

Kata Pengantar

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji dan syukur hanyalah milik Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Seminar Nasional Teknoin 2012 dapat terselenggara.

Seminar Nasional Teknoin merupakan seminar tahunan yang diselenggarakan oleh Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta bekerja sama dengan Jurnal Teknologi Industri (TEKNOIN). Sejak pertama kali diselenggarakan pada tahun 2004, seminar ini telah menjadi sarana terjalannya kerjasama, transfer pengalaman dan pengetahuan di antara berbagai pihak dari kalangan akademisi, peneliti, pelaku industri dan elemen masyarakat lainnya baik dari unsur pemerintah maupun swasta. Sejalan dengan visi Universitas Islam Indonesia yang berkomitmen pada kesempurnaan (keunggulan) serta *risalah Islamiyah* di bidang pendidikan, penelitian, pengabdian masyarakat dan dakwah, seminar ini diharapkan mampu memberikan manfaat dan kontribusi nyata bagi kemajuan bangsa.

Di usianya yang ke 9, Seminar Nasional Teknoin 2012 kali ini mengambil tema : "**Pengembangan Teknologi Manufaktur untuk Menunjang Penguatan Daya Saing Bangsa**". Tema ini dipilih berdasarkan pertimbangan bahwa peningkatan daya saing bangsa merupakan sebuah keniscayaan yang harus dilakukan dalam menghadapi era globalisasi. Usaha ini akan berhasil jika seluruh elemen masyarakat memberikan kontribusi yang optimal sesuai bidangnya masing-masing. Di sektor industri, parameter-parameter yang sering dipakai dalam mengukur daya saing bangsa biasanya lebih ditentukan oleh kualitas sumber daya manusia (SDM) daripada kualitas sumber daya alam (SDA) sebuah negara. Kerjasama multidisiplin yang melibatkan berbagai pihak, baik pemerintah maupun swasta mutlak diperlukan. Untuk itu, Seminar Nasional Teknoin dikemas menjadi forum diseminasi berbagai disiplin ilmu diantaranya bidang ilmu Teknik Kimia, Teknik Industri, Teknik Informatika, Teknik Elektro dan Teknik Mesin.

Dalam seminar ini, *alhamdulillah* terdapat 143 buah makalah (dari 260 abstrak yang diterima) dan yang telah direview oleh tim serta layak untuk masuk ke dalam Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2012 (ISBN No. 978-979-96964-3-9) dan dipresentasikan. Adapun tiap bidang ilmu terdiri atas : 21 makalah bidang Teknik Kimia dan Tekstil, 35 makalah bidang Teknik Industri, 29 makalah bidang Teknik Informatika, 20 makalah bidang Teknik Elektro, serta 38 makalah bidang Teknik Mesin.

Pada kesempatan ini, kami selaku ketua pelaksana menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pimpinan Fakultas Teknologi Industri UII, segenap Pimpinan Jurusan dan Pimpinan Program Pascasarjana di lingkungan FTI UII, tim reviewer, dan seluruh panitia pelaksana yang telah berusaha maksimal dan bekerjasama dengan baik hingga terlaksananya acara ini.

Ucapan terima kasih kami sampaikan juga kepada Assoc. Prof. Dr. Pisut Komsaap yang telah berkenan menjadi keynote speaker dalam seminar ini. Kepada seluruh peserta dan pemakalah serta semua pihak yang telah berpartisipasi, kami sampaikan terima kasih dan permohonan maaf atas kekurangsempurnaan kami.

Wassalamu 'alaikum warahmatullah wabarakatuh

Yogyakarta, 10 November 2012
Ketua Panitia,

Risdiyono, ST, M.Eng, D.Eng

Sambutan
Dekan Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatoh

Rendahnya daya saing bangsa Indonesia akibat belum kondusifnya kinerja perekonomian nasional merupakan salah satu persoalan yang perlu dicermati bersama. Di sektor industri, berbagai hal yang berkaitan dengan sistem produksi, pemanfaatan tenaga kerja, akses ke sumber daya keuangan, manajerial, infrastruktur, teknologi, standarisasi, perlindungan konsumen dan analisa pasar merupakan contoh faktor yang mempengaruhi daya saing suatu bangsa.

Tidak bisa dipungkiri bahwa peningkatan daya saing merupakan sebuah keniscayaan yang harus dilakukan dalam menghadapi era globalisasi. Usaha ini akan berhasil jika seluruh elemen masyarakat memberikan kontribusi yang *optimal* sesuai bidangnya masing-masing. Daya saing bangsa biasanya lebih ditentukan oleh kualitas sumber daya manusia (SDM) daripada kualitas sumber daya alam (SDA) sebuah negara. Kerjasama *multidisiplin* yang melibatkan berbagai pihak, baik pemerintah maupun swasta mutlak diperlukan.

Berkenaan dengan hal itu, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta menyelenggarakan Seminar Nasional Teknoin yang pada kesempatan ini telah menginjak usia yang ke 9. Di seminar ini kami mengundang para akademisi, peneliti, pelaku industri dan seluruh elemen masyarakat untuk berperan serta baik sebagai pemakalah maupun peserta. Beragam konsep, hasil pemikiran, dan hasil riset tentang teknologi akan disajikan dan dibahas pada Seminar Nasional ini.

Sebagai sebuah forum ilmiah, seminar ini diharapkan menjadi media diseminasi informasi hasil penelitian dan perkembangan *mutakhir antar pihak dengan berbagai latar belakang*, mulai dari kalangan perguruan tinggi, lembaga penelitian, pemerintah/pengambil kebijakan, dan pihak industri. Diskusi antarpihak dengan berbagai perspektif ini diharapkan dapat memperluas social networking dan menghadirkan visualisasi yang lebih lengkap atas berbagai perkembangan penelitian di bidang teknologi industri, dan pada gilirannya diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi perkembangan teknologi dan pemanfaatannya di Indonesia.

Atas nama Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, saya menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berkontribusi atas terselenggaranya Seminar Nasional Teknoin 2012 ini. Seminar ini dapat berlangsung karena usaha terbaik dari panitia pelaksana.

Akhir kata, selamat berseminar.
Wassalamu 'alaikum warahmatullah wabarakatuh

Dekan,

Ir. Gumbolo Hadi Susanto, M.Sc.

M

Adv:
fund
custo
servi
custo

How
conc
role
prod
conc
one
man

As a
to in

Reci
inve
estal
poss
fron
read
con:
also

Pres
inve
alge
rapi
inte
pho
tect
ima
has
con
ims
con

Cor
dev
con
ma
dev
des
prij

Executive Summary of Keynote Speech

Manufacturing Technology Development for Customer Involvement in Value Creation

Assoc. Prof. Dr. Pisut Koomsap
A-Cube Research Group,
Industrial and Manufacturing Engineering,
School of Engineering and Technology,
Asian Institute of Technology,
Km. 42 Paholyothin Rd. Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand,
Tel: (662) 524-5678; Fax: (662) 524-5697; Email: pisut@ait.ac.th

Advancement of technology has opened up a competitive market that led to the change of product development fundamental from manufacturer-oriented to customer-oriented. The competitive environment has powered customers to demand for better responsiveness, and has forced manufacturers to timely deliver quality products and service to satisfy customer expectations. Design of manufacturer in the early days has been replaced by design for customer at the present time.

However, customer involvement has been limited to expressing their voices until the debut of mass customization concept which each product is aimed to be made to meet a specific customer's need. Customers can take a proactive role in their needs and negotiate to meet their requirements. Manufacturers allow them to involve reconfiguring products during assembly stage. They can mix and match parts to form their own products. Nevertheless, the concept has some limitations when it comes down to implementation. To serve individual needs that quite vary from one person to another, exponential increase of variety will occur and lead to high cost and long lead time. With rigid manufacturing system, manufacturers are required to build up the inventory of variety of components to be ready. As a result, mass customization, in practice, remains at a group of customers with similar preference, not yet reached to individual customer.

Recently, we have proposed design by customer concept to satisfy individual customers by letting them to flexibly involve in defining product of their personal requirements at any stages of value chain, and framework has been established to assist manufacturers on realizing the concept. To encourage customer involvement, maximum possible channels in the value chain should be opened for ease of access, but the level of involvement that can vary from design from scratch to select available items is depended upon customer's interests as well as manufacturer's readiness. Therefore, product attribute analysis that takes key customer needs, manufacturer's capability and constraints has been developed as a tool for determining the level of involvement, and crowd screening process has also been introduced to manage product variety.

Presented in this talk is our ongoing research on manufacturing technology development to support customer involvement in design by customer concept. The research includes the development of hardware, software, algorithm, and their integration to form an intelligent manufacturing system that allows manufacturers to respond rapidly to individual customers. The system is customer-oriented. It has been developed to accommodate customer interest which maybe expressed in various formats such as CAD model, drawing, physical object, sketch or photograph. The system composes of three parts: input transformation, toolpath generation and fabrication technology, and can serve both 2D and 3D applications. It transforms these inputs to be a general form of contour images for 2D product or a stack of contour images for 3D product. Topological hierarchy contour tracing algorithm has been developed for automatic toolpath generation. This algorithm can trace a set of one-pixel wide closed contours that may appear as nested contours, interconnected contours or their combination. It is applied on the images to obtain coordinates on all contours. The ordered sequences of coordinates are then used to generate commands for fabrication a product.

Contour cutting and screen printing are examples of 2D application. Zero G-code two axes servo table has been developed for abrasive waterjet machining. It allows inexperienced users to complete cutting any complicated contours in very short period of time without writing a single G-code. Its integration with contour tracing algorithm makes it possible for rapid contour cutting from a contour image. Multi-color screen printing system has also been developed to illustrate design by customer concept. The system is capable of creating screen quickly from customer design and used on a flat screen printing machine that is capable of adjusting screen automatically for multi-color printing.

Besi Cor Bergrafit Bulat Silicon Tinggi Sebagai Material Tahan Temperatur Tinggi Alternatif

Darma Firmansyah Undayat, MT.¹⁾

Jurusan Teknik Pengecoran Logam Politeknik Manufaktur Negeri Bandung¹

Jl. Kanayakan No. 21 Dago, Bandung 40135

Telp: 022-2500241, Fax 022-2502649

E-mail: darmafirmansyah@yahoo.com¹⁾

Abstrak

Polman Bandung dalam melaksanakan salah satu tridharma perguruan tinggi, yaitu pengabdian terhadap masyarakat, mendapat tantangan untuk dapat menghasilkan material yang mempunyai potensi kerja pada temperatur hingga ± 900 °C. Terdapat beberapa jenis baja/besi yang memiliki sifat tahan terhadap temperatur tinggi, seperti baja/besi paduan chrom dan nikel. Tetapi pada umumnya jenis baja/besi tersebut biaya pembuatannya relatif mahal. Salah satu material yang mempunyai potensi tahan terhadap temperatur tinggi dan biaya pembuatannya relatif lebih rendah adalah Besi cor bergrafit bulat silicon tinggi (4-6% Si). Dengan paduan silicon tinggi, material tersebut memungkinkan memiliki ketahanan hingga temperatur ± 900 °C. Biaya pembuatannya yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan jenis baja/besi tahan temperatur tinggi lainnya adalah karena jenis dan jumlah paduannya yang relatif lebih sedikit. Untuk dapat menghasilkan Besi cor bergrafit bulat silicon tinggi serta mengetahui sifat-sifatnya, maka perlu dilakukan penelitian percobaan pembuatan material tersebut. Penelitian dilakukan dengan cara mengidentifikasi Besi cor bergrafit bulat silicon tinggi terlebih dahulu, untuk mengetahui sifat-sifat yang dimilikinya menurut literatur. Kemudian dilakukan percobaan pembuatan material tersebut. Material yang dihasilkan kemudian diuji untuk mengetahui apakah material yang dibuat sesuai dengan literatur. Dari penelitian ini didapatkan Besi cor bergrafit bulat silicon tinggi berupa test specimen dan sifat-sifat yang dimiliki oleh Besi cor bergrafit bulat silicon tinggi tersebut. Sifat-sifat yang teridentifikasi yaitu komposisi kimia, struktur mikro, sifat mekanik dan ketahanan terhadap oksidasi pada temperatur tinggi (870 °C). Dengan sifat-sifat yang dimiliki, terutama ketahanan oksidasi temperatur tinggi, besi cor bergrafit bulat silicon tinggi dapat dijadikan material temperatur tinggi alternatif untuk mensubstitusi material baja/besi paduan chrom dan nikel yang biaya pembuatannya relatif lebih mahal.

Kata Kunci : Besi cor bergrafit bulat, Silicon tinggi, oksidasi temperatur tinggi, alternatif

1. Pendahuluan

Logam merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam bidang teknik. Hal ini terjadi karena sifat-sifat yang dimiliki logam yang banyak bermanfaat, seperti kekuatan dan ketangguhannya.

Dalam perkembangannya, tuntutan dunia industri terhadap sifat logam semakin beragam, salah satunya adalah temperatur kerja tinggi atau tahan terhadap oksidasi temperatur tinggi.

Polman Bandung dalam melaksanakan salah satu tridharma perguruan tinggi, yaitu pengabdian terhadap masyarakat, mendapat tantangan untuk dapat menghasilkan material yang mempunyai potensi kerja pada temperatur hingga ± 900 °C

Terdapat beberapa jenis baja/besi yang memiliki sifat tahan terhadap oksidasi temperatur tinggi, seperti baja/besi paduan chrom dan nikel. Tetapi pada umumnya jenis baja/besi tersebut biaya pembuatannya relatif mahal.

Salah satu material yang mempunyai potensi tahan terhadap oksidasi temperatur tinggi dan biaya pembuatannya relatif lebih rendah adalah Besi cor bergrafit bulat silicon tinggi. Dengan paduan silicon tinggi, material tersebut memungkinkan memiliki ketahanan terhadap oksidasi hingga temperatur ± 900 °C. Biaya pembuatannya yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan jenis besi/baja tahan temperatur lainnya adalah karena jenis dan jumlah paduannya yang relatif lebih sedikit^[1]

Untuk dapat menghasilkan Besi cor bergrafit bulat silicon tinggi serta mengetahui sifat-sifatnya, maka perlu dilakukan penelitian percobaan pembuatan material tersebut.

2. Metodologi Penelitian

Tahapan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut (Gambar 1):

PENDAHULUAN

Merumuskan permasalahan *problem* dan mencari hal-hal yang melatar belakangi masalah tersebut. Selanjutnya menentukan tujuan dari penelitian ini.

STUDI LITERATUR

Mempelajari konsep-konsep umum dan teori-teori untuk menjelaskan permasalahan yang timbul dan dikembangkan dalam pelaksanaan penelitian. Teori dan konsep yang digunakan berhubungan dengan Besi cor bergrafit bulat silikon tinggi.

IDENTIFIKASI MATERIAL

Mengidentifikasi material, dalam hal ini Besi cor bergrafit bulat silikon tinggi. Di sini dicari komposisi kimia dan sifat-sifat yang dimiliki material menurut literatur. Hal ini dilakukan agar didapat data material menurut literatur, yang nantinya akan digunakan sebagai acuan dalam percobaan pembuatan material. Untuk keperluan benda uji, dilakukan juga penentuan dimensi dan bentuk *test specimen* yang cocok untuk material tersebut di atas.

PERCOBAAN PEMBUATAN MATERIAL

Melakukan percobaan pembuatan Besi cor bergrafit bulat silikon tinggi, mulai dari penentuan komposisi kimia hingga pengujian material. Berhasil atau tidaknya percobaan ditentukan oleh hasil pengujian material yang mengacu pada data hasil identifikasi material.

PENGUMPULAN DAN PEMBAHASAN DATA

Melakukan pengumpulan dan pembahasan data, yang terdiri dari data hasil identifikasi material dan data hasil percobaan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Menguraikan kesimpulan umum dari penelitian yang dilakukan dan saran yang dapat dimanfaatkan oleh pihak-pihak lain.



Gambar 1. Diagram alir pemecahan masalah secara umum

3. Hasil dan Pembahasan

Identifikasi Material

Material yang diidentifikasi adalah Besi cor bergrafit bulat silikon tinggi yang memiliki komposisi kimia lengkap sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi kimia Besi cor bergrafit bulat Silicon Tinggi^[1]

Komposisi kimia [% berat]						
C	Si	Mn	P	S	Mo	Mg res
2,90 - 3,80	4,00 - 5,00	0,30	<0,05	<0,01	0,75 - 1,25	0,03 - 0,06
2,90 - 3,80	5,00 - 6,00	0,30	<0,05	<0,01	0,75 - 1,25	0,03 - 0,06

Penambahan kandungan silikon pada besi cor ferritis, membawa pengaruh kepada penguatan matriks dasar. Hal ini akan meningkatkan kekuatan tarik, kekuatan mulur dan kekerasan, tetapi akan menurunkan keuletan.

Molibdenum meningkatkan kekuatan tarik, kekuatan mulur dan kekerasan pada temperatur kamar, tetapi menurunkan regangan karena terbentuknya karbida Mo stabil.

Sifat mekanik Besi cor bergrafit bulat silikon tinggi dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Sifat mekanik Besi cor bergrafit bulat Silicon Tinggi^[1]

Komposisi kimia	Kekuatan tarik [N/mm ²]	Kekuatan mulur [N/mm ²]	Regangan [%]	Kekerasan [HB 30]
4-5% Si, 0,75-1,25% Mo	550	480	5	200 - 240
5-6% Si, 0,75-1,25% Mo	510	-	0	306

Besi cor bergrafit bulat dengan kandungan Si > 4% memiliki ketahanan terhadap panas dan perubahan volume yang baik. Tinggi rendahnya temperatur penggunaan besi cor tahan panas tergantung dari temperatur kritis, yaitu temperatur dimana perubahan dari ferrit ke austenit dimulai. Temperatur penggunaan paling tinggi biasanya terletak dibawah temperatur kritis.

Tabel 3. Ketahanan Panas Besi cor bergrafit bulat Silicon Tinggi^[1]

Komposisi kimia	Ketahanan panas
4 - 5% Si, 0,5 - 2% Mo	Tahan panas sampai 820 °C umumnya sampai 880 °C
5 - 6% Si, sampai 2% Mo	Tahan panas sampai 950 °C

Percobaan Pembuatan Material

Pada percobaan ini ditentukan dua jenis komposisi kimia yang berbeda. Perbedaan komposisi kimia terletak pada kandungan silikon. Kandungan silikon yang pertama adalah antara 4 sampai 5%, sedang yang kedua adalah antara 5 sampai 6%. Pengambilan rentang di atas didasarkan atas pertimbangan bahwa dengan kandungan silikon pada rentang pertama akan dihasilkan besi cor bergrafit bulat yang memiliki kombinasi sifat mekanik dan ketahanan oksidasi yang baik, sedangkan dengan kandungan silikon pada rentang kedua akan dihasilkan besi cor bergrafit bulat yang memiliki ketahanan oksidasi yang lebih baik tetapi sifat mekanik yang lebih buruk. Rincian kedua komposisi kimia tersebut di atas adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Komposisi kimia besi cor bergrafit bulat silikon tinggi percobaan

Material	Komposisi kimia [% berat]						
	C	Si	Mn	P	S	Mo	Mg res
Jenis-1	2,90 - 3,80	4,00 - 5,00	0,30	<0,05	<0,01	0,75 - 1,25	0,03 - 0,06
Jenis-2	2,90 - 3,80	5,00 - 6,00	0,30	<0,05	<0,01	0,75 - 1,25	0,03 - 0,06

Pada saat penentuan komposisi kimia material yang harus diperhatikan adalah dalam penentuan kandungan karbon dan silikon dari rentang komposisi yang ada menurut literatur. Kandungan silikon disesuaikan dengan kebutuhan temperatur kerja bahan sedangkan kandungan karbon disesuaikan dengan kandungan silikon yang diambil untuk memenuhi harga karbon ekuivalen yang tepat untuk ketebalan benda tertentu. Kandungan unsur yang lain ditentukan menurut rentang komposisi kimia yang ada menurut literatur.

Setelah material dibuat, selanjutnya dilakukan pengujian material. Pengujian material yang dilakukan adalah pengujian tarik dan kekerasan pada temperatur ruang, pengujian komposisi kimia, struktur mikro dan oksidasi.

Tabel 5. Hasil uji kekerasan

Material	Komposisi kimia [%]							Kekerasan HB 30
	C	Si	Mn	P	S	Mo	Mgres	
Jenis-1	2,90-3,80	4,00-5,00	0,30	<0,02	<0,01	0,75-1,25	0,03-0,06	241
Jenis-2	2,90-3,80	5,00-6,00	0,30	<0,02	<0,01	0,75-1,25	0,03-0,06	308

Tabel 6. Hasil uji tarik

Material	Komposisi kimia							Kekuatan tarik [N/mm ²]	Kekuatan lulur Rp 0,2% [N/mm ²]	Regangan [%]
	C	Si	Mn	P	S	Mo	Mgres			
Jenis-1	2,9-3,8	4-5	0,3	<0,02	<0,01	0,75-1,25	0,03-0,06	648	583	5
Jenis-2	2,9-3,8	5-6	0,3	<0,02	<0,01	0,75-1,25	0,03-0,06	515	-	1,4

Dari dua sifat mekanik yang diuji, yaitu uji kekerasan dan uji tarik pada temperatur ruang, semua hasil pengujian menunjukkan angka di atas angka menurut literatur.

Hasil pengujian kekerasan untuk material dengan 4-5% Si dan 0,75-1,25% Mo adalah 241 HB 30, sedangkan harga kekerasan menurut literatur adalah 200-240 HB 30. Dan material dengan 5-6% Si dan 0,75-1,25% Mo memiliki kekerasan rata-rata 308 HB 30, sedangkan harga kekerasan menurut literatur adalah 306 HB 30.

Hasil pengujian tarik untuk material dengan 4-5% Si dan 0,75-1,25% Mo adalah : kekuatan tarik = 648 N/mm²; regangan = 5%, sedangkan menurut literatur adalah: kekuatan tarik = 550 N/mm²; regangan = 5%. Dan hasil uji tarik material dengan 5-6% Si dan 0,75-1,25% Mo adalah: kekuatan tarik = 515 N/mm²; regangan = 1,4%, sedangkan menurut literatur adalah: kekuatan tarik = 510 N/mm²; regangan = 0%.

Hasil pengujian komposisi kimia untuk material jenis-1 (Si = 4 - 5 %) adalah sebagai berikut :

Tabel 7. Hasil uji komposisi kimia material jenis-1

Komposisi kimia rata-rata [% berat]						
	Si	Mn	P	S	Mo	Mgres
	3,13913	4,20767	0,33800	0,01636	0,01136	0,88462

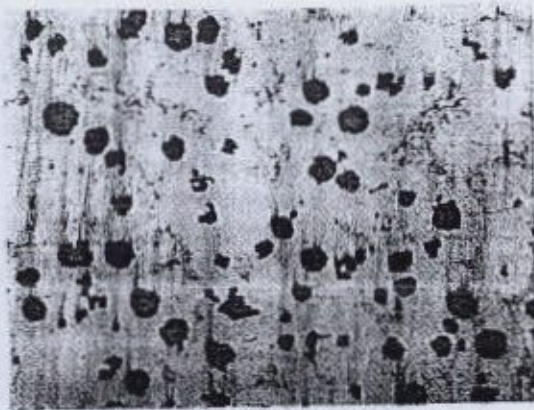
Hasil pengujian komposisi kimia untuk material jenis-2 (Si = 5 - 6 %) adalah sebagai berikut :

Tabel 8. Hasil uji komposisi kimia material jenis-2

Komposisi kimia rata-rata [% berat]						
	Si	Mn	P	S	Mo	Mgres
	2,91962	5,76125	0,34271	0,01681	0,01124	0,95243

Dari hasil pengujian komposisi kimia material yang dibuat menunjukkan bahwa semua kandungan unsur-unsur masuk dalam rentang komposisi yang ditentukan.

Hasil pengujian struktur mikro untuk material jenis-1 (Si = 4 - 5 %) dan jenis-2 (Si = 5 - 6 %) adalah sebagai berikut :



Struktur mikro dasar

Grafit

Bentuk : VI
Ukuran : 6
Pembulatan : 80 %

Ferrit : 95 %
Karbida Mo : 5 %

Gambar 2

Struktur mikro material jenis-1 (Si = 4 – 5 %)



Struktur mikro dasar

Grafit

Bentuk : VI
Ukuran : 6
Pembulatan : 90 %

Ferrit : 95 %
Karbida : 5 %

Gambar 3

Struktur mikro material jenis-2 (Si = 5 – 6 %)

Pengujian oksidasi dilakukan dengan cara memanaskan benda kerja pada media udara bebas dalam oven sampai 870 °C kemudian ditahan pada suhu tersebut selama 20 jam dan didinginkan dalam oven hingga temperatur kamar. Hal ini dilakukan sebanyak 4 kali.

Hasil dari pengujian adalah berupa pengurangan berat dan kedalaman penetrasi oksidasi. Hasil selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil uji Oksidasi

Komposisi kimia	Perubahan berat [g] ¹⁾	Kedalaman penetrasi [mm] ¹⁾
4 – 5% Si, 0,75 – 1,25% Mo	-0,02 (0,03%)	0,18
5 – 6% Si, 0,75 – 1,25% Mo	-0,01 (0,01%)	0,08
2,9% Si	+1,43 (2,1%)	0,85

¹⁾ setelah dipanaskan selama 20 jam pada temperatur 870 °C sebanyak 4 kali.

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa material dengan kandungan silicon tinggi (Si > 4%) memiliki ketahanan panas dan volume yang baik. Sedangkan material dengan kandungan silicon normal untuk besi cor bergrafit bulat (2 - 3,5%) tidak memiliki ketahanan panas dan volume yang baik.

Untuk material dengan 4-5% Si dan 0,75-1,25% Mo setelah dipanaskan selama 20 jam pada temperatur 870 °C sebanyak 4 kali terjadi pengurangan berat 0,02 gram dan kedalaman oksidasi 0,18 mm, material dengan 5-6% Si dan 0,75-1,25% terjadi pengurangan berat 0,01 gram dan kedalaman oksidasi 0,08 mm, sedangkan material dengan 2,9% Si terjadi penambahan berat 1,43 gram dan kedalaman oksidasi 0,85 mm.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Material besi cor bergrafit bulat silicon tinggi dengan 4-6% Si dan 0,75-0,25% Mo telah berhasil dibuat berupa tes specimen dengan sifat-sifat sebagai berikut :

Tabel 10. Sifat-sifat besi cor bergrafit bulat silicon tinggi dengan 4-6% Si dan 0,75-0,25% Mo

Komposisi kimia [% berat]						
C	Si	Mn	P	S	Mo	Mg.res
3,13913	4,20767	0,33800	0,01636	0,01136	0,88462	0,04287 1)
2,91962	5,76125	0,34271	0,01681	0,01124	0,95243	0,06587 2)

Struktur mikro				
Komposisi kimia	Struktur mikro			
1)	Grafit		Struktur mikro dasar	
	Bentuk	VI	Ferrit	: 95 %
	Ukuran	6	Karbida Mo	: 5 %
	Pembulatan	: 80 %		
2)	Grafit		Struktur mikro dasar	
	Bentuk	: VI	Ferrit	: 95 %
	Ukuran	: 6	Karbida Mo	: 5 %
	Pembulatan	: 90 %		
Sifat mekanik				
Komposisi kimia	Kekuatan tarik [N/mm ²]	Kekuatan lulur Rp0,2 [N/mm ²]	Regangan [%]	Kekerasan [HB 30]
1)	648	583	5	241
2)	477	-	1,4	308
Ketahanan oksidasi temperatur tinggi				
Komposisi kimia	Perubahan berat ¹⁾ [g]	Kedalaman penetrasi ¹⁾ [mm]		
1)	-0,02 (0,03%)	0,18		
2)	-0,01 (0,01%)	0,08		

¹⁾ Setelah dipaparkan selama 70 jam pada temperatur 870 °C sebanyak 4 kali.

2. Dengan sifat-sifat seperti tersebut di atas, terutama ketahanan oksidasi temperatur tinggi, material besi cor bergrafit bulat silikon tinggi dengan 4-6% Si dan 0,75-0,25% Mo dapat dijadikan material tahan temperatur tinggi alternatif untuk mensubstitusi material baja/besi paduan chrom dan nikel yang biaya pembuatannya relatif lebih mahal.

5. Daftar Pustaka

- [1] Hoyt, S.L. : Metal Properties. ASME HANDBOOK.
- [2] Karsay, S.J. : Ductile Iron I,II,III. Quebec Iron and Titanium Corporation (1969).
- [3] Röhrig, K.: Gußeisen mit Kugelgraphit mit 4 bis 5% Si - Eigenschaften. Konstruieren + gießen 4 (1978).
- [4] ——— : Metallurgy & Production of Grey & Ductile Iron. BCIRA.
- [5] ——— : JIS HANDBOOK (1985).

Penda
Salah s
sehubb
tempers
klorida
tidak d
tinggi t
mening
mendej
korosi
kerusak
baja. T
binatan
materna
Penggu
dan kel
reaktif
kapal. j
garis ai
turanny
muatan
Korosi
terjawa

Analisa Paduan Aluminium sebagai Anoda Korban untuk Mereduksi Laju Korosi di Lambung Kapal

Eko Julianto Sasono¹, Seno Darmanto², Bayuseno³, Edy Supriyo⁴
Program Diploma III Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro¹
Program Diploma III Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro²
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro³
Program Diploma III Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro⁴
Jln. Prof. Soedarto SH Tembalang Semarang 024 7471379
Email:ekojulianto@yahoo.com

Abstrak

Penelitian dilakukan untuk menganalisa keefektifan paduan aluminium sebagai anoda korban untuk perlindungan bodi lambung kapal. Analisa keefektifan paduan aluminium sebagai anoda korban difokuskan pada seleksi bahan paduan, seleksi elektrolit, pembuatan media untuk menguji proses korosi dan pengujian laju korosi. Bahan anoda karbon menggunakan paduan aluminium. Kemudian spesimen uji pelat baja menggunakan pelat baja grade A (BKI). Larutan elektrolit menggunakan air laut dari laut Jawa yang telah sesuai dengan standar ASTM D1141-98 (standard practice for the preparation of substitute ocean water) dan volume air laut sebagai larutan elektrolit sesuai ASTM G71-81 (standard guide for conducting and evaluating galvanic corrosion test in electrolytes). Eksperimen laboratorium dilakukan dengan uji celup (immersion corrosion test of metal) sesuai dengan standart test korosi metal dari ASTM G31-72 untuk memperoleh data korosi yang terjadi pada pelat baja dan anoda. Dan uji laju korosi menunjukkan bahwa laju korosi rata-rata spesimen C dengan perlindungan anoda korban paduan Aluminium C menunjukkan hasil terendah (rata-rata 0,065 mm/tahun), dibandingkan dengan spesimen A (rata-rata 0,095 mm/tahun), B (rata-rata 0,096 mm/tahun), yang masing-masing dilindungi dengan anoda korban paduan Aluminium A dan B serta spesimen D (tanpa anoda korban, rata-rata 0,139 mm/tahun).

Kata kunci: anoda, katoda, elektrolit, paduan aluminium, laju korosi

Pendahuluan

Salah satu sumber kerusakan terbesar pada pelat kapal laut adalah korosi air laut. Air laut mempunyai sifat korosif sehubungan dengan kandungan di dalamnya meliputi ion klorida, kehantaran listrik, oksigen, kecepatan aliran, temperatur, fouling, tegangan, pencemaran, silt dan sendimen tersuspensi, deposit yang terbentuk (Fontana, 1986). Ion klorida mempunyai sifat korosif terhadap logam yang mengandung besi. Baja karbon dan logam besi di dalam air laut tidak dapat dipasifkan sehubungan garam air laut mengandung klorida lebih dari 55%. Selanjutnya kehantaran yang tinggi memungkinkan anoda dan listrik katoda tetap bekerja walau jaraknya jauh sehingga peluang terkena korosi meningkat tajam dibanding dalam air tawar. Korosi pada plat baja dikendalikan secara katodik di mana oksigen akan mendepolarisasi katoda, sehingga mudah terjadi korosi terutama dengan kandungan oksigen yang tinggi. Kemudian laju korosi meningkat dengan adanya gelombang dan arus laut yang tinggi di mana efek lebih lanjut menyebabkan kerusakan lapisan anti karat, menghasilkan banyak oksigen, mempercepat penetrasi dan membuka rongga di permukaan baja. Temperatur air laut yang tinggi juga akan meningkatkan sifat korosif. Selanjutnya pengotoran pelat baja karena binatang laut akan meningkatkan sifat korosif. Tegangan yang berulang-ulang juga akan menyebabkan kelelahan material terutama yang telah terkena korosi dan akan mempercepat kegagalan struktur.

Penggunaan besi maupun baja sebagai bahan utama pembuatan kapal masih dominan hingga saat ini. Dari segi biaya dan kekuatan, penggunaan besi dan baja untuk bangunan kapal memang cukup memadai. Tetapi besi dan baja sangat reaktif dan mempunyai kecenderungan yang besar untuk terserang korosi air laut. Berdasarkan konstruksi di galangan kapal, pelat lambung kapal adalah daerah yang pertama kali terkena air laut. Pada daerah lambung ini bagian bawah garis air ataupun daerah atas garis air rentan terkena korosi. Korosi pada pelat lambung kapal dapat mengakibatkan turunnya kekuatan, umur pakai kapal, mengurangi kecepatan kapal, mengurangi jaminan keselamatan dan keamanan muatan barang dan penumpang.

Korosi merupakan masalah teknis yang serius. Di negara-negara maju sekalipun, masalah ini secara ilmiah belum terjawab secara tuntas. Selain merupakan masalah ilmu permukaan yang merupakan kajian dan perlu ditangani secara

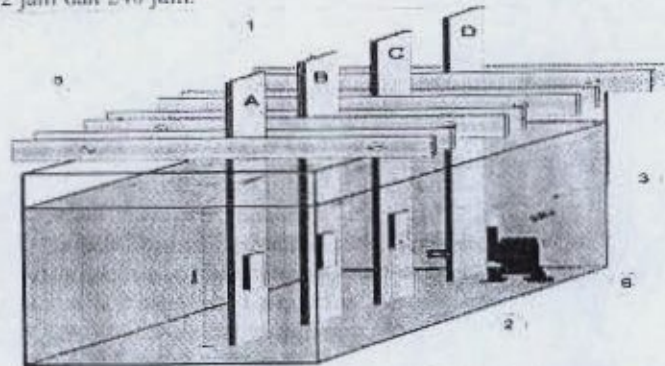
fisika, korosi juga menyangkut kinetika reaksi kimia. Pada tingkat aplikasi di industri, korosi juga menjadi masalah ekonomi karena menyangkut umur, perawatan dan efisiensi pemakaian suatu bahan maupun peralatan dalam kegiatan industri. Kegiatan yang dapat ditimbulkan oleh korosi tidak hanya biaya langsung seperti penggantian peralatan industri, perawatan perbaikan, konstruksi dan sebagainya, tetapi juga biaya tidak langsung seperti terganggunya proses produksi dalam industri serta kelancaran transportasi yang umurnya lebih besar dibandingkan biaya langsung. Beberapa negara telah menghitung biaya korosi skala nasional dengan cara yang berbeda-beda di mana kisarannya di antara 1,5 - 5,1 persen dari GNP (Akhari,). Para ahli dan praktisi cenderung sepakat untuk menetapkan biaya korosi sekitar 3,3 persen dari GNP (Broomfield, J.P, 1998 di dalam Ridha et al, 2010). Ditinjau dari biaya perawatan di industri kimia dan petrokimia, biaya untuk menanggulangi masalah korosi bisa mencapai 70 sampai 80 persen dari seluruh biaya perawatan (Substiono, 2007). Data nilai ekonomi kerugian korosi di beberapa negara menunjukkan \$ 70.000.000.000 (USA pada tahun 1978) dan \$ 170.000.000 (Salistiono, 2007), \$ 700.000.000 (Australia pada tahun 1972) - \$ 1.000.000.000 (Inggris pada tahun 1956) dan \$ 1.000.000.000 (Indonesia pada tahun 1992). Untuk menghindari kerugian lebih besar akibat korosi air laut, maka pelat lambung kapal perlu perlindungan korosi secara berkala. Sampai saat ini untuk melindungi pelat lambung kapal terhadap korosi air laut masih memfokuskan pada 3 (tiga) cara yaitu menghindari penyebab korosi, perlindungan secara pasif (dengan pengecatan) dan perlindungan secara aktif (dengan metoda *cathodic protection*). Metoda *cathodic protection* merupakan metode pengorbanan anoda korban (*sacrificial anode*). Perlindungan dengan anoda korban mempunyai kelebihan diantaranya lebih sederhana, stabil dan biaya perawatan yang lebih rendah (Tsai, 1996). Dan jenis anoda korban yang telah diaplikasikan secara luas adalah paduan seng dan paduan aluminium (Sasono, 2009; Andarini, 2011; BKI, 2006). Tersedianya dua jenis anoda korban ini memberikan pilihan bagi para pemakai untuk memakai jenis anoda korban yang sesuai dengan kebutuhannya. Dasar pemilihan ini seharusnya atas pertimbangan kinerja kedua jenis anoda korban tersebut yang meliputi; massa jenis, potensial proteksi, tegangan dorong, kapasitas dan efisiensi yang dihasilkan (Sasono, 2009; Anggono, 2000). Anoda korban aluminium mempunyai kelebihan tingkat *reliability* yang lebih lama dan juga mempunyai karakteristik arus dan berat yang lebih ringan dibandingkan dengan anoda korban paduan seng. Kualitas anoda korban aluminium dapat dipengaruhi oleh komposisi paduan aluminium (Sasono, 2009; Tsai, 1996). Ada beberapa anoda korban aluminium di pasaran yang biasa digunakan di perusahaan dok dan galangan kapal saat ini, sebagai *cathodic protection* pada lambung kapal, dan di antaranya mempunyai komposisi paduan yang berbeda. Selain kemampuan anoda korban aluminium yang berbeda-beda, adakalanya di industri ditemui lambung kapal yang terserang korosi berat dikarenakan kurangnya kebutuhan berat dan jumlah anoda korban yang dipasang. Serta posisi pemasangan yang kurang tepat.

Metode Penelitian

Bahan penelitian utama terdiri dari bahan anoda, katoda dan larutan. Bahan anoda korban menggunakan paduan aluminium. Anoda korban yang digunakan dalam eksperimen direncanakan ada 3 (tiga) jenis anoda korban paduan Aluminium dengan ukuran 20,0 x 5,0 x 2,5 mm (berat 1,02 gram) dan paduan pendukung terdiri dari Si, Fe, Cu, Mn, Zn, Mg dan Ti. Spesimen uji pelat baja menggunakan pelat baja *grade A* (BKI) setara dengan AISI F 2512 (E-kelas F, 25 - kandungan paduan Nikel (Ni) pada baja nominal 5,00%, 12 - kandungan paduan karbon (C) pada baja sebesar 0,12%). Kekuatan tarik plat baja menunjukkan *yield strength* (YS) 308 N/mm² - 327 N/mm², *tensile strength* (TS) 438 N/mm² - 464 N/mm² dan elongation 26-29 %. Dan komposisi kimia pelat baja menunjukkan C: 0,14%, Mn: 0,66%, P: 0,026%, S: 0,017, Si: 0,27 dan Ni: 5,25% (Bureau Veritas, 2004). Selanjutnya bahan katoda menggunakan plat baja. Bahan larutan terdiri dari NaOH dan Aquades. Larutan NaOH 10 % dan aquades digunakan sebagai bahan pembersih untuk membersihkan spesimen uji pelat baja dan anoda korban paduan aluminium sesuai dengan standart ASTM G1-81, tentang *Standard Practice For Preparing, Clearing and Evaluating Corrosion Test Specimen*. Dan larutan elektrolit yang digunakan adalah air laut dari laut Jawa yang telah sesuai dengan standar ASTM D1141-98 (*standard practice for the preparation of substitute ocean water*), dan volume air laut sebagai larutan elektrolit sesuai ASTM G71-81 (*standard guide for conducting and evaluating galvanic corrosion test in electrolytes*) adalah 40 cm³ : 1 cm² baja yang tercelup.

Peralatan penelitian pada prinsipnya terdiri dari bak plastik, kayu penjepit, baut dan mur, pompa air, solder timah. Bak plastik (bak air) digunakan untuk menampung 40 liter larutan elektrolit (air laut) dengan ukuran 46,5 cm x 34,5 cm x 29,0 cm) sebanyak 3 buah. Selanjutnya penjepit dari kayu ramai dengan ukuran 40,0 x 5,0 x 0,5 (cm) sebanyak 12 pasang yang digunakan untuk menjepit spesimen uji pelat baja yang akan dicelupkan ke dalam bak plastik. Baut dan mur sejumlah 12 pasang digunakan untuk menahan jepitan spesimen uji agar tidak berubah posisi. Kemudian pompa air sebanyak 3 buah digunakan untuk memberikan efek gelombang dalam 3 buah bak plastik yang berisi larutan elektrolit (air laut) dengan spesifikasi : P 1800, 220/240, 50 hz. Dan solder timah digunakan untuk menempelkan anoda korban paduan aluminium pada spesimen uji pelat baja ditambah dengan bantuan getah pinus (gondorukem), peralatan solder, timah dan gondorukem. Kemudian alat ukur secara umum terdiri dari pH indikator, ultrasonic test, jangka sorong, mikrometer dan timbangan berat. Indikator pH menggunakan kertas lakmus. Selanjutnya ultrasonic test digunakan untuk mengukur ketebalan pelat lambung kapal. Kemudian jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi spesimen dan mengukur pengurangan tebal spesimen, dengan ketelitian 0,001 inci. Demikian pula mikrometer

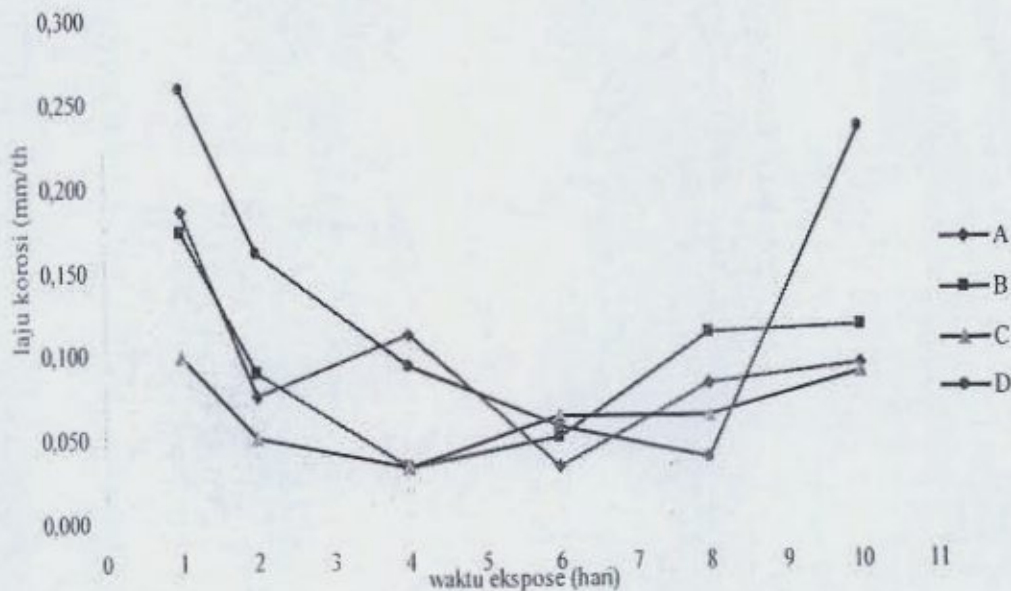
digunakan untuk mengukur tebal spesimen uji, dengan tingkat ketelitian 0,01 mm. Dan timbangan berat digunakan untuk mengukur berat spesimen uji pelat baja. Kapasitas maksimum 600 gram (ketelitian : 0,01 gram). Eksperimen laboratorium dilakukan dengan uji celup (*immersion corrosion test of metal*) sesuai dengan standart test korosi metal dari ASTM G31-72 untuk memperoleh data korosi yang terjadi pada pelat baja dan anoda korban dengan menggunakan tiga macam anoda korban paduan aluminium yang berbeda. Pelat baja dipersiapkan untuk menghilangkan kotoran pada pelat baja agar terhindar dari terjadinya korosi awal, sesuai dengan standar ASTM G1-81, "Standart Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens". Dalam eksperimen laboratorium ini susunan spesimen dibagi dalam 3 bak plastik (bak air laut), masing-masing spesimen dijepit dengan kayu dan ditempatkan di atas mulut bak air laut dengan bagian yang tercelup 12 cm, seperti ditunjukkan di gambar 1. Waktu uji celup yang digunakan dalam pengujian korosi, dilakukan berdasarkan standard ASTM G 31-72 (*standard recommenda practice for laboratory immersion corrosion testing of metal*) selama 240 jam (Usai,1996) dengan interval 24 jam, 48 jam, 96 jam, 144 jam, 192 jam dan 240 jam.



Gambar 1. Susunan spesimen uji dalam bak air laut.

Pengambilan data penurunan berat dilakukan dengan penimbangan spesimen (pelat baja) untuk setiap periode tiap 4 jam, kecuali hari pertama dengan periode 24 jam. Sebelum penimbangan spesimen terlebih dahulu dibersihkan. Perlakuan selama pembersihan adalah dengan jalan mencelupkan spesimen dalam larutan NaOH 10% selama 5 menit kemudian diangkat dan dicelupkan dalam aquades selama 5 menit. Kemudian dikeringkan dengan Oven dan baru dilakukan penimbangan dan data dicatat

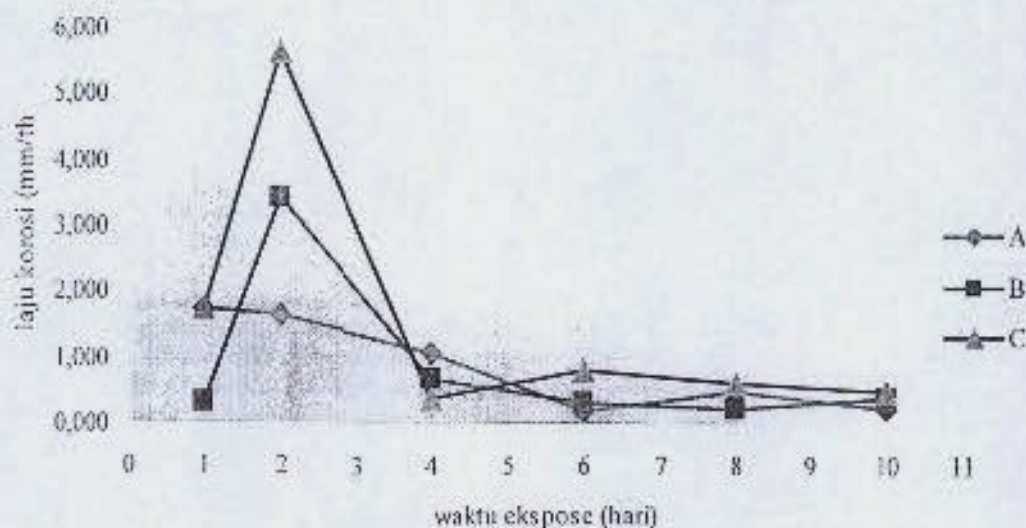
Hasil dan Pembahasan



Gambar 2. Laju korosi spesimen pelat baja A, B, C, D.

Laju korosi rata-rata spesimen C dengan perlindungan anoda korban paduan Aluminium C paling rendah (rata-rata 0,065 mm/tahun), dibandingkan dengan spesimen A (rata-rata 0,095 mm/tahun), B (rata-rata 0,096 mm/tahun), yang masing-masing dilindungi dengan anoda korban paduan Aluminium A dan B serta spesimen D (tanpa anoda korban, rata-rata 0,139 mm/tahun). Secara umum fenomena laju korosi spesimen di hari pertama sampai hari ke dua waktu ekspose jauh lebih tinggi, dari pada waktu ekspose hari ke 4, ke 6, ke 8 dan ke 10 hal ini terjadi karena lapisan pelat baja lebih banyak melepas unsur-unsur paduan logam yang mudah terkorosi atau yang tidak tahan terhadap korosi, seperti unsur, sulfat, silikon, mangan dan fosfor, walaupun sedikit kandungannya pada baja, namun pada hari pertama waktu ekspose terjadi laju korosi yang sangat tinggi. Dengan adanya anoda korban paduan aluminium yang mempunyai kandungan indium maka laju korosi spesimen agak terhambat, terutama terlihat pada spesimen C dengan anoda korban yang memiliki kandungan indium, laju korosi spesimen C waktu ekspose hari ke 1, ke 2, ke 4 dan ke 10 jauh lebih rendah dibanding spesimen A, B dan D. Selanjutnya laju korosi spesimen D yang tidak dilindungi dengan anoda korban pada waktu ekspose hari ke-1, ke-2 dan hari ke-10 lebih tinggi dari spesimen A, B dan C. Hal ini disebabkan permukaan spesimen D semakin melebar akibat korosi sebelumnya. Fenomena laju korosi spesimen A dan B selama waktu ekspose naik turun, hal ini disebabkan karena pengaruh perubahan pH (pH naik laju korosi turun) dan temperatur naik laju korosi naik serta pengaruh kecepatan aliran air laut.

Laju korosi anoda korban paduan aluminium C tertinggi dibandingkan dengan anoda korban paduan aluminium A dan paduan aluminium B. Tingginya laju korosi anoda korban paduan aluminium C karena mempunyai kandungan aluminium sebesar 97,165 % dan kandungan indium 0,03%. Sedangkan anoda korban paduan aluminium A hanya mempunyai kandungan aluminium 86,116% tanpa kandungan indium, dan anoda korban paduan aluminium B hanya memiliki kandungan aluminium sebesar 85,047% dan tanpa kandungan indium. Perbandingan laju korosi anoda korban dapat dilihat dalam gambar 3. Secara umum laju korosi anoda korban paduan aluminium B dan C mulai hari ke-0 sampai hari ke-2 meningkat di mana paduan aluminium C sangat tajam, sedang paduan aluminium B cukup tajam, kemudian setelah hari ke-2 ada kecenderungan menurun sampai hari ke-10 waktu ekspose. Di mana pada hari ke-2 sampai hari ke-4 paduan aluminium C penurunannya sangat tajam ($C_k=5,608$ mm/tahun ke $C_k=0,350$ mm/tahun). Sedangkan anoda korban paduan aluminium B, mulai hari ke-2 sampai hari ke-10 terus menurun cukup tajam (dari $C_k=3,405$ mm/tahun hari ke-2, sampai $C_k=0,651$ mm/tahun hari ke-4 dan hari ke-8, $C_k=0,200$ mm/tahun) namun dihari akhir ekspose hari ke-10 laju korosinya naik $C_k=0,350$ mm/tahun. Untuk anoda korban paduan aluminium A, laju korosinya cenderung menurun, di mana di hari ke-1 $C_k=1,702$ mm/tahun, turun sampai hari ke-6 $C_k=0,150$ mm/tahun, namun laju korosinya naik lagi pada hari ke-8 $C_k=0,451$ mm/tahun dan di hari ke-10 turun lagi $C_k=0,200$ mm/tahun.



Gambar 3 Laju korosi anoda korban paduan Al; A, B, dan C.

Peningkatan laju korosi pada anoda korban paduan aluminium C yang sangat tajam mulai hari ke-1 sampai hari ke-2 karena paduan aluminium C mengandung Al= 97,163% dan Indium = 0,03%. Kandungan unsur indium ini lah yang dapat meningkatkan laju korosi anoda korban aluminium C dan memperbesar hambatan laju korosi pelat baja. Peningkatan laju korosi anoda korban paduan aluminium A dan B tidak setajam anoda korban paduan aluminium C karena kandungan aluminium anoda korban A = 86,116% dan anoda korban B = 85,047% yaitu kurang dari 90% dan tanpa kandungan indium.

Kesimp
Eksperim
terosi m
keefektif
pada ber
perluada
dengan
anoda ko
mm/tahu

Teapan
Kami m
tinggi K
Kami ju
Masyarakat
Diponeg
tidak lan
Perkapali

Daftar I
Andarini.

Anggono

Akhadi, I
Fontana,
BKI Biro
Ridha.M.

Sasono, I

Sulistijon

Tsai, Tai

Kesimpulan

Eksperimen laboratorium dilakukan dengan uji celup (*immersion corrosion test of metal*) sesuai dengan standart test korosi metal dari ASTM G31-72 untuk memperoleh data korosi yang terjadi pada pelat baja dan anoda korban Analisa keefektifan paduan aluminium sebagai anoda korban mampu menurunkan laju korosi. Aplikasi paduan aluminium pada berbagai variasi menunjukkan pengaruh yang nyata dalam mereduksi laju korosi yakni spesimen C dengan perlindungan anoda korban paduan aluminium C menunjukkan hasil terendah (rata-rata 0,065 mm/tahun), dibandingkan dengan spesimen A (rata-rata 0,095 mm/tahun), B (rata-rata 0,096 mm/tahun), yang masing-masing dilindungi dengan anoda korban paduan aluminium A dan B. Dan spesimen D tanpa anoda korban menunjukkan laju korosi rata-rata 0,139 mm/tahun).

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada DP2M Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan Nasional yang telah mendanai penelitian ini melalui Skim Penelitian Hibah Bersaing. Kami juga memberikan apresiasi yang sedalam-dalamnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Diponegoro, Fakultas Teknik dan Program Diploma III Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro yang telah membantu kelancaran kegiatan penelitian ini. Dan semua pihak yang telah terlibat langsung dan tidak langsung dalam penelitian ini terutama mahasiswa, teknisi dan dosen di Program Studi Diploma III Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Daftar Pustaka

- Andarini, A.M., " *Studi Kasus Desain Proteksi Katodik Anoda Korban Pada Pipa Bawah Tanah Pdam Jaringan Karang Pilang III* ", Abstrak Thesis Undergraduate Theses Fisika, ITS Surabaya, 2011
- Anggono, Juliana, Citro, Soejono, dan Palapessy, Victor Rizal, " *Studi Perbandingan Kinerja Anoda Korban Paduan Aluminium dengan Paduan Seng dalam Lingkungan Air Laut* ", Jurnal Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra, Surabaya, Volume 2 Nomor 1, halaman 89 – 99, 2000.
- Akhadi, M, " *Korosi* ", Ahli Peneliti Muda Bidang Fisika di Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Fontana, Mars G, " *Corrosion Engineering* ", 3th Edition, Mc Graw Hill Book Co., New York, 1986
- BKI Biro Klasifikasi Indonesia, " *Regulator for the Corrosion and Coating System* ", Edition 2004, BKI, Jakarta, 2004.
- Ridha, M., Syarizal Fonnal,2, Syifaul Huzni1, Israr1 dan A. K. Ariffin, " *Boundary Element Method (Bem) Untuk Evaluasi Desain Sistem Proteksi Katodik Anoda Korban* ", 1Department of Mechanical Engineering Syiah Kuala University Jl.Tgk. Syech Abdul Rauf No. 7 Darussalam, Banda Aceh Provinsi Aceh, Indonesia, 2011.
- Sasono, E,J, " *Perhitungan Laju Korosi Bodi Lambung Kapal dengan Anoda Korban Paduan Aluminium* ", Majalah Kapal Vol 6 No. 1, 2009.
- Sulistijono, " *Korosi Tingkatkan Biaya Perawatan* ", Redaksi ITS (redaksi [at] its.ac.id) - Desain dan Perawatan: Tim Webmaster UPT Puskom ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember, , 2007
- Tsai, Tai Ming, " *Protection of Steel Using Aluminum Sacrificial Anodes in Artificial Seawater*, *Journal of Marine Science and Technology* ", Volume 4, No.1, Tahun 1995, halaman 17 – 21. , 1995