



P-ISSN 0126-3188

E-ISSN 2443-3926

# METALURGI

MAJALAH ILMU DAN TEKNOLOGI

---

VOLUME 36 Nomor 3, DESEMBER 2021

AKREDITASI JURNAL ILMIAH NO.3/E/KPT/2019

---

*Fatigue Failure in a Longitudinal Welded Elbow  
of a Processing Vessel*

*Effect of Mo during the Oxidation Of Ni20Cr-XMo Alloys  
at 570°C*

*The Effect of Precipitation on Microstructure and Corrosion  
Behavior of Zk60 Subjected to Severe Plastic Deformation*

Produksi Besi dan Terak Titanium Kadar Tinggi dari Konsentrat  
Pasir Besi atau Titanomagnetit : Ulasan Literatur

Korosi yang Dipengaruhi Mikrobiologi dan Teknologi  
Pencegahannya di Industri Minyak dan Gas : *Review*

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material  
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia



# METALURGI

VOLUME 36 NOMOR 3, DESEMBER 2021

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

**Penanggung Jawab :**

Kapuslit Metalurgi dan Material – LIPI

**Ketua Dewan Redaksi :**

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

**Dewan Editor :**

Prof. Dr. Ir. F. Firdiyono (P2MM - LIPI)  
Prof. Dr. Ir. Rudi Subagja (P2MM - LIPI)  
Prof. Dr. Ir. Akhmad Herman Yuwono,  
M.Phil. Eng (Teknik Material Metalurgi-  
Universitas Indonesia)  
Dr. I Nyoman Jujur, M.Eng (PTM-BPPT)

**Mitra Bestari :**

Dr. Anawati, M.Sc (Fakultas MIPA,  
Universitas Indonesia)  
Dr. Yuliati Herbani, M.Sc (Pusat Penelitian  
Fisika - LIPI)  
Prof. Dr. mont. Mohammad Zaki Mubarak,  
S.T, M.T (Teknik Metalurgi-Institut  
Teknologi Bandung)  
Dr. Asep Ridwan S. (Teknik Mesin-Institut  
Teknologi Bandung)  
Nofrijon Sofyan, Ph. D (Teknik Material  
Metalurgi-Universitas Indonesia)  
Prof. Dr. Timotius Pasang (Oregon Institute  
of Technology, United State)

**Redaksi :**

Lia Andriyah, M.Si (P2MM- LIPI)  
Tri Arini, M.T (P2MM- LIPI)  
Nadia Natasha, M.Si(P2MM- LIPI)  
Galih Senopati, M.T (P2MM- LIPI)

**Disain Grafis :**

Andri Agus Rahman, A.Md (LIPI Press)  
Arif Nurhakim, M.A (PDDI LIPI)

**Website :**

Daniel Panghuhutan, M.Si (P2MM- LIPI)  
Adi Noer Syahid, A.Md (P2MM- LIPI)

**Sekretariat dan Penerbit :**

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material –  
LIPI Ged. 470, Kawasan Puspipstek Serpong,  
Tangerang Selatan, 15314  
Telp: (021) 7560911

E-mail: [jurnalmetalurgi@mail.lipi.go.id](mailto:jurnalmetalurgi@mail.lipi.go.id)

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

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

**Pengantar Redaksi.....xxii**

**Abstrak.....xxv**

**Fatigue Failure in a Longitudinal Welded  
Elbow of a Processing Vessel**

**Dewa Nvoman Adnyana.....93-102**

**Effect of Mo during the Oxidation of  
Ni20Cr-xMo Alloys at 570 °C**

**Resetiana Dwi Desiati, dkk.....103-108**

**The Effect of Precipitation on  
Microstructure and Corrosion Behavior of  
ZK60 Subjected to Severe Plastic  
Deformation**

**Muhammad Rifai, dkk.....109-118**

**Produksi Besi dan Terak Titanium Kadar  
Tinggi dari Konsentrat Pasir Besi atau  
Titanomagnetit: Ulasan Literatur**

**Safira Fitri, dkk .....119-133**

**Korosi yang dipengaruhi Mikrobiologi dan  
Teknologi Pencegahannya di Industri  
Minyak dan Gas: Review**

**Ahmad Royani, dkk.....135-150**

**Indeks**



## **PENGANTAR REDAKSI**

Puji syukur Majalah Metalurgi Volume 36 Nomor 3, Desember 2021 kali ini dapat menampilkan 5 buah tulisan.

Tulisan pertama merupakan hasil kegiatan penelitian yang disampaikan oleh Dewa Nyoman Adnyana mengenai *Fatigue Failure in a Longitudinal Welded Elbow of a Processing Vessel*. Tulisan kedua disampaikan oleh Resetiana Dwi Desiati dan kawan-kawan menampilkan topik *Effect of Mo during the Oxidation of Ni20Cr-xMo Alloys at 570 °C*. Untuk tulisan ketiga dengan penulis Muhammad Rifai dan kawan-kawan mengenai *The Effect of Precipitation on Microstructure and Corrosion Behaviour of ZK60 Subjected to Severe Plastic Deformation*. Tulisan selanjutnya memiliki topik Produksi Besi dan Terak Titanium Kadar Tinggi dari Konsentrat Pasir Besi atau Titanomagnetit: Ulasan Literatur yang dipaparkan oleh Safira Fitri dan kawan-kawan. Tulisan kelima, Ahmad Royani dan kawan-kawan menyampaikan topik Korosi yang Dipengaruhi Mikrobiologi dan Teknologi Pencegahannya di Industri Minyak dan Gas: *Review*.

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

**REDAKSI**



UDC (OXDCF) 669.722

Dewa Nyoman Adnyana (Department of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology, ISTN)

Kerusakan Fatik pada Belokan Pipa Las Longitudinal Sebuah Tanki Pemrosesan

Metalurgi, Vol. 36 No. 3 Desember 2021

Belokan (elbow) dengan las memanjang yang terbuat dari baja tahan karat austenitik tipe 316 dan digunakan sebagai saluran pembuangan (drain) pada bejana pengolahan telah mengalami kebocoran setelah baru beroperasi beberapa tahun. Fluida proses yang dikuras keluar dari bejana terdiri dari cairan asam lemak yang mengandung gas hidrogen pada suhu 150 °C dan tekanan 60 bar. Awalnya proses drain hanya dilakukan setahun sekali, namun belakangan karena seringnya terjadi perubahan jenis produk yang dibuat, frekuensi proses drain meningkat menjadi beberapa kali dalam sebulan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis dan faktor penyebab terjadinya kebocoran pada belokan. Asesmen metalurgi dilakukan dengan menyiapkan sejumlah benda uji dari belokan yang bocor. Sejumlah pemeriksaan laboratorium telah dilakukan meliputi uji visual dan makroskopik, analisis komposisi kimia, pemeriksaan metalografi, uji kekerasan dan SEM (scanning electron microscope) yang dilengkapi dengan analisis EDS (energy-dispersive spectroscope). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa belokan yang bocor tersebut telah mengalami kegagalan fatik akibat pembebanan siklik yang disebabkan oleh meningkatnya frekuensi jumlah proses drain yang dilakukan melalui belokan tersebut. Faktor penyebab kegagalan fatik pada belokan kemungkinan disebabkan oleh cacat las berupa bentuk tidak sempurna (imperfect shape) akibat tonjolan logam las (weld overlap) pada dinding bagian dalam belokan di sekitar HAZ (heat-affected zone)/batas fusi dan menimbulkan konsentrasi tegangan yang tinggi di daerah itu.

**Kata Kunci:** Belokan dengan las memanjang, kegagalan fatik, cacat las bentuk tidak sempurna, batas fusi, konsentrasi tegangan

*Fatigue Failure in a Longitudinal Welded Elbow of a Processing Vessel*

*Longitudinally welded elbow made of austenitic stainless steel type 316 and used as a drain line on a processing vessel had suffered damage (leakage) after it had only been in operation for a few years. Process fluid that was drained out of the vessel consists of fatty acid-containing hydrogen gas at a temperature of 150 °C and a pressure of 60 bar (g). Initially, the draining process was carried out only once a year, but recently due to frequent changes in the types of product being made, the frequency of the draining process has increased to several times a month. This study aims to determine the type and factors that have caused leakage in the elbow. The metallurgical assessment was carried out by preparing many specimens from the leaking elbow. A number of laboratory examinations were performed, including visual and macroscopic tests, chemical composition analysis, metallographic examination, hardness tests, and SEM (scanning electron microscope) equipped with EDS (energy-dispersive spectroscope) analysis. The results obtained indicate that the leaking elbow has experienced fatigue failure due to cyclic loadings caused by the increasing frequency of drain processes carried out through the elbow. The factor causing fatigue failure at the elbow is likely caused by welding defect due to poor shape (weld overlap) that formed on the inner wall of the elbow around the HAZ (heat-affected zone)/fusion boundary and causing high-stress concentrations in that area.*

**Keywords:** *Longitudinal welded elbow, fatigue failure, imperfect shape weld defect, HAZ (heat-affected zone)/fusion boundary, stress concentration*

UDC (OXDCF) 620.16

Resetiana Dwi Desiati<sup>a</sup>, Hubby Izzuddin<sup>a</sup>, Shigenari Hayashi<sup>b</sup> (<sup>a</sup>Research Center for Physics National Research and Innovation Agency Indonesia, <sup>b</sup> Division of Materials Science and Engineering Faculty of Engineering Hokkaido University Japan)

Efek dari Mo selama Oksidasi Paduan Ni20Cr-XMo pada 570 °C

Metalurgi, Vol. 36 No. 3 Desember 2021

Telah diinvestigasi efek penambahan Mo ketika oksidasi dari paduan Ni20Cr-xMo pada suhu 570 °C selama 100 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas performa oksidasi dari paduan Ni20Cr meningkat dengan penambahan Mo. Selama oksidasi, paduan tanpa Mo membentuk lapisan tipis NiO pada bagian luar dan lapisan tebal Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang disertai penetrasi ke dalam dari lapisan Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan area tanpa Cr. Terdapat juga pembentukan campuran Ni-Cr oksida diantara lapisan NiO dan Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Sementara itu, pada paduan yang mengandung Mo, lapisan oksida yang terbentuk memiliki sebuah struktur ganda (duplex) dengan lapisan NiO di bagian luar dan lapisan Cr(Mo)-Cr-Mo di bagian dalam. Terdapat juga oksida dengan struktur poros di lapisan bagian dalam. Penambahan Mo pada paduan Ni20Cr-xMo mengakibatkan perubahan perilaku oksidasi dengan mendorong pembentukan NiO dan berkurangnya difusi ke dalam menuju Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Tetapi, akan lebih banyak terbentuk oksida labil yang mudah menguap dan oksida dengan struktur poros jika dilakukan penambahan lebih banyak Mo yang akhirnya menurunkan ketahanan oksidasi dari paduan Ni20Cr.

**Kata Kunci:** Efek penambahan Molybdenum, oksidasi temperatur tinggi, paduan Ni20Cr

*Effect of Mo during the Oxidation of Ni20Cr-xMo Alloys at 570 °C*

*The effect of Mo during the oxidation of Ni20Cr-xMo alloys at 570 °C for 100 h was investigated. The results revealed that the oxidation performance of the Ni20Cr alloys was increased by Mo addition. During the oxidation, the Mo-free alloy formed a thin NiO scale on the outer scale and a thick continuous Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> scale accompanied with inward Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> penetrations and a Cr-depleted zone. There were also mixed Ni-Cr oxides in between the NiO and Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> scale. While, on the Mo-containing alloys, the formed oxide had a duplex structure with a thick NiO scale on the outer scale and Cr(Mo)-Cr-Mo oxides on the internal scale. A porous oxide structure was also formed in the inner scale. The Mo addition on the Ni20Cr-xMo has affected their oxidation behavior by promoting the formation of NiO scale and less the inward diffusion into Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> scale. But, more volatile oxides and porous oxide structures would form with higher Mo addition, resulting in lower oxidation resistance for the Ni20Cr alloys.*

**Keywords:** *Effect of molybdenum, high temperature oxidation, Ni20Cr alloy*

UDC (OXDCF) 620.112

Muhammad Rifai<sup>a</sup>, Mujamilah<sup>a</sup>, Hiroyuki Miyamoto<sup>b</sup> (<sup>a</sup>Center for Science and Technology of Advanced Material National Research and Innovation Agency Indonesia, <sup>b</sup>Department Science and Engineering Doshisha University Kyotanabe Campus Kyoto Japan)

Pengaruh Presipitasi pada Struktur Mikro dan Perilaku Korosi ZK60 terhadap Deformasi Plastis Sangat Tinggi

Metalurgi, Vol. 36 No. 3 Desember 2021

Struktur mikro dan perilaku korosi pada ZK60 yang mengalami deformasi plastis sangat tinggi (severe plastic deformation, SPD) telah diselidiki dalam hal proses penghalusan butir dan pembentukan presipitasi. ECAP (equal channel angular pressing) adalah salah satu teknik SPD yang terkenal karena keuntungannya untuk mempromosikan dislokasi dan fragmentasi butir. Billet ZK60 dipotong menjadi bentuk silinder berdiameter 10 mm untuk aplikasi material yang dapat terurai secara hayati. Proses ECAP dilakukan hingga dua lintasan dengan Route Bc pada proses temperatur 250 °C. Uji kekerasan mikro dilakukan pada logam ZK60 olahan ECAP, dan pengamatan struktur dilakukan dengan mikroskop optik dan mikroskop elektron transmisi. Perilaku korosi material diselidiki melalui kurva polarisasi anodik. Proses ECAP mendorong akumulasi dislokasi secara efisien dan pembentukan struktur berbutir sangat halus. Hal ini dapat meningkatkan karakteristik sifat mampu bentuk dari ZK60. Kekerasan juga menunjukkan peningkatan yang signifikan selama proses ECAP karena tingkat deformasi yang tinggi. Perilaku korosi dan pengamatan struktur mikro selama proses ECAP menunjukkan korelasi yang menyimpulkan bahwa penghalusan butir dan pembentukan presipitasi mempengaruhi sifat elektrokimia. Elemen paduan seperti Zn dan Zr mempromosikan film pelindung untuk korosi karena kemampuannya untuk perlindungan pitting. ECAP meningkatkan pembentukan presipitasi untuk ketahanan terhadap korosi, keseragaman struktur mikro dan sifat mampu bentuk material.

**Kata Kunci:** Proses deformasi plastis sangat tinggi, ZK60, presipitasi, korosi

*The Effect of Precipitation on Microstructure and Corrosion Behaviour of ZK60 Subjected to Severe Plastic Deformation*

*Microstructure and corrosion behavior of ZK60 subjected to SPD (severe plastic deformation) has been investigated in terms of grain refinement process and precipitation formation. ECAP (equal channel angular pressing) is one of the well-known SPD techniques due to its advantages to promote dislocation and grain fragmentation. ZK60 billet was cut to a 10 mm diameter cylindrical shape for biodegradable material application. ECAP process was carried out up to two passes by Route Bc at 250 °C temperature process. Microhardness test was performed at ECAP processed sample, and the microstructural observation was carried out using an optical microscope and transmission electron microscope. The corrosion behavior of the material was investigated using an anodic polarization curve. The ECAP process promotes dislocation accumulation efficiently and ultrafine-grained structure formation. It may improve the formability characteristic of ZK60. The hardness also showed significant increment during the ECAP process due to the high level of deformation. Corrosion behaviors and microstructure observation during the ECAP process showed a correlation that concluded that grain refinement and precipitation formation influenced the electrochemical properties. The alloying element such as Zn and Zr promoted the protective film for corrosion due to their ability for pitting protection. ECAP improved the precipitation formation for corrosion resistance, microstructure uniformity, and material formability.*

**Keywords:** Severe plastic deformation process, ZK60, precipitation, corrosion



---

## METALURGI

ISSN 0126 – 3188

Metalurgi, Vol. 36 No. 3 Desember 2021

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

UDC (OXDCF) 620.18

Safira Fitri, Zulfiadi Zulhan, Imam Santoso (Teknik Metalurgi – Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung)

Produksi Besi dan Terak Titanium Kadar Tinggi dari Konsentrat Pasir Besi atau Titanomagnetit: Ulasan Literatur

Metalurgi, Vol. 36 No. 3 Desember 2021

Pasir besi atau titanomagnetit ditemukan di wilayah pesisir pantai Indonesia yang tersebar dari Aceh hingga pantai utara Papua. Kandungan logam berharga seperti besi, titanium, dan vanadium belum dimanfaatkan dengan baik karena hingga saat ini belum ada pabrik pengolahan dan pemurnian (smelter) di dalam negeri yang mampu mengolah pasir besi hingga menjadi produk akhir dengan nilai tambah yang tinggi. Perusahaan di dalam negeri hanya mampu mengolah pasir besi hingga menjadi konsentrat. Ulasan literatur ini disusun dengan harapan dapat menjadi salah satu langkah awal perkembangan teknologi pengolahan dan pemurnian pasir besi di Indonesia. Hasil ulasan literatur menunjukkan bahwa pasir besi atau titanomagnetit telah diproses baik menggunakan teknologi rotary kiln – electric furnace maupun tanur tiup (*blast furnace*). Penelitian terus berkembang ke arah teknologi reduksi langsung karena kemungkinannya untuk menghasilkan terak titanium dengan kadar tinggi. Artikel ini juga membandingkan parameter yang berpengaruh dalam proses reduksi langsung konsentrat pasir besi atau titanomagnetit yang terdiri dari pengaruh reaktor, reduktor, temperatur proses, dan penambahan bahan imbu. Rekomendasi juga diberikan sebagai saran untuk perkembangan penelitian selanjutnya dalam reduksi konsentrat pasir besi atau titanomagnetit.

*Kata Kunci:* Pasir besi, titanomagnetit, reduksi langsung, pembuatan besi

*Production of Iron and High Grade Titanium Slag from Iron Sand Concentrate or Titanomagnetite: Literature Review*

*Iron sand or titanomagnetite are found in the coastal areas of Indonesia from Aceh to the northern coast of Papua. Precious metals such as iron, titanium, and vanadium have not been appropriately utilized because there is no processing and refining plant (smelter) in Indonesia capable of processing iron sand into a final product with high added value. Domestic companies turn iron sand into concentrate. This literature review is prepared with a high expectation that it will be one of the first steps in developing processing and refining technology for iron sand in Indonesia. Literature review shows that iron sand or titanomagnetite has been processed using either rotary kiln – electric furnace technology or blast furnace. Research continues towards direct reduction technology because of the high-grade titanium slag possibility. This article also reviews the parameters that influence direct reduction technology of iron sand or titanomagnetite, including the effect of a reactor, reducing agent, process temperature, and additives. The recommendation is made to further research development in processing iron sand or titanomagnetite concentrate.*

*Keywords:* Iron sand, titanomagnetite, direct reduction, iron making

UDC (OXDCF) 620.112

Ahmad Royani<sup>a,d</sup>, Muhammad Hanafi<sup>b</sup>, Heddy Julistiono<sup>c</sup>, Azwar Manaf<sup>d</sup> (<sup>a</sup> Pusat Riset Metalurgi dan Material Badan Riset dan Inovasi Nasional Indonesia, <sup>b</sup> Pusat Riset Kimia Badan Riset dan Inovasi Nasional Indonesia, <sup>c</sup> Pusat Riset Biologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional Indonesia, <sup>d</sup> Program Studi Ilmu Material Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia)

Korosi yang dipengaruhi Mikrobiologi dan Teknologi Pencegahannya di Industri Minyak dan Gas: Review

Metalurgi, Vol. 36 No. 3 Desember 2021

Korosi yang dipengaruhi mikrobiologi atau MIC (microbiologically influenced corrosion) adalah salah satu bentuk korosi lokal yang disebabkan oleh mikroorganisme dan aktivitasnya yang merugikan fasilitas industri minyak dan gas. Keberadaan mikroorganisme dan aktivitasnya yang kompleks memainkan peranan penting dalam pembentukan biofilm dan produk korosi yang menyebabkan kerusakan peralatan. Meskipun beberapa teknik mitigasi dan pencegahan dalam upaya pengendalian mikroorganisme telah dilakukan, tinjauan mitigasi korosi yang dipengaruhi mikroorganisme masih terbatas. Tinjauan ini memberikan beberapa mikroorganisme yang terkait dengan MIC, formasi biofilm, beberapa metode deteksi untuk evaluasi mikroorganisme dan teknologi pengendalian mikroorganisme di industri minyak dan gas. Perkembangan teknologi terkini pengendalian mikroorganisme di industri lainnya juga turut dibahas. Berbagai teknologi deteksi, mitigasi, dan pencegahan diterapkan untuk mengontrol MIC yang kompleks. Namun, pengembangan teknologi untuk pengendalian MIC masih diperlukan. Pengembangan teknologi mitigasi MIC dapat mencakup penggunaan biosida ramah lingkungan untuk menggantikan biosida konvensional, penggunaan bahan antibakteri, pelapisan cat, dan bakteri pesaing untuk pengendalian biokorosi.

*Kata Kunci:* Biofilm, biokorosi, mikroorganisme, minyak dan gas, mitigasi

*Microbiologically Influenced Corrosion (MIC) and Its Prevention Technology in Oil and Gas Industries: A Review*

*MIC (microbiologically influenced corrosion) is a form of local corrosion caused by microorganisms and their activities, which harm facilities of the oil and gas industries. The presence of microorganisms and their complex activities have an essential role in the biofilm formations and corrosion products that cause damage to equipment. Although several mitigation and prevention techniques in microbiological control efforts have been carried out, the mitigation review for microbiologically influenced corrosion is still limited. This review provides some of the microorganisms associated with MIC, biofilm formations, some detection methods for evaluation microorganisms, and the technology of controlling microorganisms in the oil and gas industries. The development of trend technology for controlling microorganisms in other sectors also is discussed. Various detection, mitigation, and prevention technologies are applied to control complex MICs. However, development technology for controlling MIC is still needed. The development of technologies for mitigation MIC can include using eco-friendly biocide to replace conventional biocides, antibacterial materials, coatings, and the competitor bacterial for bio-corrosion control.*

*Keywords:* Biofilm, biocorrosion, microorganism, oil and gas, mitigation