

ANALISIS PERBANDINGAN KEKERASAN VELG ALUMINIUM AKIBAT PERLAKUAN PANAS OVEN CURING 210°C TANPA COATING DAN DENGAN POWDER COATING PADA VARIASI WAKTU 15, 30, DAN 45 MENIT

Denny Mulyana Prasetya¹, Margono Sugeng²

^{1,2}Universitas Dian Nusantara Jakarta

Email: geudejeungnini@gmail.com¹, margono.sugeng@undira.ac.id²

Abstrak: Velg aluminium merupakan salah satu komponen penting pada sepeda motor yang berfungsi menopang beban kendaraan serta menerima gaya dinamis selama pengoperasian. Dalam praktik industri, velg aluminium umumnya dilapisi menggunakan metode powder coating untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan memperbaiki tampilan permukaan. Proses powder coating melibatkan tahapan oven curing yang berpotensi memengaruhi sifat mekanik material akibat paparan temperatur tertentu dalam durasi waktu tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi waktu oven curing terhadap nilai kekerasan mikro dan perubahan mikrostruktur velg aluminium. Variasi waktu curing yang digunakan dalam penelitian ini adalah 15 menit, 30 menit, dan 45 menit. Pengujian kekerasan mikro dilakukan menggunakan metode Vickers Microhardness Test sesuai standar ASTM E384 pada beberapa titik pengujian untuk memperoleh nilai yang representatif. Selain itu, dilakukan pengamatan mikrostruktur pada pembesaran 200 μm untuk mengidentifikasi perubahan morfologi dan distribusi fasa akibat perlakuan panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi waktu curing memengaruhi distribusi partikel fasa sekunder dalam matriks aluminium. Semakin lama waktu curing, partikel cenderung lebih homogen dan halus, yang berkorelasi dengan perubahan nilai kekerasan mikro pada masing-masing spesimen. Dengan demikian, waktu oven curing memiliki peran terhadap karakteristik mekanik dan struktur mikro velg aluminium.

Kata Kunci: Velg Aluminium, Powder Coating, Oven Curing, Kekerasan Mikro, Mikrostruktur.

Abstract: Aluminum rims are an important component of motorcycles, supporting the vehicle's load and absorbing dynamic forces during operation. In industrial practice, aluminum rims are generally coated using a powder coating method to increase corrosion resistance and improve surface appearance. The powder coating process involves an oven curing stage that has the potential to affect the mechanical properties of the material due to exposure to certain temperatures for a certain duration. This study aims to analyze the effect of variations in oven curing time on the microhardness value and microstructural changes of aluminum rims. The curing time variations used in this study were 15 minutes, 30 minutes, and 45 minutes. Microhardness testing was carried out using the Vickers Microhardness Test method according to the ASTM E384 standard at several test points to obtain representative values. In addition, microstructural observations were carried out at 200 μm magnification to identify changes in morphology and phase distribution due to heat treatment. The results showed that variations in curing time affected the distribution of secondary phase particles in the aluminum matrix. The longer the curing time, the particles tended to be more homogeneous and smoother, which

correlated with changes in the microhardness value of each specimen. Thus, oven curing time plays a role in the mechanical characteristics and microstructure of aluminum rims.

Keywords: *Aluminum Rims, Powder Coating, Oven Curing, Microhardness, Microstructure.*

PENDAHULUAN

Velg aluminium merupakan salah satu komponen struktural penting pada sepeda motor yang berfungsi menopang beban kendaraan serta menerima gaya dinamis selama pengoperasian. Paduan aluminium banyak digunakan karena memiliki massa jenis rendah, ketahanan korosi yang baik, serta rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi. Dalam praktik industri, velg aluminium umumnya dilapisi menggunakan metode powder coating untuk meningkatkan ketahanan korosi dan kualitas estetika permukaan.

Proses powder coating melibatkan tahapan oven curing pada suhu tertentu, umumnya berkisar 200-220°C. Selain berfungsi untuk mematangkan lapisan coating melalui proses cross-linking, paparan panas tersebut berpotensi memengaruhi substrat aluminium. Pada paduan aluminium, pemanasan pada suhu menengah dapat memicu perubahan distribusi presipitat yang berpengaruh terhadap sifat mekanik, khususnya kekerasan.

Beberapa studi menunjukkan bahwa perlakuan panas dalam rentang suhu aging dapat meningkatkan kekerasan melalui mekanisme penguatan presipitasi. Namun demikian, variasi waktu pemanasan dapat pula menyebabkan penurunan kekerasan akibat over-aging. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi waktu oven curing terhadap nilai kekerasan mikro dan karakteristik mikrostruktur velg aluminium.

TINJAUAN PUSTAKA

Velg Aluminium

Velg merupakan komponen struktural pada sepeda motor yang berfungsi menopang beban kendaraan, menjaga kestabilan putaran roda, serta menerima gaya dinamis selama pengoperasian. Material yang umum digunakan untuk velg adalah paduan aluminium, khususnya seri Al-Si (aluminium-silikon), karena memiliki kombinasi sifat ringan, kekuatan yang memadai, serta ketahanan terhadap korosi.

Paduan aluminium memiliki struktur mikro yang terdiri atas matriks aluminium (fase α -Al) dengan partikel fase sekunder berupa silikon atau senyawa intermetalik lainnya. Distribusi, ukuran, dan morfologi fase sekunder ini sangat memengaruhi sifat mekanik material. Struktur mikro yang homogen dengan distribusi presipitat halus dan merata akan memberikan hambatan

yang lebih besar terhadap pergerakan dislokasi, sehingga meningkatkan kekerasan dan kekuatan material.

Selain komposisi kimia, sifat mekanik aluminium juga dipengaruhi oleh riwayat perlakuan panas. Pada suhu tertentu, atom-atom unsur paduan dapat mengalami difusi dan membentuk presipitat baru atau mengalami pertumbuhan partikel (coarsening), yang selanjutnya berdampak pada perubahan kekerasan.

Powder coating

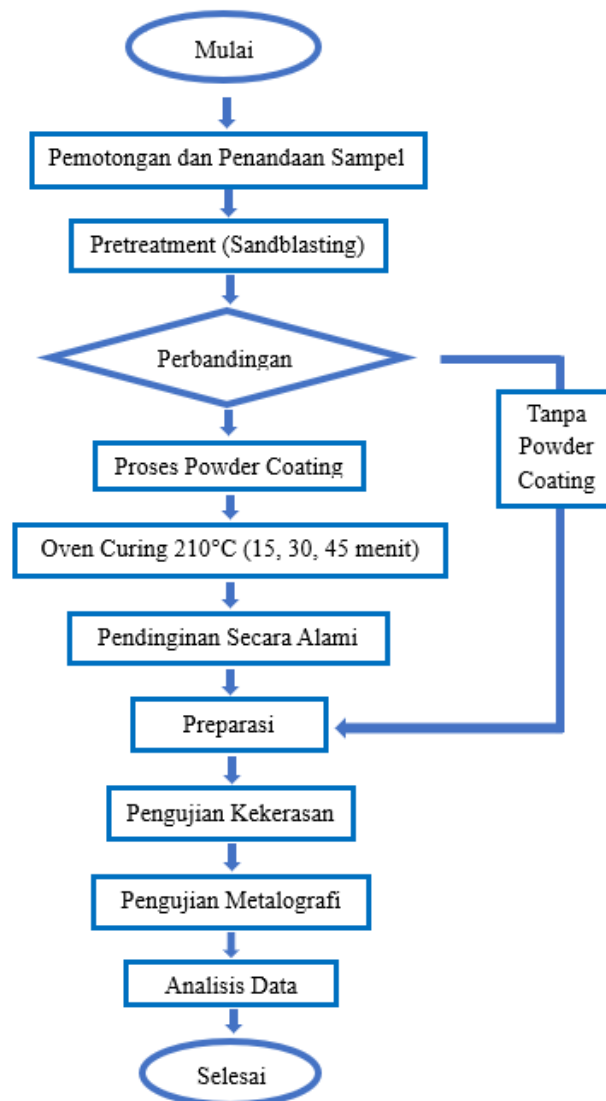
Powder coating merupakan metode pelapisan permukaan menggunakan serbuk polimer yang diaplikasikan secara elektrostatik ke permukaan logam. Partikel powder yang bermuatan listrik akan menempel pada substrat yang telah dibersihkan, kemudian dilelehkan dan dipadatkan melalui proses oven curing.

Oven Curing

Tahap oven curing dilakukan pada suhu tertentu, umumnya berkisar antara 180-220°C. Pada tahap ini, partikel powder meleleh dan mengalami reaksi cross-linking sehingga membentuk lapisan yang keras, homogen, dan memiliki daya lekat yang baik. Selain mematangkan lapisan coating, proses ini juga menyebabkan substrat aluminium mengalami paparan panas dalam durasi tertentu.

Paparan panas tersebut berpotensi memengaruhi struktur mikro aluminium. Pada paduan yang sensitif terhadap perlakuan panas, suhu curing dapat memicu proses artificial aging. Dalam kondisi tertentu, aging dapat meningkatkan kekerasan melalui pembentukan presipitat halus yang terdistribusi merata. Namun, jika durasi pemanasan terlalu lama, dapat terjadi over-aging yang menyebabkan presipitat membesar dan menurunkan kekerasan.

Dengan demikian, waktu oven curing merupakan parameter penting yang tidak hanya memengaruhi kualitas lapisan coating, tetapi juga dapat berdampak pada sifat mekanik substrat logam.

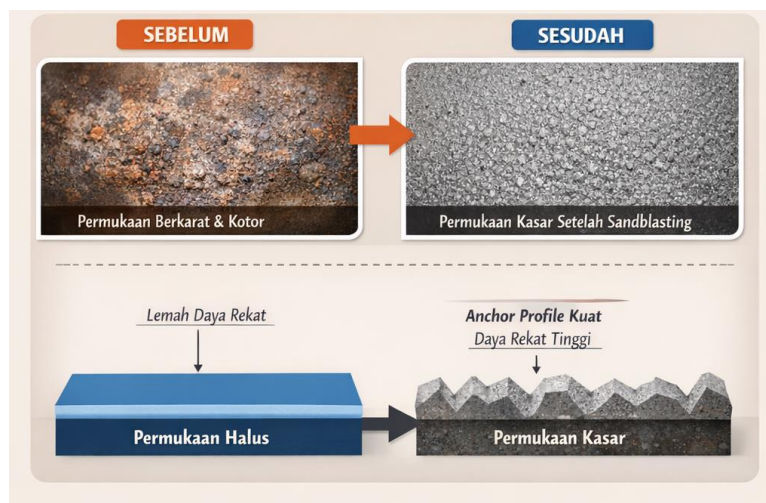
Diagram Alir Proses**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan variasi waktu oven curing sebagai variabel bebas, yaitu 15 menit, 30 menit, dan 45 menit pada suhu 210°C. Variabel terikat adalah nilai kekerasan mikro, sedangkan variabel kontrol meliputi jenis material velg, metode powder coating, dan prosedur pengujian.

Empat spesimen digunakan dalam penelitian ini, terdiri atas satu spesimen tanpa powder coating sebagai pembanding dan tiga spesimen dengan powder coating yang mengalami variasi waktu curing.

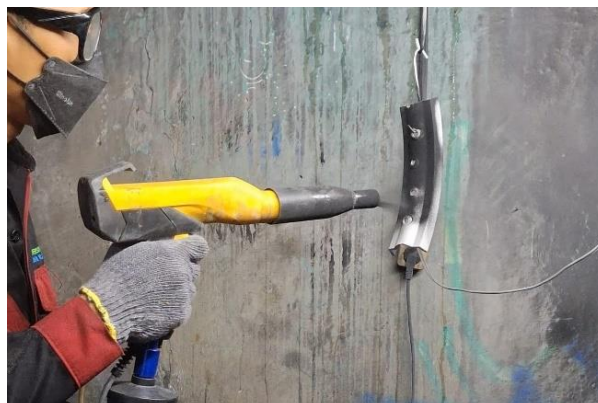
Proses Sandblasting

Sandblasting merupakan proses pembersihan dan persiapan permukaan material dengan cara menyemprotkan partikel abrasif bertekanan tinggi menggunakan media udara atau tekanan tertentu. Tujuan utama proses ini adalah menghilangkan kontaminan seperti karat, oksida, kerak, sisa cat lama, minyak, dan kotoran lain yang menempel pada permukaan logam. Dengan hilangnya lapisan pengotor tersebut, permukaan material menjadi lebih bersih dan bebas dari zat yang dapat mengganggu kualitas perlakuan selanjutnya.



Proses Powder Coating

Permukaan velg terlebih dahulu melalui tahap pembersihan dan sandblasting untuk meningkatkan daya lekat coating. Serbuk powder diaplikasikan menggunakan metode electrostatic spraying hingga membentuk lapisan merata. Selanjutnya, spesimen dipanaskan dalam oven pada suhu 210°C dengan variasi waktu 15, 30, dan 45 menit, kemudian didinginkan pada suhu ruang.



Preparasi Spesimen

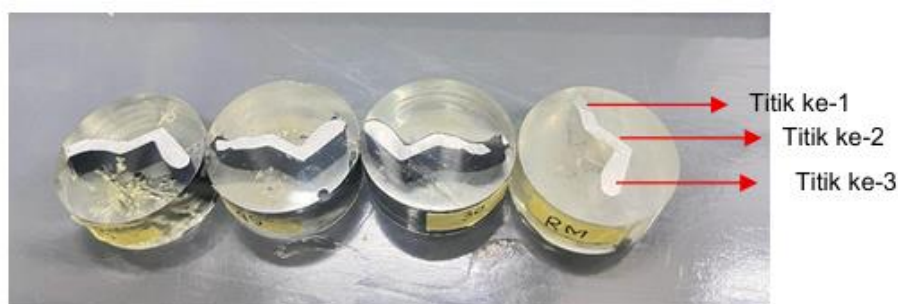
Preparasi metalografi dilakukan melalui tahapan pemotongan presisi menggunakan mesin Secotom 60 dengan roda potong abrasif tipe 30A20. Spesimen kemudian dilakukan cold mounting menggunakan resin Epofix dan hardener dari Struers untuk menjaga orientasi dan memudahkan penanganan.



Tahapan pengamplasan dan pemolesan dilakukan menggunakan mesin Tegramin-25. Grinding awal menggunakan MD Piano dengan air, dilanjutkan fine grinding menggunakan MD Allegro dan suspensi berlian 9 μm . Pemolesan akhir menggunakan MD Floc dengan larutan alumina 3 μm hingga diperoleh permukaan reflektif.

Uji Kekerasan Mikro

Pengujian kekerasan mikro dilakukan menggunakan metode Vickers Microhardness Test sesuai standar ASTM E384. Beban rendah digunakan untuk menghindari kerusakan lapisan permukaan. Pada setiap spesimen dilakukan pengujian pada beberapa titik berbeda.



Titik pengujian ditentukan berdasarkan posisi relatif terhadap lapisan coating dan bagian dalam material. Titik ke-1 berada dekat dengan lapisan coating pada bagian ujung spesimen, sehingga mewakili daerah yang paling dekat dengan permukaan luar dan berpotensi mengalami pengaruh panas paling besar selama proses curing. Titik ke-2 juga berada dekat dengan lapisan coating, namun terletak pada bagian tengah penampang spesimen untuk melihat distribusi kekerasan pada area permukaan yang lebih representatif. Sementara itu, titik ke-3 berada lebih ke dalam bagian material (substrat) aluminium, yang bertujuan untuk mengetahui perubahan kekerasan pada inti material yang relatif lebih jauh dari pengaruh langsung suhu permukaan.

Pengujian Metalografi

Uji metalografi dilakukan sebagai pengujian pendukung untuk mengamati perubahan struktur mikro velg aluminium akibat perlakuan oven curing dengan variasi waktu pemanasan. Pengujian ini bertujuan untuk mengaitkan perubahan nilai kekerasan mikro dengan kondisi mikrostruktur material.

bertahap menggunakan kertas amplas dengan tingkat kehalusan yang meningkat, serta pemolesan hingga permukaan spesimen menjadi halus dan mengkilap. Setelah itu, spesimen dilakukan proses etsa menggunakan larutan etsa yang sesuai untuk paduan aluminium agar struktur mikro dapat terlihat jelas.

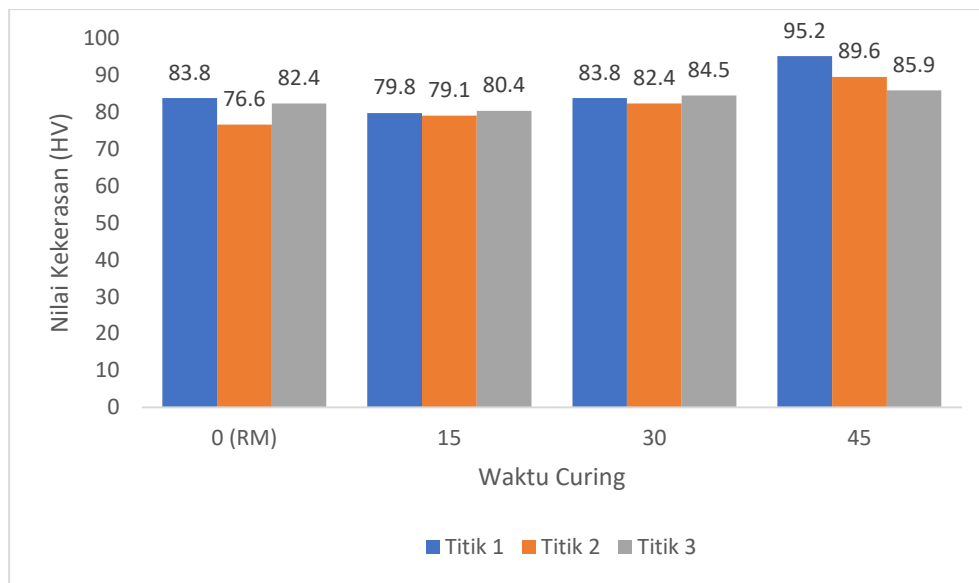
Spesimen yang telah dipreparasi kemudian diamati menggunakan mikroskop optik metalografi dengan perbesaran tertentu. Pengamatan difokuskan pada karakteristik struktur mikro seperti ukuran butir, distribusi presipitat, serta indikasi perubahan mikrostruktur akibat perlakuan panas. Hasil pengamatan metalografi dianalisis secara kualitatif dan digunakan untuk mendukung serta menjelaskan hasil pengujian kekerasan mikro.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut hasil dan pembahasan uji kekerasan mikro dan uji pengamatan mikrostruktur

A. Hasil Uji kekerasan Mikro

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan mikro rata-rata masing-masing spesimen adalah:



Pada variasi curing 15 menit terjadi sedikit penurunan kekerasan dibandingkan kondisi awal. Hal ini mengindikasikan bahwa pemanasan awal belum menghasilkan distribusi presipitat yang optimal dan kemungkinan terjadi relaksasi tegangan sisa.

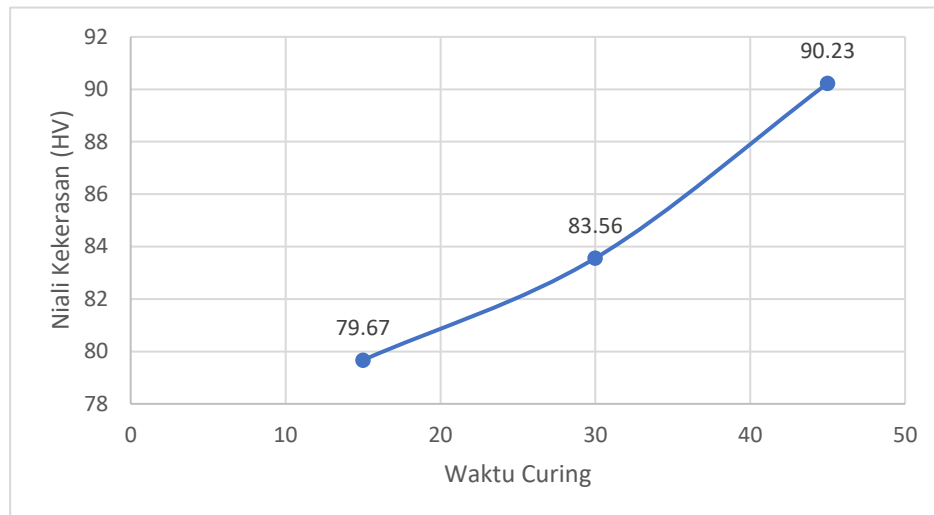
Pada curing 30 menit terjadi peningkatan kekerasan, yang mengindikasikan bahwa proses pemanasan mulai memberikan efek penguatan melalui distribusi presipitat yang lebih merata dalam matriks aluminium.

Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada curing 45 menit. Peningkatan ini dapat dikaitkan dengan kondisi aging yang lebih efektif pada suhu 210°C, sehingga hambatan terhadap pergerakan dislokasi meningkat dan menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi.

Sampel	Kondisi	Rata-rata Kekerasan (HV)
RM	Tanpa powder coating	80,93
15	Curing 15 menit	79,67
30	Curing 30 menit	83,56
45	Curing 45 menit	90,23

Hasil pengamatan mikrostruktur menunjukkan bahwa seluruh spesimen didominasi matriks aluminium berwarna terang dengan partikel fasa sekunder berwarna lebih gelap. Pada spesimen tanpa perlakuan, distribusi partikel relatif tidak merata. Seiring bertambahnya waktu

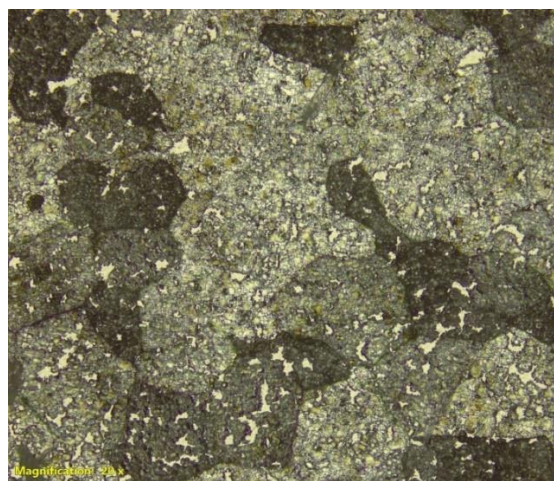
curing, partikel tampak lebih homogen dan terdistribusi lebih merata, terutama pada variasi 30 dan 45 menit.



Korelasi antara peningkatan homogenitas partikel dengan kenaikan nilai kekerasan menunjukkan bahwa proses oven curing berkontribusi terhadap perubahan struktur mikro yang berdampak pada sifat mekanik material.

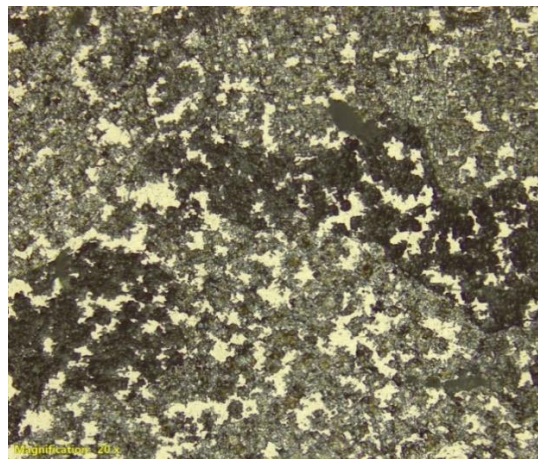
Pengamatan Mikrostruktur

Pada sampel raw material (RM), mikrostruktur menunjukkan kondisi awal material yang relatif homogen dengan distribusi fasa yang seragam serta batas butir yang masih cukup jelas. Tidak teramati perubahan morfologi yang signifikan, sehingga kondisi ini merepresentasikan struktur material sebelum mengalami paparan panas tambahan.



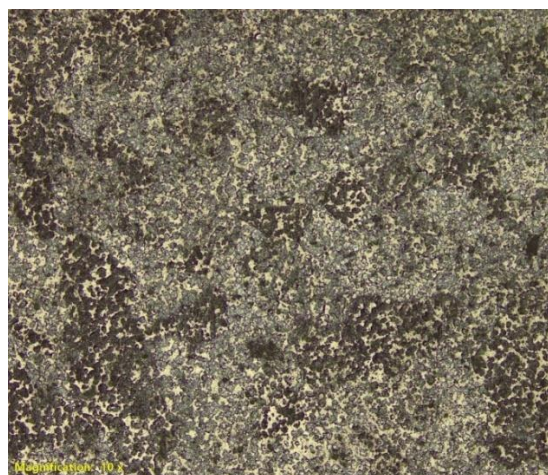
Gambar 4. 1 raw material (tanpa powder coating)

Pada sampel dengan waktu curing 15 menit, mulai terlihat adanya perubahan mikrostruktur terutama di daerah dekat permukaan akibat paparan panas awal. Distribusi fase gelap menunjukkan indikasi segregasi lokal atau penggumpalan presipitat, meskipun perubahan tersebut belum cukup signifikan untuk memberikan peningkatan kekerasan secara nyata. Heterogenitas mikrostruktur mulai tampak, yang berpotensi menyebabkan variasi sifat mekanik lokal.



Gambar 4. 2 oven curing 15 menit

Pada curing 30 menit, distribusi partikel gelap tampak lebih merata dalam matriks aluminium. Struktur mikro menunjukkan tingkat homogenitas yang lebih baik dibandingkan curing 15 menit. Pola sebaran presipitat yang relatif seragam mengindikasikan bahwa paparan panas mulai memberikan efek stabilisasi struktur mikro, yang berkorelasi dengan peningkatan nilai kekerasan.



Gambar 4. 3 oven curing 30 menit

Pada curing 45 menit, mikrostruktur menunjukkan kondisi yang lebih matang dengan distribusi presipitat yang lebih stabil dan homogen. Tidak ditemukan cacat makro seperti retakan maupun porositas besar. Homogenitas struktur mikro pada kondisi ini selaras dengan nilai kekerasan mikro tertinggi yang diperoleh, sehingga dapat diasosiasikan bahwa waktu curing yang lebih lama pada suhu 210°C berkontribusi terhadap peningkatan kestabilan mikrostruktur dan sifat mekanik material.



Gambar 4. 4 oven curing 45 menit

Secara keseluruhan, peningkatan waktu oven curing cenderung menghasilkan distribusi presipitat yang lebih merata dalam matriks aluminium, yang berkontribusi terhadap peningkatan kekerasan dan kestabilan mekanik velg aluminium.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan mikro Vickers dan pengamatan mikrostruktur pada velg aluminium yang mengalami perlakuan oven curing pada suhu 210°C tanpa coating serta dengan powder coating pada variasi waktu 15, 30, dan 45 menit, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Spesimen tanpa proses curing menunjukkan nilai kekerasan sebesar 80,93 HV yang merepresentasikan kondisi awal material sebelum menerima perlakuan panas tambahan.
2. Pemberian perlakuan oven curing selama 15 menit menyebabkan perubahan nilai kekerasan dibandingkan kondisi awal, yang diperkirakan dipengaruhi oleh efek paparan panas terhadap mikrostruktur paduan aluminium.

3. Pada waktu curing 30 menit, nilai kekerasan meningkat menjadi 83,56 HV, yang mengindikasikan terjadinya perubahan mikrostruktur yang lebih stabil dibandingkan curing 15 menit, sejalan dengan distribusi presipitat yang lebih merata.
4. Perlakuan oven curing selama 45 menit dengan powder coating menghasilkan nilai kekerasan tertinggi, yaitu 90,23 HV. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kombinasi antara pemanasan selama curing dan keberadaan lapisan powder coating berperan dalam meningkatkan ketahanan material terhadap deformasi plastis.
5. Hasil pengamatan metalografi menunjukkan bahwa peningkatan waktu curing berkorelasi dengan semakin homogen dan stabilnya distribusi presipitat, yang diperkirakan berkontribusi terhadap kenaikan nilai kekerasan mikro pada velg aluminium.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdus Samad, U., Alam, M. A., Seikh, A. H., Mohammed, J. A., Al-Zahrani, S. M., & Sherif, E. S. M. (2023). Corrosion Resistance Performance of Epoxy Coatings Incorporated with Unmilled Micro Aluminium Pigments. *Crystals*, 13(4), 1–14. <https://doi.org/10.3390/cryst13040558>
- Fan, L., Wang, F., Wang, Z., Hao, X., Yang, N., & Ran, D. (2023). Study on the Influence of Surface Treatment Process on the Corrosion Resistance of Aluminum Alloy Profile Coating. *Materials*, 16(17). <https://doi.org/10.3390/ma16176027>
- Kunce, I., Królikowska, A., & Komorowski, L. (2021). Accelerated corrosion tests in quality labels for powder coatings on galvanized steel—comparison of requirements and experimental evaluation. *Materials*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/ma14216547>
- Yang, M. S., Huang, J., Zhang, H., Noël, J. J., Hedberg, Y. S., Chen, J., Eduok, U., Barker, I., Henderson, J. D., Xian, C., Zhang, H., & Zhu, J. (2023). Study on the Self-Repairing Effect of Nanoclay in Powder Coatings for Corrosion Protection. *Coatings*, 13(7), 1–22. <https://doi.org/10.3390/coatings13071220>
- Yuan, Y., Pan, S., Wang, T., Xia, L., Liu, Y., Wang, X., Li, L., & Wang, T. (2023). Experimental and Numerical Investigations on Curing a Polyester-Based Powder Coating by Catalytic Infrared Radiation. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/app13042187>