

PENGARUH UNSUR Ni, Cr DAN Mn TERHADAP SIFAT MEKANIK BAJA KEKUATAN TINGGI BERBASIS LATERIT

Rahardjo Binudi* dan Bintang Adjiantoro

Pusat Penelitian Metalurgi LIPI

Gedung 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan

E-mail : *rbinudi@yahoo.com

Masuk tanggal : 17-09-2013, revisi tanggal : 15-02-2014, diterima untuk diterbitkan tanggal : 21-03-2014

Intisari

PENGARUH UNSUR Ni, Cr DAN Mn TERHADAP SIFAT MEKANIK BAJA KEKUATAN TINGGI BERBASIS LATERIT. Bijih nikel laterit kadar rendah yang mengandung 0,8-1,5% Ni dan 30-45% Fe dapat diproses untuk menjadi baja dengan kandungan nikel antara 1,5 hingga 4%. Baja dengan kandungan nikel sejumlah ini mempunyai potensi untuk menunjukkan kinerja tinggi ditinjau dari sisi kekuatan mekanik, ketahanan temperatur rendah (kriogenik), ketahanan korosi, kemampuan las yang baik. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk membuat baja sintetis paduan dengan melebur skrap baja karbon rendah dan menambahkan unsur nikel (Ni), krom (Cr) dan mangan (Mn) pada kisaran yang dimiliki oleh baja unggul yang diperkirakan diperoleh dari peleburan bijih nikel laterit kadar rendah. Hasil percobaan menunjukkan bahwa baja sintetis paduan D dengan penambahan 0,83% berat Mn, 0,97% berat Cr dan 3,68% berat Ni menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan paduan baja sintetis lainnya. Kekuatan luluh dan kekuatan tarik maksimum yang diperoleh pada baja sintetis paduan D adalah sebesar 556,2 N/mm² dan 834 N/mm² dengan elongasi sebesar 10%, sedangkan kekerasan mencapai 358,38 BHN. Peningkatan sifat mekanik pada baja sintetis D dimungkinkan karena terbentuknya karbida (Fe,Mn)₃C dan (Fe,Cr)₃C.

Kata kunci : Baja kekuatan tinggi, Laterit, Nikel, Krom, Mangan, Sifat mekanik

Abstract

EFFECT OF ELEMENTS Ni, Cr Mn AND MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH STRENGTH STEEL BASED LATERITE. Low grade laterite nickel ore containing of 0.8 to 1.5% wt Ni and 30-45% wt Fe can be processed to steels with nickel content between 1.5 to 4%. Steel with those nickel content have the potential to demonstrate high performance in terms of the mechanical side, low temperature resistance (cryogenic), as well as corrosion resistance. Therefore, this study aims to create synthetic alloy steel by melting scrap low carbon steel and adds the element nickel (Ni), chromium (Cr) and manganese (Mn) in the range owned by the expected superior steel obtained from the smelting of nickel laterite ore grade lower. The experimental results show that the synthetic alloy steel D with the addition of 0.83 wt% Mn, 0.97 wt% Cr and 3.68 wt% Ni providing better mechanical properties than other synthetic steel alloys. Yield strength and maximum tensile strength obtained in the synthetic alloy steel D approximately around 556.2 N/mm² and 834 N/mm² with elongation of 10%, while achieving of hardness around 358.38 BHN. Improving mechanical properties of the steel is made possible due to the formation of synthetic steel D carbide (Fe, Mn)₃C and (Fe, Cr)₃C.

Keywords : High strength steel, Laterite, Nickel, Chromium, Manganese, Mechanical properties

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumber daya alam yang cukup melimpah untuk menghasilkan baja kualitas tinggi yang kita sebut sebagai baja laterit. Sumber daya ini berasal dari bijih nikel kadar rendah jenis limonitik yang mengandung nikel antara 0,8 hingga 1,5% dan besi antara 35 hingga 45%^[1]. Kandungan nikel ini berpotensi untuk

memberikan sifat unggul, kekuatan tinggi, tahan korosi, sifat mampu las dan sifat kriogenik^[1]. Baja yang dihasilkan dari bijih jenis ini akan memiliki kandungan nikel antara 1,52% hingga 4%.

Baja yang kita namakan baja laterit memiliki potensi aplikasi untuk berbagai kebutuhan khusus, antara lain untuk aplikasi kelautan^[1]. Indonesia sebagai

negara kepulauan, tentu sangat membutuhkan baja unggul semacam ini.

Bijih nikel laterit kadar rendah memiliki kandungan nikel, krom dan mangan yang apabila dilebur menjadi baja akan memperbaiki sifat mekanisnya. Untuk mengkonfirmasi hal di atas maka pada penelitian ini akan dibuat baja sintetis paduan dengan melebur skrap baja dan menambahkan unsur nikel (Ni), krom (Cr) dan mangan (Mn) pada kisaran yang dimiliki oleh baja unggul yang diperkirakan diperoleh dari peleburan bijih nikel laterit kadar rendah. Baja unggul ini diusulkan untuk diberi nama baja unggul laterit^[1]. Dari masing-masing baja sintetis paduan yang dibuat kemudian dilakukan analisa komposisi kimia dan pengujian mekanis yang memberikan gambaran pengaruh penambahan ketiga unsur tersebut.

Baja Unggul Laterit

Baja unggul laterit adalah baja yang dihasilkan dari peleburan bijih nikel laterit kadar rendah dengan mengutamakan pemanfaatan kandungan nikelnya. Biasanya penggunaan nikel ini dihindari karena harganya yang mahal dibanding unsur pepadu lain seperti krom dan mangan^[1].

Bijih nikel laterit kadar rendah jenis limonit dan bahkan lapisan penutup yang dikenal sebagai tudung besi (*iron caps*) memiliki kandungan nikel yang cukup memadai untuk menghasilkan baja bersifat unggul. Bijih limonit memiliki kandungan nikel 1,2-1,5% dan besi antara 30-40% bisa dilebur menjadi baja dengan kandungan nikel sekitar 3,0-4,5%. Sementara tudung besi dengan kandungan nikel antara 0,8-1,2% dan besi antara 40-45% bisa menghasilkan baja dengan kandungan nikel antara 1,8-3,0%^[2]. Perkiraan kandungan nikel dalam baja ini dihitung berdasarkan perkiraan bahwa seluruh kandungan besi dan nikel masuk ke dalam leburan baja. Perkiraan ini tidak sangat akurat tetapi dapat menjadi pemandu bagi kemungkinan kandungan

nikel di dalam baja. Dalam kenyataannya, kandungan nikel berkisar 3% sudah menjadi standar maksimal untuk berbagai jenis baja kekuatan tinggi, antara lain Weldom seri 900 sampai 1300 dari ASSAB^[3]. Kandungan krom dan mangan dapat diperoleh dari bijih maupun dengan penambahan unsur pepadu ferokrom dan feromangan.

Pengaruh Penambahan Unsur pada Baja

Unsur-unsur paduan ditambahkan untuk merubah sifat atau efektivitas baja.

Karbon (C)

Kehadiran karbon dalam besi diperlukan untuk membuat baja. Karbon penting untuk pembentukan sementit serta karbida lainnya dan pembentukan perlit, sferoidit, bainit, martensit dan besi – karbon. Kekerasan baja akan meningkat dengan penambahan lebih banyak karbon, sampai sekitar 0,65 %. Ketahanan aus dapat ditingkatkan sampai sekitar 1,5 %. Di luar jumlah ini, kenaikan karbon mengurangi ketangguhan dan meningkatkan kerapuhan^[4].

Mangan (Mn)

Baja karbon dapat mengandung unsur Mn sampai dengan 0,8%, yang sengaja ditambahkan ke dalam cairan untuk tujuan deoksidasi dan khususnya sebagai pengikat unsur belerang (S). Pada temperatur kamar, besi α mampu melarutkan unsur Mn sampai dengan 10%, dengan demikian kandungan Mn yang kecil tidak akan memunculkan fasa-fasa yang khusus pada struktur mikro baja karbon, kecuali mangan sulfida (MnS)^[5]. Sebagian dari Mn akan bersenyawa dengan sementit (Fe₃C) dan membentuk karbida besi mangan (Fe, Mn)₃C yang pada proses pemanasan akan sangat cepat terurai ke dalam austenit (γ) sehingga kristal campuran γ akan memuai tanpa dapat dicegah^[5]. Baja dengan kandungan Mn lebih tinggi akan sangat sensitif terhadap perlakuan pemanasan serta cenderung

memiliki butiran-butiran yang kasar. Suatu karakter khas dari baja paduan Mn tinggi adalah strukturnya yang berserat. Serat-serat ini terjadi karena Mn memiliki kemampuan reaksi yang tinggi dengan berbagai unsur nonmetalik menjadi MnO, MnS, MnO.SiO₂ dan (MnO)₂.SiO₂ yang terbentuk sebagai serat-serat memanjang^[4]. Juga akibat dari persenyawaannya dengan unsur belerang (S) menjadi mangan sulfida (MnS) yang memiliki temperatur lebur yang tinggi.

Mn juga terdapat dalam setiap baja tapi kandungannya kecil, namun baru dapat dikatakan unsur paduan jika kadarnya lebih dari 0,6 %. Semakin tinggi kadar Mn, semakin turun temperatur γ - α , sehingga baja dengan kadar Mn 1,2 % pada temperatur kamar masih berstruktur austenit. Kadar Mn yang kecil dapat meningkatkan kekuatan ferit, meningkatkan kekerasan dan menurunkan kecepatan pendinginan kritis. Oleh sebab itu baja dengan kadar Mn 1,0 sampai 1,2 % sudah dapat dikeraskan dengan pendinginan kejut oli^[4].

Khrom (Cr)

Kromium memiliki pengaruh yang hampir sama dengan mangan yaitu meningkatkan ketangguhan, kemampuan untuk dikeraskan dan tahan terhadap temperatur tinggi. Salah satu pengaruh yang sangat signifikan dengan penambahan krom pada baja adalah meningkatkan ketahanan korosi^[4]. Kromium berperan dalam pembentukan karbida. Senyawa karbida ini sangat keras dan dengan sendirinya kekerasan baja akan meningkat. Adanya senyawa karbida ini menyebabkan besi juga tahan aus. Kromium juga menyebabkan baja memiliki struktur butiran yang lebih halus, dan kromium juga menyebabkan turunnya kecepatan pendinginan kritis yang sangat besar.

Kadar kromium di dalam besi mulai dari 1,5% dan dikeraskan dalam oli^[5].

Nikel (Ni)

Nikel meningkatkan kekuatan ferit, sehingga meningkatkan kekuatan baja. Digunakan pada baja paduan rendah untuk meningkatkan ketangguhan dan kekerasannya. Ni menurunkan temperatur γ - α dengan cepat. Ni juga cenderung membantu mengurangi distorsi dan retak selama pendinginan pada proses perlakuan panas^[5].

Silikon (Si)

Silikon digunakan sebagai deoksidiser dalam pembuatan baja. Penambahan Si sedikit meningkatkan kekuatan ferit dan ketika digunakan bersama dengan paduan lainnya dapat membantu meningkatkan ketangguhan dan penetrasi kekerasan^[4].

PROSEDUR PERCOBAAN

Karakterisasi bahan baku dan hasil proses dilakukan dengan menggunakan peralatan uji sebagai berikut :

- Komposisi kimia menggunakan Spectrometer ARL- 3460
- Pengujian tarik menggunakan alat uji tarik UPM-1000
- Pengujian kekerasan dengan metoda Brinell (HB-30)



Gambar 1. Cetakan pasir CO₂ proses yang digunakan dalam pengecoran dan coran baja paduan sintetis

Bahan baku yang disiapkan, antara lain :

- Skrap baja karbon rendah(*mild steel*)

Sebelum dimulai proses peleburan, komposisi bahan baku skrap baja dianalisa untuk memudahkan perhitungan *material balance* komposisi target yang diinginkan.

Tabel 1 menunjukkan komposisi kimia skrap baja yang digunakan pada percobaan ini.

Tabel 1. Komposisi kimia skrap baja

Unsur	C	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Fe
% berat	0,025	0,017	0,025	0,033	0,2	0,15	0,03	Bal

- *Master alloy* : Fe-Ni, Fe-Cr dan Fe-Mn

Tabel 2. Komposisi kimia feronikel^[6]

Unsur	Ni	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Co	Sn	Fe
% berat	16 >	3 <	5 <	0,3 <	0,05 <	0,03 <	2,5 <	0,10 <	Ni x 0,05	0,01 <	Bal

Tabel 3. Komposisi kimia ferokrom^[7]

Unsur	C	Cr	P	S	Si	Fe
Karbon Tinggi	6 – 9%	60-72%	0,045% maks	0,05% maks	-	Bal
Karbon Medium	2%	60%	0,04% maks	0,01% maks	-	Bal
Karbon Rendah	0,2% maks	60% min.	0,04% maks	0,01% maks	1,5% maks	Bal

Tabel 4. Komposisi kimia feromangan^[7]

Unsur	C	Mn	P	S	Si	Fe
Karbon Tinggi	8%	70-80%	0,45% maks	0,1% maks	2% maks	Bal
Karbon Medium	1,5% maks	75-80%	0,25% maks	0,03% maks	2% maks	Bal
Karbon Rendah	0,5% maks	80% min	0,05% maks	0,04% maks	1,0% maks	Bal

- *Slag removal*

Tabel 5. Komposisi kimia *slag remover*^[8]

Unsur	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
% berat	72-74	11-14	0,5-0,8	0,15-0,8	0,05-0,22	4,6-5,6	2,9-4,5

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 6 menunjukkan komposisi kimia dari baja sintetis paduan A sampai dengan paduan D hasil cor, sedangkan sifat mekanik dari baja sintetis paduan tersebut ditunjukkan dalam Tabel 7

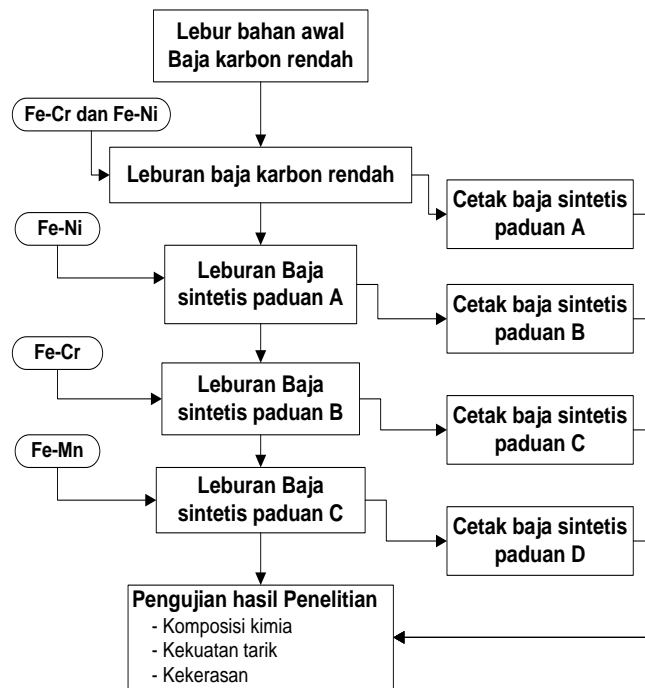
Pengaruh Unsur (Ni, Cr dan Mn) terhadap Kekuatan Tarik

Berdasarkan data analisa kimia dan data hasil pengujian mekanis (Tabel 6 dan 7) kemudian diplot ke dalam grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 3, terlihat bahwa

kandungan unsur Ni dan Cr pada baja sintesis paduan B (masing-masing 0,424% berat Cr dan 3,345% berat Ni) lebih besar dibanding pada baja sintesis paduan A (masing-masing 0,156% berat Cr dan 0,1% berat Ni), hal ini mengakibatkan naiknya

kekuatan luluh mencapai $338,6\text{N/mm}^2$. Naiknya kekuatan luluh menunjukkan batas elastisitas pada baja sintesis paduan B lebih tinggi (sifat ketangguhannya meningkat).

Proses Peleburan dan Pemuatan



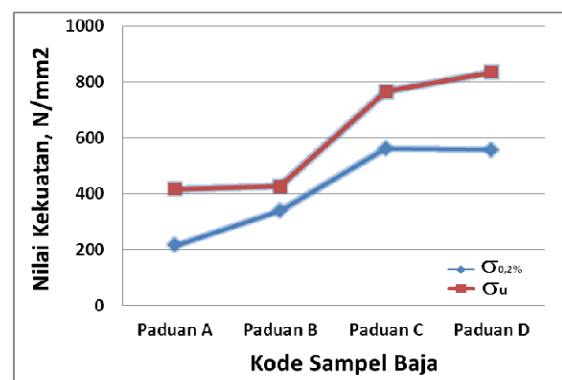
Gambar 2. Diagram alir penelitian pembuatan baja sintesis berbasis laterit

Tabel 6. Komposisi kimia baja sintesis paduan

Baja sintesis	Komposisi kimia baja sintesis (% berat)					
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Fe
Paduan A	0,112	0,228	0,448	0,156	0,1	Bal
Paduan B	0,107	0,199	0,421	0,424	3,345	Bal
Paduan C	0,102	0,188	0,424	0,96	3,48	Bal
Paduan D	0,106	0,164	0,83	0,97	3,605	Bal

Tabel 7. Data uji tarik dan kekerasan baja sintesis

Baja Sintesis	σ_y N/mm ²	σ_u N/mm ²	e %	HB-30
Paduan A	216,6	417	16	117,5
Paduan B	338,6	427	8	190,06
Paduan C	561,6	765	12	309,14
Paduan D	556,2	834	10	358,38



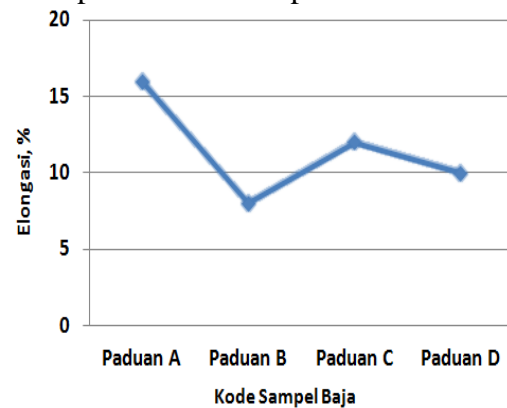
Gambar 3. Perubahan kekuatan tarik dan kekuatan luluh baja sintesis paduan berbasis laterit

Seiring dengan penambahan kandungan unsur Cr menjadi 0,96 % berat pada baja paduan (Tabel 6), terlihat bahwa terjadi peningkatan sifat ketangguhan dan kekerasan. Hal tersebut ditunjukkan pada perubahan sifat mekanik baja sintesis paduan C, dimana kekuatan tarik maksimum dan kekuatan luluh meningkat menjadi 765 N/mm² dan 561,6 N/mm² (Tabel 7). Peningkatan kandungan unsur Mn sejumlah 0,83% pada baja paduan ternyata berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan tarik maksimum (834 N/mm²) dan kekuatan luluh (556,2 N/mm²) untuk baja paduan sintesis D seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7. Baja jenis ini mempunyai sifat tangguh dan keras. Kekerasan yang tinggi ini disebabkan karena sebagian dari Mn akan bersenyawa dengan sementit (Fe₃C) dan membentuk karbida besi mangan (Fe, Mn)₃C. Karbida-karbida inilah yang dimungkinkan menjadi penghalang bagi pergerakan dislokasi sehingga baja sintesis paduan D memiliki area pengerasan regangan (*strain hardening*) yang lebih besar atau kekuatan luluh yang lebih tinggi dibandingkan ketiga baja sintesis paduan lainnya.

Pengaruh Unsur (Ni, Cr dan Mn) Terhadap Persen Elongasi

Gambar 4 menunjukkan grafik perubahan elongasi pada baja sintesis paduan seperti yang telah ditunjukkan pada Tabel 7. Baja sintesis paduan A memiliki sifat mekanik paling rendah dibandingkan dengan baja sintesis paduan lainnya kecuali elongasinya yang paling tinggi mencapai 16%. Hal ini menunjukkan bahwa baja sintesis paduan A memiliki keuletan paling tinggi. Dengan naiknya kandungan unsur Ni dan Cr (masing-masing 0,424 % berat Ni dan 3,345 % berat Cr), keuletan pada baja sintesis paduan menurun cukup besar mencapai 8%. Penurunan elongasi yang sangat signifikan ini terjadi pada baja sintesis paduan B (Tabel 7). Kemudian dengan meningkatnya penambahan Cr dan Ni sebesar 0,96 % berat dan 3,48 % berat,

terjadi peningkatan elongasi pada baja sintesis paduan C mencapai 12%.



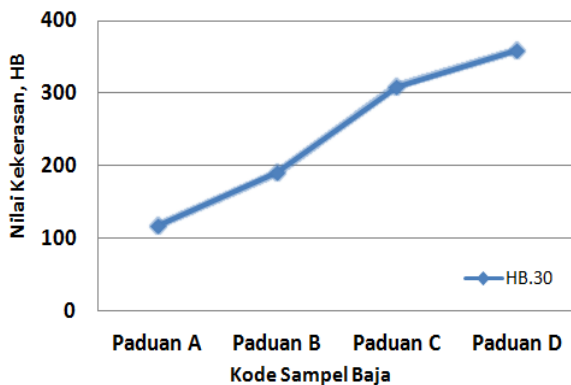
Gambar 4. Perubahan elongasi baja sintesis paduan berbasis laterit

Akan tetapi pada penambahan kandungan unsur Mn sebesar 0,83 % berat pada komposisi 0,97 % berat Cr dan 3,605 % berat Ni, keuletan baja paduan sintesis tersebut sedikit menurun dengan elongasi hanya mencapai 10% (Tabel 7).

Pengaruh unsur (Ni, Cr dan Mn) terhadap Kekerasan

Gambar 5 menunjukkan grafik harga kekerasan dari baja paduan sintesis berbasis laterit setelah penambahan Cr, Ni dan Mn (Tabel 6). Pada grafik tersebut terlihat bahwa kekerasan baja sintesis paduan cenderung meningkat secara linier dengan penambahan unsur Ni, Cr dan Mn. Nilai kekerasan paling rendah dihasilkan oleh baja sintesis paduan A sebesar 117,5 BHN. Dengan meningkatnya penambahan unsur Cr menjadi 0,424% berat dan 3,345% berat Ni, terjadi peningkatan harga kekerasan mencapai 190,06 BHN seperti yang ditunjukkan pada baja sintesis paduan B (Gambar 5). Kenaikan nilai kekerasan pada baja sintesis paduan C lebih tinggi lagi mencapai 309,14 BHN dengan penambahan 0,96% berat Cr. Peningkatan harga kekerasan yang sangat signifikan dihasilkan oleh paduan baja sintesis D sebesar 358,38 BHN setelah penambahan Mn sebesar 0,83% berat. Meningkatnya nilai kekerasan baik yang ditambahkan

unsur Cr maupun Mn, karena kedua unsur tersebut dimungkinkan membentuk karbida besi, seperti $(Fe, Cr)_3C$ dan $(Fe, Mn)_3C$.



Gambar 5. Perubahan kekerasan baja sintetis paduan berbasis laterit

KESIMPULAN

Hasil studi penelitian dalam pembuatan baja sintetis paduan berbasis laterit (0,1% berat C dan 0,1-0,2% berat Si) dengan menambahkan unsur Cr, Ni dan Mn secara bervariasi dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Pada komposisi Mn 0,4% berat; Cr 0,1-0,9% berat dan Ni 0,1 & 3% berat, terjadi peningkatan yang sangat signifikan pada sifat mekanik baja paduan sintetis, akan tetapi diiringi dengan penurunan keuletan (*ductility*). Sifat mekanik tertinggi diperoleh pada baja sintetis paduan C yaitu $\sigma_y = 561,6 \text{ N/mm}^2$; $\sigma_u = 765 \text{ N/mm}^2$; $e = 12\%$ dan harga kekerasan sebesar 309,14 BHN.
- Penambahan Mn 0,83% berat; dengan komposisi Cr 0,97% berat dan Ni 3,6% berat menghasilkan $\sigma_y = 556,2 \text{ N/mm}^2$; $\sigma_u = 834 \text{ N/mm}^2$; $e = 10\%$ dan harga kekerasan sebesar 358,38 BHN pada baja sintetis paduan D.
- Peningkatan sifat mekanik dihasilkan dengan terbentuknya karbida $(Fe, Mn)_3C$ dan $(Fe, Cr)_3C$ dalam baja paduan sintetis berbasis laterit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yusuf. 2008., „Pembuatan Besi Nugget dari Pasir Besi dan Bijih Besi Laterit”. *Majalah Metalurgi*.: Vol. 23 No. 2.
- [2] Prasetyo, P. Arif, A. 201., „Potensi Limonit Indonesia untuk Bahan Baku Besi/Baja pada masa mendatang”. *Seminar SEASI*. Krakatau Steel, Cilegon.
- [3] ASSAB. 2012., „Weldox High Strength Steel”. Data Sheet, Version 15 Nov 2012., UK.
- [4] Higgins, R.A, Edward Arnold. 1993. „Engineering Metallurgy” : Part 1 Applied Physical Metallurgy. <http://www.globalmetals.com.au>
- [5] G.E. Dieter. 2000., „Mechanical Metallurgy”. *McGrawHill, 3rd Ed.* Courtney, T. H. Mechanical Behavior of Materials. Boston, McGraw-Hill.
- [6] Sumitomo Metal Mining C., Ltd., Ferronickel. <http://www.smm.co.jp/business/refining/product/fnickel>. Diakses tanggal 16 September 2013.
- [7] Asmet Source of Strength, Ferro Alloys. <http://www.asmet.com/products/ferr-o-alloys>. Diakses tanggal 7 Oktober 2013
- [8] Slag Removal Agent, Qingdao FSK Foundry Materials Co., Ltd. http://www.fusaikecasting.com/product/_yibanzhuzaocailiao/index.htm. Diakses tanggal 21 Oktober 2013.

