

## PENGARUH JENIS MATERIAL PERUNGGU TERHADAP DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA SIRIP PEREDAM PANAS SENJATA MAG 58 MENGUNAKAN SOFTWARE AUTODESK FUSION

Alifio Al Aricky\*, Putu Hadi Setyarini, Sugiarto

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang

\*Penulis korespondensi: [alifioalaricky09@gmail.com](mailto:alifioalaricky09@gmail.com)

### ABSTRAK

Peredam panas pada senjata api sangat penting karena senjata api menghasilkan panas yang tinggi selama penggunaan dan dapat memengaruhi kinerja serta keawetan senjata tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan sifat termal dan mekanik dari tiga bahan utama yaitu perunggu. Dengan menggunakan simulasi *autodesk fusion*, waktu dan biaya pengujian setiap material secara fisik dapat dikurangi. Hal ini memungkinkan evaluasi yang lebih efektif terhadap opsi material yang berbeda. Fokus penelitian ini adalah untuk menentukan material yang paling sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan manajemen aliran panas, ketahanan suhu tinggi, dan ketahanan suhu rendah. Perunggu memiliki *heat flux* maksimum sebesar  $2.264E-04$  W/mm<sup>2</sup>. Perunggu memiliki *heat flux* minimum sebesar  $9.121E-07$  W/mm<sup>2</sup>. Perunggu memiliki suhu minimum operasi sebesar 164.973 °C. Perunggu memiliki suhu maksimum operasi sebesar 165.021 °C. Hasilnya menunjukkan bahwa dalam aplikasi sirip peredam panas yang memerlukan ketahanan terhadap suhu tinggi, perunggu adalah pilihan yang lebih baik. Namun, untuk aplikasi yang memerlukan efisiensi *heat flux* dan ketahanan terhadap suhu rendah perunggu merupakan material yang tidak direkomendasikan untuk sirip peredam panas.

**Kata kunci:** peredam panas, termal material, simulasi, perunggu, *distribusi temperatur*.

### 1 PENDAHULUAN

Peredam panas pada senjata api adalah komponen krusial karena senjata api menghasilkan panas yang tinggi selama penggunaan, yang dapat memengaruhi kinerja dan keawetan senjata tersebut (Koniorczyk et al., 2023). Peredam panas diperlukan untuk meningkatkan kinerja, mengurangi risiko kerusakan, meningkatkan kenyamanan, serta menjaga presisi dan konsistensi senjata api. Dengan demikian, peredam panas yang efektif menjadi elemen penting untuk menjaga kinerja, keandalan, dan kenyamanan selama penggunaan senjata api. Pemilihan material yang tepat dan desain yang efektif sangat berperan dalam memastikan senjata api dapat berfungsi optimal dalam berbagai kondisi penggunaan (Kim et al., 2024; Lu et al., 2022). Material yang banyak digunakan untuk peredam panas pada senjata api adalah logam dengan sifat termal yang baik untuk menyerap, menyimpan, dan mengalirkan panas. Beberapa material yang umumnya digunakan antara lain aluminium, baja, kuningan, besi tempa, dan teflon. Pemilihan material biasanya didasarkan pada sifat termal, kekuatan, bobot, ketahanan terhadap korosi, serta kebutuhan spesifik dari aplikasi senjata tersebut (Pickard et al., 2021; Willard, 2022). Kombinasi berbagai material juga sering digunakan untuk mencapai kinerja peredam panas yang optimal sesuai dengan kebutuhan penggunaan senjata api.

Baja dan teflon jarang digunakan sebagai material utama untuk peredam panas pada senjata api karena baja memiliki konduktivitas termal yang relatif tinggi, yang dapat menyebabkan cepatnya penyebaran panas dan kurang efektif dalam menyerap panas (Dharmendra et al., 2021; Lu et al., 2021). Baja juga memiliki densitas yang tinggi, yang menjadi pertimbangan penting dalam desain senjata api yang ringan. Di sisi lain, teflon memiliki sifat non-stick dan

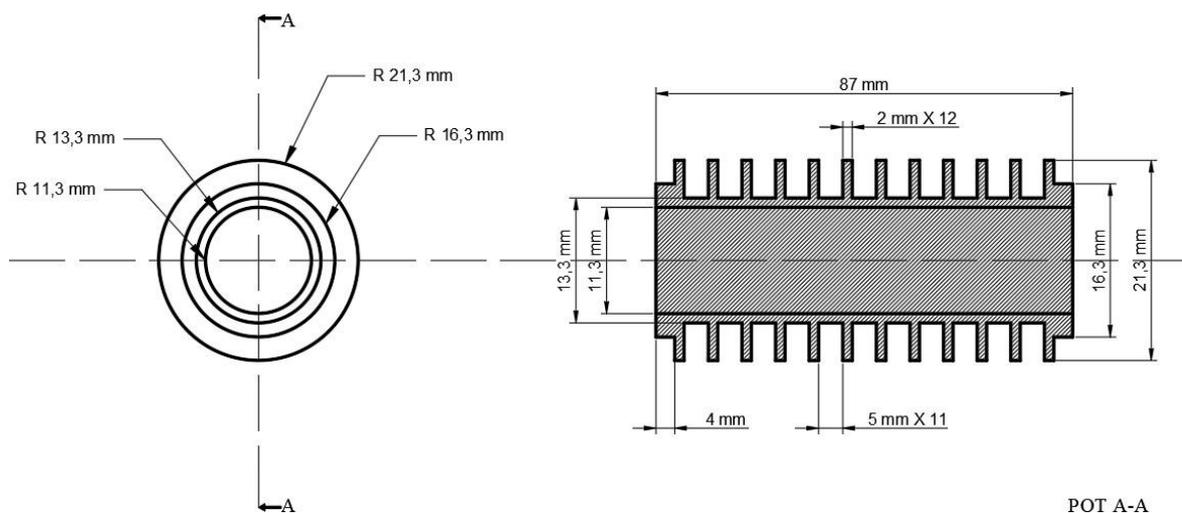
tahan terhadap panas, tetapi pada suhu yang sangat tinggi, teflon dapat meleleh dan mengeluarkan gas beracun. Hal ini menjadikan teflon kurang ideal sebagai material peredam panas pada senjata api yang terpapar suhu ekstrem selama penggunaan (Zeng et al., 2022). Simulasi digunakan untuk menelaah berbagai pilihan material peredam panas karena pengujian fisik memerlukan biaya tinggi dan waktu yang lama. Dengan menggunakan simulasi, biaya dan waktu yang diperlukan untuk menguji setiap material secara fisik dapat dihemat, memungkinkan evaluasi yang lebih efisien dari berbagai pilihan material (Rizki et al., 2024). Simulasi juga memungkinkan pemodelan dan analisis berbagai skenario yang tidak mungkin dilakukan secara fisik, seperti berbagai kombinasi material, desain, dan kondisi operasional (Mugilan et al., 2022). Penelitian ini akan menjelaskan metoda simulasi yang digunakan untuk menganalisis peredam panas pada senapan yang terbuat dari material perunggu, yang dipilih karena sifat termal yang memengaruhi kemampuan peredam panas secara keseluruhan.

## 2 METODE

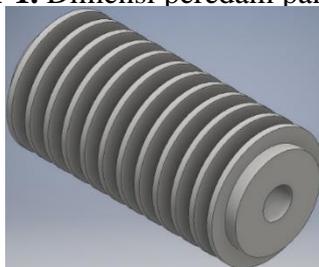
### 2.1 Desain Penelitian Model Sirip

Sebagai model peredam panas (sirip) yang digunakan merupakan bentuk silinder bersirip (*annular fin*). Dikarenakan telah dirancang oleh pencipta untuk menyesuaikan laras pada mesin senjata sedang MAG 58 yang berbentuk silinder dan mempercepat terhadap lajunya perpindahan panas dengan menggunakan sirip *annular fin*, dan spesifikasi sirip sebagai berikut:

- a) Bahan : Perunggu
- b) Bentuk alat peredam panas : *Annular fin*
- c) Panjang keseluruhan : 87 mm
- d) Diameter silinder dalam : 22,6 mm
- e) Tebal silinder : 5 mm
- f) Bentuk ujung sirip : Siku empat
- g) Banyak sirip : 12 buah
- h) Tebal sirip : 2 mm
- i) Tinggi sirip : 15 mm



Gambar 1. Dimensi peredam panas (sirip)



**Gambar 2.** Peredam panas (sirip)

**Tabel 1.** Hasil fluks panas minimum dan maksimum serta temperatur minimum dan maksimum

No	Desain Material	Fluks Panas Minimum (W/Mm <sup>2</sup> )	Fluks Panas Maximum (W/Mm <sup>2</sup> )	Minimum Temperatur <sup>0</sup> C	Maksimum Temperatur <sup>0</sup> C
1	Perunggu	9.121E-07 W/mm <sup>2</sup>	2.264E-04 W/mm <sup>2</sup>	164.973	165.021

**Tabel 2.** Termostatik Material Perunggu

Propertis	Perunggu
Konduktifitas Termal (W/Mm C)	0.096
Kapasitas Panas Spesifik (J/Kg C)	380.00 J/kg C
Kepadatan (Kg/Mm) <sup>3</sup>	8.470E-06
Rasio Poisson	0.31
Kekuatan Luluh (Mpa)	140.00
Kekuatan Tarik Utama (Mpa)	415.00
Modulus Young (Mpa)	97000.00 MPa

## 2.2 Metodologi

Makalah penelitian ini berfokus pada pemilihan material yang akan memberikan hasil yang lebih baik.

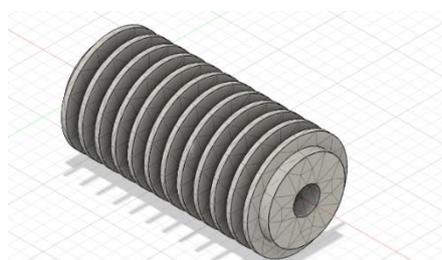
- Membuat tiga model CAD sirip peredam dengan tiga pilihan material yang berbeda.
- Melakukan simulasi di Autodesk inventor fusion untuk analisis termal.
- Menerapkan kondisi batas dan melakukan analisis termal.
- Analisis hasilnya dan simpulkan material yang memiliki nilai fluks panas terbaik dan menawarkan pembuangan panas yang lebih besar.

## 2.3 Model CAD

Untuk melakukan analisis termal dan mengetahui desain terbaik yang lebih baik dengan meminimalkan suhu di sekitar sirip peredam, maka dibuatlah desain material perunggu.

## 2.4 Meshing

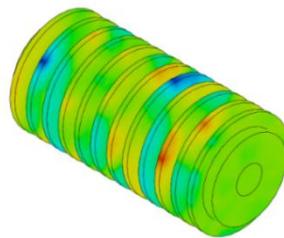
Untuk melakukan distribusi suhu dan analisis fluks panas, desain harus disatukan. Meshing adalah proses dimana komponen akan dibagi menjadi elemen hingga. Meshing dilakukan di *autodesk inventor fusion*. Jika komponen di *meshing*, beban yang diberikan pada komponen akan disebar secara merata sepanjang elemen hingga mesh. Hal ini memberikan hasil simulasi yang akurat. Gambar 3 menunjukkan gambar meshing dari desain sirip peredam panas tersebut. Elemen *meshing* tetrahedron linier dengan ukuran 10 mm digunakan dalam seluruh sirip peredam panas.



**Gambar 3.** Desain setelah *meshing* sirip peredam panas

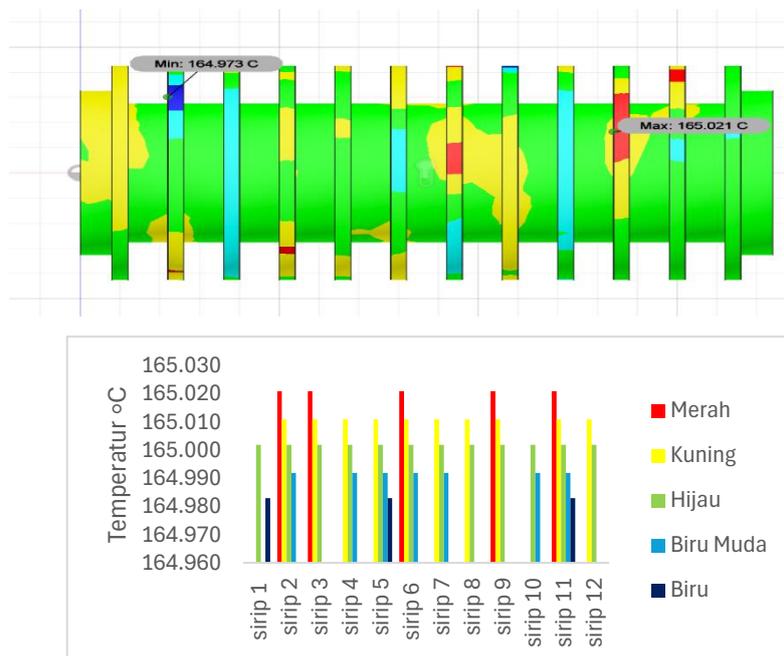
### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Perunggu yang memiliki konduktivitas termal terendah (50-60 W/mK), memiliki distribusi panas yang paling tidak merata, dengan titik panas yang jelas dan perubahan warna yang jelas di gambar simulasi. Akibatnya, mendistribusikan panas lebih lambat dan kurang efisien yang dapat menyebabkan akumulasi panas dan deformasi termal. Oleh karena itu, perunggu kurang disukai dalam aplikasi yang memerlukan manajemen temperatur yang efektif dan konsisten.



**Gambar 4.** Hasil simulasi material perunggu

#### 3.1 Laju Distribusi Temperature Perunggu



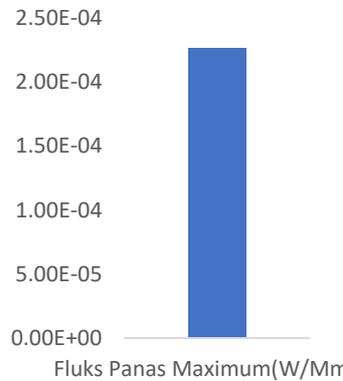
**Gambar 5.** Distribusi temperatur setiap sirip pada material perunggu

Berdasarkan gambar grafik di atas di simpulkan dengan rumus suhu rekristalisasi =  $0,4 \times 0,6 \times {}^{\circ}KT_{cair}$ .

Perunggu:

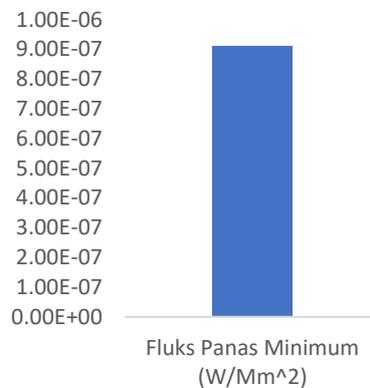
- Titik leleh:  $950 - 1050^{\circ}C = 950 + 273,15 = 1223,15^{\circ}K$  hingga  $1050 + 273,15 = 1323,15^{\circ}K$
- Suhu rekristalisasi:  $0,4 \times 1223,15^{\circ}K$  hingga  $0,6 \times 1323,15^{\circ}K$
- Suhu rekristalisasi =  $489,26^{\circ}K$  hingga  $793,89^{\circ}K$
- Suhu rekristalisasi =  $216,11^{\circ}C$  hingga  $520,74^{\circ}C$

Perunggu adalah material yang paling aman untuk aplikasi yang membutuhkan suhu maksimum operasi lebih tinggi, karena memiliki suhu rekristalisasi yang lebih tinggi dan dengan demikian lebih tahan terhadap risiko pertumbuhan butir pada suhu operasi yang direkomendasikan.



**Gambar 6.** Fluks maksimum perunggu

Berdasarkan hasil grafik *heat flux* maksimum, material perunggu memiliki nilai 2,264E-04 W/mm<sup>2</sup>, Konduktivitas termal yang lebih rendah berarti perunggu kurang efisien dalam mentransfer panas, membuatnya kurang cocok untuk aplikasi yang membutuhkan efisiensi tinggi dalam transfer panas, seperti sirip peredam panas. Secara keseluruhan, untuk aplikasi yang memerlukan efisiensi *heat flux* yang tinggi, perunggu bukanlah pilihan yang optimal.



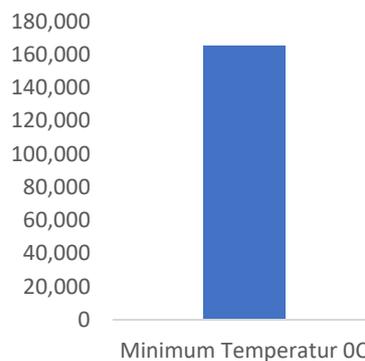
**Gambar 7.** Fluks panas minimum

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari Gambar 7 mengenai *heat flux* minimum pada suhu rendah, perunggu memiliki nilai 9,121E-07 W/mm<sup>2</sup>. Konduktivitas termal tetap menjadi faktor kunci dalam kemampuan material untuk menghantarkan panas, dan pada suhu rendah, konduktivitas termal perunggu adalah tergolong rendah. Hal ini mengakibatkan perunggu kurang efisien dalam mentransfer panas pada kondisi suhu rendah. Secara keseluruhan, untuk aplikasi yang memerlukan pengelolaan *heat flux* minimum pada suhu rendah, perunggu bukanlah pilihan yang optimal.



### Gambar 8. Maksimum temperatur perunggu

Berdasarkan hasil gambar grafik suhu maksimum operasi pada Gambar 8 perunggu memiliki suhu maksimum operasi sebesar  $165,021^{\circ}\text{C}$ , Namun, dalam konteks kemampuan untuk mentoleransi suhu tinggi, perunggu cenderung memiliki keunggulan karena titik lelehnya yang lebih tinggi, sekitar  $950\text{-}1050^{\circ}\text{C}$  tergantung pada komposisi spesifiknya. Suhu maksimum operasi yang direkomendasikan untuk perunggu biasanya hingga sekitar  $250\text{-}300^{\circ}\text{C}$ . Ini menunjukkan bahwa perunggu lebih mampu bertahan pada suhu operasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan material lainnya.



### Gambar 9. Minimum temperatur perunggu

Berdasarkan hasil simulasi suhu minimum operasi pada Gambar 9, perunggu memiliki suhu minimum operasi sebesar  $164,973^{\circ}\text{C}$ . Ini menunjukkan bahwa perunggu memiliki ketahanan yang cukup baik terhadap suhu rendah dibanding material lainnya. Ketahanan terhadap kerapuhan pada suhu rendah dan perubahan sifat mekanis lainnya sangat penting dalam menentukan material yang tepat untuk aplikasi suhu rendah. Perunggu, meskipun memiliki ketahanan yang memadai hingga sekitar  $-100^{\circ}\text{C}$  tetapi tidak sebaik material lainnya yang memiliki ketahanan didalam suhu rendah. Secara keseluruhan, untuk aplikasi sirip peredam panas yang membutuhkan ketahanan terhadap suhu rendah, perunggu adalah pilihan yang memadai namun tidak optimal.

## 4 KESIMPULAN

Dari simulasi analisis termal yang dilakukan pada sirip peredam panas dengan bahan perunggu di dapatkan kesimpulan sebagai berikut.

- Perunggu memiliki *heat flux* maksimum sebesar  $2.264\text{E-}04\text{ W/mm}^2$ , yang merupakan nilai terendah dibandingkan dengan material lainnya. Hal ini menunjukkan perunggu memiliki kemampuan rendah dalam mengelola *heat flux*.
- Perunggu memiliki *heat flux* minimum sebesar  $9.121\text{E-}07\text{ W/mm}^2$ , yang juga merupakan nilai terendah dibandingkan dengan material lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa perunggu kurang efisien dalam mengelola *heat flux* minimum pada suhu rendah.

- c. Perunggu memiliki suhu minimum operasi sebesar  $164.973^{\circ}\text{C}$ . Meski memadai hingga sekitar  $-100^{\circ}\text{C}$ . masaih tergolong rendah dalam ketahanan di suhu minium. Dalam konteks ketahanan terhadap kerapuhan perunggu kurang optimal pada suhu rendah.
- d. Perunggu memiliki suhu maksimum operasi sebesar  $165.021^{\circ}\text{C}$ . Namun, perunggu memiliki titik leleh yang lebih tinggi, sekitar  $950-1050^{\circ}\text{C}$ , dan suhu maksimum operasi yang direkomendasikan hingga sekitar  $250-300^{\circ}\text{C}$ . Hal ini membuat perunggu lebih cocok untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap suhu tinggi.

## 5 PERNYATAAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan Laboratorium Pengecoran Universitas Brawijaya Malang yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dharmendra, C., Rice, K. P., Amirkhiz, B. S., & Mohammadi, M. (2021). Atom Probe Tomography Study of  $\kappa$ -phases in Additively Manufactured Nickel Aluminum Bronze in As-built and Heat-treated Conditions. *Materials & Design*, 202, 109541.
- Kim, K., Choo, S., Lee, J., Ju, H., Jung, S., Jo, S., Lee, S., Baek, S., Kim, J., Kim, K. T., Chae, H. G., & Son, J. S. (2024). Heat-Dissipation Design and 3D Printing of Ternary Silver Chalcogenide-Based Thermoelectric Legs for Enhancing Power Generation Performance. *Advanced Science*, 2402934. <https://doi.org/10.1002/advs.202402934>
- Koniorczyk, P., Zielinski, M., & Surma, Z. (2023). Heat Transfer in The Anti-Aircraft Gun Barrel During Fire with Training and Combat Ammunition-comparison of calculation Results. *Issues of Armament Technology*, 165(3), 23–39.
- Lu, H.-T., Jin, Y.-X., Wang, S., & Li, W.-B. (2022). Thermal Effect Influence on Bullet Engraving Process and Interior Ballistic Process. *32nd International Symposium on Ballistics*. <https://www.dpi-proceedings.com/index.php/ballistics32/article/view/36100>
- Lu, X., Luan, Y., Meng, X., Zhou, Y., Zhao, N., & Liang, S. Y. (2021). *Temperature Distribution And Mechanical Properties of FSW Medium Thickness 2219 Aluminum Alloy*. <https://www.researchsquare.com/article/rs-825845/latest>
- Mugilan, M., Devendra, K. S., Danish, M., & Prabu, S. (2022). Investigation on thermal analysis of disc brake using Autodesk Fusion 360. *Materials Today: Proceedings*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.06.313>
- Pickard, S. M., Johnson, T. G., & Kuang, K. (2021). Development of High Thermal Conductivity Copper Alloys with Diamond Particle Additions. *2021 23rd European Microelectronics and Packaging Conference & Exhibition (EMPC)*, 1–6. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9584972/>
- Rizki, M., Gamayel, A., & Zaenudin, M. (2024). Simulation on the influence of the shape of the carabiner as a hanging accessory on stress distribution using Autodesk Fusion 360. *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin*, 5(1), 33–40.
- Willard, J. M. (2022). Low-Density Resin-Based Ablative Heat Protection Materials. *Science Insights*, 40(6), 541–544.
- Zeng, S., Hu, S., Peng, B., Hu, K., & Xiao, M. (2022). The constitutive relations and thermal deformation mechanism of nickel aluminum bronze. *Materials & Design*, 220, 110853.