

Analisis Perilaku Termal dan Kapasitas Panas Mata Pahat *Uncoated* dan *Coated Carbide* pada Proses Pemotongan Besi Tuang

Analysis of Thermal Behavior and Heat Capacity of Uncoated and Coated Carbide Cutting Tools in Cast Iron Cutting Process

M. Sobron Yamin Lubis¹, Abrar Riza¹, Han Han¹, Nathan Ferdiantino Hidayat¹

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara, Jakarta 11440, Indonesia

Corresponding author: sobronl@ft.untar.ac.id

Diterima: 01-03-2025

Disetujui: 20-03-2025

Dipublikasikan: 30-04-2025

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Dalam proses pembubutan, sebagian besar energi berubah menjadi panas yang tersebar ke pahat, serpihan, dan benda kerja. Panas ini berpindah melalui konduksi dan dapat menyebabkan keausan pada pahat. Untuk mengurangi keausan, digunakan pelapis dengan konduktivitas termal rendah. Penelitian ini bertujuan menganalisis penyerapan dan kapasitas panas pada pahat karbida tanpa pelapis dan yang dilapisi TiCN + Al₂O₃ + TiN saat membubut besi tuang. Pengujian dilakukan pada kecepatan potong 160, 210, dan 260 m/menit. Temperatur diukur menggunakan termokopel tipe K. Hasil menunjukkan bahwa pelapis efektif menghambat panas masuk ke pahat. Karbida berlapis membutuhkan 64,5 J/K untuk kenaikan suhu 1K, sedangkan karbida tanpa pelapis hanya 1,5 J/K. Ini berarti pahat tanpa pelapis lebih cepat panas dan lebih cepat aus.

Kata Kunci: Besi tuang, penyerapan panas, karbida berlapis, kapasitas panas.

Abstract

During turning, most energy is converted into heat, which spreads to the cutting tool, chips, and workpiece. Heat transfer occurs via conduction and can cause tool wear. To reduce this, coatings with low thermal conductivity are used. This study aims to analyze heat absorption and heat capacity of uncoated carbide and TiCN + Al₂O₃ + TiN coated carbide tools during cast iron turning. Tests were conducted at 160, 210, and 260 m/min cutting speeds. Temperatures were measured using a K-type thermocouple placed at the tooltip. Results show the coating effectively reduces heat penetration into the tool. The coated carbide required 64.5 J/K for a 1 K temperature rise, while the uncoated only needed 1.5 J/K. This indicates uncoated tools heat up faster and wear more quickly.

Keywords: Cast iron, heat absorption, coated carbide, heat capacity.

1. Pendahuluan

Proses pemotongan logam tidak terlepas dari penggunaan mata pahat potong. Semakin tinggi kekerasan jenis material yang akan di potong, maka harus semakin meningkat kekerasan mata pahat. Pada proses pemotongan logam, ketika mata pahat bergerak melakukan pemotongan pada permukaan benda kerja, maka terjadi gesekan dan geseran, hal ini menimbulkan panas pada permukaan bidang kontak mata pahat, benda kerja dan serpihan yang dihasilkan. Jika dibiarkan maka secara kontinu panas menyebar pada permukaan mata pahat dan pada akhirnya menyebabkan mata pahat tersebut akan mengalami keausan. Jika hal ini terjadi,

sudah tentu mata pahat akan mengalami kerusakan dan umur mata pahat menjadi lebih singkat. Hingga saat ini berbagai jenis mata pahat telah dikembangkan, dan yang paling umum banyak digunakan adalah mata pahat jenis karbida, terdapat dua jenis mata pahat karbida yaitu *uncoated carbide* dan *coated carbide*. Umumnya mata pahat ini digunakan untuk melakukan pemotongan logam-logam yang keras seperti *cast iron*.

Material teknik telah berkembang dalam hal kekerasan dan kekuatan. Cast iron merupakan salah satu material teknik tersebut. Nodular cast iron memiliki keunggulan yang lebih dibandingkan malleable cast iron dan dalam aplikasinya nodular cast iron banyak digunakan dalam konstruksi yang membutuhkan kekuatan dan ketahanan tinggi pada kecepatan tinggi (Lubis, 2023). Salah satu material logam yang memiliki kekerasan tinggi tetapi memiliki sifat rapuh adalah cast iron atau bisa disebut besi tuang yang telah lama digunakan oleh manusia dan pada saat ini hampir 80% digunakan untuk mesin kendaraan (Briantio, 2024). Misalnya, aplikasi nodular cast iron dalam industri otomotif untuk pompa bahan bakar dan pompa pelumas, poros engkol, rumah diferensial dan silinder mesin serta aplikasi lain dalam industri tenaga angin, seperti sambungan-sambungan dan struktur rangka mesin (*structural parts machine frames*). Nodular cast iron memiliki potensi yang besar sesuai dengan karakteristik mekanisnya yang baik, mudah dicetak dan biayanya relatif rendah (Jaharah, 2009).

Mata pahat karbida disemen banyak digunakan dalam operasi pemesinan logam. Kinerja alat pemotong ini berkaitan dengan lintasan lintasan umur pakai alat, daya yang dibutuhkan untuk pemesinan, dan kualitas permukaan benda kerja yang dihasilkan meningkat secara signifikan dengan menggunakan alat pemotong karbida semen berlapis (Aurich, 2012). Karbida tungsten yang disemen, WC-Co adalah mata pahat sisipan yang paling umum untuk pemesinan cast iron dan baja paduan karena ketangguhan dan kekerasannya yang tinggi. Dalam kondisi suhu tinggi, dekarburisasi paduan dapat terjadi karena dekomposisi termal atau oksidasi (Talib, 2013; Li, 1996). Dekarburisasi WC menghasilkan pembentukan fase WC yang getas, yang mengurangi sifat mekanik komposit. Mata pahat karbida dilapisi dengan bahan keras seperti TiCN, TiAlN, TiCrN, dan TiAlSiN untuk meningkatkan kemampuan pemotongan pada kecepatan tinggi dan suhu tinggi (Grzesik, 2006).

Proses bubut (*turning process*) adalah suatu proses pengerjaan logam maupun non-logam dimana benda kerja dicekam pada spindle yang berotasi dan diraut menggunakan pahat yang bergerak relative terhadap benda kerja. Proses bubut umumnya dilakukan menggunakan mesin bubut (*lathe machine*). Proses bubut menjadi salah-satu proses yang cukup penting dalam rantai proses manufaktur, yang mana proses ini umumnya digunakan pada step akhir (*finishing step*) (Susanto, 2022).

Dalam pemotongan logam, besarnya suhu pada antar muka pahat-serpihan merupakan fungsi dari parameter pemotongan. Suhu ini secara langsung mempengaruhi produksi. Oleh karena itu, peningkatan penelitian tentang peran suhu pemotongan dapat menghasilkan operasi pemesinan yang lebih baik (Akhil, 2016). Area distribusi temperatur pada proses pemotongan terbagi menjadi tiga area, yaitu area geram, pahat dan benda kerja. Penelitian terkait dengan perubahan suhu pada proses pembubutan logam masih belum banyak dilakukan sehingga penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan kapasitas panas yang terjadi pada mata pahat *carbide uncoated* dan *coated* ketika melakukan pemotongan benda kerja cast iron. Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan mesin bubut.

2. Metode

Penelitian ini memerlukan beberapa bahan dan peralatan agar bisa tercapai objektif kajian. Bahan dan peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

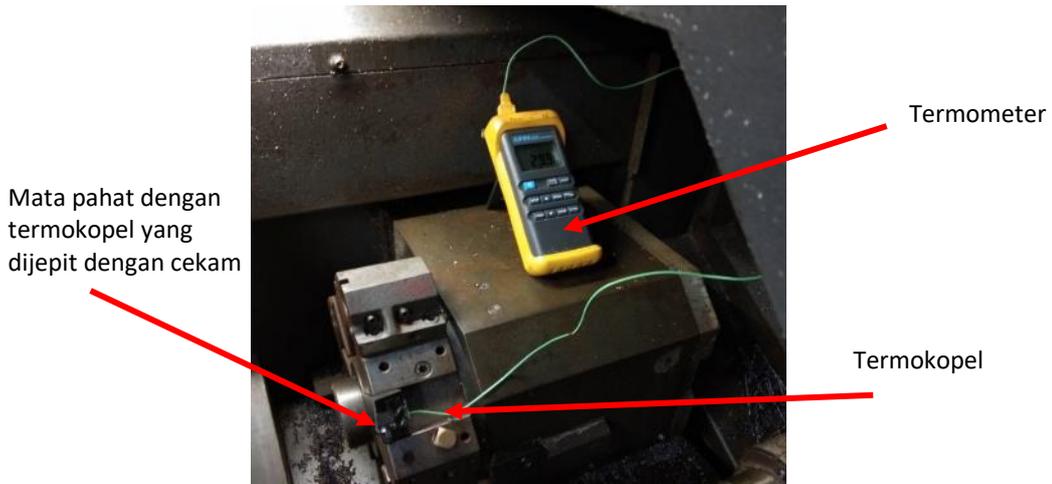
2.1. Alat dan bahan

- a. Mesin CNC bubut “Mazak Mazatech *Quick Turn 8N*”
- b. *Tool Holder* DNMG MDJNR2020K1504 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Tool Holder* DNMG MDJNR2020K

- c. Termokopel *Type K* dan Termometer
 Gambar dan spesifikasi termokopel *type K* dan termometer dapat dilihat pada Gambar 2. dan Tabel 1 dan Tabel 2.



Gambar 2. Termokopel *Type K* dan Termometer

Tabel 1. Spesifikasi Termokopel *Type K*

| | Grade Wire | Extended Grade Wire | Melting Point |
|--------------------------|------------------------------------|----------------------------|-----------------|
| Termokopel <i>Type K</i> | -454° to 2,300°F (-270 to 1,260°C) | -32° to 392°F (0 to 200°C) | 2550°F (1400°C) |

Tabel 2. Spesifikasi Termometer

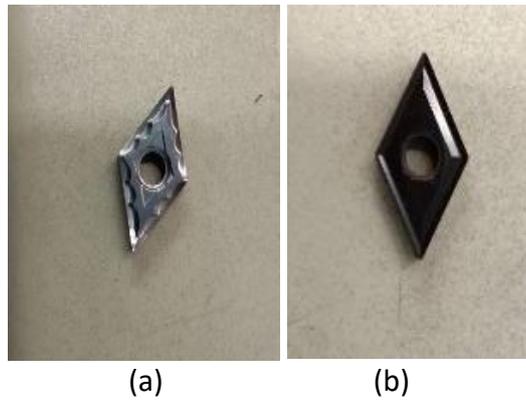
| | Reading Rate | Electrical |
|------------|---|--|
| Termometer | 0,5 sec/reading nominal (1 sec/reading nominal) | Accuracy is +- at 23°C +- 5°C less than 75% R.H. |

- d. *Carbide Cutting tools type* DNMG 150404

Gambar dan spesifikasi mata pahat *carbide* DNMG 150404 dapat dilihat pada Gambar 3 dan Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Sifat Mekanik *Uncoated Carbide* DNMG1504040

| <i>Symbol</i> | <i>Nose Radius R ε</i> | <i>Main Component</i> | <i>Hardness of Substrate</i> | <i>Fracture Toughness</i> | <i>Transverse Strength</i> |
|---------------|------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| KW10 | 0,4 | WC + Co | 14.7 GPA | 12.0 MPa.m ^{1/2} | 1,47 MPa |



Gambar 3. (a) Uncoated Carbide (b) Coated Carbide

Tabel 4. Karakteristik Mekanik Coated Carbide DNMG1504040

| Symbol | Nose Radius $R \epsilon$ | Coated Composition | Hardness of Substrate | Fracture Toughness | Transverse Strength |
|--------|-----------------------------|--|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| CA4515 | 0,4 | TiCN + Al ₂ O ₃ +TiN | 15.4 GPa | 12 MPa.m ^{1/2} | 2,78 GPa |

e. Nodular cast iron

Gambar dan komposisi *nodular cast iron* dengan ukuran, diameter 85 mm dan panjang 120 mm (panjang pemakanan 80 mm) dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 5.



Gambar 4. Nodular Cast iron

Tabel 5. Komposisi Nodular Cast Iron (Gambeh, 2015).

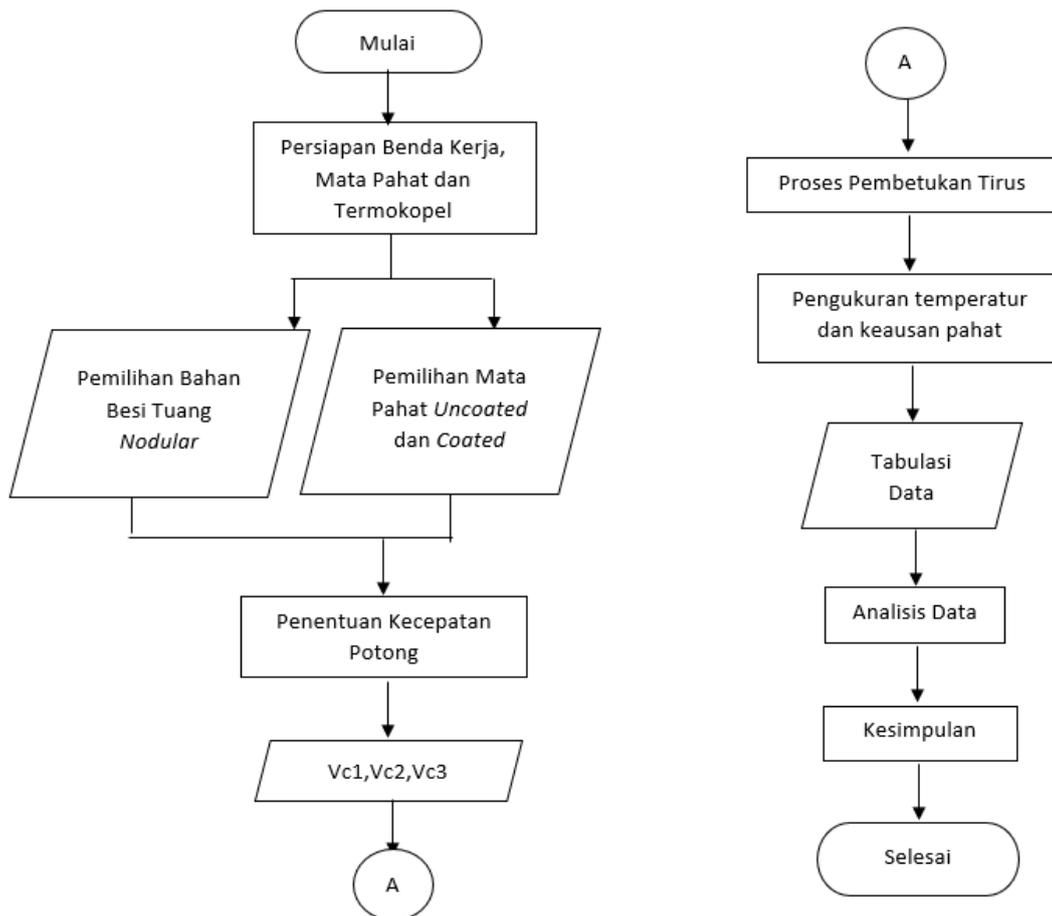
| Persentase (%) | | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| C | Si | S | P | Mn | Ni | Cr | Cu | Mg | Al | Co |
| 2.77 | 1.26 | 0.11 | 0.036 | 1.24 | 0.26 | 0.27 | 0.18 | 0.127 | 0.063 | 0.073 |

2.2. Parameter eksperimen

Parameter pemotongan yang digunakan terdiri dari *cutting speed*, *feeding speed*, dan *depth of cut*, pemilihan parameter dilakukan berdasarkan karakteristik benda kerja dan mesin yang digunakan.

- a. *cutting speed* (V_c): 160 m/min, 210 m/min, 260 m/min
- b. *Feeding speed* (V_f): 243.5. mm/min
- c. *Depth of cut*: 0.5 mm

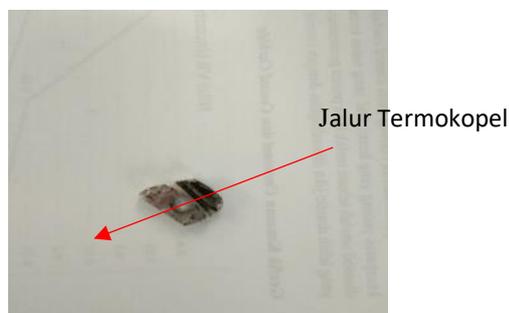
Langkah-langkah yang dilakukan dalam eksperimen disampaikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Flowchart eksperimental

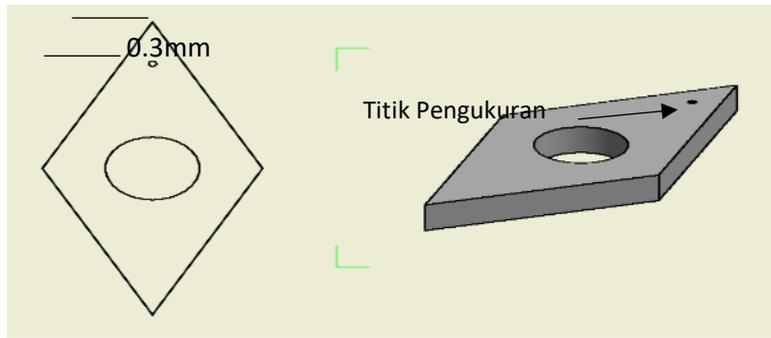
2.3. Prosedur Eksperimen

Termokopel type K digunakan untuk mengukur temperatur pada mata pahat. Termokopel diletakan pada ujung mata pahat insert dan di cekam dengan bahan yang terbuat dari aluminium 6061. Dibuat celah pada termokopel agar kabel termokopel dapat di cekam dengan baik pada *tool holder* ketika saat pengujian. Pada celah cekam dilapisi resin *epoxy* dengan *hardener* (3:1) dan permukaan cekam dilapisi lem *sealer* untuk mencegah panas yang berasal dari mata pahat berpindah ke cekam hal ini untuk menghindari termokopel membaca temperatur pada cekam.



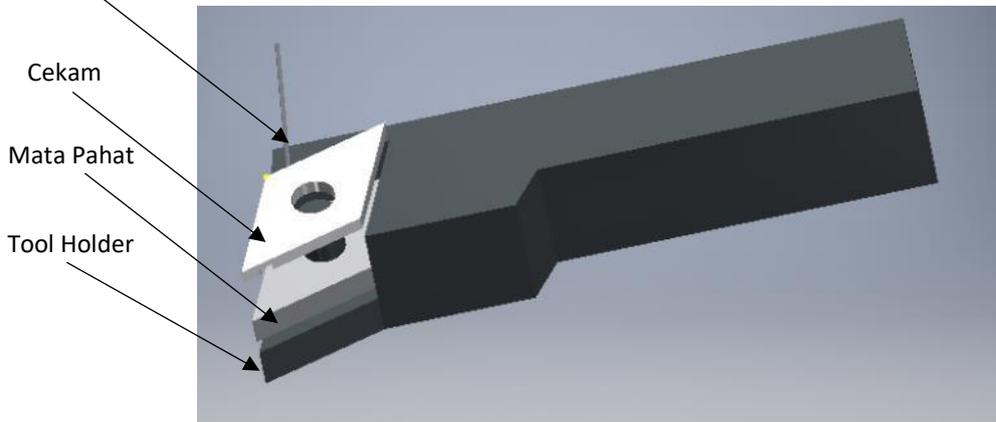
Gambar 6. Cekam Pada Insert

Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan termokopel dan membagi beberapa titik. Dimana titik tersebut tidak boleh terlalu dekat dengan bidang kontak mata pahat dengan benda kerja karena dapat mengganggu proses pemesinan dan mengakibatkan kerusakan pada termokopel yang dapat disebabkan oleh geram atau terkena benda kerja. Maka itu ditentukan titik pengukuran dengan jarak 0,3 mm dari ujung mata pahat untuk pengukuran temperatur dengan termokopel.



Gambar 7. Sketsa titik pengukuran temperatur pada mata pahat

Termokopel



Gambar 8. Rangkaian sketsa pemasangan termokopel

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Temperatur pemotongan pada mata pahat *coated carbide*

Hasil pengukuran temperatur pada mata pahat disampaikan pada Tabel 6 dan 7.

Tabel 6. Pengukuran temperatur pada pahat *coated carbide*

| Cutting Speed (m/min) | Temperatur (°C) | | |
|--------------------------|------------------|----------------------|---------------|
| | Temperatur Akhir | Temperatur Tertinggi | Waktu (menit) |
| 160 | 117,9 | 147,5 | 9 |
| 210 | 152,8 | 193,1 | 8 |
| 260 | 162,5 | 205,9 | 3 |

Tabel 7. Pengukuran temperatur pada pahat *uncoated carbide*

| Cutting Speed (m/min) | Temperatur (°C) | | |
|--------------------------|------------------|----------------------|---------------|
| | Temperatur Akhir | Temperatur Tertinggi | Waktu (menit) |
| 160 | 131,3 | 162,3 | 8 |
| 210 | 176,0 | 234,7 | 12 |
| 260 | 440,6 | 440,6 | 15 |

3.2. Kapasitas panas pada mata pahat

Kapasitas panas adalah banyaknya kalor/panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur benda kerja 1°C. Sedangkan, *specific heat capacity* atau panas jenis, didefinisikan sebagai jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur dari sebuah *unit mass* sebuah zat sebanyak 1 derajat celcius. Maka itu sebuah zat membutuhkan sejumlah panas untuk

menaikan temperatur dari zat tersebut. (J.P Holman, 1983). Berdasarkan data yang diperoleh, dilakukan perhitungan energi panas yang dibutuhkan untuk menaikan temperatur mata pahat dan kapasitas panas pada saat proses pemesinan. Kemudian dilakukan perbandingan antara mata pahat *uncoated* dan *coated carbide* untuk melihat pengaruh *coating* pada *coated carbide* dalam mempengaruhi energy panas yang dibutuhkan untuk menaikan temperatur dari mata pahat tersebut. Perhitungan jumlah energy panas yang dibutuhkan untuk menaikan temperatur dari mata pahat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = M.c.\Delta T \tag{1}$$

Dengan:

- Q = Kalor yang diserap/dilepas (J s⁻¹ / W)
- M = Massa Benda (kg)
- c = Kalor Jenis Benda (J kg⁻¹K⁻¹)
- ΔT = Perubahan Temperatur Benda (K)

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \tag{2}$$

Dengan:

- Q = Kalor yang diserap/dilepas (J s⁻¹ / W)
- C = Kapasitas Panas Benda Kerja (J K⁻¹)
- ΔT = Perubahan Temperatur Benda (K)

3.3. Perhitungan penyerapan panas dan kapasitas panas *coated carbide*

Perhitungan penyerapan panas dan kapasitas panas pada *uncoated carbide* dibutuhkan *specific heat capacity* dari mata pahat tersebut dengan *coating material* TiCN +Al₂O₃ + TiN yang dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. *Thermal Properties* Mata Pahat *Coated Carbide* (Susanto, 2022; Semmler, 2014)

| <i>Symbols</i> | <i>Outer Coating Material</i> | <i>Volume (cm³)</i> | <i>Density (g/cm³)</i> | <i>Thermal Conductivity (W m⁻¹ K⁻¹)</i> | <i>Specific Heat Capacity (J Kg⁻¹ K⁻¹)</i> |
|----------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---|--|
| CA4515 | TiN | 0,671 | 14,9 | 21 | 645 |

Tabel 9. Pengukuran Temperatur Pada *Coated Carbide*

| <i>Cutting Speed (m/min)</i> | Temperatur (°C) Temperatur Tertinggi |
|------------------------------|---|
| 160 | 147,5 |
| 210 | 193,1 |
| 260 | 205,9 |

Berdasarkan data yang diperoleh dapat dihitung penyerapan panas dan kapasitas panas mata pahat. Penyerapan panas dan kapasitas panas dihitung pada masing-masing kecepatan potong yang digunakan untuk *coated carbide*. Contoh perhitungan penyerapan panas dan kapasistas panas diambil pada kecepatan potong 160 m/min.

$$\text{Massa Mata Pahat} = p \times V \tag{3}$$

$$M = 14.9\text{g/cm}^3 \times 0.67096\text{cm}^3$$

$$M = 10.0\text{gram}$$

$$Q = (0.1\text{gram})(645\text{J Kg}^{-1}\text{K}^{-1})(420.65 - 304.85)\text{K}$$

$$Q = 7469.1\text{ W}$$

$$C = \frac{7469.1}{147.5-31.7}$$

$$C = 64.5 \text{ J K}^{-1}$$

Berdasarkan rumus yang digunakan diatas dapat dihitung penyerapan panas dan kapasitas panas yang terjadi pada masing-masing kecepatan potong dengan hasil seperti yang diperoleh pada Tabel 10.

Tabel 10. Penyerapan panas dan kapasitas panas pada setiap Vc

| Kecepatan Potong (m/min) | Q (W) | C(J K ⁻¹) |
|--------------------------|---------|-----------------------|
| 160 | 7469,1 | 64.5 |
| 210 | 10526,4 | |
| 260 | 11693,9 | |

3.4. Perhitungan penyerapan panas dan kapasitas panas *uncoated carbide*

Perhitungan penyerapan panas dan kapasitas panas pada *uncoated carbide* dibutuhkan *specific heat capacity* dari mata pahat tersebut dengan *tool material* Wc-Co yang dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. *Thermal properties* mata pahat *uncoated carbide* (Susanto, 2022; Semmler, 2014)

| Symbols | Tool Material | Volume (cm ³) | Density (g/cm ³) | Thermal Conductivity (W m ⁻¹ K ⁻¹) | Specific Heat Capacity (J Kg ⁻¹ K ⁻¹) |
|---------|---------------|---------------------------|------------------------------|---|--|
| KW 10 | Wc-Co | 0,671 | 15 | 84,02 | 150 |

Tabel 12. Pengukuran Temperatur Pada *Uncoated Carbide*

| Cutting Speed (m/min) | Temperatur (°C) Temperatur Tertinggi |
|-----------------------|---|
| 160 | 164,7 |
| 210 | 240 |
| 260 | 440,6 |

Berdasarkan data yang diperoleh dapat dihitung penyerapan panas dan kapasitas panas mata pahat. Penyerapan panas dan kapasitas panas dihitung pada masing-masing kecepatan potong yang digunakan untuk *uncoated carbide* seperti pada perhitungan penyerapan panas dan kapasitas panas pada *coated carbide* hasil seperti yang diperoleh pada Tabel 13.

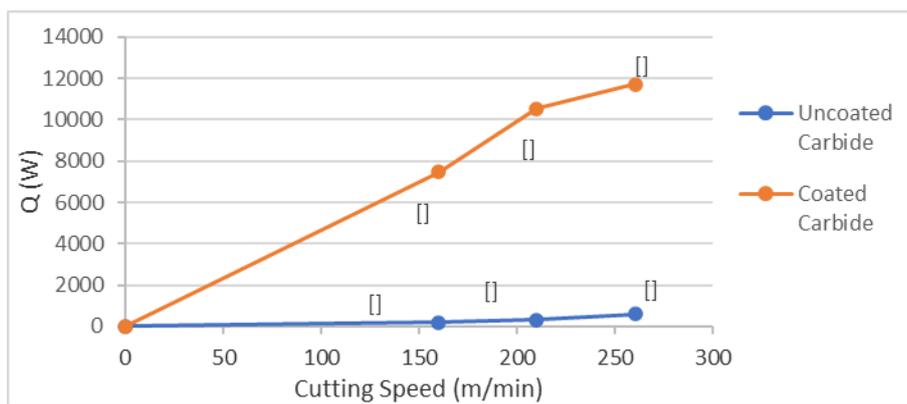
Tabel 13. Kapasitas Panas Pada Setiap Vc

| Kecepatan Potong (m/min) | Q (W) | C (J °K ⁻¹) |
|--------------------------|-------|-------------------------|
| 160 | 201,9 | 1,5 |
| 210 | 312 | |
| 260 | 611,5 | |

3.5. Perbandingan penyerapan panas dan kapasitas panas mata pahat

Perbandaingan penyerapan panas pada mata pahat *uncoated* dan *coated carbide* dapat dilihat pada Gambar 10. Berdasarkan Gambar 9, diperoleh jumlah energi yang dibutuhkan oleh masing-masing mata pahat pada setiap kecepatan potong untuk menaikkan temperatur dari mata pahat tersebut. Mata pahat *coated carbide* membutuhkan lebih banyak energi untuk menaikkan temperatur sampai dengan “temperatur tertinggi” hasil proses pemesinan pada setiap kecepatan potong dibandingkan dengan *uncoated carbide*. Maka itu, dapat disampaikan bahwa pada *coated carbide* lebih sulit menyerap panas karena membutuhkan lebih banyak

energi agar temperatur pada mata pahat tersebut naik. Hal ini disebabkan oleh nilai c , yaitu *specific heat capacity* dari *coated carbide* yang besar, yaitu 645 J/kg·K, sedangkan *uncoated carbide* mempunyai c sebesar 150 J/kg·K. Dengan nilai c yang lebih besar, maka sebuah material membutuhkan lebih banyak energi untuk menaikkan temperatur sebesar 1 K per satuan massa. Fenomena ini juga dapat dijelaskan melalui teori konduksi panas, di mana kemampuan suatu material untuk menghantarkan panas dipengaruhi oleh konduktivitas termal (*thermal conductivity*), kapasitas kalor jenis (*specific heat capacity*), dan densitas material. Dalam konteks ini, meskipun konduktivitas termal mempengaruhi laju perpindahan panas antar material, kapasitas kalor jenis mempengaruhi seberapa besar energi yang dapat diserap oleh material sebelum mengalami kenaikan temperatur. Maka, *coated carbide* yang memiliki *specific heat* lebih tinggi akan menyerap lebih banyak energi tanpa mengalami kenaikan suhu yang drastis, menunjukkan bahwa material ini lebih lambat dalam merespons perubahan temperatur, sekaligus mengindikasikan sifat tahan panas yang baik. Dengan demikian, meskipun panas tetap ditransfer melalui konduksi, respons termal dari masing-masing pahat sangat bergantung pada kapasitas kalor jenisnya.



Gambar 9. Grafik penyerapan panas *uncoated vs coated carbide*

Selain itu, kapasitas panas yang telah dihitung pada *uncoated* dan *coated carbide* juga menunjukkan perbedaan nilai yang signifikan. Pada mata pahat *coated carbide* dibutuhkan energi sebesar 64,5 J/K untuk menaikkan temperatur sebesar 1 K, sedangkan pada *uncoated carbide* hanya diperlukan 1,5 J/K. Artinya, pada saat proses pemesinan, *coated carbide* akan mengalami kenaikan temperatur yang lebih lambat karena membutuhkan energi panas yang jauh lebih besar untuk setiap derajat kenaikan suhu. Hal ini menyebabkan *temperatur tertinggi* pada *coated carbide* selama proses pemesinan lebih rendah dibandingkan dengan *uncoated carbide*.

Fenomena ini dapat dikaitkan dengan Hukum Fourier dalam konduksi panas, yang menyatakan bahwa laju aliran panas (q) melalui suatu material sebanding dengan gradien suhu dan konduktivitas termal material, yang dirumuskan sebagai:

$$q = -k \cdot dT/dx \tag{4}$$

di mana:

q adalah laju perpindahan panas per satuan luas (W/m²)

k adalah konduktivitas termal material (W/m·K)

dT/dx adalah gradien suhu dalam arah perpindahan panas

Pada kasus *coated carbide*, meskipun nilai k mungkin tinggi (tergantung jenis *coating*), namun karena *specific heat capacity* dan *heat capacity* totalnya juga besar, energi panas yang diterima lebih banyak diserap secara internal sebelum menyebabkan perubahan suhu yang besar. Artinya, walaupun panas mengalir sesuai hukum Fourier, suhu permukaan pahat *coated*

naik lebih lambat karena sebagian besar energi digunakan untuk menaikkan energi internal material, bukan langsung menaikkan suhu. Sementara itu, *uncoated carbide* yang memiliki *specific heat capacity* lebih rendah, cenderung mengalami kenaikan suhu lebih cepat karena panas yang diterima langsung menaikkan temperatur tanpa banyak terserap sebagai energi internal. Dengan demikian, perbedaan respons termal antara kedua jenis pahat ini selama proses pemesinan tidak hanya dijelaskan oleh kapasitas panasnya, tetapi juga melalui mekanisme konduksi panas sebagaimana dijelaskan oleh hukum Fourier.

Konduktivitas termal pada mata pahat juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi temperatur pada mata pahat. *Uncoated carbide* memiliki konduktivitas termal sebesar $84.02 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ sedangkan *coating coated carbide* memiliki konduktivitas termal sebesar $21 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ mengindikasikan bahwa panas lebih mudah diserap pada saat proses pemesinan. *Uncoated carbide* lebih mudah menyerap panas hasil deformasi benda kerja karena konduktivitas termal yang lebih besar, maka itu temperatur yang terukur pada titik yang telah ditentukan pada mata pahat terukur lebih besar dibandingkan dengan *coated carbide* yang memiliki *coating* dengan konduktivitas termal yang lebih kecil. Material dengan konduktivitas termal rendah diperlukan pada *coating* untuk mengurangi pengangkutan panas dari sisi yang lebih panas ke sisi yang dingin dan bertindak sebagai insulasi panas. Ini agar menunda kenaikan temperatur pada mata pahat dan mengalihkan aliran panas ke geram dan membuang panas dari geram. Efek ini membantu mengurangi perpindahan panas ke mata pahat dan dengan demikian melindungi mata pahat dari *thermal overload* atau kelebihan panas yang menyebabkan keausan pada mata pahat.

4. Kesimpulan

Temperatur pada proses pemesinan nodular cast iron, berbanding lurus dengan kecepatan potong. Hal ini dapat dilihat pada *uncoated carbide* dan *coated carbide* dimana pada setiap kecepatan potong memiliki peningkatan "temperatur tertinggi", dengan *uncoated carbide* memiliki peningkatan yang lebih besar. Pada Vc 160 ke Vc 210 *uncoated carbide* mengalami peningkatan sebesar 45,7% sedangkan *coated carbide* mengalami peningkatan sebesar 30,9%.

Peningkatan temperatur drastis mengindikasikan bahwa sebuah mata pahat sudah mengalami keausan. Pada Vc 260, *uncoated carbide* mengalami deformasi plastik hal ini dapat dilihat percikan api yang terjadi dan tidak bisa menyelesaikan proses pemesinan karena mata menjadi tumpul. Temperatur yang terukur sebesar $440,6^{\circ}\text{C}$, dengan peningkatan sebesar 83,6% dari Vc 210 dan nilai Vb sebesar 0,49 mm dengan peningkatan sebesar 101,6% dari Vc 210.

Sifat *thermal coating* pada *coated carbide* mempengaruhi panas yang dapat diserap oleh mata pahat. Sehingga *coated carbide* terukur temperatur dan keausan yang lebih kecil dibandingkan dengan *uncoated carbide*. Ini dapat dilihat pada salah satu perhitungan yang telah dilakukan, seperti laju perpindahan panas, dengan *coated carbide* memiliki nilai 34,38 W, sedangkan *uncoated carbide* sebesar 129,59W pada Vc 160. Maka itu mata pahat *coated carbide* dengan jenis coating $\text{TiCN} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiN}$ merupakan mata pahat yang lebih bagus untuk melakukan proses *roughing* benda kerja besi tuang pada kecepatan potong 160-260 m/min dengan *feeding speed* 243,5 mm/min hal ini disebabkan oleh sifat *thermal coating* tersebut yang memperlambat panas untuk berpindah ke mata pahat sehingga panas tersebut terbuang oleh geram.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Tarumanagara yang telah memberikan dana penelitian priode II Tahun 2024. Ucapan terima kepada Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara.

Daftar Pustaka

- Akhil, C. S., M. H. Ananthavishnu, C. K. Akhil, P. M. Afeez, R. Akhilesh, dan R. Rahul. 2016. "Measurement of Cutting Temperature during Machining." *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering* 13 (2): 108–122.
- Aurich, J. C., T. Eyrisch, dan M. Zimmermann. 2012. "Effect of the Coating System on the Tool Performance When Turning Heat Treated AISI 4140." *Procedia CIRP* 1: 214–219. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.04.038>.
- Briantio, Alfred, Sobron Yamin Lubis, dan Steven Darmawan. 2024. "Analisis Peningkatan Terjadinya Keausan Mata Pahat Keramik Pada Proses Pemotongan Baja AISI 4340." *Jurnal Serina Sains, Teknik dan Kedokteran* 2 (1): 15–26.
- Gambeh, Steven Moses Lukas, Rudy Poeng, dan Irvan Raymon Rondonuwu. 2015. "Pengaruh Kecepatan Potong Terhadap Temperatur Pemotongan pada Proses Pembubutan." *Jurnal Poros Teknik Mesin UNSRAT* 4 (2).
- Grzesik, W., Z. Zalisz, S. Krol, dan P. Nieslony. 2006. "Investigations on Friction and Wear Mechanisms of the PVD-TiAlN Coated Carbide in Dry Sliding Against Steels and Cast Iron." *Wear* 261: 1191–1200. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.03.028>.
- Holman, J. P. 1983. *Heat Transfer*. 6th ed. London: McGraw-Hill.
- Jaharah, A., M. N. A. Mohd Rodzi, A. A. Rahman, M. N. Rahman Ab., dan C. C. Hassa. 2009. "Machinability of FCD 500 Ductile Cast Iron Using Coated Tool in Dry Machining Condition." *International Journal of Mechanical and Materials Engineering* 4 (3): 279–284.
- Li, C. J., A. Ohmori, dan Y. Harada. 1996. "Effect of Powder Structure on the Structure of Thermally Sprayed WC-Co Coatings." *Journal of Materials Science* 31: 785–794. <https://doi.org/10.1007/BF00355108>.
- Lienhard, J. H. IV, dan J. H. Lienhard V. 2000. *A Heat Transfer Textbook*. 3rd ed. Cambridge, MA: Phlogiston Press.
- Lubis, Muhammad Sobron Yamin, Abrar Riza, John Michel, dan Silvi Ariyanti. 2023. "Analisis Pertumbuhan Keausan Pahat Pada Pembubutan Material Mild Steel." *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 2 (3): 8–14. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v2i3.72>.
- Lubis, Muhammad Sobron Yamin, Steven D., Alfred Briantio, dan Rosehan Rosehan. 2023. "Penentuan Parameter Pemotongan Optimal Proses Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Baja SKD11 Dengan Metode Taguchi." *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 1 (3): 44–50. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v1i3.33>.
- Lubis, S., D. Sudino, S. Djamil, dan S. D. Hutagalung. 2023. "Wear Analysis of Coated Carbide Cutting Tools in the Turning Process Nodular Cast Iron Effect of Cutting Speed." *AIP Conference Proceedings* 2680 (1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0123456>.
- Nano, A. n.d. "Tungsten Carbide Cobalt (WC-Co, Cemented Carbide) Nanoparticles – Properties, Applications." *Diakses* 12 Desember 2018. <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3358>.
- Reynolds, W. C., dan H. C. Perkins. 1983. *Engineering Thermodynamics*. New York: McGraw-Hill.
- Samani, M., X. Ding, N. Khosravian, B. Amin-Ahmadi, Y. Yi, G. Chen, E. Neyts, A. Bogaerts, dan B. Tay. 2015. "Thermal Conductivity of Titanium Nitride/Titanium Aluminum Nitride Multilayer Coatings Deposited by Lateral Rotating Cathode Arc." *Thin Solid Films* 578: 133–138. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2014.11.041>.
- Sastal, A. Z., Y. Gunawan, dan B. Sudia. 2018. "Pengaruh Kecepatan Potong Terhadap Perubahan Temperatur Pahat dan Keausan Pahat Bubut pada Proses Pembubutan Baja Karbon Sedang." *ENTHALPY: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin* 3 (1): 1–11. <https://doi.org/10.55679/enthalpy.v3i1.3626>.
- Semmler, U., M. Bräunig, W. G. Drossel, G. Schmidt, dan V. Wittstock. 2014. "Thermal

- Deformations of Cutting Tools: Measurement and Numerical Simulation." *Production Engineering* 8: 543–550. <https://doi.org/10.1007/s11740-014-0538-y>.
- Senthilkumar, N., V. Selvakumar, dan T. Tamizharasan. 2016. "Optimization and Performance Analysis of Uncoated and Coated Carbide Insert During Hard Turning AISI D2 Steel Using Hybrid GRA-PCA Technique." *Applied Mechanics and Materials* 852: 151–159. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.852.151.scientific.net>.
- Shao, H., L. L. Liu, dan S. Zhang. 2013. "Study on Machinability of a Stellite Alloy with Uncoated and Coated Carbide Tools in Turning." *Journal of Manufacturing Processes* 15: 673–681. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2013.07.005>.
- Zhen, G., R. Xu, X. Cheng, G. Zhao, L. Li, dan J. Zhao. 2018. "Effect of Cutting Parameters on Wear Behavior of Coated Tool and Surface Roughness in High-Speed Turning of 300M." *Measurement* 125: 99–108. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.04.057>.