

## Analisis Pengaruh Difusi Karbon melalui Metode Pack Carburizing terhadap Peningkatan Kekerasan Aluminium 1100

Indra Surya, Riza Muhida, Muhammad Riza, Erry Yulian T Adesta, Bambang Pratowo, Kunarto, Zein Muhamad, Harjono Saputro, Mulyana, Julleo Caecar Onasis Pangihutan

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bandar Lampung, Bandar Lampung, 35143, Indonesia  
Email: indra.surya@ubl.ac.id

**Abstrak.** Aluminium 1100 memiliki ketahanan korosi dan konduktivitas tinggi, namun kekerasan permukaannya relatif rendah ( $\pm 22$  HB). Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh proses pack carburizing menggunakan arang kayu pada suhu  $600^{\circ}\text{C}$  dengan variasi waktu tahan 2 dan 3 jam terhadap kekerasan Aluminium 1100. Spesimen didinginkan menggunakan oli ISO VG 32 dan diuji dengan metode Brinell (500 kgf,  $\varnothing 10$  mm).

Hasil menunjukkan bahwa pemanasan tanpa karbon menurunkan kekerasan hingga  $\pm 15$  HB akibat rekristalisasi dan pertumbuhan butir. Sebaliknya, perlakuan dengan karbon meningkatkan kekerasan menjadi  $\pm 23,33$  HB (2 jam) dan  $\pm 25$  HB (3 jam). Waktu tahan 3 jam menghasilkan nilai kekerasan tertinggi.

Proses pack carburizing pada suhu  $600^{\circ}\text{C}$  terbukti mampu meningkatkan kekerasan permukaan Aluminium 1100 secara moderat dibandingkan perlakuan panas tanpa karbon.

**Kata kunci.** Aluminium 1100, pack carburizing, holding time, quenching, kekerasan Brinell.

### 1 Pendahuluan

Judul Aluminium dan paduannya широко digunakan dalam industri karena memiliki densitas rendah, ketahanan korosi tinggi, serta konduktivitas termal dan listrik yang baik. Salah satu material yang banyak diaplikasikan adalah Aluminium 1100, yang termasuk dalam seri 1xxx dengan kemurnian aluminium  $\geq 99\%$ . Meskipun unggul dalam ketahanan korosi dan kemudahan fabrikasi, material ini memiliki kekerasan dan kekuatan mekanik yang relatif rendah, dengan kekerasan sekitar 23 HB pada kondisi annealed.

Sebagai paduan non-heat treatable, peningkatan kekuatan Aluminium 1100 hanya dapat dilakukan melalui pengerjaan dingin (strain hardening). Namun, pemanasan pada suhu tinggi akan menyebabkan rekristalisasi dan pertumbuhan butir yang mengakibatkan pelunakan material. Keterbatasan ini menjadi kendala pada aplikasi yang membutuhkan ketahanan aus lebih baik.

Salah satu pendekatan untuk meningkatkan kekerasan permukaan adalah melalui proses pack carburizing, yaitu difusi karbon ke dalam permukaan logam pada suhu tinggi. Meskipun metode ini umum diterapkan pada baja, penerapannya pada aluminium masih terbatas karena kelarutan karbon dalam aluminium sangat rendah. Namun, pada kondisi tertentu, karbon berpotensi membentuk fasa aluminium karbida yang dapat meningkatkan kekerasan permukaan.

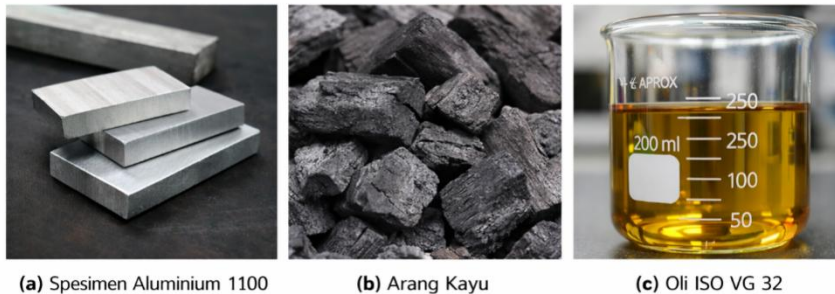
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh proses pack carburizing pada suhu 600°C dengan variasi waktu tahan 2 dan 3 jam terhadap kekerasan permukaan Aluminium 1100. Evaluasi dilakukan menggunakan uji kekerasan Brinell setelah pendinginan dengan oli ISO VG 32. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan gambaran mengenai efektivitas modifikasi permukaan aluminium murni melalui difusi karbon.

## **2 Material dan Metode Penelitian**

### **2.1. Alat dan Bahan**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: Tungku pemanas listrik (electric furnace) dengan kapasitas suhu maksimum 1000°C. Kotak karburasi (carburizing box) berbahan baja tahan panas. Termokopel tipe K dan panel kontrol suhu. Tang penjepit tahan panas dan wadah quenching. Mesin uji kekerasan Brinell sesuai standar ASTM E10 dengan indentor bola diameter 10 mm. Mikroskop pengukur untuk membaca diameter jejak indentasi. Peralatan preparasi spesimen (mesin potong, amplas grid 400–1000).

Bahan yang digunakan sebagai berikut: Aluminium 1100 dalam bentuk pelat. Arang kayu sebagai media sumber karbon pada proses pack carburizing. Oli pendingin ISO VG 32 sebagai media quenching. Spesimen dipotong dengan ukuran seragam dan permukaan uji diampelas untuk memastikan kerataan dan kebersihan dari oksida tebal sebelum perlakuan panas komposit.



**Gambar 1.** Bahan Penelitian

## 2.2. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh proses pack carburizing terhadap perubahan kekerasan permukaan Aluminium 1100 dengan variasi waktu tahan pada suhu 600°C.

## 2.3. Desain Eksperimen

Penelitian menggunakan lima variasi perlakuan sebagai berikut:

Spesimen A : Material awal (raw material) tanpa perlakuan panas.

Spesimen B : Pemanasan 600°C selama 2 jam tanpa media karbon.

Spesimen C : Pemanasan 600°C selama 2 jam dengan media arang kayu.

Spesimen D : Pemanasan 600°C selama 3 jam tanpa media karbon.

Spesimen E : Pemanasan 600°C selama 3 jam dengan media arang kayu.

Variabel penelitian terdiri dari:

Variabel bebas: waktu tahan (2 dan 3 jam) serta keberadaan media karbon.

Variabel terikat: nilai kekerasan Brinell (HB).

Variabel kontrol: suhu pemanasan (600°C), jenis material, ukuran spesimen, media pendingin (oli ISO VG 32), dan parameter pengujian kekerasan.

## 2.4. Proses Fabrikasi

Proses karburasi dilakukan menggunakan metode pack carburizing dengan prosedur berikut:

Spesimen dimasukkan ke dalam kotak baja tahan panas (carburizing box).

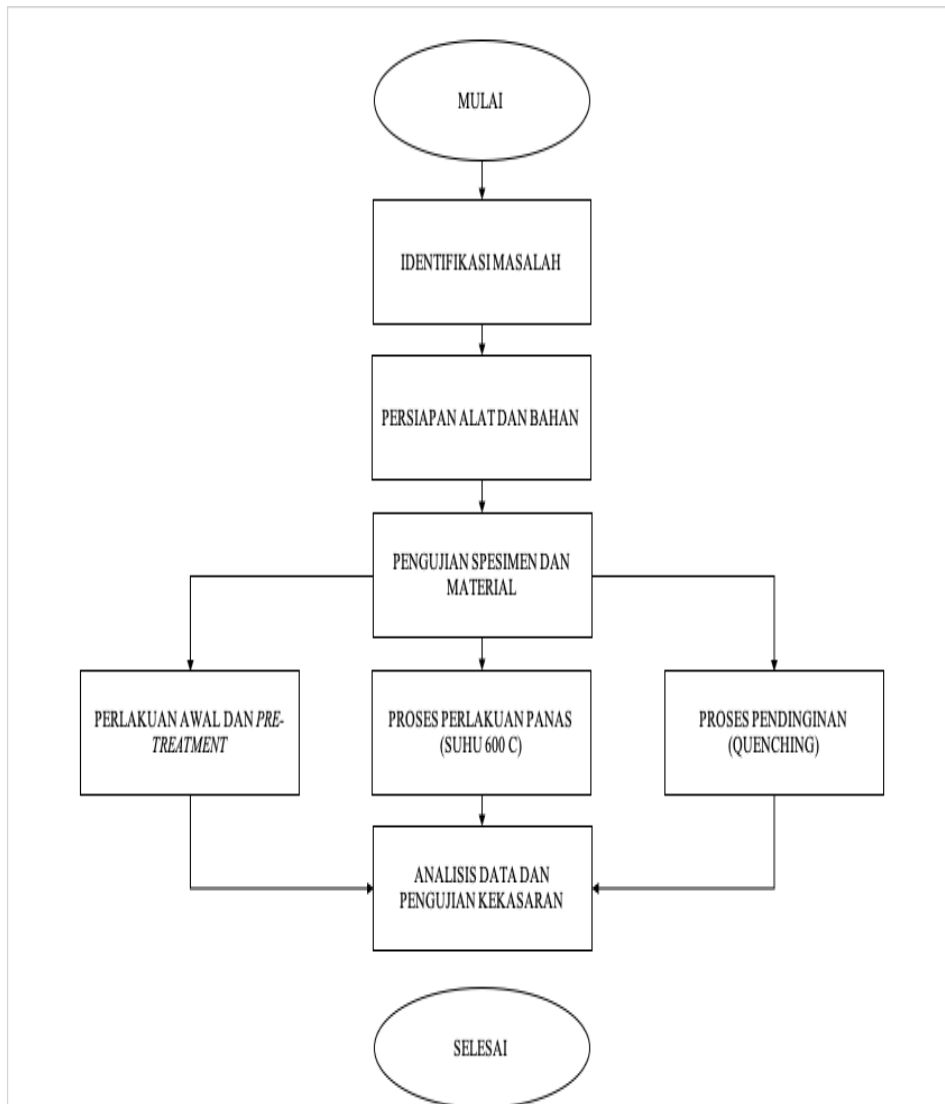
Untuk variasi dengan karbon (Spesimen C dan E), spesimen dikubur sepenuhnya dalam arang kayu dengan jarak minimal 20 mm dari dinding kotak untuk memastikan distribusi panas merata.

Kotak ditutup rapat dan celahnya dilapisi tanah liat untuk meminimalkan kebocoran gas.

Tungku dipanaskan hingga suhu 600°C.

Waktu tahan (2 atau 3 jam) dihitung setelah suhu furnace stabil pada 600°C (dikontrol dengan termokopel tipe K).

Untuk spesimen tanpa karbon (B dan D), prosedur pemanasan dilakukan tanpa arang kayu guna mengevaluasi efek pemanasan murni (annealing).



**Gambar 2.** Diagram Alir

### **2.5. Proses Pendinginan (Quenching)**

Setelah waktu tahan selesai, spesimen segera dikeluarkan dari tungku dan dicelupkan ke dalam oli ISO VG 32 pada suhu ruang.

Spesimen didiamkan dalam media pendingin hingga mencapai kesetimbangan termal ( $\pm 10$ – $15$  menit).

Penggunaan oli bertujuan untuk memberikan laju pendinginan moderat (soft quench) guna:

Mengurangi risiko distorsi

Menghindari retak akibat thermal shock

Mempertahankan struktur permukaan hasil perlakuan panas

## **2.6. Metoda Pengujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Brinell sesuai standar ASTM E10 dengan parameter:

Diameter indentor: 10 mm

Beban: 500 kgf

Waktu penekanan: 10–15 detik

Diameter jejak diukur pada dua arah tegak lurus ( $d_1$  dan  $d_2$ ), kemudian dirata-ratakan.

Setiap spesimen diuji pada minimal tiga titik berbeda untuk memperoleh nilai rata-rata kekerasan yang representatif.

## **2.7. Metode Analisa**

Nilai kekerasan Brinell dihitung menggunakan persamaan standar HBW berdasarkan diameter indentasi yang diperoleh.

Analisis dilakukan dengan langkah berikut:

Menghitung nilai rata-rata dan standar deviasi tiap variasi.

Membandingkan hasil antara:

Spesimen tanpa karbon dan dengan karbon

Waktu tahan 2 jam dan 3 jam

Menginterpretasikan perubahan kekerasan berdasarkan teori rekristalisasi, pertumbuhan butir, dan kemungkinan difusi karbon pada suhu tinggi.

Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memperjelas tren perubahan kekerasan.

# **3 Hasil dan Pembahasan**

## **3.1. Hasil Pengujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Brinell sesuai standar ASTM E10 dengan beban 500 kgf dan indentor bola diameter 10 mm. Setiap spesimen diuji pada tiga titik berbeda dan dihitung nilai rata-ratanya.

Rekapitulasi nilai kekerasan rata-rata ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Nilai Kekerasan Rata-rata Aluminium 1100

Spesimen	HL 1	HL 2	HL 3	Rata-rata HL	HB 1	HB 2	HB 3	Rata-rata HB
Aluminium Murni	210	199	223	210,67	22	21	23	22
2 Jam Tanpa Karbon	147	149	150	148,67	15	15	15	15
3 Jam Tanpa Karbon	154	147	135	145,33	16	15	14	15
2 Jam Dengan Karbon	226	239	215	226,67	23	25	22	23,33
3 Jam Dengan Karbon	251	246	240	245,67	26	25	24	25

### 3.2. Pengaruh Pemanasan Tanpa Media Karbon

Spesimen yang dipanaskan pada suhu 600°C tanpa media karbon menunjukkan penurunan kekerasan dari  $\pm 22$  HB menjadi  $\pm 15$  HB, baik pada waktu tahan 2 jam maupun 3 jam.

Penurunan ini disebabkan oleh proses rekristalisasi dan pertumbuhan butir (grain growth). Pada suhu 600°C, yang jauh di atas temperatur rekristalisasi aluminium (~250–300°C), dislokasi hasil pengerjaan sebelumnya akan hilang melalui mekanisme recovery dan recrystallization.

Pertumbuhan butir yang lebih besar mengurangi hambatan terhadap pergerakan dislokasi sesuai hubungan Hall–Petch, sehingga kekuatan dan kekerasan material menurun. Fakta bahwa nilai kekerasan pada 2 jam dan 3 jam relatif sama menunjukkan bahwa pelunakan maksimum telah tercapai dalam 2 jam pertama.

### 3.3. Pengaruh Pack Carburizing terhadap Kekerasan

Pada spesimen yang diberi media arang kayu (pack carburizing), terjadi peningkatan kekerasan dibandingkan pemanasan tanpa karbon.

2 jam: meningkat menjadi  $\pm 23,33$  HB

3 jam: meningkat menjadi  $\pm 25$  HB

Nilai ini lebih tinggi dibandingkan material awal ( $\pm 22$  HB), menunjukkan bahwa keberadaan karbon mampu mengompensasi efek pelunakan akibat suhu tinggi.

Secara metalurgi, meskipun kelarutan karbon dalam aluminium padat sangat rendah, pada suhu 600°C memungkinkan terjadinya:

Difusi karbon melalui batas butir (grain boundary diffusion)

Interaksi karbon dengan aluminium pada permukaan

Kemungkinan pembentukan fasa aluminium karbida ( $Al_4C_3$ ) dalam jumlah terbatas

Lapisan permukaan yang mengalami modifikasi ini meningkatkan ketahanan terhadap deformasi plastis saat indentasi Brinell dilakukan.

#### **4 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa proses pack carburizing pada suhu 600°C memberikan pengaruh terhadap perubahan sifat kekerasan permukaan Aluminium 1100. Pemanasan tanpa media karbon selama 2 jam maupun 3 jam menyebabkan penurunan kekerasan yang signifikan dari  $\pm 22$  HB menjadi sekitar  $\pm 15$  HB. Penurunan ini disebabkan oleh terjadinya proses rekristalisasi dan pertumbuhan butir (grain growth) pada suhu tinggi yang menghilangkan efek pengerasan regangan serta menurunkan hambatan terhadap pergerakan dislokasi.

Sebaliknya, perlakuan pack carburizing menggunakan arang kayu menunjukkan adanya peningkatan kekerasan dibandingkan spesimen yang dipanaskan tanpa karbon. Pada waktu tahan 2 jam, kekerasan meningkat menjadi  $\pm 23,33$  HB, sedangkan pada waktu tahan 3 jam mencapai nilai tertinggi  $\pm 25$  HB. Hasil ini menunjukkan bahwa keberadaan karbon selama proses pemanasan mampu mengompensasi efek pelunakan termal melalui mekanisme difusi permukaan dan kemungkinan interaksi karbon dengan matriks aluminium pada lapisan luar material.

Variasi waktu tahan menunjukkan bahwa durasi pemanasan berpengaruh terhadap hasil akhir kekerasan. Waktu tahan 3 jam memberikan hasil yang lebih optimal dibandingkan 2 jam, yang mengindikasikan bahwa kinetika difusi karbon meningkat seiring bertambahnya waktu paparan pada suhu tinggi. Namun demikian, peningkatan kekerasan yang diperoleh bersifat moderat, yang menunjukkan bahwa efektivitas proses ini tetap dibatasi oleh rendahnya kelarutan karbon dalam aluminium murni.

Secara keseluruhan, metode pack carburizing pada suhu 600°C dengan pendinginan menggunakan oli ISO VG 32 berpotensi sebagai alternatif teknik modifikasi permukaan Aluminium 1100 untuk meningkatkan ketahanan aus ringan hingga sedang. Untuk memperoleh peningkatan sifat mekanik yang lebih signifikan, diperlukan penelitian lanjutan dengan variasi suhu, waktu tahan yang lebih panjang, atau analisis mikrostruktur menggunakan karakterisasi lanjutan seperti SEM atau XRD guna mengidentifikasi fasa yang terbentuk pada permukaan material.

## References

- [1] ASTM International, *ASTM E10-18: Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials*, West Conshohocken, PA, USA, 2018.
- [2] ASM International, *ASM Handbook, Volume 4: Heat Treating*, Materials Park, OH, USA: ASM International, 2016.
- [3] ASM International, *ASM Handbook, Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, Materials Park, OH, USA, 2015.
- [4] J. R. Davis, *Aluminum and Aluminum Alloys*, Materials Park, OH, USA: ASM International, 2016.
- [5] S. Pradani, Sulaiman, and Hardiyanto, "Analisis tingkat kekerasan aluminium 6061 berdasarkan variasi media pendingin pada proses pack carburizing," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 45–52, 2020.
- [6] M. A. Alhamidi, A. R. Bushroa, and M. R. Muhamad, "The effect of case hardening treatment on aluminum 7075 toward its hardness and tensile strength," *AIP Conference Proceedings*, vol. 1983, 2018, Art. no. 030058.
- [7] A. Azmy, "Pengaruh proses pack carburizing baja AISI 4340 terhadap peningkatan kekerasan dan ketahanan aus," *Rekayasa Material dan Manufaktur Energi*, vol. 5, no. 1, pp. 12–18, 2021.
- [8] R. W. K. Honeycombe and H. K. D. H. Bhadeshia, *Steels: Microstructure and Properties*, 4th ed. Oxford, U.K.: Butterworth-Heinemann, 2017.
- [9] H. Jones, "Solubility of carbon in aluminium and its effect upon the casting process," *Journal of Materials Science*, vol. 50, no. 4, pp. 1500–1508, 2015.
- [10] M. Totten, *Handbook of Quenchants and Quenching Technology*, 2nd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2017.