

## Metode Pendinginan Cepat Proses Pendinginan pada Produk Hasil Proses Tempa

Budhi M. Suyitno\*, Muhammad Arifin Dwi Admoko, Reza Abdu Rahman, Ismail  
Departemen Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta  
Email: budmulias18@gmail.com

### ABSTRAK

Perbaikan model pendinginan produk hasil proses tempa dilakukan dengan tujuan mempercepat proses dandori. Tindakan ini diambil berdasarkan prinsip *Total Productive Maintenance (TPM)* dengan tujuan meningkatkan efektivitas produksi untuk memaksimalkan pemanfaatan sumber daya yang tersedia. Proses pendingin cepat dilakukan dengan mempertimbangkan prinsip perpindahan panas pada material hasil tempa dengan target utama waktu proses menjadi lebih cepat tanpa merusak struktur material. Uji eksperimental dilakukan pada kajian ini dengan tujuan menganalisis proses perpindahan panas pada alat pendingin produk. Analisis dibutuhkan untuk mendapatkan hasil kualitas pendinginan cepat yang optimal dengan tetap menjaga struktur material produk secara umum. Metode eksperimen digunakan berdasarkan data awal model pendingin tersedia dan pengukuran penurunan suhu produk. Laju penurunan panas digunakan untuk menentukan durasi pendinginan tercepat. Enam variasi metode pendinginan dipilih berdasarkan kombinasi media pendinginan dan jumlah nosel yang digunakan. Penggunaan metode pendinginan standar membutuhkan waktu 20 menit untuk mencapai target suhu akhir 40 °C. Penambahan dua nosel udara memberikan pengaruh positif di mana laju pendinginan menjadi lebih cepat 4 menit dengan tetap menjaga struktur material. Metode pendinginan dengan tambahan akhir menunjukkan waktu paling cepat namun berdampak pada retakan di produk sehingga tidak dapat dipilih. Dengan demikian, proses pendinginan lebih cepat dapat dilakukan dengan menggunakan dua nosel udara tambahan tanpa merusak kualitas produk.

**Kata kunci:** Pendinginan, Perpindahan Panas, Suhu Produk, Tempa, TPM

### ABSTRACT

*Improvements to the cooling process for forging products are conducted out with the aim of accelerating the production process (dandori). It is taken taken based on the principle of Total Productive Maintenance (TPM) with the goal of increasing production effectiveness to maximize the utilization of available resources. The rapid-cooling process is conducted by considering the principle of heat transfer in forged materials with the main target of reducing the processing times without making defect on the material structure. Experimental tests are performed in this study to analyze the heat transfer process in the product cooling system. Analysis is needed to obtain optimal fast cooling quality results while maintaining the general structure of the processed material. The experimental method is used based on the initial data of the available cooling process and the measurement of the decrement in product temperature. The rate of heat loss is used to determine the fastest cooling duration. Six variations of cooling methods are selected based on the combination of cooling media and the number of nozzles used. Using the standard cooling methods, it takes 20 minutes to reach the final target temperature of 40 °C. The addition of two air nozzles has a positive effect where the cooling rate becomes 4 minutes faster while maintaining the structure of the material. The cooling method by involving water as the working fluid shows the fastest cooling process but reduce the quality of the product which not passed the quality control. Thus, a faster cooling process can be carried out using two additional air nozzles while maintaining the product quality.*

**Keywords:** Cooling process, Heat Transfer, Product temperature, Forging, TPM

### PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan komponen industri membuat upaya perbaikan berkelanjutan dilakukan secara masif oleh pelaku industri. Upaya ini dapat terlihat dari proses perbaikan sistem produksi, optimasi pada berbagai lini produksi dan pertimbangan model energi alternatif produksi.

Energi alternatif sendiri menjadi isu paling hangat dikarenakan semakin tingginya tekanan pada kebutuhan energi fosil dan juga penggunaan energi alternatif pada proses produksi.

Proses tempa pada industri manufaktur umumnya berlangsung pada suhu tinggi. Hasilnya adalah tingkat kebutuhan energi proses yang

sangat tinggi dan dipertimbangkan sebagai salah satu aspek *cost* penting dalam prosesnya.

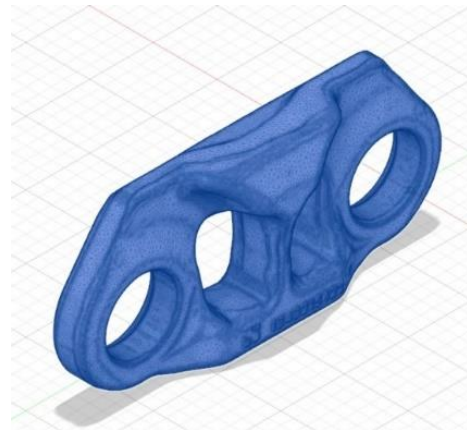
Metode pendinginan sangat berpengaruh terhadap kualitas dari hasil produk tempa. Sebagai contoh, perubahan struktur mikro dapat terjadi pada proses pendinginan cepat untuk material tertentu [1]. Sehingga, dibutuhkan penyesuaian terkait dengan metode dan media pendinginan yang sesuai. Perubahan sifat mekanis juga dapat terjadi pada aspek material yang didinginkan karena adanya proses pendinginan [2]. Pendinginan yang sesuai memberikan pengaruh yang baik pada bentuk akhir dan juga sifat mekanis yang diharapkan dari produk [3]. Lebih lanjut, temperatur yang tinggi juga harus memperhatikan kebutuhan pendinginan dan laju perpindahan panas dengan tujuan menjaga kualitas dan juga biaya proses terkait dengan energi yang dibutuhkan dari proses tersebut [4].

Penerapan *Total Productive Maintenance* (TPM) mengharuskan adanya upaya terukur untuk memaksimalkan sumber daya yang tersedia. Pendekatan pendinginan cepat perlu dilakukan dengan mengacu kepada proses perpindahan panas dan juga tetap menjaga kualitas dari produk yang didinginkan [5].

Metode pendinginan yang sesuai perlu dilakukan untuk mempercepat proses pendinginan, menjaga kualitas produk yang diproses dan juga meminimalisir konsumsi energi proses. Studi ini secara khusus fokus pada analisis proses pendinginan produk hasil tempa dengan memaksimalkan proses pertukaran panas pada produk untuk menjamin proses pendinginan efektif dan berkualitas agar produk tetap lolos dari inspeksi kualitas.

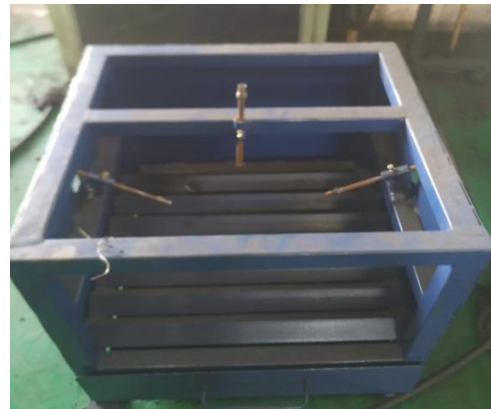
## METODE PENELITIAN

Produk hasil tempa yang diproses (*link*) diperlihatkan pada Gambar 1. Produk ini memiliki dimensi 286 x 126 x 50 mm dengan luas permukaan efektif sebesar 0.113272 m<sup>2</sup>. Suhu produk setelah proses tempa berkisar antara 1.150 – 1.250 °C. Suhu produk yang sangat tinggi mengharuskan adanya proses pendinginan sebelum berlanjut pada proses berikutnya. Proses pendinginan awal dilakukan dengan menggunakan udara yang melewati 1 (satu) nosel dengan tekanan kerja kompresor 5 bar. Hal ini menyebabkan proses pendinginan menjadi lebih lambat.



Gambar 1. Sketsa produk hasil tempa (*link*)

Pengembangan lebih lanjut dilakukan dengan memodifikasi bentuk tempat pendinginan. Penambahan nosel dilakukan pada sisi kanan dan kiri (Gambar 2) untuk memperbanyak aliran fluida pendingin.



Gambar 2. Unit pendinginan Produk

Pendinginan cepat membutuhkan alternatif fluida kerja tambahan. Oleh karenanya, dipertimbangkan untuk menggunakan alternatif fluida pengganti udara. Dari beberapa pertimbangan, fluida alternatif yang digunakan dalam studi ini adalah air.

Tabel 1 memperlihatkan kombinasi metode pendinginan yang digunakan pada studi ini. Metode A merupakan metode awal yang digunakan yakni hanya menggunakan udara. Penambahan dua nosel pada sisi kiri dan kanan diharapkan dapat mempercepat proses pendinginan.

Tabel 1. Kombinasi metode pendinginan

Metode	Nozzle		
	1	2	3
A	-	Udara	-
B	Udara	Udara	Udara
C	Udara	Udara	Air
D	Udara	Air	Udara
E	Air	Udara	Udara
F	Air	Air	Air

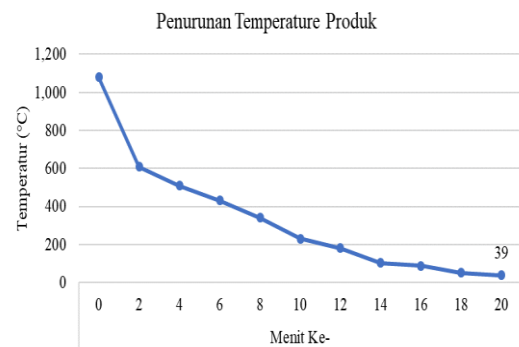
Kombinasi fluida pendinginan yang digunakan menyebabkan adanya penambahan variasi pengujian. Penggunaan air hanya ditunjukkan untuk satu nosel. Namun demikian, sebagai perbandingan utama pada metode F digunakan seluruh pendinginan dengan proses *quality control* (QC) mengacu kepada batasan standar yang digunakan.

Proses pengukuran dilakukan menggunakan thermogun (*fluke*). Pengukuran secara bergantian dilakukan pada 8 (delapan) sisi bagian produk selama proses pendinginan berlangsung. Dari hasil ini kemudian dipilih metode paling cepat dengan tetap menjaga kualitas struktur material pada produk hasil tempa.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

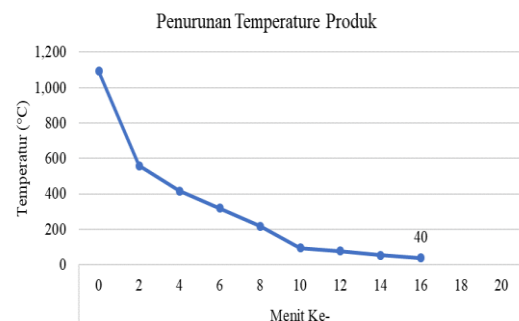
Grafik hasil pengujian ditunjukkan dalam bentuk grafik temperatur terhadap waktu [11]. Bentuk grafik ini dapat memberikan informasi lebih jelas terkait dengan penurunan temperatur dalam tiap waktu yang terjadi. Proses pendinginan dilakukan secara kontinu untuk masing-masing metode sehingga bentuk akhir grafik akan memperlihatkan proses penurunan temperatur yang lebih spesifik. Dari pola penurunan ini akan terlihat bagaimana proses pendinginan pada produk untuk tiap metode berlangsung.

Gambar 3 memperlihatkan grafik pendinginan untuk produk dengan menggunakan metode A. Temperatur produk yang tinggi menyebabkan ada penurunan temperatur yang cepat pada 2 menit pertama. Hal ini merupakan suatu kewajaran dikarenakan interaksi produk dengan lingkungan yang memiliki suhu ruang. Lebih lanjut, proses pendinginan juga dibantu dengan nosel udara bertekanan. Hasilnya adalah tingkat penurunan lebih cepat terjadi pada periode ini. Selanjutnya terjadi perlambatan penurunan antara menit ke-2 hingga menit ke-12.



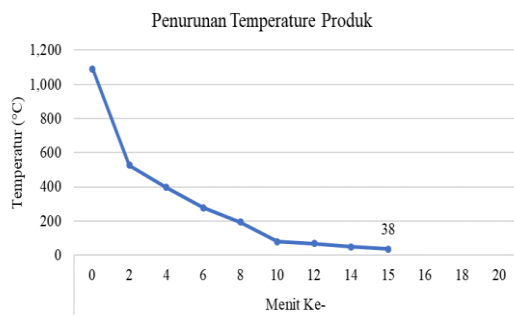
Gambar 3. Penurunan temperatur dengan menggunakan proses pendinginan metode A

Perubahan signifikan terlihat pada Gambar 4 dimana pada proses pendinginan ini ditambahkan dua nosel tambahan. Pengaruh yang jelas terlihat pada proses penurunan temperatur, khususnya pada tahap kedua penurunan temperatur. Proses penurunan temperatur awal tetap terjadi dengan cepat sebagaimana metode awal dikarenakan kondisi lingkungan. Penambahan dua nosel udara bertekanan memberikan proses pendinginan yang lebih cepat dengan mengambil panas pada permukaan. Pada tahap kedua penurunan temperatur (antara suhu 600–200 °C), durasi pendinginan menjadi lebih cepat. Sehingga, suhu akhir yang ditargetkan dapat tercapai dalam durasi yang lebih cepat yakni 16 menit.



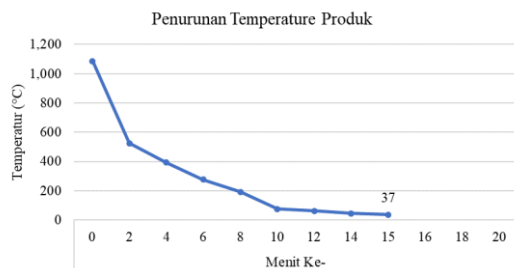
Gambar 4. Penurunan temperatur dengan menggunakan proses pendinginan metode B

Pengujian berikutnya dilakukan dengan memanfaatkan fluida tambahan yakni air pada nosel sisi kanan. Hasil pengukuran diperlihatkan pada Gambar 5. Terlihat bahwa waktu penurunan temperatur sedikit lebih cepat untuk mencapai suhu akhir yang dikehendaki. Metode ini memberikan percepatan waktu 1 menit dibandingkan dengan metode B yang hanya menggunakan udara. Lebih lanjut, penurunan temperatur tahap dua terlihat lebih cepat dikarenakan adanya tambahan pendinginan tambahan dari air.



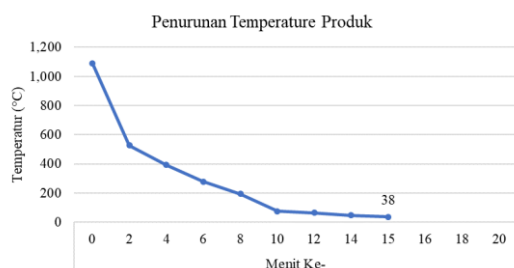
Gambar 5. Penurunan temperatur dengan menggunakan proses pendinginan metode C

Pengujian berikutnya dilakukan dengan tetap menggunakan air pada satu nosel. Variasi terpenting dilakukan dengan memindahkan posisi nosel di mana pada metode D nosel air ditempatkan pada sisi tengah sedangkan pada metode E nosel air ditempatkan pada sisi kiri.



Gambar 6. Penurunan temperatur dengan menggunakan proses pendinginan metode D

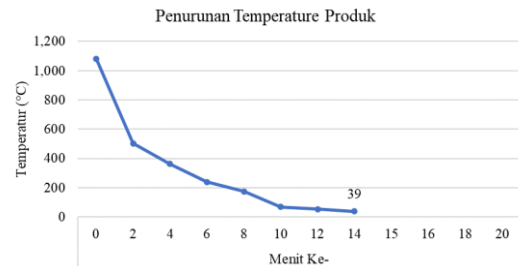
Terlihat bahwa durasi pendinginan metode D dan E untuk mencapai temperatur akhir (40 °C) memiliki durasi yang sama. Terdapat sedikit perbedaan untuk temperatur akhir dikarenakan proses pendinginan yang berlangsung secara kontinu. Namun demikian, temperatur akhir tetap berada di bawah batas yang ditetapkan yakni 40 °C.



Gambar 7. Penurunan temperatur dengan menggunakan proses pendinginan metode E

Gambar 8 memperlihatkan pola penurunan suhu untuk metode F yang mana memiliki durasi pendinginan paling cepat. Metode ini berdasarkan Table 1 menggunakan fluida pendinginan air untuk seluruh sisi nosel. Hasilnya adalah durasi

pendinginan yang paling cepat dapat dicapai dengan menggunakan metode ini. Penggunaan air pada seluruh nosel memberikan distribusi yang lebih merata sehingga proses pertukaran panas antara benda kerja dengan fluida pendingin berlangsung lebih efektif.



Gambar 8. Penurunan temperatur dengan menggunakan proses pendinginan metode F

Pola pendinginan untuk masing-masing metode dengan tambahan nosel memperlihatkan identitas yang mirip. Hal ini didasari pada proses tahapan penurunan temperatur yang terjadi pada tiga tahap berbeda. Tahap pertama terjadi hingga produk mencapai suhu 600 °C. Seluruh metode mengindikasikan waktu penurunan temperatur paling cepat pada tahapan ini.

Proses pendinginan kedua diperlihatkan antara rentang temperatur 600 °C hingga sekitar 200 °C. Tahapan inilah yang memegang peranan terpenting dari proses pendinginan. Hal ini dikarenakan adanya perpindahan panas konduksi dari bagian inti produk yang mengarah keluar permukaan produk.

Pola pendinginan menunjukkan metode C–E memiliki durasi akhir yang relatif sama. Hal ini mengindikasikan penempatan pada posisi manapun nosel air akan menghasilkan proses pendinginan yang sama. Hal yang cukup unik diperlihatkan pada metode B dan F di mana metode B menggunakan fluida udara menyeluruh dan metode F menggunakan fluida air menyeluruh. Penggunaan air memberikan proses pelepasan panas yang lebih cepat dikarenakan memiliki panas spesifik yang lebih tinggi dibandingkan dengan udara. Hasilnya adalah molekul yang mengambil panas menjadi lebih cepat dan otomatis menurunkan temperatur dari benda kerja.

Penggunaan udara pada seluruh nosel pada prinsipnya memberikan pendinginan yang lebih cepat dibandingkan hanya menggunakan satu nosel. Meskipun metode ini menunjukkan waktu yang lebih lambat dibandingkan dengan metode pendinginan dengan tambahan air, baik pada satu sisi nosel maupun seluruhnya, namun metode ini memberikan hasil paling optimal berdasarkan pertimbangan kualitas akhir produk yang didinginkan. Penggunaan metode B dengan udara

seluruhnya memberikan pengaruh yang positif terhadap laju pendinginan tanpa merusak kualitas produk. Sehingga, metode penambahan nosel dengan tetap menggunakan udara sebagai media pendinginan memberikan pengaruh yang paling baik terkait durasi pendinginan.

### KESIMPULAN

Sistem produksi berkelanjutan menyebabkan adanya kebutuhan untuk mempercepat proses pendinginan produk hasil tempa. Produk hasil tempa yang memiliki suhu tinggi ( $> 1,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) harus didinginkan sebelum diproses lebih lanjut. Model pendinginan awal menggunakan nosel tunggal dengan udara bertekanan sebagai media pendinginan. Dampaknya adalah waktu proses pendinginan yang terlalu lama sehingga mengambat proses produksi berikutnya. Pendinginan menggunakan udara di sisi lain memberikan pengaruh yang minim terhadap perubahan struktur material yang diinginkan.

Upaya percepatan proses pendinginan dilakukan dengan menambahkan dua nosel tambahan. Studi ini memperlihatkan adanya waktu percepatan pada metode baru ini di mana durasi pendinginan awal membutuhkan waktu 20 menit, sedangkan durasi pendinginan dengan tambahan nosel menjadi lebih cepat dengan durasi berkisar antara 14 – 16 menit. Durasi tercepat dapat diperoleh dengan menggunakan tambahan fluida air sebagai media pendingin dengan durasi akhir 15 menit. Penggunaan air pada seluruh nosel dapat menghasilkan pendinginan tercepat dengan durasi akhir 14 menit.

Penggunaan udara bertekanan pada seluruh nosel memberikan durasi pendinginan akhir 16 menit. Pola pendinginan diperlihatkan melalui tiga tahap pendinginan di mana tahap 1 merupakan pendinginan langsung akibat adanya perbedaan suhu produk dengan lingkungan, kemudian pendinginan tahap 2 di mana peran proses pendinginan paling signifikan ada pada bagian ini. Studi ini dapat dijadikan rujukan penting untuk mempercepat proses pendinginan produk hasil tempa. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan memodifikasi tekanan kerja udara dan model distribusi udara pada permukaan produk sehingga durasi pendinginan lebih cepat dapat diperoleh dengan media udara bertekanan yang sesuai.

### DAFTAR PUSTAKA

[1] Sari, N. H., "Perlakuan Panas Pada Baja Karbon: Efek Media Pendinginan Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro". Jurnal

Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang, Vol. 06, No.4, 2017.

- [2] Mardjuki, "Proses Forging Dengan Variasi Temperatur Pada Paduan Aluminium Seri 308,0 Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan". Transmisi, Universitas Merdeka Malang, Vol-V, No.2, 2009.
- [3] B. Beno, Manufacturing Design, Production, Automation, and Integration. Toronto: University of Toronto, 2003.
- [4] Septiadi, W. N., Perpindahan Panas: Alat Penukar Kalor (Water to Water). Bali: Universitas Udayana, 2016.
- [5] Holman, J.P., Heat Transfer, Tenth Edition, Texas: McGraw-Hill, 2010.