [7], Pada umumnya dengan kisaran suhu -150°C atau lebih. Penerapan variasi pendinginan pada pemesinan bubut sangat diharapkan untuk dapat meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan seperti halnya pengaruh variasi sudut potong terhadap kekerasan permukaan benda kerja dengan media pendingin kriogenik dapat menghasilkan kekasaran permukaan dengan tingkat kekasaran yang rendah [8][9][10]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Anthonius dapat disimpulkan bahwa kekerasan meningkat sekitar 2 kali lipat, sebelum nitridisasi kekerasan sampel sebesar 117,87 HV dan setelah dinitridisasi pada suhu 525°C kekerasannya 233,94 HV dan pada suhu 550°C naik menjadi 265,76 HV [11]. Dan pada penelitian yang dilakukan oleh Halim di dapat kekasaran permukaan mesin ditemukan perlahan-lahan berkurang dan menjadi stabil dengan meningkatnya keausan takik [12]. Pengujian kekerasan atau penekanan permukaan benda dengan indentor pengujian dilakukan untuk memberikan data informasi terkait material yang di uji [13][14][15]. Pengujian kekasaran dilakukan untuk mengetahui seberapa kecil nilai tingkat kekasaran suatu material karena menurut ISO yang berlaku semakin kecil nilai yang di hasilkan suatu material maka semakin halus permukaan suatu material tersebut [16][17].

Penelitian – penelitian terdahulu yang telah dilakukan hanya terfokus pada pendinginan yang umum saja, seperti penelitian yang dilakukan oleh Arsana tentang pengaruh pendinginan dengan minyak murni, minyak sintetis dan minyak semi sintetis[10], dan penelitian oleh Agus mengenai pengaruh media *coolant* air radiator, oli dan solar terhadap pengaruh tingkat kerataan pada baja ST 42 di mesin bubut [18]. Kelebihan pada penelitian ini yaitu menggunakan pendinginan kriogenik yang berbahan dasar nitrogen cair yang pada saat pengaplikasiannya langsung ke material dan tidak meninggalkan residu atau air seperti pendinginan lainnya, dan hal ini bisa mengurangi risiko mesin akan mengalami karatan dikarenakan tidak adanya cairan yang tertinggal, sehingga mesin bisa memiliki umur pakai yang lebih panjang, yang mana telah di buktikan terlebih dahulu pada penelitian yang dilakukan oleh Derold Dilip B dkk dengan judul penelitian Investigasi eksperimental pembubutan baja AISI 1045 menggunakan karbon dioksida kriogenik sebagai cairan pemotong [19]. Melihat semua belum banyaknya referensi yang relevan dan referensi yang pasti tentang penggunaan pendinginan dengan kriogenik maka dilakukan penelitian pengaruh pendinginan menggunakan kriogenik dan *dromus coolant* terhadap kekerasan dan kekerasan pada benda kerja di mesin bubut dengan harapan yang besar dapat memberikan pengetahuan yang baru, serta diharapkan keterbaruan ini dapat membantu banyak pihak dalam implementasi dunia Industri dan pendidikan dan juga dapat menjawab semua kekurangan pada penelitian terdahulu, salah satu contohnya penelitian yang dilakukan oleh mahasiswa Universitas Sriwijaya dengan judul Analisis kekasaran permukaan menggunakan mesin *milling* pada material baja karbon tinggi AISI D2 dinding tipis pada kondisi kriogenik [20].

2. BAHAN DAN METODA

Bahan dan metode penelitian ini memiliki perbedaan pada bagian pengaturan putaran mesinnya yang tetap pada posisi yang sama sehingga bisa menghasilkan ketentuan yang lebih akurat di setiap spesimennya ketika dilakukan pengujian kekerasan dan kekasaran, dan juga pada penelitian ini menggunakan kriogenik yang belum terlalu di lirik industri manufaktur Indonesia sehingga bisa menjadi salah satu referensi yang baru untuk meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan oleh industri manufaktur Indonesia.

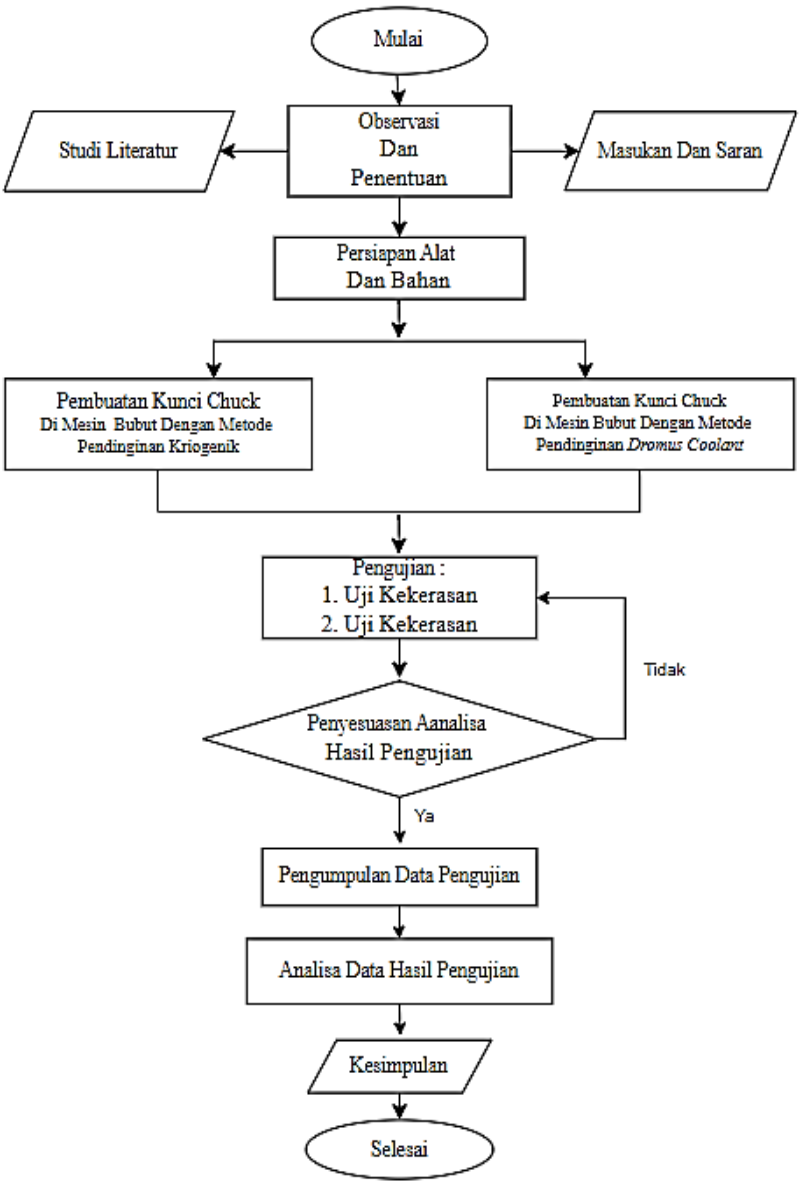


(a) (b)

Gambar 1. Kunci *Chuck* (a) sebelum di bubut (b) setelah di bubut

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

Dalam penelitian ini dilakukan secara individu dengan menggunakan pengumpulan data literatur, metode observasi dan metode eksperimen. Penelitian dimulai dengan pembuatan spesimen kunci *chuck* berbahan dasar material besi baja 1045 di mesin bubut dengan diameter awal 30 mm dan kecepatan pemakanan permukaan kunci *chuck* 230 Rpm kemudian setelah spesimen kunci *chuck* jadi selanjutnya dilakukan pengujian kekasaran dan kekerasan untuk mengetahui peningkatan yang telah diperoleh setelah melalui proses pendinginan. Di bawah ini dapat dilihat gambar *raw* material dan material yang sudah dibubut. Diagram alir alur dari langkah penelitian yang dilaksanakan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir

2.1. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini tentunya digunakan banyak alat dan bahan seperti ditujukan sebagai berikut:

a. Alat Uji Kekasaran (Surface Roughness Tester)
b. Alat uji kekerasan (Vickers)
c. Mistar Besi
d. Jangka sorong
e. Nitrogen Cair
f. *Dromus coolant*
g. Material Metal AISI 1045

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

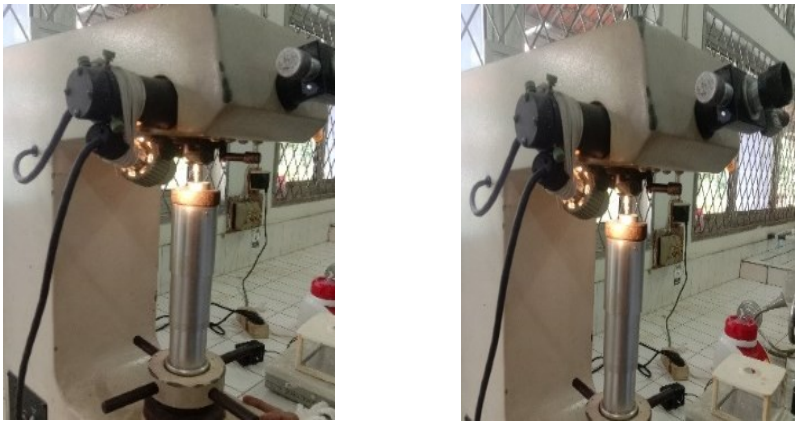
2.2. Metode Analisa Data

Untuk mengetahui berapa besar persentase yang disebabkan dari penggunaan pendinginan kriogenik dan *dromus coolant* terhadap pembubutan spesimen kunci *chuck* dilakukan perhitungan data menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel* dengan *ANOVA two way factor without replication*. Pengukuran dengan mesin Surface Roughness Tester (uji kekasaran) dan mesin *Vickers* (uji kekerasan) sampel kunci *chuck* yang sudah melalui proses pembubutan dengan metode pendinginan kriogenik dan *dromus coolant* dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



(a) (b)

Gambar 3. Sampel Uji Kekasaran (a) *Dromus* (b) Kriogenik



(a) (b)

Gambar 4. Pengujian Vickers (a) *Dromus* (b) Kriogenik

Di mana pada pengujian ini digunakan standar spesifikasi untuk pengujian *vickers* sebesar

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Data Spesimen Uji Kekasaran

Pengujian kekasaran dilakukan untuk mengetahui berapakah besar persentase yang dapat di hasilkan, setelah di uji maka didapatlah data hasil keseluruhan seperti tabel di berikut ini.

Tabel 1. Data Uji Kekasaran

Media pendingin	Putaran spindel (*RPM*)	Kode	Data nilai hasil pengujian *(µm)*			Rata – rata *(µm)*
			1	2	3	
Kriogenik	230	A	1,611	1,710	1,972	1,764
		B	1,621	1,883	1,993	1,832
		C	1,720	2,004	2,014	1,912
Dromus coolant	230	A	6,656	6,816	7,419	6,963
		B	6,706	7,983	8,010	7,566
		C	6,640	7,199	7,425	7,088

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

Dari data yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian kekasaran dari spesimen kunci *chuck* setelah melalui proses pendinginan kriogenik dan *dromus coolant* pada tabel di atas, dapat dilihat nilai uji kekasaran permukaan dengan media pendingin kriogenik cukup bisa dikatakan halus dan bisa digunakan untuk perkakas yang pemakaiannya langsung oleh tangan manusia.

Dikarenakan berdasarkan standar ISO nilai kekasaran permukaan diklasifikasikan menjadi 12 tingkat kekasaran, yaitu mulai dari N1 hingga N12, sesuai dengan standar ISO. atau DIN 4763:1981, di mana standar ini berfungsi untuk menjadi acuan dalam menentukan kelayakan material yang di inginkan oleh dunia industri maupun pribadi, pada penelitian ini untuk pendinginan menggunakan *dromus coolant* berada di tingkat N9 dan *kriogenik* berada di tingkat N7 yang bisa dipahami dengan melihat tabel sebagai berikut.

Tabel 2. Rentan nilai kekasaran sesuai dengan ISO atau DIN 4763: 1981

Angka Kekasaran *Ra* (µm)	Tingkat kekasaran suatu material
50	N12
24	N11
12,5	N10
6,3	N9
3,2	N8
1,6	N7
0,8	N6
0,4	N5
0,2	N4
0,1	N3
0,05	N2
0,025	N1

3.1.1. Data Pengujian Kekasaran Dengan Metode *ANOVA*

Berikut ini ditampilkan metode analisis *ANOVA* dua arah tanpa interaksi menggunakan Excel, dengan tingkat keakuratan α = 0,05 atau 5%. Tabel 3. disediakan untuk mempermudah perhitungan.

Tabel 3. Hasil analisa *ANOVA* uji kekasaran 2 arah tanpa interaksi

SUMMARY				
0,1	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
0,2	3	16,534	5,511333333	12,05828033
0,3	3	16,654	5,551333333	12,24255033
0,4	3	16,72	5,573333333	11,87573333
0,5	3	17,052	5,684	12,575532
0,6	3	19,732	6,577333333	17,41399633
0,7	3	18,406	6,135333333	13,80494033
0,8	3	18,782	6,260666667	14,76669233
0,9	3	20,006	6,668666667	17,38940633
Total Kolom	3	18,878	6,292666667	14,74429033
	3	244,146	81,382	5551,123012
Pendinginan Kriogenik				
Pendinginan *Dromus*	10	33,056	3,3056	21,60989627
Total Baris	10	129,708	12,9708	332,5923548
	10	244,146	24,4146	2363,448448

ANOVA						
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Rows	15336,0892	9	1704,009911	3,362157343	0,013686947	2,456281149
Columns	2233,221768	2	1116,610884	2,203168808	0,139352468	3,554557146
Error	9122,767099	18	506,8203944			
Total	26692,07806	29				

Setelah hasil uji kekasaran dianalisis menggunakan metode *Two Way ANOVA* dengan aplikasi Microsoft Excel, didapatkan bahwa untuk variabel pendinginan, nilai F yang diperoleh (F = 3,362) lebih besar

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

daripada nilai kritis F (F_{crit} = 2,456) dan P_{value} (0,047) < α (0,05), dikatakan H0 dinyatakan gagal, yang berarti pendinginan berpengaruh terhadap kekasaran kunci *chuck*. Sementara itu, untuk variabel kecepatan *spindel*, nilai F yang diperoleh (F = 2,203) < dari nilai kritis F (F_{crit} = 3,555), dan P_{value} (0,139) > α (0,05). Dengan demikian, H0 dinyatakan berhasil, yang menunjukkan bahwa kecepatan *spindel* tidak memiliki pengaruh signifikan.

3.2. Hasil Uji Kekerasan

Dalam pengujian ini, data keseluruhan diambil dari spesimen kunci *chuck* yang telah diproduksi sesuai standar pengujian kekerasan dengan indentor Piramid intan 136° dan P=30 kg. Data hasil pengujian kekerasan kunci Chuck yang telah melalui proses pembubutan dengan dua metode pendinginan yaitu *kriogenik* dan *dromus coolant* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data hasil pengujian kekerasan kunci *Chuck*

Spesimen	Titik Pengujian	VHN	VHN rata-rata
Spesimen 1 *Dromus coolant*	1	219,84	222,06
	2	221,59	
	3	225,18	
Spesimen 2 *Dromus coolant*	1	221,59	222,20
	2	225,18	
	3	219,84	
Spesimen 3 *Dromus coolant*	1	228,88	228,71
	2	235,67	
	3	221,59	
Spesimen 1 kriogenik	1	232,69	232,10
	2	234,68	
	3	227,95	
Spesimen 2 kriogenik	1	247,2	235,99
	2	234,68	
	3	226,09	
Spesimen 3 kriogenik	1	222,48	232,33
	2	241,82	
	3	232,71	

Dapat disimpulkan bahwa metode pendinginan kriogenik dengan nitrogen cair bisa menambah nilai kekerasan Metal AISI 1045. Persentase peningkatan kekerasan bahan mentah pada spesimen setelah melalui metode pendinginan *dromus coolant*, dengan nilai *raw* material sebesar 202,78 HV [21].

3.2.1. Data Hasil Pengujian Kekasaran Dengan *ANOVA Two Way Factor*

Tabel 5. Hasil analisa *ANOVA* uji kekerasan dua arah tanpa interaksi

SUMMARY	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
1	5	1013,92862	202,785723	76723,5142
2	5	1001,03931	200,207862	74786,57522
3	5	998,785935	199,757187	74450,80262
1	5	952,997355	190,599471	67775,84407
2	5	977,153535	195,430707	71262,99928
3	5	994,95019	198,990038	73877,46328
1	5	1007,26864	201,453728	75714,83121
2	5	1003,38282	200,676564	75131,77763
3	5	1008,94115	201,788229	75976,04953
1	5	1008,46043	201,692085	75894,7968
2	5	1005,42588	201,085176	75444,38657
3	5	996,722845	199,344569	74160,18688
1	5	1003,79344	200,758687	75212,2229
2	5	996,141975	199,228395	74075,78663
3	5	1008,85101	201,770202	75963,44075

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

1	5	988,6808	197,73616	72958,67653
2	5	974,63977	194,927954	70889,04576
3	5	1005,22558	201,045116	75409,06116
d1 (µm)	18	9005,14	500,2855556	68,36024967
d1 (mm)	18	9,00514	0,500285556	6,83602E-05
d2 (µm)	18	8914,37	495,2427778	65,54715065
d2 (mm)	18	8,91437	0,495242778	6,55472E-05
d rata-rata (d1 mm + d2 mm/2)	18	8,959755	0,497764167	5,79989E-05

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Rows	791,153	17	46,53840347	2,130655171	0,014800275	1,775176
Columns	5341345	4	1335336,142	61135,33436	4,3769E-120	2,506621
Error	1485,28	68	21,84229719			
Total	5343621	89				

Setelah dilakukan analisis hasil uji kekerasan menggunakan metode Two Way *ANOVA* dengan perangkat lunak *Microsoft Excel*, didapatlah hasil yang menunjukkan : untuk variabel pendinginan, nilai F yang diperoleh (F = 1,757) lebih besar dari nilai kritis F (F_{crit} = 1,744), sementara untuk *spindel speed*, nilai F yang diperoleh (F = 400,474) > dari nilai kritis F (F_{crit} = 2,322). P_{value} (0,048) juga < dari α (0,05), yang artinya pengujian dapat diterima atau berhasil.

Maka persentase kontribusi peningkatan kekerasan bahan mentah pada spesimen kunci *chuck* setelah diterapkan metode pendinginan *dromus coolant* adalah (10,62%) dan kriogenik (14,64%) menunjukkan bahwa H0 dinyatakan gagal. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh cukup signifikan dari metode pendinginan terhadap kekerasan kunci *chuck*.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis pengaruh pendinginan menggunakan metode pendingin kriogenik dan *dromus* terhadap kekerasan dan kekasaran benda kerja pada mesin bubut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode pendinginan kriogenik menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih halus dengan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan metode pendingin *dromus*. Selain itu, metode kriogenik menghasilkan peningkatan kekerasan benda kerja dibandingkan dengan metode pendingin *dromus*.

Analisis *ANOVA* mengungkapkan bahwa kedua metode pendinginan memiliki dampak yang signifikan terhadap kekerasan dan kekasaran kunci *chuck*. Sebagai kesimpulan, metode pendinginan kriogenik menunjukkan hasil yang lebih baik dalam hal kekerasan dan kekasaran dibandingkan dengan metode pendingin *dromus*, penelitian ini memberikan wawasan berharga untuk meningkatkan kualitas produk di industri manufaktur.

Dan dapat di lihat dari hasil penelitian yang dilakukan cukup memiliki perbandingan yang signifikan yaitu kriogenik N7 dan *dromus coolant* di N9 menurut standar kekasaran ISO atau DIN 4763:1981. Pendinginan F > F_{crit}, $F_{3,3621573}$ > $F_{2,456281}$ dan *p value* (0,047828) < dari α (0,05) maka H0 dinyatakan gagal. dan akhirya bisa diketahui bahwa terdapat pengaruh pendinginan pada kekasaran kunci *chuck*. Dan juga dari hasil *ANOVA* dapat dilihat F > F_{crit}, $F_{1,756950704}$ > $F_{1,744299}$ dan putaran spindel yaitu F > F_{crit}, $F_{45400,47357}$ > $F_{2,321812}$. dengan p *value* (0,047828) < α (0,05) dan persen kontribusi *dromus coolant* (10,62%) dan kriogenik (14,64%) maka H0 dinyatakan gagal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] T. C. Yap, “Roles of Cryogenic Cooling in Turning of Superalloys, Ferrous Metals, and Viscoelastic Polymers,” *Technologies*, vol. 7, no. 3, 2019, doi: 10.3390/technologies7030063.

[2] S. S. Muhamad, J. A. Ghani, and C. H. C. Haron, “A review on future implementation of cryogenic machining in manufacturing industry,” *Prog. Ind. Ecol. An Int. J.*, vol. 12, no. 3, p. 260, 2018, doi: 10.1504/PIE.2018.097065.

[3] A. Siregar and D. Amrinsyah, “Peningkatan Sifat-Sifat Fatik Baja NS-1045 Chromized dengan Proses Perlakuan Panas,” *J. Tek. Mesin*, vol. 14, no. 2, pp. 103–108, 2013, doi: 10.9744/jtm.14.2.103-108.

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

[4] conceptgroupllc, “jenis - jenis cairan kriogenik dan prilaku material pada suhu kriogenik,” 2023, [Online]. Available: https://conceptgroupllc.com/glossary/what-does-cryogenic-mean/

[5] M. Ridwan, Sabahunnur, and S. Alimuddin, “PENGARUH PENDINGINAN AWAL (Pre-cooling) DAN KONSENTRASI CaCl2TERHADAP UMUR SIMPAN DAN KUALITASCABAI MERAH BESAR (Capsicum annuum L.),” *J. AGrotekMAS*, vol. 3, no. 2, pp. 56–67, 2022, [Online]. Available: https://jurnal.fp.umi.ac.id/index.php/agrotekmas56

[6] E. Y. Samosir, “Preparation of Cryogenik Alcohol,” *Indones. J. Chem. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 1, p. 01, 2022, doi: 10.24114/ijcst.v5i1.33136.

[7] D. Zindani, K. Kumar, and K. Kryos, “Tinjauan singkat tentang kriogenik dalam proses pemesinan,” *Tinj. Singk. tentang Kriog. dalam proses pemesinan*, 2020, [Online]. Available: https://link-springer-com.translate.goog/article/10.1007/s42452-020-2899-5?error=cookies_not_supported&code=75e0e000-0427-41b1-8a9e-3a7055bb7a20&_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=tc

[8] E. Apriansyah, T. Widagdo, and Zainuddin, “Pengaruh Variasi Pendingin Dan Sudut Potong Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Alumunium 6061,” *J. Austenit*, vol. 12, no. 1, pp. 14–20, 2020, [Online]. Available: https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/austenit/article/view/1964

[9] S. L. Irjayanti, P. Teknik, M. Universitas, and N. Semarang, “Pengaruh Media Pendingin Dan Kecepatan Spindel Terhadap Tingkat Kekasaran Proses Cnc Turning Pada Aluminium Daur Ulang,” *J. Kompetensi Tek.*, vol. 11, no. 2, pp. 34–39, 2019.

[10] P. Arsana, I. . P. Nugraha, and K. R. Dantes, “Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekasaran,” *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 7, no. 1, pp. 7–17, 2019.

[11] S. Anthonius, G. S. Sulistioso, and ..., “Pengaruh Proses Nitridisasi Terhadap Sifat Mekanis Permukaan Baja Paduan Rendah Aisi 4340,” *J. Sains Mater. …*, vol. 4340, pp. 49–53, 2019, [Online]. Available: https://jurnal.batan.go.id/index.php/jsmi/article/view/4941

[12] N. H. A. Halim *et al.*, “Korelasi kekasaran permukaan dan kondisi tepi pahat pada pemesinan kriogenik berkelanjutan,” vol. 17, pp. 9315–9323, 2023.

[13] Harahap, “tiga jenis umum mengenai ukuran kekerasan, yang tergantung pada cara melakukan pengujian,” 2023, [Online]. Available: jurnal tentang tiga jenis umum mengenai ukuran kekerasan, yang tergantung pada cara melakukan pengujian

[14] A. Pramono, “Karakteristik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprochet Rantai,” *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 32–38, 2011, [Online]. Available: www.uddeholm.com,

[15] M. S. Al Faris and A. H. A. Rasyid, “Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Dan Ketangguhan Baja Aisi 1045 Aplikasi Poros Motor,” *J. Tek. Mesin*, vol. 11, pp. 165–170, 2023.

[16] B. Budiana, F. Nakul, N. Wivanius, B. Sugandi, and R. Yolanda, “Analisis Kekasaran Permukaan Besi ASTM36 dengan menggunakan Surftest dan Image – J,” 2020.

[17] D. I. Nugraha, A. Junaidi, and Suparjo, “Pengaruh Feed Rate dan Depth of Cut Terhadap Kekasaran Permukaan Baja AISI 1045 CNC Milling,” *Mach. J. Teknol. Terap.*, vol. 4, no. 2, pp. 98–108, 2023.

[18] A. N. Salim, D. N. Zulfika, and A. I. Dyah, “Pengaruh Jenis Pendinginan Terhadap Tingkat Kerataan Baja ST 42 Pada Mesin Bubut,” *Majamecha*, vol. 3, no. 2, pp. 75–81, 2021, doi: 10.36815/majamecha.v3i2.1308.

[19] B. Dilip Jerold and M. Pradeep Kumar, “Experimental investigation of turning AISI 1045 steel using cryogenic carbon dioxide as the cutting fluid,” *J. Manuf. Process.*, vol. 13, no. 2, pp. 113–119, 2011, doi: 10.1016/j.jmapro.2011.02.001.

[20] A. Akbar, “Analisis Kekasaran Permukaan Menggunakan Mesin Milling Pada Material Baja Karbon Tinggi Aisi D2 Dinding Tipis Pada Kondisi Kriogenik,” 2022.

[21] G. D. Haryadi, A. F. Utomo, and I. M. W. Ekaputra, “Pengaruh Variasi Temperatur Quenching Dan Media Pendingin Terhadap Tingkat Kekerasan Baja AISI 1045,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 2, p. 255, 2021, doi: 10.32497/jrm.v16i2.2633.