



P-ISSN 0126-3188  
E-ISSN 2443-3926

# METALURGI

MAJALAH ILMU DAN TEKNOLOGI

---

VOLUME 34 Nomor 1, APRIL 2019

AKREDITASI JURNAL ILMIAH NO. 21/E/KPT/2018

---

Karakteristik Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Total Knee Joint dari Paduan Co-26Cr-6Mo-0,18N Hasil Pengerjaan Panas

---

Pengaruh Kecepatan Pengelasan terhadap Sifat Mekanik Sambungan Paduan 5052-H32 pada Proses Friction Stir Welding

---

Failure of a Heat Exchanger Return Bend Due to Long-Term Localized Overheating

---

Deposisi Lapisan Fe-Si-Al-Mg pada Carbon Steel dengan Teknik Pemaduan Mekanik

---

Pemanfaatan Limbah Industri Baja: Peleburan Mill Scale Menggunakan Submerged Arc Furnace

---

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material  
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia





# METALURGI

VOLUME 34 NOMOR 1, APRIL 2019  
P-ISSN 0126-3188  
E-ISSN 2443-3926

**AKREDITASI : SK No. 3/E/KPT/2019**

**Penanggung Jawab :**

Kapuslit Metalurgi dan Material – LIPI

**Ketua Dewan Redaksi :**

Dr. Ika Kartika, M.T, P2MM - LIPI

**Dewan Editor :**

Prof. Dr. Ir. F. Firdiyono (P2MM – LIPI)

Dr. Ir. Rudi Subagja (P2MM - LIPI)

Prof. Dr. Ir. Rochim Suratman (ITB)

Prof. Dr. Ir. Akhmad Herman Yuwono,  
M.Phil. Eng (UI)

Dr. I Nyoman Jujur, M.Eng (BPPT)

**Mitra Bestari :**

Dr. Anawati, M.Sc (Fakultas MIPA,  
Universitas Indonesia)

Dr. Witha Berlian Kesuma Putri S.Si, M.Si  
(Pusat Penelitian Fisika – LIPI)

Dr. Yulianti Herbani, M.Sc (Pusat Penelitian  
Fisika - LIPI)

Dr. M. Zaki Mubarak (Teknik Metalurgi,  
Institut Teknologi Bandung)

Dr. Asep Ridwan S. (Teknik Mesin, Institut  
Teknologi Bandung)

Alfirano, ST, MT, Ph.D (Teknik Metalurgi,  
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa)

Nofrijon Sofyan, Ph. D (Fakultas Teknik,  
Universitas Indonesia)

Ir. Soesaptri Oediyani, ME (Teknik  
Metalurgi, Universitas Sultan Ageng  
Tirtayasa)

Timotius Pasang (Auckland University of  
Technology, New Zealand)

**Redaksi :**

Lia Andriyah, M.Si

Tri Arini, M.T

**Disain Grafis :**

Nadia Natasha, M.Si

Arif Nurhakim, M.A

**Website :**

Daniel Panghuhutan, M.Si

Adi Noer Syahid, A.Md

M. Satrio Utomo, M.Sc

**Sekretariat dan Penerbit :**

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material –  
LIPI Ged. 470, Kawasan Puspiptek Serpong,  
Tangerang Selatan, 15314

Telp: (021) 7560911

**E-mail:**

[ejurnal.material.metalurgi@gmail.com](mailto:ejurnal.material.metalurgi@gmail.com)

Majalah ilmu dan teknologi terbit berkala setiap  
tahun. satu volume terdiri atas 3 nomor

Pengantar Redaksi.....iii

Abstrak.....v

**Karakteristik Sifat Mekanik dan Struktur  
Mikro Total Knee Joint dari Paduan Co-26Cr-  
6Mo-0,18N Hasil Pengerjaan panas**

I Nyoman Gede Putrayasa Astawa, dkk.....1-8

**Pengaruh Kecepatan Pengelasan terhadap Sifat  
Mekanik Sambungan Aluminium Paduan 5052  
pada Proses Friction Stir Welding**

Tarmizi, dkk .....9-18

**Failure of Heat Exchanger Return Bend Due to  
Long-Term Localized Overheating**

Dewa Nyoman Adnyana.....19-30

**Deposisi Lapisan Fe-Si-Al-Mg pada Baja Karbon  
dengan Teknik Pemasukan Mekanik**

Lusita, dkk.....31-36

**Pemanfaatan Limbah Industri Baja Sebagai  
Bahan Baku Pembuatan Logam Pig Iron :  
Peleburan Mill Scale Menggunakan Submerged  
Arc Furnace**

Fajar Nurjaman, dkk.....37-48

**Indeks**



## **PENGANTAR REDAKSI**

Puji syukur Majalah Metalurgi Volume 34 Nomor 1, April 2019 kali ini dapat menampilkan 5 buah tulisan.

Tulisan pertama merupakan hasil kegiatan penelitian yang disampaikan oleh I Nyoman Gede Putrayasa Astawa mengenai Karakteristik Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Total Knee Joint dari Paduan Co-26Cr-6Mo-0,18N Hasil Pengerjaan Panas. Tulisan selanjutnya adalah hasil penelitian Tarmizi dan kawan-kawan tentang Pengaruh Kecepatan Pengelasan terhadap Sifat Mekanik Sambungan Aluminium Paduan 5052-H32 pada Proses *Friction Stir Welding*. Tulisan selanjutnya oleh Dewa Nyoman Adnyana tentang *Failure of Heat Exchanger Return Band Due to Long-Term Localized Overheating*. Kemudian, Lusita dan kawan-kawan menulis tentang Deposisi Lapisan Fe-Si-Al-Mg pada Baja Karbon dengan Teknik Pemaduan Mekanik. Selanjutnya Fajar Nurjaman dan kawan kawan mempublikasikan hasil penelitiannya mengenai Pemanfaatan Limbah Industri Baja Sebagai Bahan Baku Pembuatan Logam *Pig Iron* : Peleburan *Mill Scale* Menggunakan *Submerge Arc Furnace*.

Semoga penerbitan Majalah Metalurgi volume ini dapat bermanfaat bagi perkembangan dunia penelitian di Indonesia.

**REDAKSI**



## METALURGI (Metallurgy)

ISSN 0126 – 3188

Vol 34 No. 1 April 2019

Kata Kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh diperbanyak tanpa izin dan biaya.

UDC (OXDCF) 621.34

I Nyoman Gede Putrayasa A<sup>a</sup>, Ika Kartika<sup>a</sup>, Fendy Rokhmanto<sup>a</sup>, Ibrahim Purawardi<sup>a</sup>, Jessica Natalia<sup>b</sup>, Ali Alhamidi<sup>b</sup>  
(<sup>a</sup>Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI, <sup>b</sup>Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa)

Karakteristik Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Total Knee Joint dari Paduan Co-26Cr-6Mo-0,18N Hasil Pengerjaan Panas

Metalurgi, Vol. 34 No. 1 April 2019

Material paduan yang digunakan untuk penggantian implan pada lutut memerlukan sifat mekanis yang baik seperti ketahanan aus, kekuatan dan ketangguhan yang tinggi. Hal ini dikarenakan lutut merupakan bagian yang vital dimana bagian ini sering mengalami beban dinamis, sehingga harus memiliki kekerasan dan kekuatan yang tinggi untuk menahan beban dari berat badan manusia. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik struktur mikro yang terbentuk dan nilai kekerasan pada paduan Co-Cr-Mo yang mengandung presipitat untuk digunakan sebagai material paduan dari *total knee joint*. Paduan Co-26Cr-6Mo-0,18N dan Co-26Cr-6Mo dalam bentuk *as-cast* dihomogenisasi pada temperatur 1200 °C selama 12 jam, setelah itu dilakukan *hot rolling* pada temperatur 1200 °C dengan waktu tahan 90 menit dan persen reduksi sebesar 50%, diakhiri pendinginan dengan variasi media pendingin air es, air dan udara. Pengujian kekerasan, XRD (*x-ray diffraction*), pengamatan SEM-EDS (*scanning electron microscopy-energy dispersive spectroscopy*) dilakukan untuk mengetahui karakteristik struktur mikro dan kekerasan paduan setelah proses dilakukan. Hasil studi menunjukkan nilai kekerasan paling tinggi diperoleh dengan media pendingin air es yaitu 51 HRC dan 61,8 HRC, sementara nilai kekerasan terendah diperoleh pada proses pendinginan dengan udara sebesar 42,9 HRC dan 49,9 HRC. Presipitat  $M_{23}X_6$  yang terbentuk meningkatkan kekerasan paduan Co-26Cr-6Mo-0,18N. Presipitat  $M_{23}X_6$  yang terbentuk dapat ditekan dengan cara menambahkan unsur N.

*Kata Kunci: Paduan Co-26Cr-6Mo-0,18N, paduan Co-26Cr-6Mo, presipitat  $M_{23}X_6$*

*The Characteristics of Mechanical Properties and Microstructures on Hot-treated Co-26Cr-6Mo-0.18N Alloys for Total Knee Joint Application*

*Replacement of implant material on knee bones requires some mechanical properties that match with human bones such as wear resistance, high strength, and toughness. The knee joint is a vital part where this part often has a dynamic load, so it needs high hardness and strength to bear the burden of the human body weight. This research aim is to investigate the characteristic of the microstructure and the hardness of Co-Cr-Mo alloy, which consist of precipitates for total knee joint application. As-cast Co-26Cr-6Mo-0.18N and Co-26Cr-6Mo were homogenized at 1200°C for 12 hours, followed by hot rolling at 1200°C (90 minutes) and a 50 percent reduction, and then cooling with a variety of cooling media such as ice water, water, and air. After that, several tests were performed to find out the changes in the microstructure and the resulting hardness values through hardness testing, XRD, SEM-EDS observation, and optical microscopy. The results showed that the highest hardness (51 HRC and 61.8 HRC) is obtained when cold-water quenching applied. However, the lowest hardness (42.9 HRC and 49.9 HRC) is conducted using air cooling (aging). The appearance of  $M_{23}X_6$  precipitates increases the hardness of Co-26Cr-6Mo-0.18N alloy. Its precipitates can be decreased by adding N.*

*Keywords: Co-26Cr-6Mo-0.18N alloy, Co-26Cr-6Mo alloy,  $M_{23}X_6$  precipitates*

**METALURGI**  
**(Metallurgy)**

ISSN 0126 – 3188

Vol 34 No. 1 April 2019

Kata Kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh diperbanyak tanpa izin dan biaya.

UDC (OXDCF) 620.112

Tarmizi<sup>a</sup>, Robi Farid Abdurachman Wahid<sup>b</sup>, Irfan<sup>a</sup> (<sup>a</sup>Balai Besar Logam dan Mesin-Kemenperin, <sup>b</sup>Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani)

Pengaruh Kecepatan Pengelasan terhadap Sifat Mekanik Sambungan Aluminium Paduan 5052 pada Proses Friction Stir Welding

Metalurgi, Vol 34 No. 1 April 2019

Salah satu penyebab terjadinya cacat pada las aduk gesek adalah kecepatan pengelasan yang kurang tepat yang akan menyebabkan timbulnya cacat pada sambungan logam. Penelitian las aduk gesek dengan variasi kecepatan pengelasan ini dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian ini dilakukan menggunakan material pelat aluminium 5052-H32 dengan tebal 10 mm dan putaran perkakas konstan 1500 rpm. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan kecepatan pengelasan 38, 64, dan 83 (mm/min) dengan tool silinder ulir *counter* searah jarum jam menghasilkan cacat *tunnel* yang cukup besar sepanjang garis sambung sedangkan pada penggunaan perkakas silinder ulir *counter* searah jarum jam dengan kecepatan pengelasan 22 mm/min menghasilkan sambungan dengan cacat yang lebih kecil sepanjang garis sambungan. Seluruh percobaan menghasilkan cacat *flash* dan masih bisa diterima sesuai standar AWS D17.3. Secara kualitatif semakin tinggi kecepatan pengelasan maka cacat yang dihasilkan semakin besar.

*Kata Kunci: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, las aduk gesek, kecepatan pengelasan, perkakas, aluminium 5052-H32*

*Effect of Welding Speed to Mechanical Properties on Friction Stir Welding of Aluminum 5052-H32*

*One of the causes of FSW (friction stir welding) defects is improper welding speed, which will cause void defects in metal joints. FSW research with welding speed variations is done to overcome these problems. This study was conducted using aluminum plate 5052-H32 with a thickness of 10 mm and a constant tool rotation of 1500 rpm. In the current research show that the use of welding speed 38, 64, and 83 (mm / min) with clockwise threaded cylinder tool produce a large tunnel defect along the joint line. In the use of the counterclockwise threaded cylinder tool with welding speed 22 mm/min resulted in connection with smaller voids along the joint line. All experimental results produce flash defects, which are still in AWS D17.3 standards. Increasing welding speed qualitatively provide more significant defect.*

*Keywords: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, friction stir welding, welding speed, tool, aluminum 5052-H32*

**METALURGI**  
**(Metallurgy)**

ISSN 0126 – 3188

Vol 34 No. 1 April 2019

Kata Kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh diperbanyak tanpa izin dan biaya.

UDC (OXDCF) 546.3

Dewa Nyoman Adnyana (Department of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology the National Institute of Science and Technology (ISTN))

Kerusakan pada Pipa Belokan U Alat Penukar Kalor akibat Panas Berlebih secara Lokal dalam Jangka Panjang

Metalurgi, Vol 34 No. 1 April 2019

Tulisan ini menyajikan penelitian yang dilakukan pada sebuah belokan pipa U (*return bend*) pada sebuah alat penukar kalor yang mengalami kerusakan (pecah) setelah beroperasi hanya dalam waktu 2,5 tahun. Alat penukar kalor tersebut digunakan untuk memindahkan panas dari gas panas hasil pembakaran pada sisi bejana/tabung ke dalam bahan baku minyak (*feedstock oil*) pada sisi pipa. Material belokan pipa U tersebut dibuat dari baja karbon dengan standar ASTM A-234 Gr.WPB, memiliki diameter 2 inch dan tebal SCH 80. Penelitian berupa observasi dan pengujian metalurgi dilaksanakan dengan menyiapkan sejumlah sampel material dari belokan pipa U, baik yang sudah pecah maupun yang tidak pecah. Pengujian yang dilakukan meliputi uji visual dan makro, analisa kimia, uji metalografi, uji kekerasan dengan metoda Vickers dan SEM (*scanning electron microscopy*) - EDS (*energy dispersive spectroscopy*). Hasil pengujian metalurgi menunjukkan bahwa pipa belokan U yang pecah mengalami kerusakan akibat beban berlebih yang dipengaruhi oleh *local hot spot* atau panas berlebih secara lokal dalam jangka panjang (*long-term localized overheating*). Akibatnya, tegangan yang bekerja pada dinding belokan pipa U mengalami peningkatan yang sangat signifikan sehingga pada akhirnya tekanan operasi yang terjadi pada bahan baku minyak di dalam pipa dapat merobek atau memecahkan bagian dinding belokan pipa U tersebut.

*Kata Kunci: Baja karbon standar ASTM A-234 Gr.WPB, belokan pipa U, alat penukar kalor*

*Failure of Heat Exchanger Return Bend Due to Long-Term Localized Overheating*

*This paper presents a metallurgical assessment performed on a return bend of a heat exchanger that had failed due to bursting after it had been only about 2.5 years in service. The heat exchanger was used to transfer heat from hot combustion gas on the shell side to the feedstock oil on the tube side. The return bend material was made of standard wrought carbon steel of ASTM A-234 Gr.WPB, having a diameter of 2 inches and wall thickness of SCH 80. The metallurgical assessment was conducted by preparing several specimens from the as-received burst and unburst return bends. Various laboratory examinations performed including visual and macroscopic examination, chemical analysis, metallographic examination, hardness testing by Vickers method, and SEM (scanning electron microscopy) equipped with EDS (energy-dispersive spectroscopy) analysis. Results of the metallurgical assessment obtained showed that the burst return bend had been experiencing fracture overload due to a local hot spot or long-term localized overheating occurred on the outer bend external surface. Consequently, the hoop stress at the outer bend section had been increasing significantly and eventually, the working pressure of the feedstock oil on the tube side could burst the return bend wall thereon.*

*Keywords: Carbon steel of ASTM A-234 Gr. WPB, return bend, heat exchanger*



**METALURGI**  
**(Metallurgy)**

ISSN 0126 – 3188

Vol 34 No. 1 April 2019

Kata Kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh diperbanyak tanpa izin dan biaya.

UDC (OXDCF) 669.1

Lusita<sup>b</sup>, Riser Fahdiran<sup>b</sup>, Toto Sudiro<sup>a</sup>, Bambang Hermanto<sup>a</sup> (<sup>a</sup>Pusat Penelitian Fisika – LIPI, <sup>b</sup>Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Jakarta)

Deposisi Lapisan Fe-Si-Al-Mg pada Baja Karbon dengan Teknik Pemaduan Mekanik

Metalurgi, Vol 34 No. 1 April 2019

Lapisan Fe-Si-Al-Mg dengan variasi berat ferro silikon, Mg dan Al yaitu 50(Fe-Si)-37,5Al-12,5Mg, 50(Fe-Si)-25Al-25Mg, dan 50(Fe-Si)-12,5Al-37,5Mg telah dipreparasi pada substrat baja karbon rendah dengan menggunakan teknik pemaduan mekanik. Struktur dari lapisan Fe-Si-Al-Mg dipelajari menggunakan XRD (*x-ray diffraction*) untuk mengetahui fasa yang terbentuk dan OM (*optical microscopy*) untuk mengetahui ketebalan lapisan yang didapatkan. Hasil XRD dan OM menunjukkan bahwa lapisan Fe-Si-Al-Mg telah berhasil dideposisikan pada substrat baja karbon rendah. Lapisan Fe-Si-Al-Mg yang terbentuk memiliki fasa intermetalik FeSi<sub>2</sub>, Mg<sub>2</sub>Si dan Al<sub>0,7</sub>Fe<sub>3</sub>Si<sub>0,47</sub>. Setiap komposisi menunjukkan ketebalan lapisan yang berbeda. Ketebalan lapisan cenderung menurun dengan meningkatnya konsentrasi magnesium dan berkurangnya konsentrasi aluminium.

*Kata Kunci: Lapisan Fe-Si-Al-Mg, pemaduan mekanik, fasa intermetalik*

*Deposition of Fe-Si-Al-Mg Coatings Using Mechanical Alloying Technique*

*Fe-Si-Al-Mg coatings by weight variation of ferrosilicon, Mg, and Al as 50(Fe-Si)-37.5Al-12.5Mg, 50(Fe-Si)-25Al-25Mg, and 50(Fe-Si)-12.5Al-37.5Mg have been prepared on low carbon steel substrate using the mechanical alloying technique. The coatings were studied using XRD (x-ray diffractometer) to comprehend the phase formed on the substrate and OM (optical microscopy) to measure the coating thickness. Based on XRD and OM characterization, Fe-Si-Al-Mg coatings were successfully deposited on the low carbon steel substrate. Fe-Si-Al-Mg layers are composed by intermetallic phases of FeSi<sub>2</sub>, Mg<sub>2</sub>Si, and Al<sub>0,7</sub>Fe<sub>3</sub>Si<sub>0,47</sub>. Each composition shows different coating thickness that tends to decrease with the increase of magnesium concentration and the reduction of aluminum concentration.*

*Keywords: Fe-Si-Al-Mg layer, mechanical alloying, intermetallic phase*

## METALURGI (Metallurgy)

ISSN 0126 – 3188

Vol 34 No. 1 April 2019

Kata Kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh diperbanyak tanpa izin dan biaya.

UDC (OXDCF) 620.16

Fajar Nurjaman<sup>a</sup>, Nurbaity Marsas Prilitasari<sup>a</sup>, Arif Eko Prasetyo<sup>b</sup>, Eko Nugroho<sup>b</sup> (<sup>a</sup>Balai Penelitian Teknologi Mineral – LIPI, <sup>b</sup>Universitas Muhammadiyah Metro)

Pemanfaatan Limbah Industri Baja sebagai Bahan Baku Pembuatan Logam Pig Iron : Peleburan Mill Scale Menggunakan Submerged Arc Furnace

Metalurgi, Vol 34 No. 1 April 2019

*Mill scale* merupakan limbah/produk samping dari industri baja yang mengandung senyawa besi oksida *hematite* ( $Fe_2O_3$ ), *magnetite* ( $Fe_3O_4$ ) dan *wustite* ( $FeO$ ). Telah dilakukan proses peleburan *mill scale* menjadi logam *pig iron* sebagai bahan baku sekunder untuk pembuatan material baja. Sebanyak 30 kg *mill scale* digerus hingga berukuran -40 mesh, kemudian dilakukan proses pencampuran dengan menambahkan batu bara (reduktor internal) sebanyak 0-6 kg dan *bentonite* (perekat) sebanyak 2% berat (0,6 kg) untuk selanjutnya dilakukan proses aglomerasi menggunakan mesin briket. Sebanyak 30 kg briket komposit *mill scale* dilebur bersama dengan kokas (reduktor eksternal) sebanyak 7-8 kg dan batu kapur (material fluks) sebanyak 0-4,5 kg menggunakan *submerged arc furnace*. Proses peleburan berlangsung selama 45 menit dan temperatur penuangan logam cair 1450-1500 °C. Pengaruh penambahan batu bara dalam briket komposit, jumlah kokas dan batu kapur dalam proses peleburan *mill scale* telah dipelajari. Dari proses peleburan *mill scale* diperoleh kondisi optimum, yaitu konsumsi energi spesifik sebesar 3,64 kWh/kg-produk, dengan menggunakan briket komposit *mill scale* dengan penambahan 0% batu bara dan penambahan batu kapur sebanyak 3 kg (10% berat) serta kokas sebanyak 7 kg (stoikiometri). Basisitas optimum pada proses peleburan *mill scale* adalah 1,0. Produk logam *pig iron* hasil peleburan *mill scale* dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai bahan baku pembuatan material besi tuang kelabu, putih dan mampup tempa.

*Kata Kunci: Mill scale, besi kasar, submerged arc furnace*

*Utilization of Steel Making Industrial Waste to Produce Pig Iron: Smelting Process of Mill Scale Using Submerged Arc Furnace*

*Mill scale is a by-product that resulted from the steel making industries containing iron oxides, such as hematite ( $Fe_2O_3$ ), magnetite ( $Fe_3O_4$ ) and wustite ( $FeO$ ). The smelting process of mill scale into pig iron as secondary raw material for the steel making process has conducted. A 30 Kg of mill scale which crushed into -40 mesh, 0-6 kg amount of coal (internal reductant) and 2 wt.% (0.6 kg) of bentonite (binder) were mixed homogeneously and agglomerated using briquette machine. The composite briquette had been smelting together with 7-8 kg of coke (external reductant) and 0-4.5 kg of limestone (flux) using submerged arc furnace. The smelting process was carried out for 45 minutes, and the pouring temperature was 1450-1500 °C. The study of coal addition in composite briquette, amount of cokes and limestone addition in the smelting process of mill scale has been investigated clearly. The optimum specified consumption energy of smelting process of mill scale was 3.64 kWh/kg product, resulted from the smelting of 30 kg of mill scale with 0% coal addition in composite briquette together with 3 kg (10 wt.%) lime stones and 7 kg of cokes (stoichiometric) addition. The optimum basicity for smelting a mill scale was 1.0. The pig iron which resulted from smelting the mill scale could promote as a raw material for producing grey cast iron, white cast iron, and malleable cast iron.*

*Keywords: Mill scale, pig iron, submerged arc furnace*

