PENGARUH PERLAKUAN PANAS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKUATAN MEKANIK BAJA NIKEL LATERIT

THE INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL STRENGTH OF LATERITIC NICKEL STEEL

Satrio Herbirowo^{1,*} dan Bintang Adjiantoro¹

¹Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, Indonesia.

*E-mail: satr006@lipi.go.id

ARTICLE INFO

Article history

Received date:

2 May 2016

Received in revised form date:

22 June 2016

Accepted date:

19 August 2016

Available online date:

30 November 2016

Abstract

Indonesia has abundant resources of lateritic nickel ore and coal. However, these resources has not been considered as a main raw material in the Indonesian steel industry. This study is aimed to investigate several aspects of lateritic nickel intrinsic properties and its potency through heat treatment process. Nickel laterite steels are usually used for bridge and building construction steel. Their properties can be improved in various ways, such as by conducting temper heat treatment. This research reported the influences of heat treatment on microstructure and mechanical strength in nickel laterite steel. Samples were austenitized at 900 °C and subsequently tempered at 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, and 600 °C. Metallographic observation was conducted by using an optical microscope meanwhile mechanical strength were conducted by tensile test and surface hardness. The results showed evolution of microstructure in nickel laterite steel after heat treatment. The microstructure formed consisted of martensite temper. The presence of inclusion can affect brittle behavior of the lateritic nickel. The optimum tempering temperature was 200 °C. The result of Scanning Electron Microscope (SEM) fractography showed the dimple and intergranular fracture has caused a more ductile and mechanical behavior which is compatible with construction steels standard.

Keywords: Heat treatment, Mechanical strength, Inclusion, Lateritic nickel

Kata kunci:

Perlakuan panas
Kekuatan mekanik
Inklusi
Nikel laterit

Abstrak

Indonesia memiliki sumber bijih nikel laterit dan batubara yang melimpah. Walaupun begitu, sumber daya ini belum dipertimbangkan sebagai bahan baku utama dalam industri baja Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui beberapa aspek yang dimiliki oleh baja laterit melalui proses perlakuan panas serta potensinya. Baja nikel laterit bisa digunakan untuk aplikasi pada baja konstruksi jembatan dan bangunan. Perilaku baja nikel laterit ini dapat diperbaiki dengan berbagai cara, salah satunya dengan cara perlakuan panas temper. Penelitian ini mengungkapkan pengaruh perlakuan panas terhadap perubahan struktur mikro dan kekuatan mekanik yang terjadi pada baja nikel laterit. Perlakuan panas yang dilakukan meliputi austenitisasi pada suhu 900 °C kemudian pada suhu temper 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, dan 600 °C. Pengujian metalografi dilakukan dengan mikroskop optik sedangkan pengujian kekuatan mekanik dilakukan dengan kekuatan tarik dan kekerasan permukaan. Hasil yang didapat menunjukkan perubahan struktur mikro pada baja nikel laterit setelah dilakukan perlakuan panas. Struktur mikro yang terbentuk terdiri dari martensit temper. Adanya inklusi dapat memengaruhi kekuatan mekanik, dimana baja menjadi keras dan getas. Perlakuan panas temper optimal terjadi pada temperatur 200 °C. Hasil fraktografi Scanning Electron Microscope (SEM) yang menunjukkan dimple (ekspresi permukaan patahan ulet) dan patahan intergranular membuat sifat nikel laterit menjadi lebih ulet dan memiliki sifat mekanis yang sesuai standar baja konstruksi.

PENDAHULUAN

Baja laterit merupakan material baja berbahan bijih nikel laterit kadar rendah yang saat ini sedang menjadi topik pembicaraan. Hal itu disebabkan karena baja laterit memiliki peluang untuk berbagai aplikasi yang dapat menunjang kebutuhan baja nasional antara lain mencakup baja konstruksi untuk jembatan, rangka konstruksi, dan bangunan (Desiana 2008).

Begitupun penelitian yang telah dilakukan oleh Yusuf (2008) menyatakan bahwa bijih laterit kadar rendah atau yang disebut bijih limonit memiliki kandungan Ni 0,8%-1,5% dengan kandungan Fe 35%-45%. Bijih tersebut dapat diolah menjadi baja dengan kandungan nikel sekitar 1,5%-4%. Di samping kandungan Ni dan Fe, bijih laterit juga mengandung unsur lain, yaitu Cr dan Mn dimana kedua unsur tersebut akan berdampak pada sifat *weldability steel* serta kekerasan permukaan dan ketahanan korosi. Untuk menghasilkan suatu produk yang menuntut keuletan dan tahan terhadap gesekan perlu dilakukan pemanasan ulang atau *temper*. Tujuan dari proses *tempering* adalah untuk meningkatkan keuletan dan mengurangi kerapuhan (Haryadi 2014).

Sifat mekanik kekuatan tarik dan kekerasan baja tergantung dari unsur karbon, nikel, dan krom yang terkandung didalamnya. Baja nikel laterit memiliki unsur paduan 1-2% nikel dan unsur karbon sampai 0,6%. Struktur mikro baja nikel laterit jenis ini sangat tergantung dari perlakuan panas baja yang diterima dan biasanya terdiri dari feritik, inklusi yang tidak terlarut, dan austenit sisa. Fraksi volume dan ukuran karbida yang muncul dalam baja dan jumlah austenit sisa merupakan peran utama dalam penentuan nilai kekerasan, kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan aus dalam baja (Barlow 2012). Proses perlakuan panas baja nikel laterit ini melibatkan larutan-padat (austenisasi) yang dilakukan untuk memperoleh struktur

mikro austenit yang diikuti dengan pendinginan cepat untuk memperoleh struktur martensit. Martensit setelah di-*quench* perlu dilakukan *tempering* untuk membentuk presipitat karbida dan menghilangkan inklusi pada material tersebut (Lim et al. 1993).

Efek temperatur austenitisasi terhadap struktur mikro dan sifat mekanik telah dijelaskan di beberapa penelitian. Temperatur austenitisasi mengontrol pemisahan unsur paduan antara austenit dan karbida pada suhu tinggi serta mengakibatkan terjadinya transformasi martensit, ukuran butir, kekerasan, dan austenit sisa pada kondisi *quenching*. Temperatur austenitisasi yang lebih tinggi akan meningkatkan kelarutan karbida dan berat jenis karbida menurun seiring dengan peningkatan temperatur austenitisasi. Kelarutan karbida selama austenitisasi memengaruhi ukuran butir austenit. Peningkatan suhu austenitisasi juga akan meningkatkan kehadiran austenit sisa (Andrés et al. 1998).

Proses perlakuan panas secara teknis untuk melakukan metode *temper* dalam proses pembentukan fasa baru sesuai dengan percepatan pemanasan sampai mencapai suhu austenit tidak stabil, menahan sampai waktu tertentu untuk homogenisasi fasa austenit yang terbentuk, dan melakukan pendinginan cepat serta menahan kembali pada variasi suhu *temper* terhadap sampel material untuk mendapatkan karakterisasi fasa maupun sifat mekanik.

Pada penelitian sebelumnya, proses perlakuan panas pada baja laterit akan memengaruhi nilai kekerasan yang meningkat serta perlakuan *temper* memperlihatkan struktur martensit dan struktur partikel karbida yang bulat dalam matrik martensit (Haryadi 2014). Penelitian ini membahas pengaruh perlakuan panas austenitisasi dan *temper* terhadap perubahan struktur mikro,

kekuatan tarik, dan kekerasan permukaan yang terjadi.

METODE

Pada penelitian ini spesimen yang digunakan adalah baja nikel laterit dari sampel proses pembuatan *Nickel Pig Iron* (NPI) di UPT Pengolahan Mineral LIPI-Lampung. Spesimen dalam bentuk *rod* dipotong menjadi ukuran panjang 100 mm dan diameter 20 mm dengan mengonfirmasi kandungan yang terdapat dalam baja nikel laterit, dan ditambah dengan capaian komposisi Ni ($>1\%$), analisis kimia dilakukan dengan menggunakan spektroskopi. Spesimen kemudian mendapatkan perlakuan panas austenitisasi pada suhu $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama satu jam lalu di-*quenching* dengan oli. Kemudian variasi suhu *temper* mulai dari $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama dua jam. Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 1.

Gambar 1. Diagram alir penelitian

Uji kekuatan tarik dilakukan menggunakan standar pembuatan sampel *Japan Industrial Standard* (JIS) Z2201 dengan dimensi yang sesuai dengan pengukuran (Gambar 2). Sebanyak delapan sampel dibuat sesuai dengan jumlah variasi temperatur *temper* dan material awal.

Gambar 2. Standar JIS Z2201 (*JIS Handbook* 1994)

Uji kekerasan permukaan material dilakukan dengan memotong ujung spesimen untuk mendapatkan permukaan yang rata agar siap dilakukan uji kekerasan sebanyak lima titik dengan menggunakan alat *Hardness Rockwell C*.

Sebelum melakukan pengujian metalografi, spesimen yang telah diampelas hingga halus dipoles dengan pasta alumina 5μ hingga $0,1\mu$ sampai permukaan halus mengilap. Sampel yang telah dipoles kemudian dietsa dengan menggunakan *Vilella's reagent* (1 gr *picric acid*, 5 mL HCl, dan 100 mL ethanol). Setelah spesimen selesai disiapkan kemudian spesimen diobservasi dengan menggunakan mikroskop optik dan *scanning electron microscope* (JEOL 6390A) untuk mengetahui struktur mikro dan fasa yang terbentuk, serta fraktografi dari permukaan patahan material.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini merupakan komposisi dari baja laterit yang digunakan dalam penelitian (Tabel 1).

Tabel 1. Persentase komposisi kimia baja nikel laterit *As-Cast* yang digunakan dalam penelitian

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Fe
0.40	0.248	0.776	1.59	0.164	1.59	Bal.

Dengan kandungan C sebesar 0,4%, maka sampel ini dikategorikan sebagai baja karbon rendah. Kemudian ditinjau dari kandungan paduannya, baja ini juga termasuk baja paduan rendah karena tidak mengandung lebih dari 8% paduan di setiap unsur paduannya. Jika kekuatan yang dihasilkan bisa mencapai standar tertentu, maka baja laterit bisa dirujuk sebagai baja paduan rendah berkekuatan tinggi atau yang lebih dikenal dengan istilah baja *High Strength Low Alloy Steel* (HSLA). Hal itu disebabkan karena salah satu indikasi baja HSLA adalah memiliki kandungan karbon dengan rentang 0,05-0,25% (ASM 2001).

Pengujian Kekuatan Tarik

Dari hasil pengujian kekuatan tarik material dibuat grafik hubungan antara perlakuan panas benda uji yang dibuat menjadi beberapa kode sampel terhadap nilai kekuatan tarik luluh (sy) dan kekuatan tarik maksimum (su). Gambar 3 memperlihatkan bahwa Sampel 1 atau bahan awal yang merupakan baja nikel laterit *As-Cast* memiliki nilai kekuatan tarik terendah dibandingkan dengan sampel lain.

Gambar 3. Kurva kekuatan tarik *yield* dan *ultimate* baja nikel laterit dengan variasi suhu *temper*

Sampel 2 setelah melalui proses perlakuan panas *quench* dengan media oli dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik maksimum sebesar 858 Mpa dan nilai kekuatan tarik luluh sebesar 1023 Mpa. Pada

sampel perlakuan panas *quench* dan variasi temperatur *temper* terlihat bahwa semakin tinggi temperatur *temper*, maka kekuatan tarik maksimal dan luluh semakin menurun sedangkan untuk kelenturan dan keuletan semakin meningkat (Schonmetz 1985).

Pengujian Kekerasan Permukaan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari hasil perlakuan panas *quench* dan *temper* dalam peningkatan kekerasan baja.

Gambar 4. Grafik kekerasan permukaan material

Gambar 4 menunjukkan nilai kekerasan tertinggi dicapai oleh sampel dengan perlakuan panas *quench* dengan nilai 70 HRC. Semakin tinggi temperatur *temper*, maka material semakin lunak yang terlihat dari grafik kekerasan yang semakin menurun disesuaikan dengan aplikasi tujuannya sampai didapatkan sifat optimal. Perlakuan panas *temper* dilakukan untuk mendapatkan nilai kekerasan material optimal yang sesuai standar baja konstruksi karena dengan kekerasan yang menurun, maka sifat keuletan akan meningkat seiring dengan transformasi struktur mikronya (Yunan 2014).

Pengujian Metalografi

Struktur mikro baja nikel laterit yang dikarakterisasi dengan menggunakan mikroskop optik ditunjukkan pada Gambar

5 dengan perbesaran 500x. Gambar tersebut menunjukkan struktur mikro pada suhu austenitisasi 900 °C di suhu *temper* 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, dan 600 °C berturut-turut. Pada Gambar 5(a) dapat dilihat bahwa struktur mikro dari material awal tanpa perlakuan panas terdiri atas fasa ferit dan perlit dengan adanya inklusi yang tersebar akibat proses pengecoran yang kurang bersih dari material dasar. Oleh karena itu dilakukan proses perlakuan panas untuk memperbaiki sifat dan struktur dari material baja nikel laterit tersebut. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 5(b) bahwa dengan proses pemanasan sampai temperatur austenit dan didinginkan dengan cepat (*oil quenching*) langsung terbentuk fasa martensit akibat dari terlambatnya unsur karbon bertransformasi yang membentuk struktur kristal BCT dan membentuk fasa martensit yang berbentuk seperti jarum-jarum yang membuat sifat material

menjadi lebih keras dan getas (Wibawa 2013). Inklusi juga mulai memudar setelah proses perlakuan panas menuju struktur mikro material yang tanpa inklusi dan berdampak terhadap perubahan presipitasi karbida dan austenit sisa.

Penerapan perlakuan panas *tempering* adalah untuk mengurangi tegangan sisa, meningkatkan ketangguhan dan keuletan yang telah hilang atau berkurang selama mengalami pengerasan martensit. Gambar 5(c) merupakan struktur mikro dari spesimen setelah dilakukan proses *temper* atau pemanasan kembali pada temperatur 200 °C yang memiliki struktur ferit dengan fasa sementit yang terdistribusi pada matriksnya. Matrik yang ulet dengan sebaran partikel yang keras akan menghasilkan suatu logam yang tangguh. Fasa ferit merupakan fasa matrik dengan sifat lunak dan ulet. Fasa sementit yang terbentuk sifatnya keras. Pada Gambar 5(d) yang menggunakan temperatur *temper* lebih

Gambar 5. Struktur mikro baja nikel laterit austenitisasi 900 °C pada variasi *temper* (a) non-treat, (b) quench, (c) 200 °C, dan (d) 600 °C dengan perbesaran 500x

tinggi, martensit akan tereliminasi membentuk martensit *temper* dengan partikel karbida-karbida halus berbentuk spheroid yang mampu menahan deformasi plastik, sehingga logam akan tetap memiliki kekuatan cukup tinggi. Dengan demikian secara keseluruhan logam menjadi kuat dan ulet (Thelning 1984).

Pengujian *Scanning Electron Microscope* – *Energy Dispersive Spectroscopy*

Untuk membuktikan hasil pengujian mekanik lebih lanjut, maka dilakukan karakterisasi struktur mikro dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk melihat bagian patahan dari spesimen dan pembuktian sifat keras atau ulet dari sampel baja. Pada Gambar 6(a) terlihat jelas struktur material pada perbesaran 500x membentuk berupa *dimple* dan kontur tidak merata yang menandakan patahan yang terjadi adalah patah ulet dengan penjalaran perpatahan secara intergranular.

Selain itu juga dilakukan pengujian *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) untuk melihat komposisi unsur yang terbentuk, pada Gambar 6(b) menunjukkan spektrum hasil pengujian EDS dengan data hasil jumlah intensitas komposisi unsur tertentu terdeteksi pancaran elektron. Data tersebut terlihat bahwa unsur Fe memiliki 41,64at.% (*the atomic weight percent*)

dan C memiliki 55,05at.% selain dari fasa dan struktur mikro yang memengaruhi sifat mekanik juga dari unsur paduan dari Ni, Cr, dan Mo berpengaruh dalam meningkatkan sifat mekanik antara lain kekerasan, kekuatan tarik, dan ketangguhan.

Pengujian Data *Mapping EDX*

Analisis penyebaran unsur paduan dari sampel baja laterit penting dilakukan untuk melihat homogenitas unsur paduan dalam baja yang mempengaruhi keseragaman sifat material khususnya mekanis pada keseluruhan posisi atau permukaan sampel. Adapun data hasil *mapping* EDX disajikan pada Gambar 7 dan 8.

Gambar 7 menjelaskan pada bahan awal *non-treatment*, penyebaran unsur paduan C, O, dan Cr di luar unsur utama Fe, yaitu tersebar merata di berbagai posisi dengan kandungan oksida yang masih tinggi. Kemudian pada Gambar 8 yang merupakan hasil pemetaan EDX pada sampel setelah dilakukan perlakuan panas *temper*, terlihat berkurangnya oksida atau unsur O di permukaan sampel dan terjadi penurunan unsur karbon pada sampel baja yang dapat menurunkan nilai kekerasan tetapi mampu meningkatkan keuletan dalam baja serta unsur pendukung Cr tetap tersebar merata yang berperan dalam ketahanan korosi.

Gambar 6. SEM analisis pada untuk spesimen austenitisasi 900 °C dan *temper* 200 °C (a) foto SEM dan (b) spektrum EDS

Gambar 7. Mapping EDX sampel *non treatment*

Gambar 8. Mapping EDX sampel *tempering after treatment*

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan adanya pengaruh perlakuan panas terhadap struktur mikro dan kekuatan mekanik pada baja nikel laterit. Perubahan suhu *temper* dapat mengubah struktur mikro dan kekuatan tarik maupun kekerasan permukaan baja nikel laterit ini. Secara umum struktur mikro yang terbentuk dari perlakuan panas yang diberikan mengandung martensit yang berbentuk bilah (*lath martensit*), karbida logam, dan mengurangi inklusi. Perlakuan panas *quench* dengan media oli dapat meningkatkan kekerasan yang tinggi dan dilakukan perlakuan panas *temper* untuk memperbaiki sifat material menjadi ulet dengan menurunkan sedikit kekerasan tetapi dapat meningkatkan kekuatan tarik, elongasi material, dan ketangguhan. Peningkatan temperatur *temper* membuat material semakin lunak dan kembali ke sifat material awal. Oleh karena itu, waktu *temper* optimal terjadi pada temperatur 200 °C dengan standar acuan sifat mekanik baja konstruksi, dan ditinjau dari sifat material menjadi lebih ulet dengan pembuktian morfologi SEM yang terlihat dari patahan berbentuk *dimple*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI yang telah mendanai penelitian unggulan ini pada Tahun Anggaran 2015 dan semua pihak yang telah bekerja sama dari tim peneliti maupun teknisi Baja Unggul Nasional. Tulisan ini merupakan bagian dari hasil penelitian bersama dengan tema “Pengembangan Baja Laterit Berkekuatan Tinggi”.

DAFTAR ACUAN

- Andrés, C.G.D.E, L.F. Álvarez, and M.P. Strasse. 1998. “Effects of Carbide-Forming Elements on the Response to Thermal Treatment of the X45Cr13 Martensitic Stainless Steel.” *Journal of Materials Science* 33: 4095–4100.
- Barlow, L.D. 2012. “The Effect Of Austenitising and Tempering Parameters on the Microstructure and Hardness Stainless Steel Aisi 420.” *Built Environment* 21: 1327–1336.
- Desiana. 2008. *Pengaruh Temperatur terhadap Laju Korosi Baja Laterit pada Lingkungan Air*. Skripsi, Fakultas Teknik. Depok: Universitas Indonesia.

- Haryadi, G.D. 2006. "*Pengaruh Suhu Tempering terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro pada Baja K-460.*" Jurnal ROTASI 8 (2): 1-8.
- Lim, L. C., M. O. Lai, J. Ma, D. O. Northwood, and B. Miao. 1993. "Tempering of AISI 403 Stainless Steel." *Materials Science and Engineering A* 171(1-2): 13-19. doi:10.1016/0921-5093(93)90388-U.
- Schonmetz, A.K.G. 1985. *Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam*. Bandung: Aksara.
- Takagi, F.T. 1987. *Study on the Use of Laterite as an Iron-making Material-Research at Nippon Steel Corporation*. International Journal of Mineral Processing 19 (1-4): 145-156.
- Thelning, K.E. 1984. *Steel and Its Heatreatment". Second Edition*. Oxford, United Kingdom: Butterworth-Heinemann.
- Wibawa, Samdan. 2013. *Analisis Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah Fasa Ganda pada Proses Intercritical Annealing dengan Pendinginan Cepat*. Skripsi. Cilegon: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Yunan, Muhammad. 2014. *Improved of Hardness and Microstructure Observation of Laterite Steel from Hot Rolling Process*. Prosiding Seminar Metalurgi Material. Tangerang.
- Yusuf. 2008. Pembuatan Besi Nugget dari Pasir Besi dan Bijih Besi Laterit. *Majalah Metalurgi* 23 (2): 59-66.