

# KARAKTERISTIK SIFAT MEKANIK BAJA LATERIT MELALUI PROSES Pengerjaan DAN PERLAKUAN PANAS

## CHARACTERISTICS OF MECHANICAL PROPERTIES FOR STEEL LATERITE THROUGH HOT WORKING AND HEAT TREATMENT PROCESS

Bintang Adjiantoro<sup>\*)</sup>, Adil Jamali, Rahardjo Binudi, Muhammad Yunan Hasbi

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI  
Gedung 470, Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, 15314  
Email: Rade005@lipi.go.id<sup>\*)</sup>

Diterima: 23 September 2016

Direvisi: 14 November 2016

Disetujui: 6 Desember 2016

### ABSTRAK

Baja berbasis bijih nikel laterit berpotensi diaplikasikan dalam infrastruktur yang membutuhkan sifat tangguh karena kandungan Ni yang dimiliki yaitu sebesar 2-3%. Dalam studi ini telah dilakukan penelitian mengenai sifat mekanik terhadap lima jenis komposisi *as-cast* baja laterit hasil proses dekarburisasi *Nickel Pig Iron* (NPI). Baja laterit hasil *as-cast* dengan lima jenis komposisi terlebih dahulu dilakukan homogenisasi dengan proses anil pada suhu 900 °C. Spesimen baja kemudian dilakukan pengerolan panas hingga menjadi pelat dengan ketebalan 6 mm dari tebal awal 40 mm. Proses pengerolan dilakukan pada suhu 980 °C dengan tiga tahap reduksi yaitu 60%, 40% dan 30%. Setelah proses pengerolan panas dilakukan, pelat didinginkan di udara dan kemudian dilakukan uji kekerasan dan uji tarik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mampu bentuk baja laterit cukup baik dengan tidak ditunjukkannya keretakan pada sampel. Hasil uji kekerasan dan uji tarik juga menunjukkan kecenderungan peningkatan pada tiap sampel baja dengan nilai optimal mencapai 238,5 HB dan 779 N/mm<sup>2</sup>. Ditinjau dari pengamatan struktur mikro, paduan Ni memicu penghalusan butir dalam fenomena rekristalisasi.

**Kata kunci :** baja laterit, pengerolan panas, uji kekerasan, uji tarik, rekristalisasi

### ABSTRACT

*Steel laterite potentially meet the national infrastructure demand that requires toughness properties because of Ni content is about 2-3%. In this study, there were five types composition of the as-cast steel laterite from decarburises Nickel Pig Iron (NPI) process. Five types of compositions as-cast steel were prepared for homogenizing process at 900 °C and subsequently hot rolled into the size 6,5 mm thick from 40 mm. Hot rolled process conducted at 980 °C with three stages of reduction. The first stage was 60%, 40% the second and last stage was 30%. Samples subsequently cooled in the air and prepared for hardness test and tensile test. Results of hot rolled process showed that the formability of steel laterite quite well with no crack during hot rolled. Increased mechanical properties of steel promoted by hot rolled process with optimum results 238,5 HB and 779 N/mm<sup>2</sup> respectively. Metallography observation obtained show that Ni was promoted grain refining on recrystallization phenomena.*

**Keywords :** steel laterite, hot roll, hardness test, tensile test, recrystallization

### PENDAHULUAN

Pengembangan industri baja nasional Indonesia menghadapi kendala dan tantangan besar berupa keterbatasan bijih besi berkadar tinggi. Salah satu dampak keterbatasan tersebut

adalah impor bahan baku yang dilakukan PT Krakatau Steel untuk memenuhi kapasitas produksi. Keberadaan bijih laterit dengan cadangan miliaran ton diharapkan akan dapat mengatasi kendala dan tantangan ini [1]. Kandungan besi dalam bijih limonit yaitu

35-45% dan kandungan nikel antara 0,8-1,5%. Bila diproses menjadi baja, maka akan diperoleh baja dengan kandungan nikel antara 2-3% dimana nikel merupakan pepadu utama untuk menghasilkan beberapa keunggulan seperti kekuatan tinggi, ketahanan korosi atau cuaca, dan sifat mampu las yang baik. Bahkan kandungan nikel dalam baja juga menimbulkan sifat kriogenik, yaitu ketahanan material pada suhu sangat rendah [2]. Dengan keunggulan tersebut, daya saing industri baja berbasis bijih laterit berpotensi dalam mendukung kemandirian industri baja nasional dan mampu bersaing merebut pasar ditingkat global [3]. Salah satu solusi untuk mencapai hal tersebut adalah dengan melakukan riset seluas-luasnya mengenai potensi baja laterit secara komprehensif ditengah minimnya informasi tentang baja laterit.

Mekanisme penguatan baja secara umum bisa dilakukan melalui beberapa metode seperti pengurangan ukuran butir, pepaduan, pengerasan regangan dan proses anil [4,5]. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengurangan ukuran menggunakan metode pengerolan panas. Untuk memudahkan terjadinya deformasi plastis, dilakukan proses pembentukan logam dalam kondisi panas yang disebut dengan proses pengerjaan panas (*hot working*) [5,6].

Pengaruh yang ditimbulkan akibat pengerjaan panas mengenai sifat mekanik dan struktur mikro akan dibahas lebih lanjut.

**BAHAN DAN METODE**

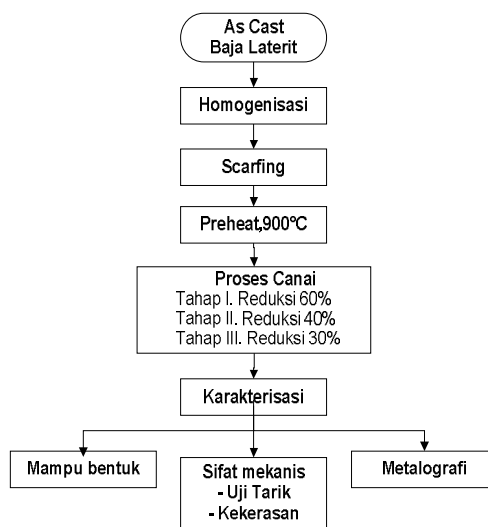
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja laterit yang diperoleh dari hasil dekarburisasi NPI. Dalam penelitian ini lima jenis komposisi *as-cast* baja laterit dengan dimensi 350x50x40 mm (p x l x t), dilakukan uji mampu bentuk (*formability*) melalui proses pengerolan panas hingga menjadi pelat dengan ukuran tebal akhir (tn) 6mm. Bentuk balok baja laterit ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *As Cast* Baja Laterit Bentuk Balok Berukuran 350x50x40 mm.

Sebelum proses pengerolan panas, sampel baja dibersihkan permukaannya dari lapisan oksida dan slag melalui proses *scarfing*. Kemudian sampel dihomogenisasi menggunakan tungku jenis *muffle* agar diperoleh struktur mikro yang homogen dengan cara dipanaskan pada suhu 900°C selama 2 jam. Proses pengerolan panas dilakukan menggunakan mesin *hot roll* jenis *two high* pada suhu 980°C dengan tiga tahap reduksi. Reduksi tahap pertama 60%, tahap ke dua 40% dan tahap ke tiga 30%. Setelah proses pengerolan panas berakhir, pelat didinginkan di udara. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.

Pengujian mekanik terdiri dari uji tarik dan uji kekerasan. Alat yang digunakan untuk melakukan uji tarik yaitu UPM 1000 dan uji kekerasan menggunakan Brinell HB-30. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik merk Olympus DP yang dilengkapi kamera CCD71 Olympus BX51M pada perbesaran 500x. Sampel di etsa dengan Nital 3% (3%  $HNO_3$  - 97% *etil alkohol*).



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Uji Komposisi Dan Mampu Bentuk**

Komposisi kimia dari masing-masing sampel ditunjukkan pada Tabel 1. Dari komposisi tersebut, unsur paduan paling tinggi adalah Ni. Hal ini merupakan keuntungan yang diperoleh ketika mengolah baja menggunakan bijih nikel laterit bila dihadapkan pada tingginya harga logam paduan Ni. Pada proses dekarburisasi NPI, jumlah volume oksigen dan waktu hembus oksigen sangat berpengaruh terhadap komposisi

baja yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah oksigen yang dihembuskan, persen berat sebagian besar unsur paduan akan mengalami penurunan. Hal tersebut disebabkan karena unsur-unsur paduan tersebut bereaksi dengan oksigen membentuk oksida logam ( $MnO$ ,  $SiO_2$ ,  $2Cr_2O_3$ ,  $2NiO$ ) [7].

Tabel 1. Komposisi Kimia As-Cast Baja Laterit

Komposisi Kimia As-Cast Baja Laterit					
Kode	A	B	C	D	E
C	0,036	0,1385	0,2209	0,1669	0,1412
Si	0,0004	0,0007	0,1666	0,2299	0,2122
S	0,0612	0,0437	0,0552	0,0498	0,0357
P	0,0710	0,0439	0,0450	0,0545	0,0298
Mn	0,0121	0,0422	0,1157	0,4359	0,4545
Ni	2,6829	2,6060	2,6817	2,6549	2,5583
Cr	0,1665	0,3087	0,9347	0,9012	1,3562
Mo	0,0097	0,0111	0,0098	0,0088	0,0116
V	0,0015	0,0049	0,0138	0,0141	0,0191
Cu	0,0391	0,0438	0,0411	0,0429	0,0534
W	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0044
Ti	0,0014	0,0020	0,0027	0,0024	0,0037
Sn	0,0043	0,0043	0,0039	0,0039	0,0049
Al	0,0245	0,2899	0,2501	0,3103	0,1366
Pb	0,0019	0,0071	0,0054	0,0055	0,0184
Nb	0,0016	0,0038	0,0035	0,0041	0,0097
Zr	0,0020	0,0050	0,0043	0,0042	0,0089
Zn	0,0076	0,0099	0,0128	0,1616	0,1219
Fe	96,880	96,439	95,438	94,954	94,819

Gambar 3 menunjukkan penampakan visual terhadap pelat baja laterit hasil proses pengerolan panas. Secara umum, mampu bentuk logam adalah kemampuan material menerima deformasi yang berada dibawah batas deformasi material tersebut. Kondisi tersebut ditunjukkan dengan tidak terjadinya kegagalan pada material hasil pengerolan, baik retak ataupun patah.

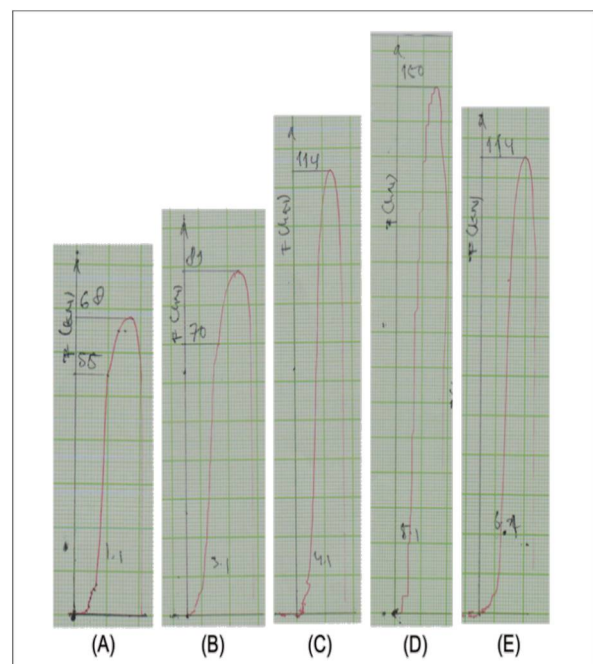


Gambar 3. Pengamatan Visual Permukaan Pelat Baja As-Cast Hasil Proses Pengerolan Panas dengan Tebal Akhir 6,5 mm

### Pengujian Mekanik dan Metalografi

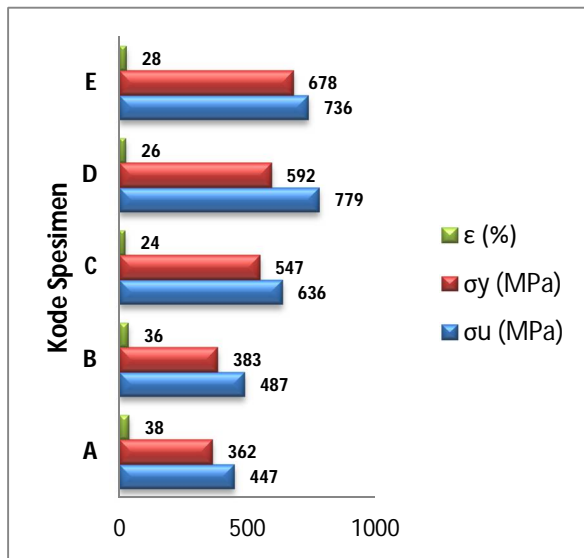
Deformasi pada suhu tinggi menyebabkan logam bersifat lunak dan akan tetap lunak meskipun dideformasi karena tidak adanya pengerasan regangan, bahkan terjadi peristiwa pelunakan yang terus menerus selama proses deformasi panas [7,8].

Peningkatan sifat mekanik yang terjadi pada spesimen dipengaruhi oleh pembentukan butir baru akibat fenomena rekristalisasi, proses termomekanik dan proses pendinginan setelah deformasi plastis. Perbaikan struktur mikro ini terjadi pada saat pemanasan awal (*preheat*) sebelum proses deformasi serta pada saat dideformasi. Perlu diketahui bahwa benda coran memiliki berbagai kelemahan atau kekurangan. Selama proses pembekuan kemungkinan besar terjadi segregasi baik secara mikro ataupun makro, yaitu tidak homogenya komposisi kimia akibat pembekuan yang tidak merata [4]. Segregasi tersebut akan berpengaruh pada sifat mekanik baja. Peningkatan kekuatan luluh terjadi akibat pengaruh rekristalisasi statik selama proses *hot roll*. Dari hasil pengujian tarik (Gambar 4 dan Gambar 5) dan pengujian kekerasan (Gambar 6) menjelaskan bahwa tegangan luluh berada pada kondisi ketika batas butir mengalami dislokasi hingga mencapai kepadatan kritisnya. Dari Gambar 4 dapat disimpulkan bahwa hampir keseluruhan sampel memiliki elongasi yang cenderung kecil ditunjukkan dengan pendeknya daerah plastis pada grafik.

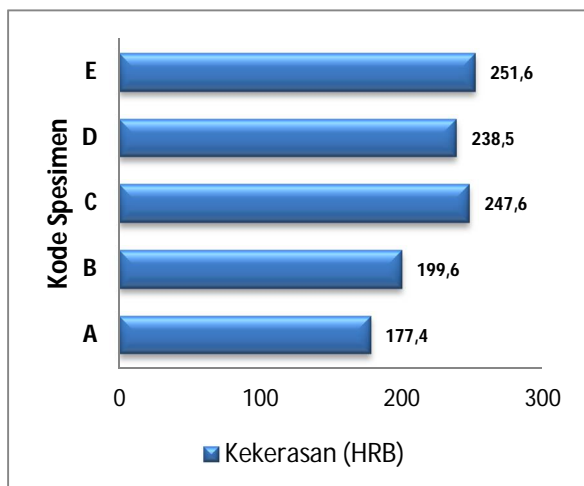


Gambar 4. Grafik Uji Tarik Sampel Hasil Pengerolan

Dengan kata lain, sampel memiliki kekerasan tinggi. Semakin padat butir semakin keras material tersebut dan juga menyebabkan tegangan luluh menjadi meningkat [9].



Gambar 5. Grafik Kekuatan Luluh, Kekuatan Tarik dan Elongasi Spesimen Baja Laterit.

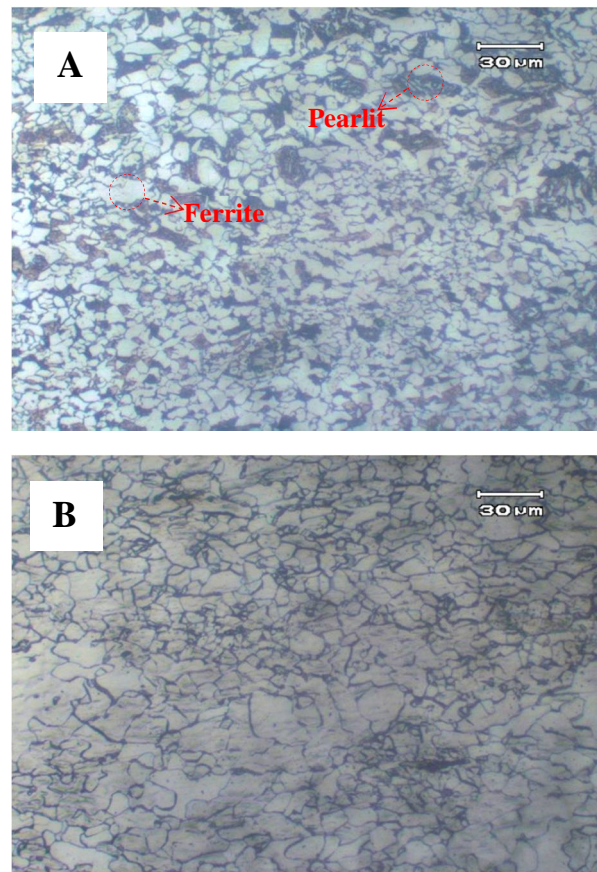


Gambar 6. Grafik Nilai Kekerasan Spesimen Baja Laterit

Selain pengerjaan panas, peningkatan sifat mekanik juga dipengaruhi oleh komposisi kimia, yaitu salah satunya unsur Si. Ketika Si larut dalam besi maka akan memiliki kecenderungan memperkuat. Pada umumnya Si hanya sejumlah kecil ( $\pm 0.20\%$ ) hadir dalam baja dan digunakan sebagai *deoxidizer*, unsur Si akan meningkatkan kekuatan ferit dan ketika bersinergi dengan paduan lain (seperti Ni) dapat membantu meningkatkan ketangguhan dan kekerasan [8].

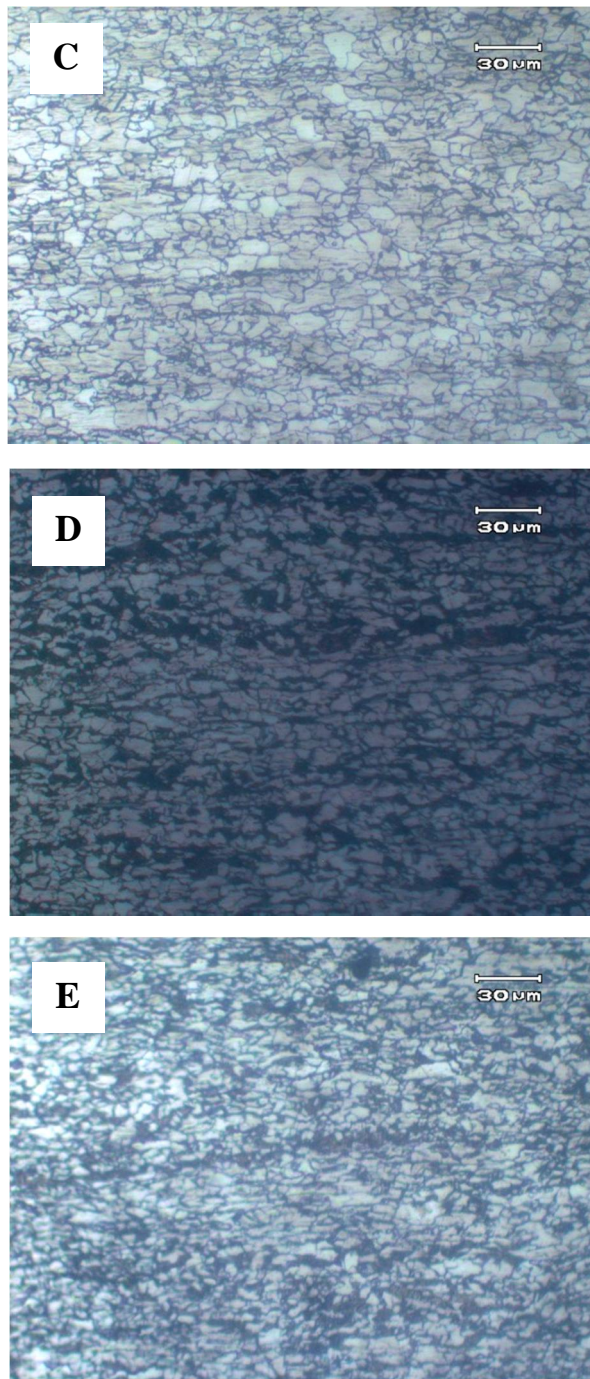
Spesimen dalam penelitian ini tergolong dalam baja karbon rendah sehingga tidak akan berpengaruh terhadap pembentukan karbida meskipun terdapat unsur paduan pembentuk karbida (Cr, W, Mo, Ti). Unsur paduan paling dominan dalam spesimen yaitu unsur Ni. Pada baja, unsur Ni bermanfaat meningkatkan ketangguhan [10]. Dengan adanya Ni, fasa austenit lebih stabil.

Berdasarkan diagram keseimbangan Fe-Ni, Ni larut dalam Fe membentuk sel satuan fcc (penstabil austenit) dan menurunkan suhu eutektoid [11]. Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa mayoritas struktur mikro yang dihasilkan setiap spesimen menunjukkan terbentuknya fasa ferit dan perlit dengan persebaran yang berbeda-beda. Untuk spesimen A daerah ferit dan perlit dapat dibedakan secara jelas. Untuk spesimen B dan C terbentuk fasa ferit (ditunjukkan bagian terang, Gambar 7) dan spesimen D dan E hampir sama dengan spesimen A, namun yang paling dominan yaitu fasa perlit yang ditunjukkan pada bagian yang gelap.



Judul Gambar 7.





Gambar 7. (lanjutan) Struktur Mikro Spesimen A, B,C,D dan E Hasil Proses Pengerolan Panas. Pembesaran 500x, Etsa Nital 3%.

Kondisi yang berbeda-beda tersebut bisa disebabkan oleh perbedaan komposisi kimia pada masing-masing spesimen sehingga berpengaruh terhadap mekanisme transformasi fasa pada saat proses pengerjaan dan perlakuan panas. Hal tersebut juga diperkuat dengan perbedaan sifat mekanik pada tiap-tiap spesimen uji.

Khusus Ni selain meningkatkan kekuatan ferit juga memicu terjadinya rekristalisasi yang

mengakibatkan penghalusan butir setelah dideformasi panas. Keuntungan tersebut biasa digunakan dalam baja paduan rendah untuk meningkatkan ketangguhan dan *hardenability* [8].

## KESIMPULAN

Baja laterit memiliki kandungan Ni dari bijih sehingga bisa diaplikasikan sebagai baja Ni (infrastruktur) tanpa melakukan penambahan unsur Ni. Proses pengerolan panas yang dilakukan terhadap baja laterit menghasilkan baja dengan mampu bentuk yang baik dengan tidak ditunjukkannya cacat setelah dideformasi. Sifat mekanik dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu pengurangan ukuran butir, pemaduan larutan padatan, pengerasan regangan dan proses anil. Dari proses pengerolan panas dan pengaruh komposisi kimia, spesimen baja menghasilkan nilai optimum kekerasan dan pengujian tarik masing-masing adalah 251,6 HB dan 779 N/mm<sup>2</sup>. Fasa yang terbentuk dari masing-masing sampel yaitu fasa ferit dan perlit.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada P2MM – LIPI, Bapak Ir. Yusuf dan mahasiswa PKL dari Universitas Lampung serta semua pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Astuti, W. et al., *Pembuatan Nickel Pig Iron (NPI) Dari Bijih Nikel Laterit Indonesia Menggunakan Mini Blast Furnace*. Prosiding InSINas, pp.66–71, 2012.
- [2] Binudi, R. & Adjiantoro, B., *Pengaruh Unsur Ni, Cr dan Mn Terhadap Sifat Mekanik Baja Kekuatan Tinggi Berbasis Laterit*. MAJALAH ILMU DAN TEKNOLOGI, 2013.
- [3] Yang, C.-W., Williams, D.B. & Goldstein, J.I., *A revision of the Fe-Ni phase diagram at low temperatures (<400 °C)*. Journal of Phase Equilibria, 17(6), pp.522–531, 1996.
- [4] Chen, F. & Cui, Z., *Mesoscale simulation of microstructure evolution during multi-stage hot forging processes*. iopscience, 045008, 2012.
- [5] D.M. Stefanescu, ASM METALS

- HANDBOOK*, 1988.
- [6] Degarmo, E.P., Kohser, R. a & Klamecki, B.E., *Materials and Process in Manufacturing. Materials and Process in Manufacturing*, p.383, 2003.
- [7] Ebrahimi, G.R. & Javdani, M., *Effect of Thermo-Mechanical Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of Microalloyed Steels.*, pp.454–458, 2010.
- [8] Habashi, F., *Handbook of Extractive Metallurgy*, 1997.
- [9] Yusuf & Herianto, E., *Pembuatan Besi Nugget dari Pasir Besi dan Bijih Besi Laterit: Tantangan dan Kemungkinan Keberhasilannya.* Majalah Ilmu Dan Teknologi, 2008.
- [10] Doherty, R., *Primary Recrystallization*, 2001.
- [11] Lange, K. & McGraw, *Handbook of Metal Forming*, 1985.
- [12] Higgins, R., *Engineering Metallurgy. Applied Physical Metallurgy*, 1993.
- [13] Humphreys, F. & Hatherly, M., *Recrystallisation and Related Annealing Bacterial Adhesion.* Molecular and eco-Anheftungsmechanismen wurden fur Falle. *elsevier*, 653, pp.5–6, 2004.
- [14] Karbasian, H. & Tekkaya, A.E., *Journal of Materials Processing Technology A review on hot stamping.* Journal of Materials Processing Tech., 210(15), pp.2103–2118, 2010.