

PENGARUH SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI PADA BAJA LATERIT HASIL TEMPA DENGAN VARIASI PERLAKUAN PANAS

EFFECTS OF MECHANICAL AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF FORGED LATERITIC STEEL WITH HEAT TREATED VARIATION

Satrio Herbirowo^{*)}, Bintang Adjiantoro

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI
Gedung 470, Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, 15314
E-mail : satr006@lipi.go.id^{*)}

Diterima : 23 Februari 2017

Direvisi : 21 Maret 2017

Disetujui : 10 April 2017

ABSTRAK

Baja laterit merupakan baja berbahan dasar bijih nikel laterit. Bijih nikel laterit biasa diabaikan penambang karena faktor ekonomis dan lebih mencari nikel yang berada dibawah lapisan limonit. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui karakteristik baja laterit dengan proses tempa dan variasi perlakuan panas terhadap sifat mekanik dan morfologinya. Bahan awal baja laterit hasil cor perpaduan FeMn dan FeMo mengacu standar baja ARMOX 500T, selanjutnya mengalami proses tempa panas pada suhu rekristalisasi 1100 °C dan pembebanan 100 ton dengan beberapa variasi perlakuan panas antara lain *quench* media oli; *martempering* suhu 100; 200; 300; dan 400 °C. Karakterisasinya meliputi uji komposisi kimia, pengujian tarik, kekerasan, dan morfologi struktur mikro menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi dan nilai kekuatan tarik tertinggi pada perlakuan panas *quench* oli adalah 520,8 HV dan 1521 N/mm². Hasil pengamatan morfologi struktur mikro menunjukkan bahwa terjadi transformasi fasa dari ferit-perlit menjadi martensit (*quench* oli) dan bainit (*martempering*) serta hasil analisis patahan pada sampel non-HT menunjukkan patahan batas butir dan cenderung bersifat ulet dengan bentuk patahan *dimple*, untuk sampel *quench* oli memiliki patahan getas dan inisiasi patahan dengan ukuran besar berbentuk *cleavage*. Perlakuan *martempering* memiliki ukuran butir lebih kecil, padat dan halus. Bentuk patahan cenderung lebih ulet dibandingkan sampel non-HT, dan berbentuk *dimple* halus serta diprediksi memiliki sifat ketangguhan paling tinggi.

Kata kunci : baja laterit, tempa panas, sifat mekanik, struktur mikro

ABSTRACT

Lateritic steel is a steel based of nickel laterite ore. Nickel laterite ore is usually ignored by miners due to economical factors and more looking for a nickel that under limonite layers. The purpose of this research is to determine the characteristics of the laterite steels with forging process and the heat treatment variation to its mechanical and morphological properties. The starting materials of lateritic cast steel with FeMn and FeMo based alloys by ARMOX 500T standardization. Hot forging process at recrystallization temperature of 1100 °C and loads 100 tons with variations of heat treatment such as oil quench; martempering temperature 100; 200; 300; and 400 °C. Then characterized of chemical composition test, tensile testing, hardness, and morphology of microstructure using Scanning Electron Microscope (SEM). The characterization test results showed that the highest hardness value and highest tensile strength value in the quench oil heat treatment were 520.8 HV and 1521 N / mm². The morphological observations of microstructure showed that the phase transformation of the ferrite-perlite into martensite (quench oil) and bainite (martempering) and failure analysis results in non-HT samples showed grain boundary fractures and confirmed ductile behaviour with dimple fracture, for oil quench has a brittle fracture and initiation failure with a large cleavage-shaped size. The martempering treatment has smaller grain size, solid and smooth. Fractures tend to be more ductile than non-HT samples, and fine dimple shaped and are predicted to have the highest toughness properties.

Keywords : lateritic steels, hot forging, mechanical properties, microstructure

PENDAHULUAN

Bijih laterit biasa diabaikan oleh penambang karena faktor ekonomis dan lebih mencari nikel yang berada dibawah lapisan limonit [1]. Karena baja laterit ini merupakan bahan alternatif pada produksi baja, maka baja laterit perlu dikembangkan dengan berbagai macam pembentukan logam, salah satunya dengan proses penempaan panas (*hot forging*) yang berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanis dari baja tersebut [2].

Pengolahan bijih besi menjadi produk baja adalah usaha untuk meningkatkan nilai tambah dari produk tambang sehingga diharapkan dapat menciptakan lapangan kerja, mengurangi ketergantungan impor baja, menguasai teknologi pembuatan baja dengan baik, serta memberikan *multiplier effect* bagi masyarakat di sekitar industri peleburan besi dan baja [3].

Baja laterit ini jika dikembangkan secara baik akan menjadikan kemandirian bangsa Indonesia dalam bidang industri baja, karena cadangan bijih nikel berkadar rendah ini berpuluh kali lebih banyak dibandingkan dengan bijih nikel berkadar tinggi [4].

Baja laterit adalah baja dengan kandungan nikel berkadar rendah yaitu antara 1-4,5 persen. Umumnya kadar nikel pada baja laterit yang coba dikembangkan oleh LIPI berkisar 1,5-4,5 persen. Jenis baja laterit yang dikembangkan dari bijih laterit ini adalah Ni-Hard, sejenis baja cor yang memiliki nilai kekerasan yang tinggi serta ketangguhan yang optimal. Bahan ini banyak digunakan untuk material *grinding balls* atau *Hard-Liner* untuk peralatan *crusher* atau penggerus [5].

Pada penelitian Saefudin dkk, material fasa ganda dari bahan AISI 3120 H yang berasal dari material besi laterit, diproses dengan peleburan pada tungku kupola dan konverter serta dilebur kembali pada tungku induksi, dicetak menjadi billet kemudian dibuat baja rod dengan proses canai. Proses ini menghasilkan sifat kekerasan yang sesuai standar dan struktur mikro material yang terbentuk yaitu ferit-martensit dengan perlakuan panas *quench* [6].

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh proses tempa dan variasi perlakuan panas terhadap sifat mekanik dan morfologinya pada baja laterit.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan bahan baja laterit hasil cor dan dekarburisasi dengan penambahan FeMn dan FeMo untuk mengacu pada standar baja ARMOX 500T, kemudian dilakukan proses tempa panas pada suhu rekristalisasi 1100 °C, pembebanan 100 ton dengan beberapa variasi perlakuan panas antara lain *quench* media oli ; *martempering* suhu 100; 200; 300; dan 400 °C. Persiapan sampel dilakukan sesuai standar ukuran karakterisasi yang meliputi uji komposisi kimia, pengujian tarik, kekerasan, struktur mikro, dan analisis fraktografi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Gambar 1 menunjukkan bentuk sampel awal setelah dilakukan pemotongan dan sebelum dilakukan tempa panas. Gambar 2 menunjukkan sampel setelah dilakukan penempaan panas dengan beban 100 ton.

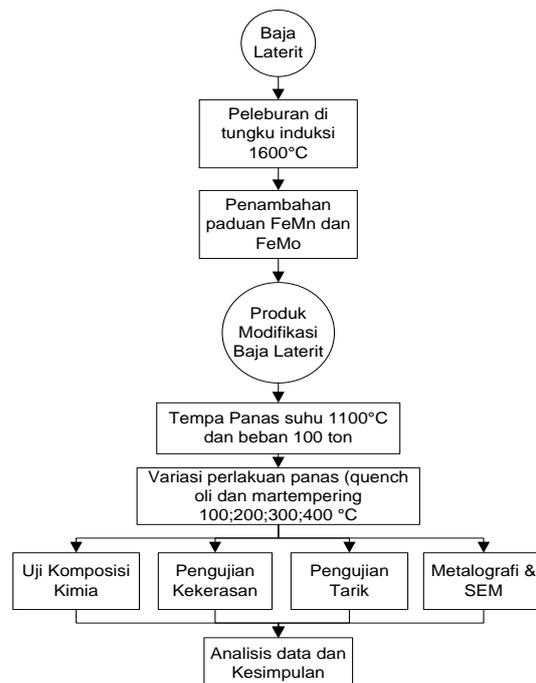


Gambar 1. Sampel Awal



Gambar 2. Sampel Setelah Tempa Panas

Adapun diagram alir penelitiannya adalah :



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Tabel 1 Komposisi kimia baja laterit

C (%)	Si (%)	S (%)	P (%)	Mn (%)
0,24	0,45	0,0080	0,0150	1,40
Cr (%)	Ni (%)	Cu (%)	Mo (%)	Fe (%)
1,10	1,8020	0,027	0,59	93,707

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada proses penempaan panas, sampel uji mengalami perubahan dimensi atau penurunan ketebalan. Setelah dilakukan variasi perlakuan panas, dilakukan preparasi sampel kembali untuk pengujian keras seperti pada Gambar 4 dan sampel pengujian tarik pada Gambar 5:



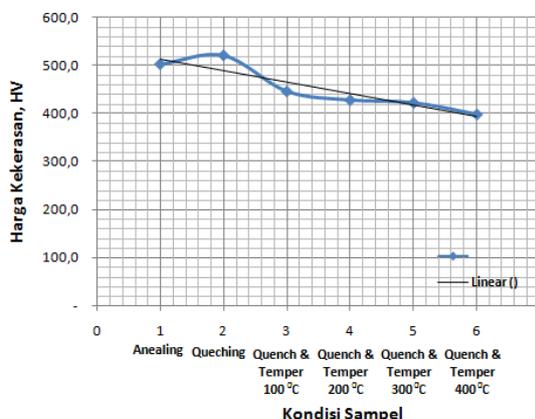
Gambar 4. Sampel Uji Keras



Gambar 5. Sampel Sebelum dan Sesudah Uji Tarik

Nilai Kekerasan terhadap Kondisi Sampel

Pengujian kekerasan menggunakan metode vickers. Dari hasil uji kekerasan didapat hasil pengujian sebagai berikut :

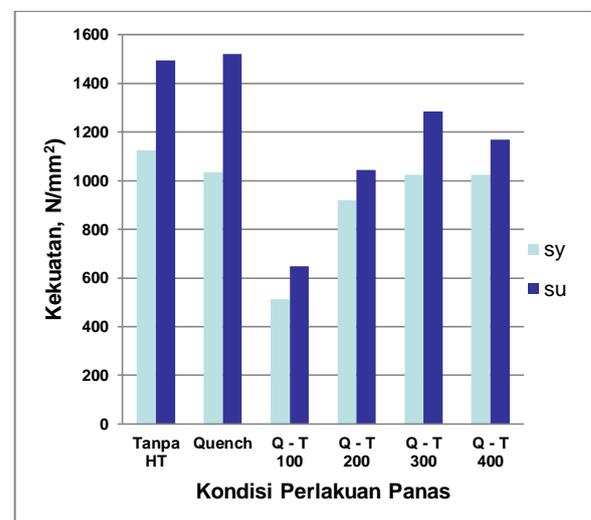


Gambar 6. Hubungan Antara Nilai Kekerasan dengan Kondisi Perlakuan Panas

Dari kurva pada Gambar 6, terlihat bahwa nilai kekerasan tertinggi adalah 520,8 HV yang diperoleh dengan perlakuan panas *quench* oli. Akan tetapi, pada perlakuan panas *martempering*, kekerasan menurun kembali hingga 398,5 HV pada suhu temper 400 °C. Pada pengamatan struktur mikro sampel uji menggunakan mikroskop optik, proses temper sedikit melunakkan material untuk meningkatkan keuletan dan ketangguhannya.

Hubungan Antara Kekuatan Tarik dengan Kondisi Perlakuan Panas

Pengujian kekuatan tarik dilakukan dengan menggunakan standard ASTM E8. Dari hasil uji kekuatan tarik didapat kekuatan tarik *yield* dan *ultimate* pada berbagai variasi perlakuan panas sebagai berikut :



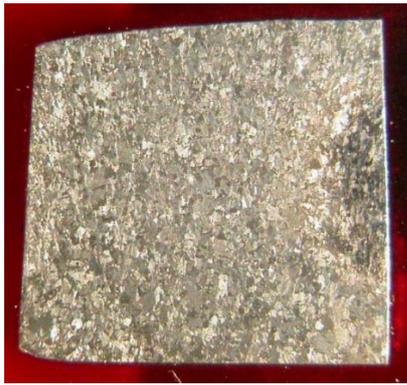
Gambar 7. Hubungan Antara Nilai Kekuatan Tarik dengan Kondisi Perlakuan Panas.

Nilai kekuatan tarik *ultimate* tertinggi yaitu sebesar 1521 N/mm² diperoleh pada perlakuan panas *quench* oli. Adapun kekuatan tarik *yield* dan kekuatan tarik *ultimate* berangsur-angsur meningkat seiring dengan makin tingginya suhu temper dengan tujuan untuk meningkatkan sifat ketangguhan, kemampuan tekuk dan modulus elastisitas yang baik [7].

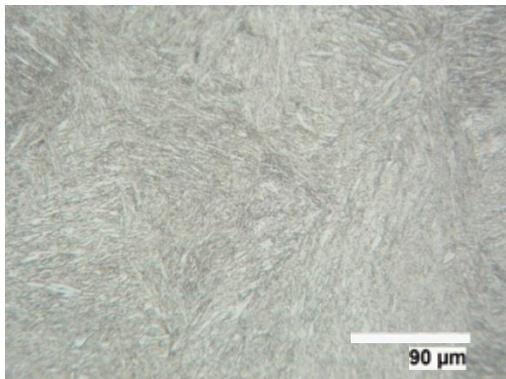
Pengamatan Struktur Mikro

Pada pengamatan struktur mikro, dilakukan 2 kali perbesaran makro dan mikro pada permukaan sampel yaitu, 10 kali dan 500 kali pada sampel yang telah di *mounting*, *grinding*; *polishing*, dan etsa nital 2%.

a. Struktur Mikro Sampel Non-HT



Gambar 8. Struktur Mikro Sampel Tanpa Perlakuan Panas dengan Perbesaran 10x



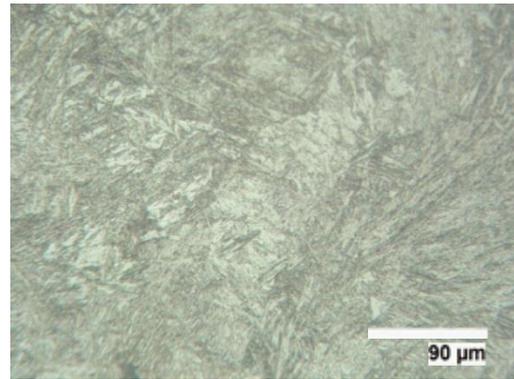
Gambar 9. Struktur Mikro Sampel Tanpa Perlakuan Panas dengan Perbesaran 500x

Pada Gambar 8 dan 9, struktur yang terbentuk pada sampel non-HT yaitu struktur ferit (warna terang) dan perlit (warna gelap). Kedua struktur ini terbentuk pada saat proses transformasi pengecoran tanpa panas pada suhu rekristalisasi. Jelas terlihat bentuk butir menjadi pipih dan tidak adanya cacat poros akibat reduksi ukuran saat penempaan [8].

b. Struktur Mikro Sampel dengan *Quench Oli*



Gambar 10. Struktur Mikro Sampel dengan *Quench Oli* dengan Perbesaran 10x

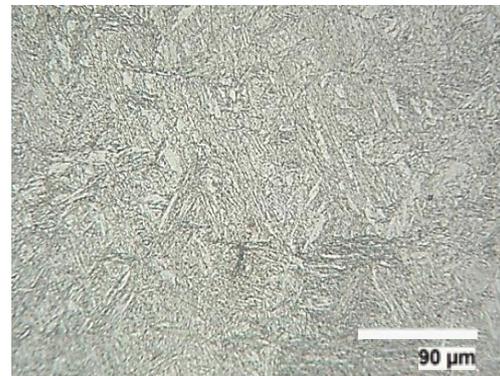


Gambar 11. Struktur Mikro Sampel dengan *Quench Oli* dengan Perbesaran 500x

Pada Gambar 10 dan 11, struktur yang terbentuk adalah struktur martensit dengan karakteristik bentuk tajam dan garis tegas.

Struktur martensit terbentuk karena pada proses penempaan, terjadi penurunan temperatur lebih cepat dengan pendinginan media oli. Fasa austenit bertransformasi dan unsur karbon tidak sempat berdifusi sempurna sehingga terbentuk struktur BCT dan fasa martensit dengan sifat keras dan kekuatan tinggi [9].

c. Struktur Mikro Sampel dengan *Martempering 300 °C*



Gambar 12. Struktur Mikro Sampel *Martempering 300 °C* dengan Perbesaran 500x

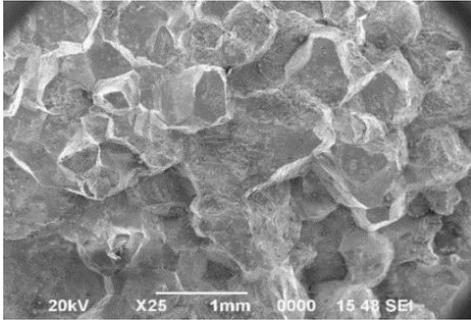
Pada kedua gambar di atas, struktur yang terbentuk adalah struktur bainit dengan karakteristik bentuk tajam sedikit oval.

Struktur bainit terbentuk karena pada proses penempaan dan perlakuan panas *tempering* serta penahanan suhu pada 350 °C sampai 550 °C dengan acuan diagram laju pendinginan bertemu garis *bainite start* dan *bainite finish* yang cenderung memiliki sifat ketangguhan tinggi.

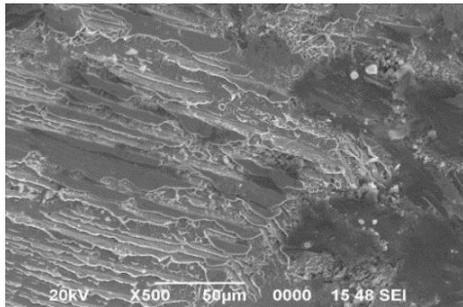
Pengamatan Fraktografi Hasil Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengamatan menggunakan SEM dilakukan pada patahan hasil dari pengujian impak *charpy*. Pengamatan hasil patahan dilakukan dengan perbesaran 25 kali dan 500 kali perbesaran pada 1 titik pengamatan

a. Struktur Patahan Sampel Tanpa Perlakuan Panas



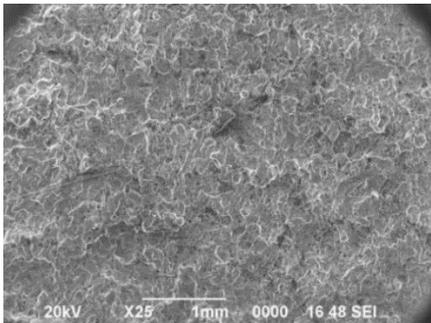
Gambar 13. Struktur Patahan Sampel Non-HT dengan 25 Kali Perbesaran.



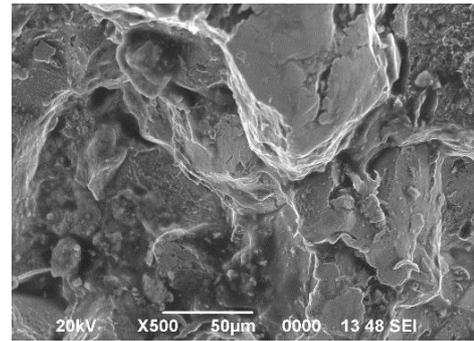
Gambar 14. Struktur Patahan Sampel Non-HT dengan 500 Kali Perbesaran.

Gambar 14 menunjukkan bahwa patahan pada sampel non-HT terjadi pada batas butir dan cenderung bersifat ulet dengan bentuk patahan *dimple*.

b. Struktur Patahan Sampel Oil-Quench



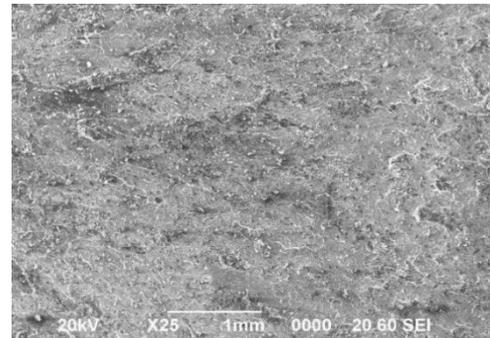
Gambar 15. Struktur Patahan *Quench Oli* dengan 25 Kali Perbesaran.



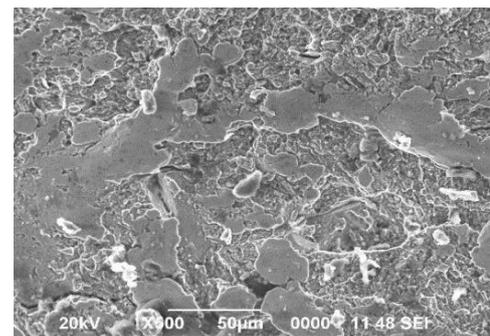
Gambar 16. Struktur Patahan Sampel *Quench Oli* dengan 500 Kali Perbesaran.

Sampel *quench oli* memiliki patahan getas dan inisiasi patahan dengan ukuran besar serta berbentuk *cleavage*. Fasa martensit jelas bersifat getas serta memiliki kekerasan yang tinggi [10].

c. Struktur Patahan Sampel *Martempering*



Gambar 17. Struktur Patahan Sampel *Martempering* dengan 25 Kali Perbesaran



Gambar 18. Struktur Patahan Sampel *Martempering* dengan 500 Kali Perbesaran.

Hasil pengamatan struktur mikro dengan perlakuan panas *martempering* memiliki ukuran butir lebih kecil, padat dan halus. Bentuk patahan yang dihasilkan permukaan patah lebih ulet dibandingkan sampel non-HT, dan berbentuk *dimple* serta diprediksi memiliki sifat ketangguhan paling tinggi.

KESIMPULAN

Karakteristik baja laterit dengan proses penempaan panas dan variasi perlakuan panas menghasilkan produk deformasi bebas cacat dengan menunjukkan pengaruh terhadap sifat mekanik maupun struktur mikronya. Untuk sifat mekanik dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu ukuran butir, fasa yang terbentuk, morfologi struktur mikro dan unsur paduan. Sifat keras dan kekuatan tarik meningkat secara signifikan dengan perlakuan panas *quench* serta meningkatnya suhu *temper* secara linear. Nilai kekerasan tertinggi sebesar 520,8 HV dengan tempa panas dilanjut dengan *quench* media oli, untuk kekuatan tarik tertinggi pada sampel tempa panas *martempering* 300 °C sebesar 1521 N/mm²

Hasil pengamatan struktur mikro dan fraktografi menunjukkan terjadinya transformasi fasa dari ferit-perlit menjadi martensit (*quench* oli) dan bainit (*martempering*) serta hasil analisis patahan pada sampel non-HT menunjukkan patahan batas butir dan cenderung bersifat ulet dengan bentuk patahan *dimple*. Untuk sampel *quench* oli memiliki patahan getas dan inisiasi patahan dengan ukuran besar serta berbentuk *cleavage*. Perlakuan *martempering* memiliki ukuran butir lebih kecil, padat dan halus. Bentuk patahan yang dihasilkan permukaan patah lebih ulet dibandingkan sampel non-HT, dan berbentuk *dimple* serta diprediksi memiliki sifat ketangguhan paling tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI atas dukungan anggaran penelitian dan semua pihak dalam kelompok penelitian baja unggul laterit yang telah berkontribusi dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] W. Astuti, Z. Zulhan, A. Shofi, K. Isnugroho, F. Nurjaman, and E. Prasetyo, "Pembuatan Nickel Pig Iron (NPI) dari

Bijih Nikel Laterit Indonesia Menggunakan Mini Blast Furnace", *Pros. InSINas*, pp. 66–71, 2012.

- [2] E. Herianto, "Kupola Udara Panas untuk Memproduksi NPI (Nickel Pig Iron) dari Bijih Nikel Laterit", *Maj. Metal.*, vol. V, 2013.
- [3] Z. Zulhan, "Aspek Teknologi dan Ekonomi Pembangunan Pabrik Pengolahan Bijih Besi Menjadi Produk Baja di Indonesia", 2013.
- [4] Yusuf and E. Herianto, "Pembuatan Besi Nugget dari Pasir Besi dan Bijih Besi Laterit: Tantangan dan Kemungkinan Keberhasilannya", *Maj. Ilmu Dan Teknol.*, 2008.
- [5] S. Herbirowo and B. Adjiantoro, "Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanik Baja Nikel Laterit", *Widyariset*, vol. 2, no. 2, pp. 153–160, 2016.
- [6] Saefudin, T. B. Romijarso, and D. P. Malau, "Pembuatan Struktur Dual Phase Baja AISI 3120H dari Besi Laterit", November, pp. 1–5, 2016.
- [7] P. U. Nwachukwu and O. O. Oluwole, "Effects of Rolling Process Parameters on the Mechanical Properties of Hot-Rolled St60Mn Steel", *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 6, pp. 134–146, 2017.
- [8] S. Herbirowo, B. Adjiantoro, and T. B. Romijarso, "Effects of Austenitizing and Forging on Mechanical Properties of MIL A-12560/AISI 4340 Steel", *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 202, p. 12084, 2017.
- [9] M. Jahazi and B. Eghbali, "The Influence of Hot Forging Conditions on The Microstructure and Mechanical Properties of Two Microalloyed Steels", vol. 113, pp. 594–598, 2001.
- [10] S. Herbirowo and B. Adjiantoro, "Characteristic of Mechanical and Morphological Properties of Heat Rolled Laterite Steel with Variety of Size Reduction", vol. 266, pp. 8–12, 2017.