

Pengaruh Temperatur Proses Austemper pada Besi Tuang Paduan Fe-Al-C Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik

Muhammad Eki Adesty Suhandhia Putra¹, Ratna Kartikasari¹, Yohanes Agus Jayatun¹

¹ Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Korespondensi : ratna@itny.ac.id

ABSTRAK

Penambahan aluminium (Al) pada sistem paduan dapat meningkatkan ketahanan korosi dan oksidasi namun memiliki kekurangan yaitu memiliki sifat *brittle*, proses austemper dapat meningkatkan kekuatan, ketangguhan, mengurangi distorsi serta mengurangi sifat *brittle*. Tahapan proses *austemper* dimulai dari pemanasan pada temperatur 900°C selama 1 jam, kemudian di lanjutkan pencelupan dalam garam cair (KNO₃ 55% + NaNO₃ 45%) pada temperatur 300°C, 350°C, dan 400°C, selama 20 menit dan dilanjutkan pencelupan media air. Pengujian yang dilakukan adalah uji struktur mikro menggunakan mikroskop optik, uji kekerasan dengan metode *Brinnel*, dan uji kekuatan tarik. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa paduan Fe-Al-C mengandung unsur utama Fe sebesar 89,40%, dan unsur paduan utama Al sebesar 0,98%, C 5,41%, Si 1,69%, termasuk besi cor paduan Al. Paduan Fe-Al-C memiliki kekerasan sebesar 188,2 Kg/mm². Setelah proses austemper kekerasan naik menjadi 325,4 Kg/mm² pada temperatur 300°C, hal ini disebabkan terjadinya perubahan struktur perlit menjadi struktur bainit. Hasil pengujian tarik menunjukkan paduan Fe-Al-C memiliki tegangan tarik sebesar 188,2 Mpa dan nilai regangan sebesar 1,1% kemudian turun pada austemper temperature 300°C dengan nilai tegangan Tarik 44 Mpa dan regangan 0,4%, hal ini disebabkan struktur grafit yang besar dan patah-patah serta adanya struktur bainit.

Kata kunci: Austemper, Paduan Fe-Al-C, Sifat mekanik, Struktur Mikro.

ABSTRACT

The addition of aluminum (Al) to the alloy system can improve corrosion and oxidation resistance but has the disadvantage of having brittle properties, the austemper process can increase strength, toughness, reduce distortion and reduce brittle properties. The stages of the austemper process start from heating at 900°C for 1 hour, then continued immersion in molten salt (KNO₃ 55% + NaNO₃ 45%) at temperatures of 300°C, 350°C, and 400°C, for 20 minutes and continued immersion in water media. The tests carried out were microstructure tests using an optical microscope, hardness tests using the Brinnel method, and tensile strength tests. The chemical composition test results show that the Fe-Al-C alloy contains the main element Fe by 89.40%, and the main alloying element Al by 0.98%, C 5.41%, Si 1.69%, including Al alloy cast iron, Fe-Al-C alloy has a hardness of 188.2 Kg/mm². After austemper process hardness rose to 325.4 Kg/mm² at 300 ° C, this is due to the change of pearlite structure into bainite structure. The tensile test results show that the Fe-Al-C alloy has a tensile stress of 188.2 Mpa and a strain value of 1.1% and then drops at austemper temperature of 300 ° C with a tensile stress value of 44 Mpa and a strain of 0.4%, this is due to the large graphite structure and fractures and the presence of bainite structures.

Keyword : Austemper, Fe-Al-C Alloy, Mechanical properties, Microstructure.

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan saat ini membawa dampak yang begitu besar bagi perkembangan teknologi, seiring dengan kemajuan dunia industri. Material logam yang paling banyak digunakan di dunia industri adalah baja, karena baja memiliki keunggulan yaitu kekuatan yang tinggi, kemampukerasan yang baik dan relatif ulet. Pada perkembangannya penggunaan material baja diimbangi dengan semakin banyaknya penggunaan material besi cor. Hal ini terjadi karena besi cor memiliki beberapa keunggulan dibandingkan baja, yaitu merupakan bahan yang relatif murah, memiliki sifat mampu cor (*castability*) yang baik, dan juga memiliki sifat mampu mesin (*machinability*) yang baik dibandingkan dengan baja [1]. Penambahan unsur-unsur seperti: Si, Ti, Ni, Al, Co, Au, dan Pt akan mempercepat terbentuknya grafit (*graphitizing element*) dalam besi cor kelabu, sedangkan unsur-unsur Cr, Te, S, V, Mn, Mo, P, W, Mg, B, O, H, dan N cenderung akan

menghambat penggrafitan besi cor kelabu sehingga grafit yang terbentuk akan lebih halus [2]. Aluminium secara khusus dalam besi / baja berfungsi sebagai penstabil struktur ferit.

Penambahan aluminium (Al) pada sistem paduan dapat meningkatkan ketahanan korosi dan oksidasi. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya diketahui bahwa baja paduan Fe-Al-C memiliki sifat keras tetapi getas. Untuk memperoleh kombinasi antara kekuatan, keuletan dan ketangguhan yang tinggi maka dilakukan proses austemper [3]. Perlakuan panas austemper pada besi cor bertujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal (*internal stress*), menghaluskan ukuran butir kristal, meningkatkan kekerasan, dan tegangan tarik. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perlakuan panas, diantaranya yaitu suhu pemanasan, waktu penahanan (*holding time*), laju pendinginan dan suhu lingkungan. Untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Oleh karena itu, kecepatan pendinginan dan batas temperatur akan sangat menentukan [4].

Perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan suatu proses dimana material dipanaskan dan didinginkan untuk mengubah struktur mikro pada material tersebut, hal ini berkaitan dengan sifat mekanik yang akan berubah seiring berubahnya struktur mikro material. Salah satu proses perlakuan panas yang biasa digunakan untuk merubah struktur mikro material adalah austemper [5].

Austemper adalah proses perlakuan panas untuk logam besi berkarbon sedang hingga tinggi yang menghasilkan struktur metalurgi yang disebut bainit. Struktur bainit ini berfungsi untuk meningkatkan kekuatan, ketangguhan, dan mengurangi distorsi. Pada proses austemper besi/baja dipanaskan sampai suhu austenit, kemudian didinginkan cukup cepat sampai suhu di atas suhu awal martensit (*Ms*) dan ditahan selama waktu yang cukup untuk menghasilkan struktur mikro bainit yang diinginkan [6].

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah besi tuang paduan Fe-Al-C berbentuk ingot dengan ukuran panjang 200 mm x lebar 40 mm x tebal 60 mm. Ingot paduan Fe-Al-C selanjutnya dipotong menjadi spesimen uji struktur mikro dan kekerasan berdasarkan standar ASTM E10 (Gambar 2) serta spesimen uji tarik berdasarkan standar ASTM E8 (Gambar 3)

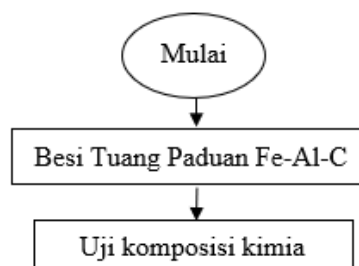
Proses austemper dimulai dengan pemanasan pada suhu 900°C selama 60 menit, selanjutnya dilakukan pencelupan pada garam cair (KNO_3 55% + $NaNO_3$ 45%) masing-masing pada temperature 300°C, 350°C, dan 400°C, selama 20 menit. Tahap berikutnya adalah persiapan spesimen untuk pengujian struktur mikro dan kekerasan meliputi proses pengamplasan, pemolesan dan pengetsaan, pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *Brinell*. Pengujian tarik dilakukan berdasarkan standar ASTM E8. Secara keseluruhan tahapan proses penelitian di gambarkan dengan diagram alir penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1. Spesimen struktur mikro dan uji kekerasan



Gambar 2. Spesimen uji tarik



Gambar 3. Diagram alir penelitian**HASIL DAN ANALISIS****Analisis Hasil Pengujian Komposisi Kimia****Tabel 1.** Hasil pengujian komposisi kimia paduan Fe-Al-C

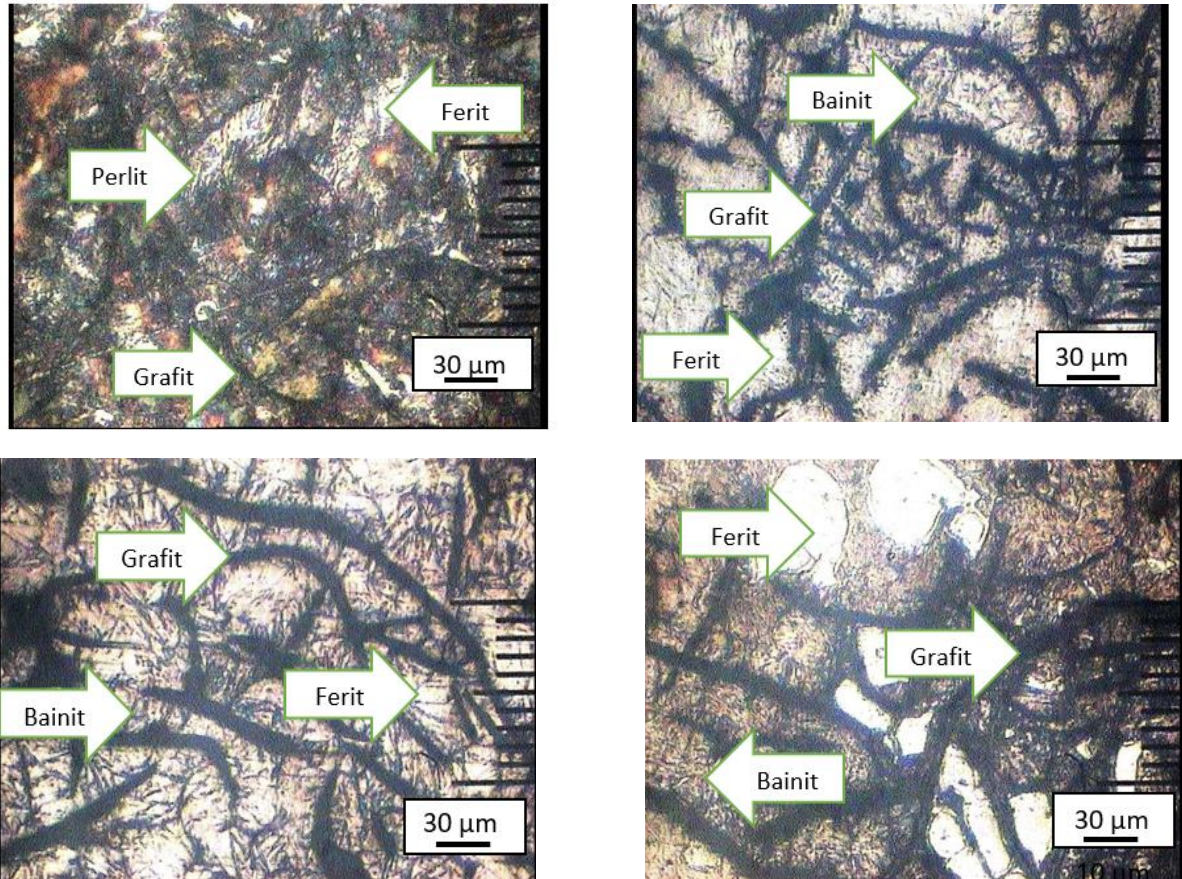
Unsur	Fe	C	Al	Si	Mn	P	S	V	Ni	Mo	Cr	Cu	Ti	Zn	Total
% Berat	89,40	5,41	0,98	1,69	0,46	0,04	0,03	0,01	0,10	0,01	0,11	0,14	0,01	0,01	100

Pengujian komposisi kimia pada paduan Fe-Al-C, yang menggunakan alat spektrometer menunjukkan cukup banyak unsur yang terkandung dalam spesimen tersebut. Unsur utama yang terkandung dalam spesimen tersebut adalah (Fe) 89,40%, dan unsur paduan utama (C) 5,41%, (Al) 0,98%, dan (Si) 1,69%, sehingga paduan Fe-Al-C ini termasuk dalam besi paduan Al [7].

Penambahan unsur karbon (C) menyebabkan paduan menjadi mudah teroksidasi dengan matriks yang bersifat brittle serta mempunyai strength rendah pada temperatur tinggi [8]. Unsur aluminium (Al) pada besi cor

dapat berfungsi sebagai penstabil ferit, serta dapat meningkatkan ketahanan oksidasi dan reduksi (Bailey dan Zimmer, 2006) [9]. Kehadiran silikon (Si) dalam besi cor megakibatkan terjadinya dekomposisi karbida menjadi besi dan grafit [10]. Unsur silikon dengan kadar tinggi dalam paduan mendorong terjadinya pembentukan grafit. Kelebihan dari silikon juga dapat sebagai pembentukan ikatan yang keras sehingga meningkatkan kekerasan dan meningkatkan sifat mampu cor besi cair [11]. Unsur-unsur lain jumlahnya kecil tidak berpengaruh secara signifikan dalam paduan.

Analisis Hasil Pengujian Struktur Mikro



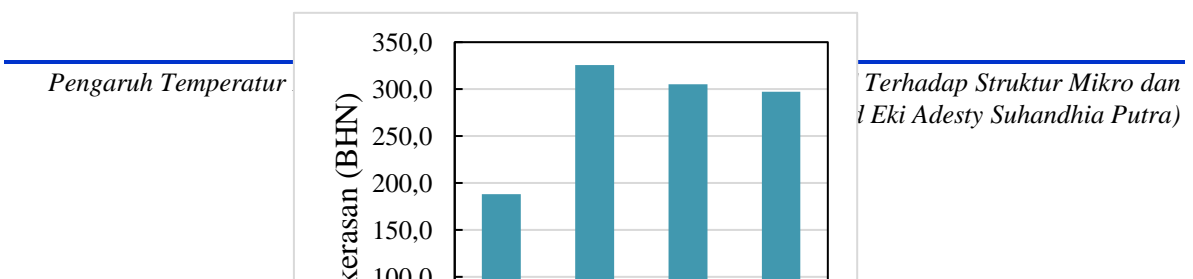
Gambar 4. Foto struktur mikro paduan Fe-Al-C sebelum dan sesudah proses austemper

Hasil foto struktur mikro spesimen besi tuang paduan Fe-Al-C (Gambar 4), pada raw material menunjukkan bahwa terdapat 3 struktur mikro yaitu grafit, ferit dan perlit dimana struktur grafit berwarna hitam memanjang berbentuk serpih dan struktur ferit berwarna putih terang serta struktur perlit berupa lamel-lamel hitam putih. Pada raw material terlihat struktur grafit berbentuk kecil memanjang secara rapat dan orientasinya acak, serta struktur ferit lebih besar dari pada perlit, sedangkan struktur perlit yang berbentuk secara rapat diantara grafit dengan ukurannya yang kecil.

Proses austemper temperatur 300°C menghasilkan perubahan ukuran butir grafit terlihat membesar dari ukuran raw materil, ferit bertambah dengan batas butir yang mulai membesar dan perlit yang berubah menjadi bainit. Pada proses austemper 350°C menunjukkan ukuran grafit terlihat patah-patah dan mulai merenggang, struktur ferit ukurannya mulai mengecil dan bainit mulai membesar dan mendominasi. Pada proses austemper 400°C menunjukkan bahwa struktur grafit terlihat lebih membesar dan lebih merenggang, sedangkan struktur ferit ukurannya terus mengecil, dan struktur bainit menjadi lebih dominan di area sekitar grafit dan ferit.

Sesuai hasil penelitian yang telah dilakukan [12] bahwa proses austemper menghasilkan struktur bainit, pada penelitian terbukti bahwa struktur bainit terbentuk pada 3 temperatur proses austemper.

Analisis Hasil Pengujian Kekerasan



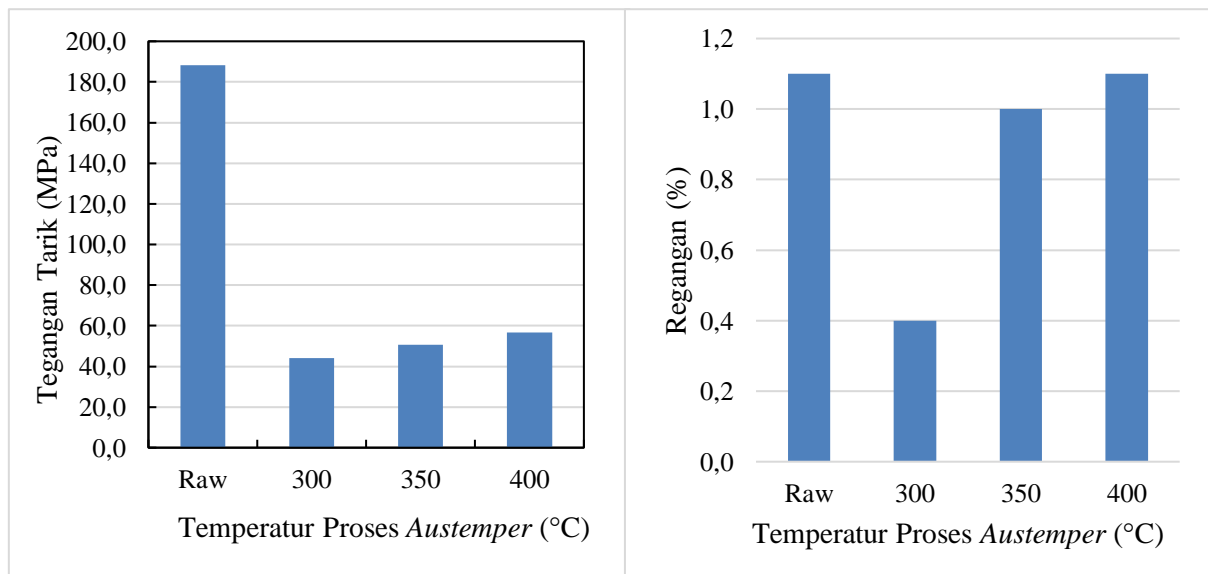


Gambar 5. Diagram rata-rata nilai kekerasan *Brinell* paduan Fe-Al-C

Tabel 2 dan Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian kekerasan menggunakan metode kekerasan *Brinell*, dengan beban sebesar 187,5 kgf, setiap spesimen dilakukan pengujian pada 3 titik yang berbeda yang diatur secara berurutan. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan terhadap specimen uji kekerasan paduan Fe-Al-C, pada specimen raw material menunjukkan sebesar 188,2 kg/mm². Hal ini disebabkan specimen raw material memiliki struktur mikro yang terbentuk struktur ferit, perlit dan grafit dimana struktur perlit terlihat dominan dibandingkan struktur ferit, dan ukurannya butirnya banyak.

Hasil perhitungan kekerasan *Brinell* untuk spesimen proses austemper 300°C diperoleh angka sebesar 325,4 kg/mm², angka ini mengalami kenaikan sebesar 72,9% dibandingkan nilai kekerasan paduan Fe-Al-C raw material. Hal ini disebabkan terjadinya perubahan struktur perlit menjadi struktur bainit yang besar dan tersebar merata diantara grafit. Pada proses austemper 350°C dengan angka kekerasan 304,9 kg/mm², angka ini mengalami penurunan 6,72% dari proses austemper 300°C. Hal ini disebabkan struktur bainit mengalami pembesaran ukuran butir. Selanjutnya hasil perhitungan kekerasan pada spesimen proses austemper 400°C dengan nilai 297,5 kg/mm², yang mana mengalami penurunan kekerasan 2,5% dari spesimen austemper temperatur 350°C, penurunan kekerasan sebesar 2,5%, dianggap tidak signifikan, atau dikatakan tidak mengalami perubahan nilai kekerasan yang signifikan.

Analisis Hasil Pengujian Tarik



Gambar 6. Diagram rata-rata tegangan dan regangan Paduan Fe-Al-C

Hasil pengujian tarik spesimen raw material paduan Fe-Al-C diperoleh nilai tegangan tarik sebesar 188,2 MPa dan nilai regangan sebesar 1,1%. Hasil pengujian tarik pada spesimen proses austemper 300°C menunjukkan

nilai tegangan sebesar 44 Mpa dan nilai regangan 0,4% dan nilai tegangan mengalami penurunan sebesar 76,6% dan nilai regangan mengalami penurunan sebesar 64% dari specimen raw material. Hal ini disebabkan terjadinya perubahan struktur mikro dimana struktur perlit berubah menjadi bainit yang tersebar merata diantara grafit yang berukuran menjadi lebih kecil. Selanjutnya spesimen proses austemper 350°C menunjukkan nilai tegangan sebesar 50,6 Mpa dan regangan 1% dimana nilai tegangan mengalami kenaikan sebesar 15% dan juga nilai regangan naik sebesar 150% dibandingkan dengan temperatur austemper 300°C. Hal ini di sebabkan bainit yang terus membesar. Selanjutnya pada specimen proses temperatur austemper 400°C menunjukan nilai tegangan sebesar 56,8 Mpa dan nilai regangan 1,1% dimana nilai tegangan mengalami kenaikan sebesar 12,3% dan nilai regangan mengalami kenaikan sebesar 23% dibandingkan proses temperatur austemper 350°C, hal ini disebabkan oleh struktur ferit yang kompak dan struktur bainit yang membesar.

Sesuai hasil penelitian yang dilakukan [13] bahwa proses austemper menurunkan nilai tarik dibandingkan dengan nilai raw material, namun seiring meningkatnya suhu austemper nilai kekuatan tarik ikut meningkat.

KESIMPULAN

Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa paduan Fe-Al-C mengandung unsur utama Fe sebesar 89,40%, dan unsur paduan utama Al sebesar 0,98%, C 5,41%, Si 1,69%, sehingga termasuk besi cor paduan Al. Hasil uji struktur mikro, besi cor Paduan Fe-Al-C terdiri atas grafit, ferit dan perlit. Setelah proses austemper struktur perlit berubah menjadi bainit. Paduan Fe-Al-C memiliki nilai kekerasan sebesar 188,2 Kg/mm². Proses austemper meningkatkan nilai kekerasan sampai 325,4 Kg/mm² pada temperatur 300°C, setelah itu kembali turun pada temperatur 350° dan temperatur 400°C. Paduan Fe-Al-C memiliki tegangan tarik sebesar 188,2 Mpa dan nilai regangan sebesar 1,1%. Kemudian turun pada austemper temperatur 300°C dengan nilai tegangan tarik 44 Mpa dan regangan 0,4%, setelah itu naik kembali pada temperatur 350°C dan 400°C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini, terutama kepada Prodi Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. D. Balubun dan S. Suriansyah, "Pengaruh Austemper Ductile Iron Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Ductile Cast Iron (Fed-45)," *PROTON*, vol. 10, no. 1, pp. 18-24, 2018. doi: <https://doi.org/10.31328/jp.v10i1.803>
- [2] T. Surdia, "Pengetahuan Bahan Teknik," Jakarta: Pradnya Paramita, 1999.
- [3] A. Qohar, R. Kartikasari, dan A. D. Iskandar, "Studi Pengaruh Temperatur Proses Austemper Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, dan Ketahanan Korosi Paduan Fe-5, 2Al-0, 6C," *Cendekia Mekanika*, vol. 1, no. 1, pp. 57-64, 2020.
- [4] N. Setyo dan S. Widodo, "Peningkatan Sifat Mekanis Besi Cor Kelabu Melalui Proses Tempering," *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 8-17, 2018. doi: <https://doi.org/10.31002/jom.v2i2.1365>
- [5] K. L. Hayrynen, "The Production of Austempered Ductile Iron (ADI)," *Word Conference on ADI*, 2002.
- [6] H. S. Avner, "Introduction to Physical Metallurgy," Singapore: McGraw-Hill Inc, 1987.
- [7] R. D. Andrijono, "Pengaruh Kekerasan Terhadap Elogansi dan Struktur Mikro Besi Tuang Nodular FCD 45 Hasil Proses Austemper 375, 425," *Transmisi*, vol. 2, no. 2, pp. 193-202, 2006. doi: <https://doi.org/10.26905/jtmt.v2i2.4453>
- [8] C. J. Wang dan J. G. Duh, "Nitriding in the High Temperature Oxidation of Fe-31Mn-9Al-6Cr Alloy," *Journal of Materials science*, vol. 23, p. 769775, 1988.
- [9] W. D. Bailey dan J. M. Zimmer, Aluminium-Manganese-Iron Stainless Steel Alloy, Patent#4865662, Patent Genius, 2006.
- [10] N. Setyo dan S. Widodo, "Peningkatan Sifat Mekanis Besi Cor Kelabu Melalui Proses Tempering," *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 8-17, 2018. doi: <https://doi.org/10.31002/jom.v2i2.1365>
- [11] A. Suprihanto, Y. Umardani, dan D. B. Wibowo, "Perbaikan Sifat Mekanis Besi Cor Kelabu dengan Penambahan Unsur Crom dan Tembaga," *Media Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 38-45, 2005.
- [12] A. Qohar, R. Kartikasari, dan A. D. Iskandar, "Studi Pengaruh Temperatur Proses Austemper terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, dan Ketahanan Korosi Paduan Fe-5, 2Al-0, 6c," *Cendekia Mekanika*, vol. 1, no. 1, pp. 57-64, 2020.
- [13] M. A. Aziz, R. Kartikasari, dan A. B. Prasetyo, "Pengaruh Temperatur Temper pada Besi Paduan Fe-1,2 Al-4, 8c Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik," *Cendekia Mekanika*, vol. 3, no. 1, pp. 51-63, 2022.