



Water Based Coolant sebagai Cairan Pendingin pada Proses Membubut AISI 1045 dengan Menggunakan Pahat Karbida Berlapis

Dikki Yumarsa*, Ismet Hari Mulyadi, Dedison Gasni

Fakultas Teknik, Departemen Teknik Mesin, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

Email: ^{1,*}dikki.yumarsa@gmail.com, ²ismet@eng.unand.ac.id, ³dgasni@eng.ac.id

Email Penulis Korespondensi: dikki.yumarsa@gmail.com

Abstrak—Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa water-based coolant (WBC) yang diformulasikan dengan penambahan aditif MXene (0,35%wt), Carboxymethyl Cellulose (CMC, 0,35%wt), dan Span 60 (0,7%wt) terhadap kekasaran permukaan dan keausan pahat pada proses membubut baja AISI 1045 menggunakan pahat karbida berlapis CNMG 120404. Metode penelitian menggunakan eksperimen yang dilakukan dengan membandingkan WBC aditif berbasis sistem Minimum Quantity Lubrication (MQL) dan coolant Dromus, dengan parameter pemesinan identik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan WBC aditif menghasilkan rata-rata kekasaran permukaan sebesar 3,81 μm dan keausan pahat sebesar 38,10 μm , lebih baik dibandingkan Dromus yang mencatatkan kekasaran 5,04 μm dan keausan 54,05 μm . Analisis data statistik menggunakan paired sample T-test untuk mengetahui pengaruh kekasaran permukaan dan keausan pahat antara WBC aditif dengan Dromus. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perbedaan tersebut signifikan ($p\text{-value} < 0,05$), baik untuk parameter kekasaran maupun keausan. Kombinasi sifat termal MXene, kestabilan CMC, dan peran emulsifikasi Span 60 terbukti efektif dalam meningkatkan performa pendinginan dan pelumasan. Temuan ini mengindikasikan bahwa WBC aditif berpotensi menjadi alternatif pendingin yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan dalam proses pemesinan konvensional.

Kata Kunci: Water-based Coolant; MXene; CMC; Span 60; Keausan Pahat; Kekasaran Permukaan; MQL

Abstract—This study aims to evaluate the performance of water-based coolant (WBC) formulated with the addition of MXene additives (0.35 wt%), Carboxymethyl Cellulose (CMC, 0.35 wt%), and Span 60 (0.7 wt%) on surface roughness and tool wear during the turning process of AISI 1045 steel using CNMG 120404 coated carbide cutting tools. The research method employed experimental approach by comparing additive-based WBC under Minimum Quantity Lubrication (MQL) system with Dromus coolant, using identical machining parameters. The test results demonstrated that the use of additive WBC produced an average surface roughness of 3.81 μm and tool wear of 38.10 μm , which was superior compared to Dromus coolant that recorded roughness of 5.04 μm and wear of 54.05 μm . Statistical data analysis using paired sample T-test was conducted to determine the effect of surface roughness and tool wear between additive WBC and Dromus. The statistical analysis results showed that the difference was significant ($p\text{-value} < 0.05$) for both roughness and wear parameters. The combination of MXene's thermal properties, CMC's stability, and Span 60's emulsification role proved effective in enhancing cooling and lubrication performance. These findings indicate that additive WBC has the potential to serve as an efficient, economical, and environmentally friendly coolant alternative in conventional machining processes.

Keywords: Water-based Coolant; MXene; CMC; Span 60; Tool Wear; Surface Roughness; MQL

1. PENDAHULUAN

Coolant (cairan pendingin) merupakan salah satu komponen vital dalam proses di industri permesinan. Penggunaan *coolant* bertujuan mengurangi panas dan gesekan selama proses pemesinan, sehingga memperpanjang umur pahat, meningkatkan kepresisian dimensi, dan mengoptimalkan kualitas permukaan benda kerja (Pramanik et al., 2023). Namun, penggunaan coolant berbasis minyak yang masih dominan dalam industri pemesinan saat ini menghadapi sejumlah tantangan serius. Salah satu kendala utama adalah biaya operasional yang tinggi, di mana coolant berbasis minyak menyumbang sekitar 30–45% dari total biaya pemesinan. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan penggantian secara berkala dan sistem pengelolaan yang relatif kompleks (Dhar et al., 2007). Selain itu, terdapat dampak kesehatan bagi operator, karena paparan jangka panjang terhadap cairan pendingin berbasis minyak dapat menyebabkan iritasi kulit dan gangguan pernapasan (National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH], 1998).

Dari sisi lingkungan, pengelolaan limbah coolant juga menjadi masalah, Limbah coolant sulit terurai secara alami dan memerlukan proses pengolahan khusus yang mahal (Cheng et al., 2005). Pencemaran lingkungan juga dapat terjadi karena limbah cutting fluid yang tidak dikelola dengan baik berpotensi mencemari tanah dan badan air serta memberikan dampak negatif terhadap ekosistem, sehingga diperlukan penggunaan cairan pendingin yang lebih ramah lingkungan (Debnath et al., 2014).

Studi yang dilakukan oleh Hu et al. (2024) menunjukkan bahwa penggunaan nanoparticle-enhanced water-based coolant mampu meningkatkan kemampuan perpindahan panas dibandingkan coolant konvensional karena memiliki konduktivitas termal dan karakteristik pelumasan yang lebih baik, sehingga mampu menurunkan temperatur pada zona pemotongan serta meningkatkan performa proses pemesinan. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan konduktivitas termal sebesar sekitar 37,3%, penurunan temperatur proses hingga 25,6%, serta perbaikan kualitas permukaan benda kerja. Namun, penggunaan water base *coolant* masih menghadapi kendala dalam hal stabilitas pada temperatur tinggi, kemampuan pelumasan yang terbatas, dan korosi pada material benda kerja (Hu et al., 2024). Keterbatasan ini menjadi tantangan utama dalam pemanfaatan WBC secara luas di industri manufaktur. Seiring dengan Perkembangan nanoteknologi, khususnya MXene sebagai material 2D membuka peluang baru dalam peningkatan performa dari coolant. Penelitian Yu et al. (2022), MXene merupakan material dua dimensi yang memiliki konduktivitas termal



tinggi, sifat pelumasan yang baik dengan koefisien gesek yang rendah (sekitar 0,1 pada kondisi tribologi tertentu, serta stabilitas termal yang baik hingga sekitar 800°C pada atmosfer inert, sehingga berpotensi digunakan sebagai aditif coolant maupun pelumas pada proses pemesinan. Penambahannya diharapkan mampu mengatasi kelemahan WBC secara signifikan, baik dari sisi efisiensi termal, pelumasan, maupun perlindungan terhadap korosi. Oleh karena itu, pemanfaatan MXene dalam formulasi water based *coolant* menjadi pendekatan inovatif dan strategis dalam upaya meningkatkan performa pemotongan sekaligus mendukung keberlanjutan industri manufaktur yang lebih ramah lingkungan.

Carboxymethyl Cellulose (CMC) adalah aditif penting dalam formulasi water based coolant untuk meningkatkan performa pendinginan dan pelumasan. CMC berfungsi sebagai *thickening agent* atau agen pengental yang meningkatkan viskositas larutan, sehingga coolant tidak terlalu encer dan dapat memberikan perlindungan optimal terhadap gesekan. Sebagai polimer hidrofilik, CMC mampu menyerap dan mengikat air melalui ikatan hidrogen, menciptakan jaringan yang memperkuat viskositas cairan. Dalam studi yang dilakukan oleh Rahmadiawan et al. (2023) menunjukkan bahwa penambahan MXene 0,35 wt% pada cairan pendingin berbasis air yang distabilkan menggunakan CMC sekitar 0,4 wt% mampu meningkatkan viskositas hingga 46% dan konduktivitas termal hingga 52%. Kombinasi tersebut juga meningkatkan stabilitas dispersi serta membentuk lapisan pelumas yang lebih efektif. Namun, selama penyimpanan jangka panjang nanopartikel MXene masih berpotensi mengalami aglomerasi sehingga diperlukan penambahan surfaktan untuk mempertahankan kestabilan suspensi dan performa pelumas. Sementara itu, Span 60, yang merupakan surfaktan non-ionik hasil esterifikasi sorbitol dengan asam stearat, berfungsi sebagai emulsifier dan stabilizer. Peran utamanya adalah membantu mencampurkan air dengan aditif lain dalam coolant, mencegah pemisahan fase, serta mengurangi tegangan permukaan agar distribusi cairan lebih merata pada permukaan benda kerja. Studi oleh Savrik et al. (2021) melaporkan bahwa penggunaan Span 60 sebagai dispersan pada spindle oil mampu mendistribusikan nanopartikel zinc borate secara homogen sehingga mencegah aglomerasi dan meningkatkan stabilitas dispersi. Dispersi yang lebih baik tersebut berkontribusi terhadap penurunan diameter jejak keausan hingga 61,8% serta menurunkan kekasaran permukaan dari 35,63 nm menjadi 27,60 nm dibandingkan pelumas tanpa penambahan nanopartikel zinc borate. Dalam penelitian Ali et al. (2018), penambahan surfaktan nonionik Span 60 bertujuan untuk meningkatkan kestabilan dispersi nanopartikel pada water-based coolant melalui penurunan tegangan permukaan dan peningkatan interaksi antara nanopartikel dengan fluida dasar. Keberadaan surfaktan membantu mengurangi kecenderungan sedimentasi dan aglomerasi nanopartikel sehingga dispersi menjadi lebih homogen dan stabil. Distribusi nanopartikel yang lebih merata diharapkan dapat meningkatkan kemampuan pelumasan dan perpindahan panas pada daerah kontak selama proses pemesinan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan MXene pada grease maupun nanofluid mampu menurunkan temperatur kontak dan koefisien gesek sehingga mengurangi keausan serta meningkatkan kualitas permukaan pada proses tribologi maupun pemesinan. Meskipun sebagian besar penelitian dilakukan pada sistem tribologi atau proses pemesinan CNC, mekanisme pelumasan dan perpindahan panas yang dihasilkan berpotensi diterapkan pada proses pembubutan konvensional (Yang et al., 2025). Selain itu, penelitian oleh Utomo (2022) menyatakan bahwa penggunaan minyak kelapa dan minyak canola sebagai cairan pendingin pada proses pembubutan berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan hasil pemesinan.

Meskipun belum ada penelitian yang secara spesifik mengkaji penambahan MXene dalam pelumas berbasis air untuk mesin bubut konvensional, temuan dari studi-studi di atas menunjukkan bahwa modifikasi pelumas atau pendingin dapat mempengaruhi hasil pemesinan. Berdasarkan hasil-hasil beberapa penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi MXene 0,35 wt%, CMC 0,35 wt%, dan Span 60 0,7 wt% merupakan kombinasi optimum yang telah terbukti secara empiris dapat meningkatkan performa WBC dari sisi pendinginan, pelumasan, dan kestabilan jangka panjang. Kombinasi ini dijadikan sebagai dasar penetapan batasan konsentrasi aditif dalam penelitian ini, serta menjadi pijakan penting dalam menyusun metodologi eksperimen untuk mengevaluasi dampaknya terhadap kekasaran permukaan dan keausan pahat dalam proses pembubutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi dan efektivitas penggunaan water based Coolant dengan penambahan MXene, CMC, SP 60 dalam mengurangi keausan pahat dan kekasaran permukaan dibandingkan dengan menggunakan *coolant* konvensional (dromus) pada proses turning.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Pelumas

Water based coolant yang dipergunakan pada penelitian ini terdiri dari 98,6% *Ion water*, 0,35% Mxene dan 0,35% CMC (0,35%wt) yang didispersi dengan menggunakan sebanyak 0,7% berat SP 60. Komposisi ini merupakan komposisi yang direkomendasikan oleh Ali et al. (2018) dan Rahmadiawan et al. (2023) untuk memperoleh karakteristik termal yang baik.

Pembuatan coolant berbasis air dengan aditif MXene, CMC, dan Span 60 dimulai dengan menyiapkan seluruh bahan dan peralatan yang dibutuhkan, termasuk air deionisasi (ion water), bubuk MXene, bubuk CMC (Carboxymethyl Cellulose), dan surfaktan Span 60, serta peralatan laboratorium seperti timbangan digital, beaker glass, magnetic stirrer, dan ultrasonik homogenizer. Langkah pertama adalah memanaskan sebagian kecil air (sekitar 100 ml dari total volume 986 ml) hingga suhu 50–60°C untuk melarutkan Span 60 sebanyak 0,7% berat (7 gram per 1000 gram campuran). Larutan dipanaskan dan diaduk secara perlahan agar Span 60 dapat terdispersi dengan baik. Setelah itu, CMC sebanyak

0,35% berat (3,5 gram) ditambahkan sedikit demi sedikit ke dalam larutan hangat tersebut sambil terus diaduk hingga CMC larut dan membentuk larutan yang lebih kental dan homogen. Di sisi lain, MXene sebanyak 0,35% berat (3,5 gram) didispersikan ke dalam sisa air deionisasi menggunakan ultrasonik homogenizer selama 15–30 menit atau menggunakan magnetic stirrer berkecepatan tinggi selama minimal 1 jam jika sonikator tidak tersedia. Setelah larutan MXene terbentuk secara merata, campuran Span 60 dan CMC kemudian dituangkan perlahan ke dalam larutan MXene sambil terus diaduk selama 30–60 menit hingga terbentuk larutan coolant homogen. Campuran akhir didinginkan hingga suhu ruang dan disimpan dalam wadah kedap cahaya dan udara pada suhu sejuk (sekitar 4–8°C) untuk menjaga kestabilan larutan. Untuk pembandingan, pada penelitian digunakan cairan pendingin jenis *water miscible cutting fluid* merk *Dromus* yang umum dipergunakan pada industri maupun bengkel-bengkel pemrosesan. Pada penelitian ini spesifikasinya diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *Water Miscible Cutting Fluid* Merk *Dromus*

Massa Jenis	0,993 kg/liter
Tipe Emulsi	Putih Pekat
Konsentrasi Ph pada 5%	9,09 %

2.2 Pahat

Untuk benda kerja *AISI 1045* ini akan dilakukan proses membubut dengan menggunakan pahat dari bahan karbida berlapis (*coating*). Pemilihan jenis pahat ini disebabkan mudah diperoleh di pasaran dan telah memiliki geometri yang telah terdefinisi dengan baik. Pahat ini memiliki spesifikasi teknik CNMG 120404 dan permukaannya telah dilapisi dengan TiN (Titanium Nitride) Gambar 1.



Gambar 1. Pahat Carbida Coated

2.3 Benda Kerja

Untuk mengetahui performansi pemrosesan dari water based coolant yang diuji maka dilakukan proses membubut baja karbon menengah *AISI 1045* dengan panjangnya 250 mm dan diameter 25 mm. Jenis benda kerja tersedia secara komersial di pasaran karena dapat dipergunakan untuk komponen mesin umum. Tabel 2 dan Tabel 3 memberikan informasi karakteristik dari benda kerja yang digunakan.

Tabel 2. Unsur Kimia Baja Karbon Menengah *AISI 1045*

Unsur Kimia	Komposisi
Carbon, C	0,50%
Iron, Fe	98,90%
Magnesium, Mn	0,90%
Sulfur, S	0,05%
Fosfor, P	0,04%

Tabel 3. Karakteristik Baja Karbon Menengah *AISI 1045*

Jenis	Baja Karbon menengah
Kode Struktural	AISI 1045
Densitas.	7850 kg/m ³
Hardness (Brinell)	210
Ultimate Tensile Strength	570 MPa
Modulus Elastisitas	210 GPa
Konduktivitas Termal	49,8 W/m-K

2.4 Variabel Percobaan

Dalam penelitian ini, variabel-variabel yang digunakan dikelompokkan ke dalam tiga jenis, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel tetap/kontrol. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah cairan pendingin (coolant) yang digunakan selama proses pembubutan, yaitu water based coolant (WBC) aditif dan coolant *Dromus*. Variabel ini

berfungsi sebagai faktor yang memengaruhi hasil pembubutan. Variabel terikat adalah hasil yang diukur atau diamati akibat pengaruh dari variabel bebas, yaitu meliputi nilai kekasaran permukaan benda kerja (R_a) dan keausan pahat (V_B). Sementara itu, variabel tetap/kontrol adalah faktor-faktor yang dikendalikan atau dijaga konstan selama penelitian agar tidak memengaruhi hasil dan menjaga validitas eksperimen. Variabel tetap dalam penelitian ini mencakup jenis material benda kerja (AISI 1045), jenis pahat yang digunakan (pahat karbida berlapis), parameter pemotongan (kecepatan potong, kedalaman potong, dan kecepatan pemakanan), dan mesin bubut.

2.5 Pengujian Keausan dan Pemeriksaan Kekasaran Permukaan

Mesin perkakas yang akan digunakan pada pengerjaan penelitian ini ialah mesin bubut (*Turning Machines*) konvensional produk Krisbow KW 15-907.

2.6 Rancangan Percobaan

Untuk mencapai tujuan penelitian dan memperoleh data yang valid, dilakukan rancangan percobaan dengan menggunakan dua jenis cairan pendingin, yaitu *water based coolant* (WBC) aditif dan *coolant* konvensional (Dromus). Proses membubut dilakukan pada material AISI 1045 dengan parameter potong konstan serta menggunakan pahat karbida berlapis. Setiap kombinasi perlakuan seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4 dilakukan pengulangan sebanyak sebanyak dua kali ulangan.

Tabel 4. Rancang Percobaan

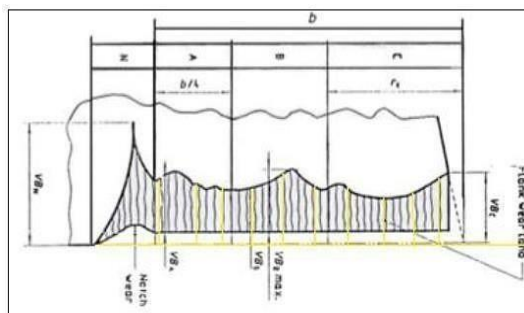
No	Jenis Coolant	N (rpm)	f (mm/rev)	a (mm)	Lt (mm)	Kausan Pahat Rata-rata (V_B)	Kekasaran Permukaan Rata-rata (R_a)
1	WBC Aditif	1.800	0,3	1,5	3.200		
2	Dromus	1.800	0,3	1,5	3.200		

Prosedur percobaan diawali dengan menyiapkan mesin bubut, pahat, benda kerja, serta dua jenis coolant, yaitu coolant WBC aditif dan coolant Dromus. Pahat dan benda kerja kemudian dipasang pada mesin, selanjutnya parameter pemesinan berupa putaran spindel (N), kedalaman potong (ap), dan gerak makan (f) ditetapkan sesuai rancangan penelitian. Proses pembubutan dilakukan sepanjang 3,2 m menggunakan masing-masing coolant sebanyak dua kali pengujian. Setelah proses pemotongan selesai, pahat dan benda kerja diberi label, kemudian dilakukan pengamatan keausan pahat menggunakan mikroskop stereo dan aplikasi *measuring*, sedangkan kekasaran permukaan diukur menggunakan *Surface Roughness Tester* Mitutoyo SJ-301. Seluruh hasil pengukuran dicatat dan disusun dalam tabel untuk selanjutnya dianalisis.

2.7 Pengukuran Keausan Pahat

Mikroskop optik yang digunakan untuk mengamati bidang utama yang mengalami keausan adalah mikroskop jenis stereo Olympus Yamata GX71F. Mikroskop ini dilengkapi dengan perangkat lunak pengolah gambar sehingga dapat juga dipergunakan untuk mengukur panjang keausan tepi pada bidang utama pahat.

Untuk Keausan pahat yang akan diukur yaitu keausan tepi pahat (V_B). Cara mengukur keausan tepi pahat akan diperlihatkan pada Gambar 2 yang menjelaskan tentang bidang utama yang mengalami keausan yang telah diambil menggunakan mikroskop optik stereo. Pada bagian mata potong akan dibuat garis lurus dengan mempergunakan perangkat lunak pengukuran. Garis lurus yang dibuat ini memiliki fungsi sebagai garis maya untuk mengukur panjang keausan pahat pada bidang utama. Pada garis tersebut akan ditarik garis tegak lurus yang mana garis tersebut akan ditarik sampai berpotongan dengan puncak dan lembah yang terbentuk pada bidang utama pahat.

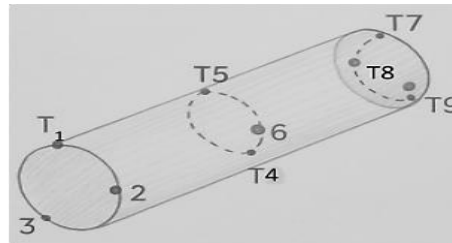


Gambar 2. Metode Pengukuran Keausan Tepi Pahat

2.8 Pengukuran Kekasaran Permuk

Untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan yang dihasilkan oleh kedua jenis cairan pendingin yang dibandingkan pada penelitian ini dipergunakan alat ukur kekasaran permukaan yang memiliki resolusi sampai 0,01 μm . Alat ukur ini adalah Mitutoyo Surface Roughness Tester SJ301.

Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan menggunakan alat ukur kekasaran permukaan (*surface roughness tester*) dengan sistem kontak stylus. Proses pengukuran dilakukan secara langsung pada permukaan benda kerja hasil proses pemesian bubut, dengan total 9 titik pengukuran yang tersebar di sepanjang keliling poros. Titik-titik ini diposisikan pada tiga arah sudut utama yaitu 0°, 60°, dan 120°, masing-masing terdiri atas tiga titik radial dari pusat ke arah luar permukaan. Pengukuran di setiap titik dilakukan sejajar dengan sumbu panjang poros untuk memastikan keterwakilan kualitas permukaan secara menyeluruh seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Posisi Titik Pengukuran

Hasil pengukuran semua titik akan dimasukkan ke dalam tabel hasil pengukuran dengan dihitung nilai rata rata seperti Tabel 5

Tabel 5. Hasil Pengukuran

JENIS COOLANT	TITIK	NILAI Ra (μm)
	T1	
	T2	
	T3	
	T4	
	T5	
	T6	
	T7	
	T8	
	T9	

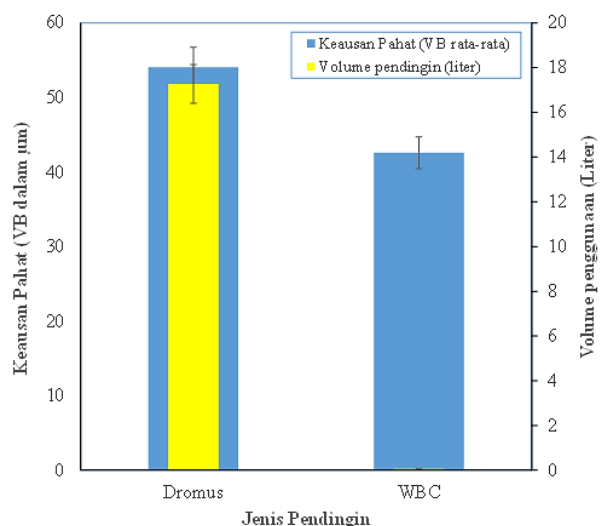
Hitung rata-rata nilai kekasaran permukaan (Ra rata-rata) dengan persamaan 1 :

$$Ra_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^9 Ra_i}{9} \quad (1)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Performansi *Water Based Coolant* terhadap Keausan pahat

Untuk mengevaluasi performa WBC (*Water-based Coolant*) aditif terhadap keausan pahat dan membandingkan dengan cairan pendingin konvensional yang umum dipergunakan dengan volume penyaluran yang menyesuaikan telah dilakukan penelitian dan hasilnya diberikan pada Gambar 4.



Gambar 4 . Perbedaan keausan tepi pahat dan volume yang disalurkan antara cairan pendingin Dromus dan WBC

Pada Gambar 4 diperlihatkan bahwa penggunaan WBC mampu mengurangi tingkat keausan tepi pahat (*Flank Wear*) sampai sekitar 29,54% jika dibandingkan dengan penggunaan cairan pendingin jenis Dromus. Dengan menggunakan WBC pahat hanya mengalami keausan 38,10 μm untuk panjang pemotongan sampai 3,2 m. Hasil ini dicapai dengan hanya mempergunakan volume sebesar 0,04688 liter atau sekitar 99,72% lebih sedikit jika dibandingkan dengan metoda pembanjiri (*flooding*) yang dipergunakan untuk cairan pendingin jenis Dromus.

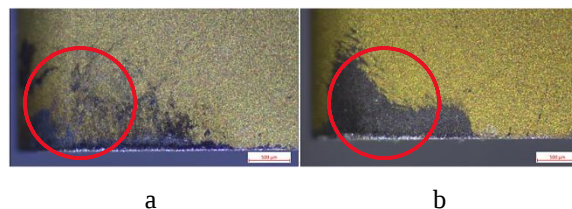
Selanjutnya dari hasil pada Gambar 4, dilakukan uji validitas untuk mengetahui perbedaan antara perbandingan menggunakan kedua jenis cairan pendingin pada penelitian ini. Berdasarkan kondisi data yang ada maka dipergunakan metoda Paired Sample t-test, yang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SPSS IBM versi 26. Dengan menggunakan tingkat keyakinan (*Confidential Factor*) sebesar 95% dan 5% (0,005) sebagai batas tingkat perbedaan (*significant level* (p)) diperoleh hasil uji statistik seperti yang diberikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Paired sample t-test Nilai Keausan Pahat

Difference of level	Mean	Sig. (p -Value)
WBC aditif – Dromus	-15,955	0,017

Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa perbedaan antara WBC dengan cairan pendingin Dromus dalam menurunkan tingkat keausan pahat berbeda secara nyata (*significant*). Hal ini diindikasikan dari nilai p -value yang kecil dibandingkan standar yang telah ditetapkan (p -value $\leq 0,05$). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa WBC yang digunakan memiliki dampak nyata terhadap keausan pahat dibandingkan dengan jenis cairan konvensional yang umum dipergunakan bahkan dengan volume penggunaan yang jauh lebih sedikit.

Menurut Kesriklioglu (2022), hal ini disebabkan water-based coolant (WBC) memiliki kemampuan perpindahan panas (*heat transfer*) yang baik. Pada aplikasi yang mampu mengantarkan fluida secara efektif ke daerah kontak pahat–geram, panas hasil pemotongan dapat dilepaskan lebih cepat sehingga temperatur pemotongan menurun. Penurunan temperatur ini membatasi mekanisme pelunakan termal (*thermal softening*) pada pahat, sehingga keausan pahat dapat dikurangi dan umur pahat meningkat. Dengan menurunnya temperatur pemotongan, laju keausan pahat dapat diperlambat karena berkurangnya aktivasi mekanisme keausan yang dipengaruhi oleh temperatur, seperti *adhesive wear*, *oxidation wear*, dan *diffusion wear*. Akibatnya, umur pahat menjadi lebih panjang serta kualitas permukaan hasil pemesinan dapat dipertahankan (Zhao et al., 2021). Hal ini diperkuat dengan hasil pengamatan daerah keausan seperti yang ditunjukkan pada lingkaran merah pada Gambar 5. Yang mana daerah terdampak abrasi pada bidang utama pahat relatif tidak ada pada bagian mata potong pahat yang mempergunakan WBC. Bahkan tidak terlihat perbedaan nyata antara daerah abrasi yang disebabkan oleh pembuatan radius mata potong (*cutting edge radius*) dengan daerah abrasi yang disebabkan oleh terjadinya keausan pahat.



Gambar 5. Gambar keausan tepi pahat dengan menggunakan (a) WBC aditif dan (b) Dromus

Jadi penggunaan WBC pada penelitian ini menunjukkan efektivitasnya dalam mengurangi keausan pahat dengan jumlah volume cairan yang disalurkan ke daerah kontak pemotongan dalam jumlah terbatas. Hal ini disebabkan oleh kontribusi utama material MXene sebagai aditif nano. MXene merupakan kelompok material dua dimensi (2D) yang tersusun atas karbida, nitrida, atau karbonitrida logam transisi. Material ini memiliki sifat tribologis dan termal yang sangat baik sehingga berpotensi digunakan sebagai aditif pelumas maupun cairan pendingin pada proses pemesinan. Salah satu keunggulan MXene adalah konduktivitas termalnya yang sangat tinggi, yang pada beberapa jenis $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ dilaporkan dapat mencapai sekitar 500 W/m $\cdot$ K, sehingga mampu mempercepat perpindahan panas dari zona pemotongan dan meningkatkan performa pelumasan (Lu et al., 2023).

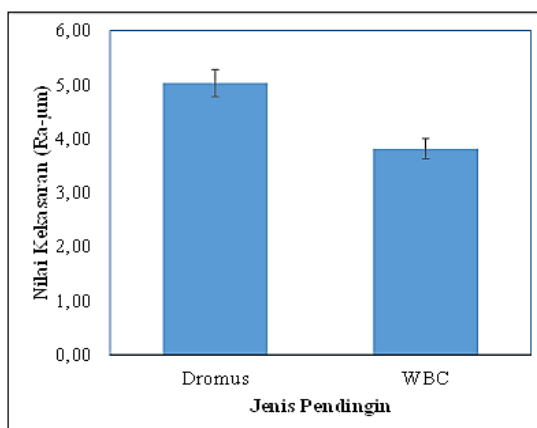
Hal ini sangat penting dalam proses pemesinan karena dapat menurunkan suhu lokal secara signifikan, sehingga mengurangi risiko keausan termal, yang merupakan salah satu mekanisme utama kerusakan pada pahat karbida. CMC juga membantu mempertahankan kestabilan viskositas dan membentuk film pelindung, mengurangi gesekan langsung antara pahat dan benda kerja (Rahmadiawan et al., 2023). Sedangkan Span 60 memastikan distribusi partikel MXene tetap merata selama proses berlangsung.

3.2 Performansi Water Based Coolant terhadap Kekasaran Permukaan

Jika mengacu kepada hasil yang dipaparkan pada bagian 4.1, maka pengaruh penggunaan WBC pada tingkat keausan pahat juga akan mempengaruhi kekasaran permukaan yang dihasilkan dari proses pemesinan. Pahat yang aus menyebabkan mata potong mengalami penumpukan. Mata potong yang tumpul pada proses pemesinan akan memicu terjadinya mekanisme pemotongan membajak (*ploughing*) dibandingkan menggeser (*shearing*) sesuai yang diharapkan.

Keausan pahat menyebabkan perubahan geometri ujung pahat (*cutting edge geometry*) sehingga terbentuk ketidakaturan (*surface irregularities*) pada permukaan benda kerja. Perubahan geometri tersebut memengaruhi proses

pembentukan geram dan meningkatkan nilai kekasaran permukaan hasil pemesinan. Untuk itu pada penelitian tingkat kekasaran permukaan produk dengan mempergunakan dua jenis cairan pendingin yang diamati juga dilakukan. Hasilnya diberikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbedaan Nilai Kekasaran Permukaan (Ra) dari produk hasil proses membubut dengan mempergunakan cairan pendingin Dromus dan WBC

Dari Gambar 6 diketahui bahwa penggunaan cairan pendingin WBC mampu menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik sebesar 24,4% dari proses membubut yang menggunakan cairan pendingin Dromus. Artinya, secara umum WBC Aditif menghasilkan permukaan yang lebih halus dibandingkan Bromus. Selanjutnya, untuk memastikan bahwa perbedaan yang terjadi merupakan refleksi dari pengaruh nyata akibat variasi jenis cairan pendingin yang dipergunakan maka dilakukan uji statistik. Uji statistik Paired Sample t-test dipilih dengan memanfaatkan perangkat lunak SPSS IBM versi 26 dengan tingkat keyakinan 95% ($p\text{-value} \leq 0,05$). Hasil uji statistik diperlihatkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Paired sample t-test nilai Kekasaran Permukaan

Difference of level	Mean	Sig. (p -Value)
WBC aditif – Dromus	-1,215	0,003

Dari Tabel 7 diketahui bahwa perbedaan antara nilai kekasaran dari produk hasil proses membubut dengan mempergunakan cairan pendingin Dromus dan WBC berbeda nyata ($p\text{-value} \leq 0,05$). Artinya, terdapat perubahan kekasaran ketika kedua jenis cairan pendingin dipergunakan. Kemampuan Water-Based Coolant (WBC) dengan aditif MXene dalam menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih rendah pada proses pembubutan berkaitan erat dengan kemampuannya mengurangi gesekan dan keausan pahat. Struktur berlapis MXene memungkinkan terbentuknya tribofilm pelindung pada daerah kontak pahat–geram dan pahat–benda kerja sehingga koefisien gesek serta temperatur pemotongan menurun. Penurunan temperatur tersebut menghambat terjadinya adhesive wear, efek pengelasan mikro (micro-welding), dan pembentukan Built-Up Edge (BUE) pada ujung pahat. Akibatnya, geometri ujung pahat tetap stabil dan bekas pemotongan (feed marks) pada permukaan benda kerja dapat diminimalkan sehingga menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih rendah (Miao et al., 2023). Selain itu, MXene mampu membentuk tribofilm yang berfungsi sebagai lapisan pelindung di antara permukaan kontak sehingga mengurangi gesekan langsung dan keausan. Penurunan gesekan tersebut berkontribusi terhadap kestabilan proses pemotongan sehingga menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik (Chhattal et al., 2023).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan *Water-Based Coolant* (WBC) dengan penambahan aditif MXene, CMC, dan Span 60 menunjukkan peningkatan performa pemotongan yang signifikan dibandingkan dengan penggunaan cairan pendingin Dromus. WBC aditif mampu menurunkan keausan tepi pahat sebesar 29,54%, yang menunjukkan efisiensi dalam menjaga umur pahat. Keunggulan ini dapat dicapai hanya dengan memanfaatkan volume sebesar 0,04935 liter atau terjadi efisiensi sebesar 99,72%. Selanjutnya, keunggulan penggunaan WBC juga diperlihatkan dari indikator kekasaran permukaan. Yang dengan menggunakan WBC aditif, nilai kekasaran permukaan produk dapat diturunkan sebesar 24,4% lebih rendah dibandingkan Dromus. Seluruh perbedaan tersebut telah divalidasi dengan menggunakan metoda uji *Paired Sample t-test* ($p < 0,05$) dan dinyatakan merupakan refleksi dari pengaruh nyata dari variasi jenis cairan pendingin yang dipergunakan.

REFERENCES

Pramanik, A., Basak, A. K., Shankar, S., Yang, K. Z., Prakash, C., Dixit, S., Kumar, K., Vatin, N., & Dong, Y. (2023). Application of coolants during tool-based machining: A review. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(1), 101830. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101830>.



- Dhar, N. R., Ahmed, M. T., & Islam, S. (2007). An experimental investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47(5), 748–753. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2006.09.017>.
- National Institute for Occupational Safety and Health. (1998). Criteria for a recommended standard: Occupational exposure to metalworking fluids (DHHS (NIOSH) Publication No. 98–102). U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention. <https://doi.org/10.26616/NIOSH PUB98102>.
- Cheng, C., Phipps, D., & Alkhaddar, R. M. (2005). Treatment of spent metalworking fluids. *Water Research*, 39(17), 4051–4063. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.07.012>.
- Debnath, S., Reddy, M. M., & Yi, Q. S. (2014). Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: A review. *Journal of Cleaner Production*, 83, 33–47. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.071>.
- Hu, S., Li, C., Zhou, Z., et al. (2024). Nanoparticle-enhanced coolants in machining: Mechanism, application, and prospects. *Frontiers of Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s11465-023-0769-8>.
- Yu, L., Xu, L., Lu, L., Alhalili, Z., & Zhou, X. (2022). Thermal properties of MXenes and relevant applications. *ChemPhysChem*, 23(17), e202200203. <https://doi.org/10.1002/cphc.202200203>.
- Rahmadiawan, D., Shi, S. C., Fuadi, Z., Abral, H., Putra, N., Irwansyah, R., Gasni, D., & Fathoni, A. M. (2023). Experimental investigation on stability, tribological, viscosity, and thermal conductivity of MXene/Carboxymethyl Cellulose (CMC) water-based nanofluid lubricant. *Jurnal Tribologi*, <https://jurnaltribologi.mytribos.org/v39/JT-39-36-50.pdf> 39, 36–50.
- Savrik, S., Alp, F. B., Gönen, M., & Balköse, D. (2021). Lubricants having zinc borate by homogeneous precipitation and Span 60 in spindle oil. *Journal of Boron*, 6(3), 338–347. <https://doi.org/10.30728/boron.95146>.
- Ali, N., Teixeira, J. A., & Addali, A. (2018). A review on nanofluids: Fabrication, stability, and thermophysical properties. *Journal of Nanomaterials*, 2018, 6978130. <https://doi.org/10.1155/2018/6978130>.
- Yang, Z., Wang, Z., Li, J., Ding, S., & Yi, S. (2025). Tribological and machining performance of novel DE@Mo₂CTx MXene bio-microcapsule nanofluids in machining of magnesium alloys. *Tribology International*, 211, 110828. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2025.110828>.
- Utomo, D. R. (2022). Pemanfaatan minyak kelapa dan minyak canola sebagai cairan pendingin mesin bubut terhadap kekasaran permukaan. *Teknosia*, 16(1). <https://doi.org/10.33369/teknosia.v16i1.19154>.
- Kesriklioglu, S. (2022). Ineffectiveness of flood cooling in reducing cutting temperatures during continuous machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 122(9–10), 3957–3968. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-10093-7>.
- Zhao, J., Liu, Z., Wang, B., Hu, J., & Wan, Y. (2021). Tool coating effects on cutting temperature during metal cutting processes: Comprehensive review and future research directions. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 150, 107302. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2020.107302>.
- Lu, X., Gu, X., & Shi, Y. (2023). A review on the synthesis of MXenes and their lubrication performance and mechanisms. *Tribology International*, 179, 108170. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.108170>.
- Miao, X., Li, Z., Liu, S., Wang, J., & Yang, S. (2023). MXenes in tribology: Current status and perspectives. *Advanced Powder Materials*, 2(2), 100092. <https://doi.org/10.1016/j.apmate.2022.100092>.
- Chhattal, M., Rosenkranz, A., Zaki, S., Ren, K., Ghaffar, A., Gong, Z., & Grützmacher, P. G. (2023). Unveiling the tribological potential of MXenes: Current understanding and future perspectives. *Advances in Colloid and Interface Science*, 321, 103021. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2023.103021>.