



Research Article

Efek Perlakuan Panas (*Heat Treatment*) pada Besi Cor Kelabu terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro

Nugroho Tri Atmoko^{1*}, Moch.Chamim¹, Bambang Hari Priyambodo¹, Subiyati¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta

*Corresponding author: nugroho.ta@sttw.ac.id

Article History:

Online first:

31 July 2021

Keywords: cast iron, heat treatment, chemical composition, Vickers, microstructure

Kata Kunci: Besi cor, perlakuan panas, komposisi kimia, vickers, microstructure

ABSTRACT

Cast iron used as a base material in the automotive and manufacturing industries requires that it has mechanical properties and characteristics that need to be adapted to the properties and purpose of the application. Research works aim to analyze the effect of before and after heat treatment process on mechanical properties and microstructure cast iron material for the automotive and manufacturing industry. This study using 3 various methods of the heat treatment process are annealing, normalizing, and quenching. The specimens will be burning on the furnace chamber using temperature 850°C and holding time 20 minutes until the specimens are fully austenitized. For the analysis effect of the heat treatment process of cast iron, the microstructure test and micro-hardness measurement was carried out. The result of this works that the difference in the heat treatment process will affect structural and mechanical properties where the annealing method on cast iron will cause a decrease in hardness, this is due to the ferrite phase which increasingly dominates the matrix. The quenching method will cause a significant increase in the hardness of 104% so that the quenched material is appropriate for application to parts that require brittle such as gears, guides rail, etc.

ABSTRAK

Besi cor yang digunakan sebagai bahan dasar pada industri otomotif dan manufaktur mengharuskan memiliki sifat mekanik dan karakteristik yang disesuaikan dengan sifat dan tujuan aplikasinya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh dari proses perlakuan panas terhadap sifat mekanik dan struktur mikro material besi cor. Penelitian ini menggunakan 3 macam metode proses perlakuan panas yaitu *annealing*, *normalizing*, dan *quenching*. Spesimen dipanasi menggunakan furnace dengan temperatur 850°C serta waktu penahanan 20 menit sampai material mencapai suhu austenite secara homogen. Untuk analisis pengaruh proses perlakuan panas besi cor, dilakukan uji struktur mikro dan pengukuran kekerasan mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan proses perlakuan panas akan mempengaruhi sifat struktural dan

mekanik dimana metode *annealing* pada besi cor akan menyebabkan penurunan kekerasan, hal ini disebabkan fasa ferit yang semakin mendominasi matriks. Metode *quenching* akan menyebabkan peningkatan kekerasan yang signifikan sebesar 104% sehingga material yang di *quenching* sesuai untuk diaplikasikan pada bagian-bagian yang memerlukan sifat brittle seperti roda gigi, guide rail, dll.

PENDAHULUAN

Semakin pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan akhir-akhir ini berdampak pada semakin mutakhirnya teknologi khususnya didunia industri, baik itu industri otomotif maupun manufaktur. Hal tersebut mengakibatkan meningkatnya permintaan material yang memiliki sifat serta karakteristik yang beragam, sehingga memaksa manusia untuk terus berinovasi [1]. Disisi lain material yang banyak digunakan pada industri otomotif maupun manufaktur adalah besi cor [2], karena material besi cor memiliki beberapa keunggulan diantaranya memiliki sifat pengecoran (*costability*), kemampuan mesin (*machinability*) dan relatif lebih murah yang baik namun ketahanan terhadap tingkat aus masih rendah [3][4][5].

Pengaplikasian besi cor untuk industri otomotif dan manufaktur mengharuskan material tersebut memiliki sifat mekanik dan karakteristik yang sesuai karena pada prinsipnya di dalam pengaplikasian besi cor perlu disesuaikan dengan sifat-sifat dan tujuan dari penggunaannya. Ada beberapa kriteria yang harus dipenuhi oleh besi cor agar menghasilkan produk yang berkualitas baik salah satunya adalah mempunyai life time yang cukup [6]. Sehingga perlu adanya perlakuan yang diberikan terhadap material besi cor agar kualitas dari sifat mekaniknya dapat meningkat.

Sifat mekanik dari besi cor dapat diperbaiki dengan cara merubah struktur butir, distribusi dan jumlah fasa yang terdapat pada material induk (*raw material*) [7]. Proses *heat treatment* merupakan perlakuan panas paling umum dan sederhana yang digunakan dalam industri, dimana proses dimulai dengan memanaskan spesimen di fasa austenit (austenitisasi) yakni pada suhu kisaran 8450C sampai 8700C kemudian didinginkan ke temperatur yang lebih rendah dengan kecepatan yang bervariasi tergantung proses yang digunakan [8].

Penelitian tentang perlakuan panas pada material besi cor pernah dilakukan dilakukan oleh Eri dkk., penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan *quenching* temper, *normalizing* dan *annealing* terhadap sifat mekanik dan stuktur mikro besi cor grafit bulat. Bahan yang dipakai ini berupa besi cor nodular as-cast FCD 60 hasil pemesanan industri pengecoran. Pada penelitiannya pengujian sifat mekanik (kekuatan tarik dan kekerasan) serta pengamatan metallograf dilakukan untuk kebutuhan analisa. Hasil menunjukkan bahwa struktur mikro terdapat fasa martensit dan austenit pada logam yang di *quenching* temper, fasa perlit halus, sementit, dan ferrit pada logam yang di *normalizing*, dan fasa perlit kasar dan ferrit pada logam yang di *annealing*. Nilai kekerasan rata-rata 501,1 HB (*quenching temper*), 297,2 HB (*normalizing*), dan 229,1 HB (*annealing*). Sedangkan kekuatan tarik sebesar 933 N/mm² (*quenching temper*), 474 N/mm² (*normalizing*), 380 N/mm² (*annealing*). Pada spesimen yang diberi perlakuan panas *quenching* temper mempunyai kekuatan tarik dan kekerasan yang lebih baik dibandingkan hasil spesimen lainnya tetapi tegangan luluhnya tak terukur, karena getas [6].

Berdasarkan hal tersebut diatas melatarbelakangi penulis untuk melakukan penelitian terhadap sifat mekanik dan struktur mikro material besi cor sebelum dan sesudah mengalami perlakuan panas (*heat treatment*), dimana perlakuan panas yang dilakukan meliputi: *Anealing*, *Normalizing* dan *Quenching*.

METODE PENELITIAN

Material

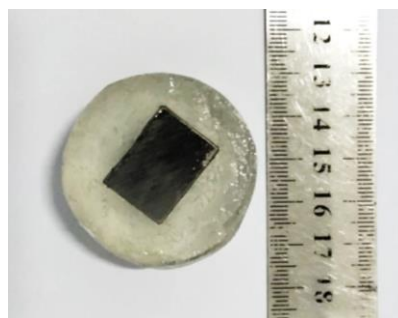
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah besi cor yang merupakan hasil dari industri pengecoran logam. Komposisi kimia dari material besi cor tersebut diukur menggunakan alat spektrometer (Hilger, E-9 OA701, GERMANY) dapat dilihat pada Tabel 1. Dari komposisi kimia tersebut didapat info bahwa unsur tertinggi pada material besi cor kelabu adalah Fe dengan kandungan unsur 93.82% dan 3.31% C. Hal tersebut menandakan bahwa spesimen yang digunakan adalah besi cor kelabu jenis ASTM A48 [9].

Tabel 1. Komposisi kimia besi cor kelabu

UNSUR	SAMPEL UJI	
	Test 16/S1069 (%)	Standart Deviasi
Fe	93,82	0,1103
Si	1,58	0,0584
Mn	0,463	0,0103
P	0.095	0,0048
Si	0.050	0,0025
Cr	0,148	0,0065
Mo	0,027	0,0007
Ni	0.094	0,0002
Cu	0,043	0,0001
Al	0,019	0,0120
Co	0.000	0,0000
Mg	0.001	0,0003
Nb	0,012	0,0003
Ti	0,006	0,0004
V	0.031	0,0207
W	0.078	0,0029
C	3.310	0,1629

Foto Mikro

P preparasi material dimulai dengan memotong spesimen menjadi ukuran 15x15x10 mm, kemudian dilakukan proses mounting menggunakan campuran resin dan katalis. Pengamplasan dilakukan pada permukaan spesimen menggunakan kertas amplas dari mulai 100 sampai 2000, selanjutnya dilakukan proses polishing cloths with metal polishing using a grinding-polisher machine, hal demikian bertujuan agar permukaan spesimen rata dan halus. Dimensi dan bentuk spesimen dapat dilihat pada Gambar 1.

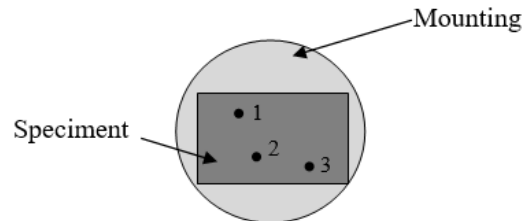


Gambar 1. Spesimen setelah proses mounting

Kemudian, permukaan spesimen di usap dengan larutan nital 3% selama 4 atau 5 detik dan dikeringkan menggunakan heat gun. Terakhir, evaluasi metalurgi menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 1000x (Euromex, IM.2153-PLM).

Kekerasan Vickers

Kekerasan Vickers akan dilakukan untuk menguji tingkat kekerasan material besi cor sebelum dan setelah proses *heat treatment*. Beban indenter yang digunakan adalah 9.8 N dengan waktu indentasi selama 15 detik sesuai dengan standar ASTM E92. Pengambilan data uji kekerasan dilakukan sebanyak 3 kali pada permukaan material besi cor seperti yang ditunjukkan oleh skema gambar 2.



Gambar 2. Posisi pengujian kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan akan menganalisa dan membandingkan antara spesimen sebelum dan sesudah proses *heat treatment*. Formulasi yang digunakan untuk menghitung nilai kekerasan metode Vickers adalah sebagai berikut [10]:

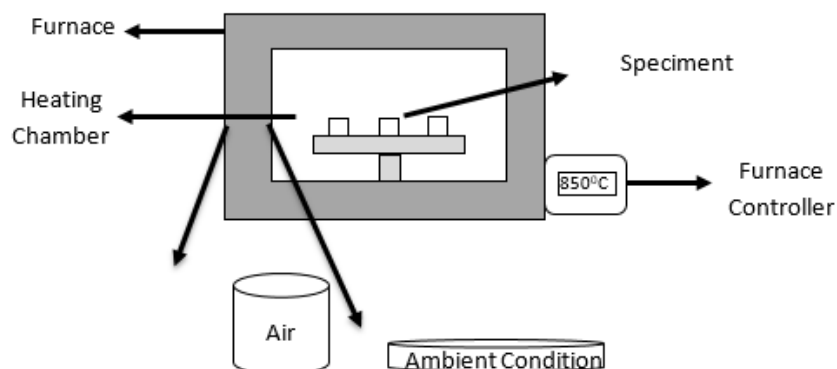
$$\text{VHN} = 1,854 \times \frac{P}{d^2} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

P : Beban yang diterapkan (kg)
 d^2 : Panjang diagonal rata-rata (mm)

Metode Eksperimen

Penelitian ini menggunakan 3 variasi metode *heat treatment* yakni *annealing*, *normalizing* dan *quenching*. Material besi cor yang sebelumnya sudah melewati tahap preparasi dan pengujian komposisi kimia kemudian dilakukan proses *heat treatment* dengan memanfaatkan *furnace* sebagai alat untuk memanaskan material. *Furnace* diatur pada temperatur 850°C, material besi cor yang sudah mencapai temperatur 850°C selanjutnya ditahan selama 20 menit kemudian dilakukan proses pendinginan, metode *annealing* pendinginan yang digunakan adalah pendinginan didalam tungku, metode *normalizing* pendinginan memanfaatkan udara sekitar/suhu lingkungan sedangkan *quenching* pendinginan menggunakan air. Skema proses *heat treatment* dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini.

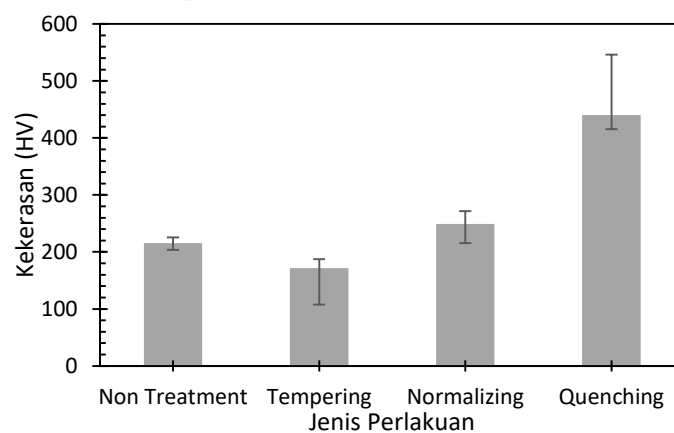


Gambar 3. Skema proses Quenching

HASIL DAN DISKUSI

Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan terhadap spesimen sebelum dan sesudah proses perlakuan panas (termasuk *annealing*, *normalizing*, dan *quenching*). pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Micro-Hardness Vickers. Pengukuran nilai kekerasan dilakukan lima kali dengan tempat yang berbeda pada permukaan spesimen. Hasil uji kekerasan rata-rata pengukuran disajikan pada Gambar 4. Dari Gambar 4. Dapat dilihat bahwa kekerasan besi cor kelabu sebelum perlakuan panas (non-treatment) adalah 215,48HV. Kekerasan akan meningkat sebesar 15,5% bila proses perlakuan panas menggunakan metode *normalizing*. Kekerasan tertinggi sebesar 440,12 atau naik 104% diperoleh setelah perlakuan panas dengan metode *quenching*. Bila metode yang digunakan adalah *annealing*, kekerasannya akan berkurang 20,5% jika dibandingkan dengan *raw material* (non treatment). Pengamatan ini tampaknya sejalan dengan temuan Miroslaw et al [11] bahwa proses *annealing* menghasilkan kekerasan terendah.



Gambar 4. Hasil Uji Kekerasan Pada Material Besi Cor dengan Variasi Jenis Perlakuan Panas

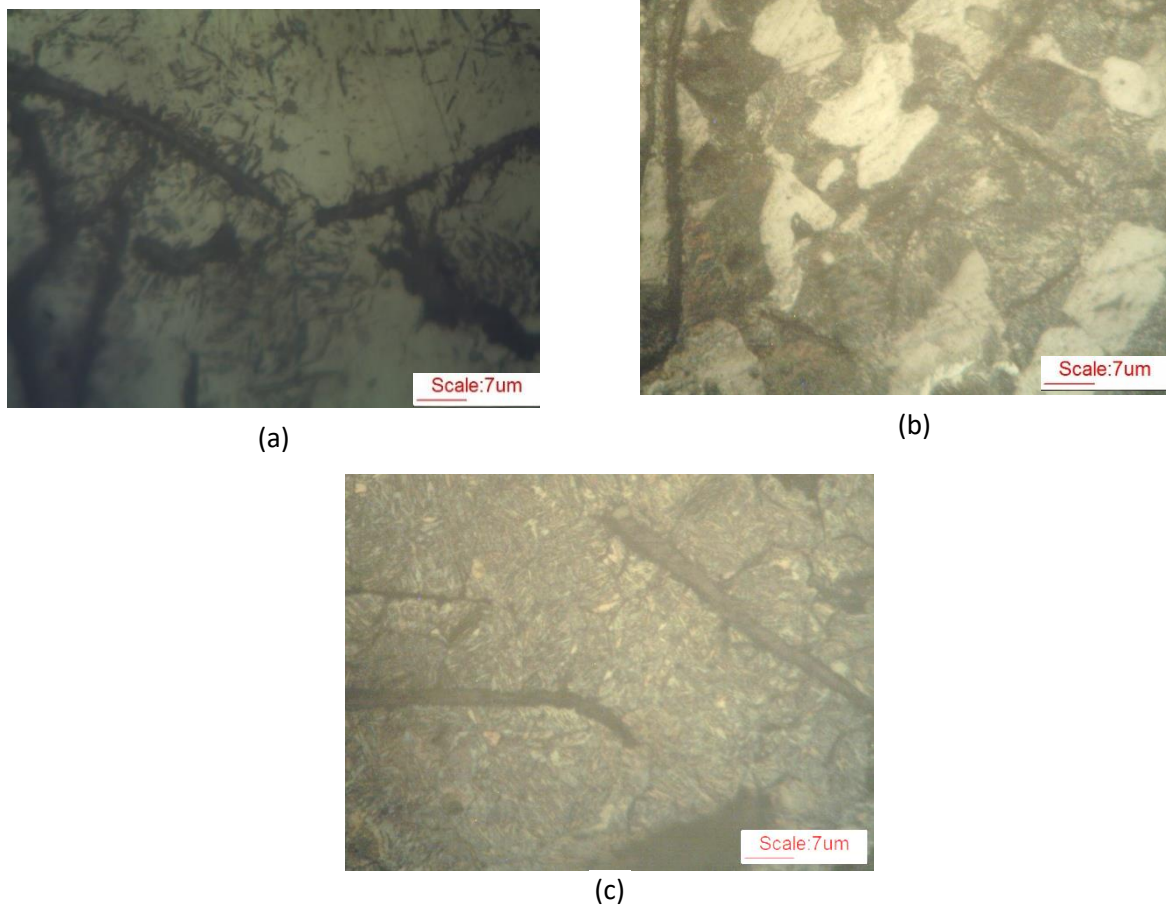
Hasil Foto Mikro

Tujuan dari foto mikro adalah untuk mengetahui karakteristik dan fase yang terbentuk pada spesimen uji. Pengujian foto micro dilakukan pada permukaan spesimen. Sedangkan pembesaran pada lensa yang digunakan adalah perbesaran 1000x. Berdasarkan Tabel 1. Dimana kandungan karbon pada benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 3,31%, hal ini menunjukkan bahwa benda uji merupakan jenis besi cor [12]. Struktur mikro bahan besi cor sebelum proses perlakuan panas (*raw material*) ditunjukkan pada Gambar 5, dapat dilihat bahwa struktur spesimen berupa serpihan grafit yang dikelilingi oleh perlit dan ferit, yang menunjukkan bahwa sifat mekanik bahan baku memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang rendah [13]. Sifat mekanik bahan baku konsisten dengan Gambar 4.



Gambar 5. Foto micro pada spesimen besi cor sebelum proses heat treatment

Gambar.6 adalah hasil foto mikro dari besi cor setelah mengalami perlakuan panas. Dapat dilihat dari Gambar 6.a bahwa metode *annealing* pada spesimen besi cor memiliki pengaruh yang kecil terhadap morfologi dan distribusi grafit, tetapi akan menyebabkan penurunan fase perlit dan meningkatkan kandungan ferit dalam metrik [14]. dapat menyebabkan penurunan kekerasan material besi cor. Sehingga proses *annealing* direkomendasikan untuk bahan baku yang tidak memerlukan sifat getas tetapi untuk bahan yang ulet seperti poros, sasis dll. Membandingkan Gambar 6.b dengan Gambar 6.c dapat dilihat bahwa struktur mikro memiliki matriks yang berbeda. Hasil dari metode normalisasi ditunjukkan pada gambar 6.a, terlihat bahwa fasa ferit lebih banyak atau sementit lebih sedikit dan struktur fasa perlit lebih halus. Hal tersebut dapat terjadi karena pendinginan yang lebih cepat oleh karena itu, sifat mekanik, dipengaruhi oleh laju pendinginan [15]. Namun, pada proses *quenching*, struktur material terlihat berbeda, terutama ukuran butir menjadi kecil. Terlihat juga bahwa struktur material ferit dan perlit semakin menyebar merata di hampir semua permukaan material. Pembentukan struktur martensit yang mengelilingi grafit juga terlihat jelas, hal ini disebabkan pendinginan yang cepat.



Gambar 6. Foto mikro spesimen setelah mengalami proses perlakuan panas dengan metode:: (a) *Annealing*; (b) *Normalizing* and (c) *Quenching* menggunakan pembesaran 1000x.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perbedaan proses perlakuan panas akan mempengaruhi sifat struktural dan mekanik, dimana metode *annealing* pada besi cor akan menyebabkan penurunan kekerasan, hal ini disebabkan fasa ferit yang semakin mendominasi matriks. Namun, sifat mekanik kekerasan menurun, sehingga perlakuan *annealing* tepat untuk produk yang membutuhkan sifat ulet seperti poros. Metode *quenching* akan menyebabkan

peningkatan kekerasan yang signifikan sebesar 104% jika dibandingkan dengan *raw material* sehingga material yang mengalami proses *quenching* sesuai untuk diaplikasikan pada bagian-bagian yang membutuhkan kekerasan tinggi seperti roda gigi, guide rail, dll.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. D. S. De Jesus and G. Soebiyakto, "Analisis Uji Tarik Dan Metalografi Sifat Mekanik Besi Tuang Kelabu (Fc-20) Dengan Proses Heat Treatment," *Proton*, vol. 10, no. 1, pp. 25–29, 2018, doi: 10.31328/jp.v10i1.804.
- [2] F. Saeidi, A. A. Taylor, B. Meylan, P. Hoffmann, and K. Wasmer, "Origin of scuffing in grey cast iron-steel tribo-system," *Mater. Des.*, vol. 116, pp. 622–630, 2017, doi: 10.1016/j.matdes.2016.12.044.
- [3] C. Fragassa, "Material selection in machine design: The change of cast iron for improving the high-quality Iin woodworking," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 231, no. 1, pp. 18–30, 2017, doi: 10.1177/0954406216639996.
- [4] C. H. Hsu and M. L. Chen, "Corrosion behavior of nickel alloyed and austempered ductile irons in 3.5% sodium chloride," *Corros. Sci.*, vol. 52, no. 9, pp. 2945–2949, 2010, doi: 10.1016/j.corsci.2010.05.006.
- [5] N. Fatahalla, A. AbuElEzz, and M. Semeida, "C, Si and Ni as alloying elements to vary carbon equivalent of austenitic ductile cast iron: Microstructure and mechanical properties," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 504, no. 1–2, pp. 81–89, 2009, doi: 10.1016/j.msea.2008.10.019.
- [6] E. Diniardi, "Analisa Pengaruh Heat Treatment Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Besi Cor Nodular (FCD 60)," vol. 6, no. 2, pp. 45–54.
- [7] R. Kumar, R. K. Behera, and S. Sen, "Effect of tempering temperature and time on strength and hardness of ductile cast iron," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 75, no. 1, 2015, doi: 10.1088/1757-899X/75/1/012015.
- [8] A. A. Alabi, P. B. Madakson, D. S. Yawas, and T. Ause, "Effect of Bitumen on the Mechanical Properties of Medium Carbon Steel," *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, vol. 01, no. 04, pp. 131–137, 2013, doi: 10.4236/jmmce.2013.14023.
- [9] L. H. Van Vlack, "Materials for Engineering: Concepts and Applications," 1982. [Online]. Available: www.matweb.com.
- [10] G. D. Quinn, R. Gettings, and L. K. Ives, "A standard reference material for vickers hardness of ceramics and Hardmetals," *IMEKO TC5 Conf. Hardness Meas. Theory Appl. Lab. Ind. HARDMEKO 2004*, no. February, pp. 90–97, 2004.
- [11] M. Szala, G. Winiarski, Ł. Wójcik, and T. Bulzak, "Effect of Annealing Time and Temperature Parameters on the Microstructure, Hardness, and Strain-Hardening Coefficients of 42CrMo4 Steel," *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 9, pp. 1–16, 2020.
- [12] D. M. Stefanescu, "Classification and Basic Metallurgy of Cast Iron[1]," *Prop. Sel. Irons, Steels, High-Performance Alloy.*, vol. 1, pp. 3–11, 2018, doi: 10.31399/asm.hb.v01.a0009206.
- [13] Sukomal, "Rapid heat treatment of cast iron," *Met. Sci. Heat Treat.*, vol. 14, no. 8, pp. 717–720, 2017, doi: 10.1007/BF00647920.
- [14] Y. Zhang, E. J. Guo, L. P. Wang, Y. C. Feng, S. C. Zhao, and M. H. Song, "Effect of annealing treatment on microstructure, mechanical and damping properties of ductile iron," *Mater. Sci. Forum*, vol. 944 MSF, pp. 222–228, 2018, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.944.222.
- [15] T. G. Digges, "Heat Treatment and Properties of Iron and Steel Department of Commerce National Bureau of Standards," 1960.