

TUGAS AKHIR

(KP 1701)

**PENGARUH ARUS PERLINDUNGAN KATODIK
TERHADAP ADHESIVITAS CAT SEBAGAI UPAYA
UNTUK PENCEGAHAN KOROSI PADA PELAT
LAMBUNG KAPAL (BAJA SS-41)**



RSPe
623.848
Mau
P-I
2001

OLEH :

M. FAUZI MAULANA

NRP. 4193 100 050

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2001

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	9/02/01
Terima Dari	H
No. Agenda	21 - 3021



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

Kampus ITS - Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5947264, 5994251-5 Pes. 1173 - 1176 Fax. 5947254

SURAT KEPUTUSAN TUGAS AKHIR

No. : 74a / K03.4.2/PP/2000

Nama Mahasiswa : M. Fauzi Maulana
Nomor Pokok : 4193100050
Tanggal diberi tugas : 01 Februari 2000
Tanggal selesai tugas : 31 Juli 2000
Dosen Pembimbing : 1. Wing Hendro Prasetyo Akbar Putera, ST, M.Eng
2. Ir. Triwillaswandi Wuruk Pribadji, MSc

Uraian / judul tugas akhir yang diberikan :

#PENGARUH ARUS PERLINDUNGAN KATODIK TERHADAP ADHESIVITAS CAT SEBAGAI UPAYA UNTUK PENCEGAHAN KOROSI PADA PLAT LAMBUNG KAPAL (BAJA SS 41) #

Surabaya, 28 Februari 2000

Jurusran Teknik Perkapalan

Tembusan :

1. Yth. Dekan FTK-ITS
2. Yth. Dosen Pembimbing
3. Arsip



LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR (KP 1701)**

Telah direvisi sesuai dengan hasil sidang Tugas Akhir

**PENGARUH ARUS PERLINDUNGAN KATODIK
TERHADAP ADHESIVITAS CAT SEBAGAI UPAYA
UNTUK PENCEGAHAN KOROSI PADA
LAMBUNG KAPAL (BAJA SS 41)**

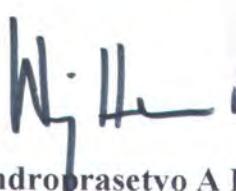
Diajukan guna memenuhi salah satu syarat,
Untuk meraih gelar Sarjana Teknik

Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, Pebruari 2001

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Wing Hendroprasetyo A P, S.T, M.Eng

NIP. 132 133 972

Dosen Pembimbing II



Ir. Triwilaswadio, M.Sc

NIP: 131 652 050

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR (KP 1701)**

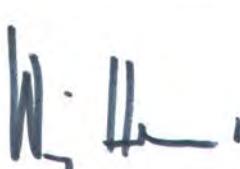
**PENGARUH ARUS PERLINDUNGAN KATODIK
TERHADAP ADHESIVITAS CAT SEBAGAI UPAYA
UNTUK PENCEGAHAN KOROSI PADA
LAMBUNG KAPAL (BAJA SS 41)**

Diajukan guna memenuhi salah satu syarat,
Untuk meraih gelar Sarjana Teknik

Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, Pebruari 2001
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Wing Hendroprasetyo A P, S.T, M.Eng

NIP. 132 133 972

Dosen Pembimbing II



Ir. Triwilaswadio, M.Sc

NIP: 131 652 050

ABSTRAK

INTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

ABSTRAK

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

Sarjana Teknik S1

PENGARUH ARUS PERLINDUNGAN KATODIK TERHADAP ADHESIVITAS CAT SEBAGAI UPAYA UNTUK PENCEGAHAN KOROSI PADA LAMBUNG KAPAL (BAJA SS 41)

Oleh : M. Fauzi Maulana

Pembimbing: I. Wing Hendroprasetyo ST, M.Eng

II. Ir. Triwilaswadio M.Sc

Pencegahan korosi yang diterapkan dalam dunia perkapalan sangat bervariasi, diantaranya dengan menggunakan pelapisan dengan pengecatan dan dengan perlindungan katodik, baik secara SACP maupun ICCP. Dengan mengikuti prosedur yang tepat, maka ICCP akan memberi perlindungan terhadap korosi dalam jangka waktu yang lama. Tetapi jika potensial perlindungan yang diberikan terlalu negatif, maka justru merusak sistem cat (adhesivitasnya menurun).

Dalam penelitian ini akan dicari potensial dan arus yang memberi perlindungan optimal sehingga tidak akan mengganggu adhesivitas. Cat yang digunakan adalah cat lambung kapal untuk daerah dibawah garis air. Material uji yang digunakan terlebih dulu diberi perlakuan elektrokimia dengan memvariasikan potensial antara -800 mV SCE sampai -925 mV SCE. Uji adhesivitas yang dilakukan dengan menggunakan ASTM D4541 Dolly pull off.

Hasil pengujian adhesivitas menunjukkan kekuatan kerekatan cat adalah 39 Kg/cm² (tanpa perlakuan perlindungan katodik), dan turun mencapai 8,25 Kg/cm² atau 21,15% hingga 19,2 Kg/cm² atau 49,23% dari kuat tarik semula. Dari beda potensial yang diberikan, perlindungan katodik yang paling optimum terjadi pada -800 mV SCE sampai -825 mV SCE.

ABSTRACT

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

ABSTRACT

**FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
DEPARTEMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING
Degree in Engineering (S1)**

**INFLUENCE OF CATHODIC PROTECTION CURENT TO PAINT
ADHESIVITY AS A CORROSION PREVENTION
ON SHIP HULL PLATTING (SS 41 STEEL)**

By : M. Fauzi Maulana
Supervisor(s) : I. Wing Hendroprasetyo ST, M.Eng
II. Ir. Triwilaswadio M.Sc

Painting and cathodic protection, either SACP or ICCP are commonly needed to prevent corrosion in shipbuilding. By following the right procedure, Impressed Current Cathodic Protection will give long last protection against ship hull. On the other hand, giving too negative potential will reduce paint adhesivity.

In this research, experiment were carried out to find the value of protection potential and current that give the optimum protection without reducing paint adhesivity. The electrochemical were treated with potential variation between -800 mV SCE to -925 mV SCE. Paint adhesivity were tested by using ASTM D-4541 Dolly pull off adhesion tester.

The Adhesivity test result shows that paint adhesivity is 39 Kg/cm² (without cathodic protection treatment) and reduce to between 8,25 Kg/cm² or 21,15% until 19,2 Kg/cm² or 49,23%. From the potential has been given, the optimum potential of cathodic protection occurs at -800 mV SCE to -825 mV SCE.

KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil alamiin

Tiada kata yang pantas terucap kecuali kalimat syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberi rahmat, hidayah, dan inayah-Nya kepada penulis khususnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul:

*PENGARUH ARUS PERLINDUNGAN KATODIK TERHADAP ADHESIVITAS
CAT SEBAGAI UPAYA UNTUK PENCEGAHAN KOROSI PADA LAMBUNG
KAPAL (BAJA SS 41).*

Adapun Tugas Akhir ini disusun sebagai persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Perkapalan (S1) di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Tidak lupa penulis mengucapkan trima kasih yang tulus dan sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D selaku ketua Jurusan Teknik Perkapalan.
2. Bapak Wing Hendarprasetyo ST, M.Eng dan juga Bapak Ir. Triwilaswadio, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan ide cemerlangnya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

3. Bapak Ir. Mahardjo Wartono Selaku dosen wali penulis yang telah memberi pengarahan dan saran selama penulis menempuh kuliah.
4. Abah dan Ibu yang dengan tulus memberikan doa, restu dan kasih sayangnya kepada penulis.
5. Bapak Ir. Edi Widarto M.Eng yang telah banyak membantu penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Bapak Santoso, Ka.Beng Fabrikasi KANIA PT. PAL Surabaya atas bantuan dan waktunya.
7. Seluruh Staf Blasting and Painting Shop dan QA PT. PAL Indonesia yang telah banyak memberi bantuan serta masukan kepada penulis.
8. Bapak Edi Wahyono, Edi Haryono, dan seluruh staf Hempel's Indonesia yang banyak membantu penulis dalam pengujian material.
9. Kakak-kakakku tersayang yang telah dengan sabar membimbing dan memperhatikan penulis.
10. "Sayangku" Mirna Y.C yang telah dengan sabar memberi semangat, perhatian, kasih sayang, serta pengertian kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
11. Mas Fendi, Mas Slamet selaku operator Laboratorium D3 Kimia ITS yang telah banyak membantu penulis dalam pengujian.

12. My friends: Haji Rian, Haji Anang, Ulum, Handi, Wahyu, Zainul, Ichi, Lukman, Fiko, Iwan, dan semua Dewan Jenderal, "tetap semangat !"
13. Temanku di GW 42: T-rex, Gugun, Gum, Michin, Jhon, Om Aziz, Bagonk, Andi, Heru, Yoko, dan laennya, terima kasih teman!
14. Bapak Haji Jaelani yang telah memberi kelonggaran pembayaran Kos selama penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
15. Emmy, Berlin, Koko, Basuki, trima kasih telah mau berbagi kebahagiaan dan kesedihan dengan penulis.

Tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, tetapi semoga dapat memberi manfaat untuk kita semua. Amin...

Surabaya, Pebruari 2001

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

ABSTRAK

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI iv

DAFTAR GAMBAR vii

DAFTAR TABEL ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian	I-2
1.2. Perumusan Masalah	I-3
1.3. Tujuan Penelitian	I-3
1.4. Manfaat Penelitian	I-3
1.5. Batasan Masalah	I-4
1.6. Metodologi Penelitian	I-4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Korosi	II-7
2.2. Pengertian Korosi Galvanik	II-11
2.2.1. Mekanisme Terjadinya Korosi Galvanik	II-12
2.2.2. Faktor-Faktor yang Mempegaruhi Terjadinya Korosi Galvanik	II-16
2.3. Polarisasi	II-19
2.4. Pengendalian Korosi	II-21

2.5. Lapisan Pelindung (Coating)	II-22
	II-25
2.5.1. Aplikasi Cat	II-28
2.5.2. Pengujian Adhesivitas Hasil Pengecatan	II-31
2.6. Perlindungan Katodik	II-33
2.6.1. Prinsip Dasar Perlindungan Katodik	II-36
2.6.2. Jenis Proteksi Katodik	

BAB III METODOLOGI DAN DATA PENGUJIAN

3.1. Metodologi	III-38
3.1.1. Pembuatan Material Uji	III-38
3.1.2. Proses Pengecatan	III-39
3.1.3. Pengujian Elektrokimia Sel Tiga Elektroda	III-41
3.1.4. Pengujian Adhesivitas	III-47
3.2. Data Hasil Pengujian	III-51

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Cat Sebagai Sistem Pelindung	IV-53
4.2. Analisa Luasan Spesimen dan Elektronika	IV-54
4.2.1. Analisa Arus Terpasang	IV-63
4.2.2. Analisa Sistem Cat	IV-64
4.2.3. Analisa Lapisan Cat yang Mengelupas dan Kekuatan Tarik	IV-65

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	V-71
5.2. Saran	V-72

PENUTUP

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	JUDUL	HALAMA
1.1	Rangkaian Pengujian Sel Tiga Elektroda	I-6
2.1	Deret Galvanik dalam Air Laut	II-13
2.2	Proses Korosi pada Media Asam	II-14
2.3	Diagram Evans dari Pasangan Dwi Logam Besi\Seng	II-19
2.4	Potongan Cross Uji Adhesivitas ASTM D-4541 Metode A	II-29
2.5	Potongan Cross Uji Adhesivitas ASTM D-4541 Metode B	II-30
2.6	Peralatan Dolly pull off ASTM D-4541	II-31
2.7	Variasi Potensial Perlindungan Katodik Terhadap Kerapatan Arus Untuk Baja dalam Air Laut serta Hubungannya dengan Laju Korosi yang Diukur dari Berat yang Hilang	II-33
2.8	Diagram Skematik Difusi Atom Hidrogen Ke Dalam Logam	II-36
3.1	Lapisan Cat Spesimen Uji	III-41
3.2	Spesimen Pengujian	III-41
3.3	Dokumentasi Rangkaian Uji Elektrokimia Sebelum Pengujian	III-43
3.4	Skema Alat Uji Sel Tiga Elektroda	III-44
3.5	Dokumentasi Pengujian Elektrokimia	III-45
3.6	Dokumentasi Hasil Pengujian Elektrokimia Sesudah dicuci	III-46
3.7	Dokumentasi peralatan Dolly pull off ASTM D-4541	III-47
3.8	Dokumentasi Pemotongan Area Uji ASTM D-4541	III-48
3.9	Dokumentasi Pengujian Adhesivitas dengan Dolly pull off	III-49
3.10	Dokumentasi Contoh Hasil Pengujian Adhesivitas ASTM D-4541	III-50

3.11	Dokumentasi Hasil Pengujian Adhesivitas dengan ASTM D-4541	III-50
4.1	Diagram Konversi Potensial	IV-56
4.2	Hubungan Potensial Perlindungan Katodik dengan Kuat Tarik Cat Material Kelompok A	IV-60
4.3	Hubungan Arus Perlindungan Katodik dengan Kuat Tarik Cat Material Kelompok A	IV-61
4.4	Hubungan Potensial Perlindungan Katodik dengan Kuat Tarik Cat Material Kelompok B	IV-62
4.5	Hubungan Arus Perlindungan Katodik dengan Kuat Tarik Cat Material Kelompok B	IV-62
4.6	Hubungan Potensial dengan Kerapatan Arus Pengujian	IV-63

DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

TABEL	JUDUL	HALAMAN
2.1	Elektromotive Series Of Metal	II-15
2.2	Perubahan Berat Dari Besi Dan Seng Yang Dikopel Dan Yang Tidak Dikopel	II-17
3.1	Tabel Tegangan dan Kuat Arus Pengujian	III- 51
3.2	Data Uji Adhesivitas Spesimen A Dengan Lama Perlindungan Katodik 4 Jam, Pengeringan Dipercepat	III- 51
3.1	Data Uji Adhesivitas Spesimen B Dengan Lama Perlindungan Katodik 7 Jam, Pengeringan Alami	III- 52
4.1	Potensial Acuan Elektroda Baku/Pembanding	IV- 56
4.2	Konversi Potensial mV SCE Terhadap mV SSC	IV- 59
4.3	Penurunan Kekuatan Tarik Cat Akibat Perlindungan Katodik (Material A)	IV-67
4.4	Penurunan Kekuatan Tarik Cat Akibat Perlindungan Katodik (Material B)	IV-68

BAB I
PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

Dewasa ini Indonesia sedang giat-giatnya melaksanakan pembangunan di segala bidang guna mewujudkan masyarakat yang berkeadilan dan berkemakmuran. Salah satu pembangunan yang sedang gencar dilaksanakan adalah pembangunan dalam bidang sarana transportasi baik darat, laut, maupun udara. Dengan sarana transportasi ini pula, hasil-hasil pembangunan yang berupa produk industri dapat disalurkan keseluruh penjuru tanah air .

Bila dilihat wilayah negara Indonesia sebagai negara kepulauan, lebih dari 60% merupakan lautan, maka sudah sewajarnya bahwa sarana perhubungan laut menjadi sarana transportasi yang sangat penting. Dan sarana perhubungan laut yang lazim digunakan adalah kapal yang terbuat dari baja. Karena kapal laut bekerja pada lingkungan laut, maka material ini sangat rentan terhadap proses korosi.

Untuk menghindari terjadinya korosi perlu dilakukan berbagai upaya pencegahan. Dalam tulisan ini akan dibahas masalah korosi dan pencegahannya, khususnya korosi yang terjadi pada sarana transportasi laut (kapal). Upaya -upaya diatas diantaranya dengan coating (pelapisan) dan dengan perlindungan katodik (ICCP).



1.1. LATAR BELAKANG PENELITIAN

Karat (rust) adalah sebutan yang dikhkususkan bagi korosi pada besi, sedangkan korosi adalah gejala destruktif yang mempengaruhi hampir semua logam. Walaupun besi bukan logam pertama yang dimanfaatkan oleh manusia, besi paling banyak digunakan, termasuk kapal yang menggunakan besi dan baja sebagai bahan baku dan konstruksinya.

Pembangunan suatu kapal haruslah memenuhi standard yang diterapkan, karena ini menyangkut aspek keamanan dan keselamatan. Adalah kenyataan yang kurang menguntungkan, karena kapal laut yang kebanyakan terbuat dari baja ini beroperasi untuk daerah yang bersifat korosif. Namun demikian baja sangat rentan terhadap serangan korosi. Korosi ini mempunyai dampak yang sangat besar bagi kapal, terutama untuk aspek keamanan dan ekonomisnya

Beberapa metode yang digunakan dalam menaggulangi korosi pada kapal adalah dengan cara pengecatan (*coating*), dan membalikkan arah arus korosi dengan cara arus terpasang atau pemasangan katode yang lebih dikenal dengan *Cathodic Protection*. Sebuah kenyataan bahwa walaupun kapal sudah dilapisi dengan cat, kapal juga terkadang masih diberikan arus terpasang (*Cathodic Protection*). Hal ini jika tidak diperhatikan ketepatan beda potensial yang diberikan maka akan berakibat fatal pada lapisan cat yang ada.



Untuk itu perlu diambil langkah-langkah yang dapat memberikan jalan keluar bagi permasalahan tersebut diatas.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Adapun permasalahan yang dibahas yaitu potensial perlindungan katodik dapat memberikan perlindungan pada baja SS 41 terhadap serangan korosi. Tetapi disisi lain potensial perlindungan katodik yang kurang tepat akan memberikan dampak perlindungan yang tidak optimal, seperti halnya jika potensial perlindungan katodik terlalu negatif akan memberikan dampak yang kurang menguntungkan terhadap adhesivitas cat. Kemudian dari permasalahan itu dibuat pertanyaan tentang pengaruh arus perlindungan katodik terhadap adhesivitas cat pada baja SS 41.

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

Mengetahui pengaruh potensial perlindungan katodik yang paling optimal sehingga berdampak sekecil mungkin terhadap ahesivitas cat pada baja SS 41.

1.4. MANFAAT PENELITIAN

Diharapkan dari laporan dan data dari penelitian ini akan diperoleh:

- a. Gambaran tentang ketahanan cat yang sering dipakai di PT PAL terhadap pengaruh variasi potensial perlindungan katodik.



- b. Data tentang karakteristik serta ketahanan masing-masing cat terhadap serangan korosi.
- c. Referensi besarnya potensial perlindungan katodik yang paling optimal sehingga pengaruh negatif terhadap adhesivitas cat dapat ditekan sekecil mungkin.

1.5. BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah:

- a. Hanya menganalisis ketahanan dari jenis cat lambung kapal dibawah garis air (epoksi, anti corrosion, antifouling I dan II) yang sering dipakai untuk pengecatan lambung kapal di PT PAL.
- b. Pengecatan dilakukan sesuai spesifikasi dari produk cat.
- c. Pengecatan dilakukan mulai primer hingga top coating
- d. Pengujian elektrokimia dilakukan dengan memvariasikan beda potensial (E) : -800 mV SCE, -825 mV SCE, -850 mV SCE, -875 mV SCE, -900 mV SCE, dan -925 mV SCE yang nanti akan dikonversikan ke SSC
- e. Adhesion Test dilakukan dengan Dolly pull-off (ASTM D-4541)
- f. Pengaruh dari aliran dan suhu diabaikan.

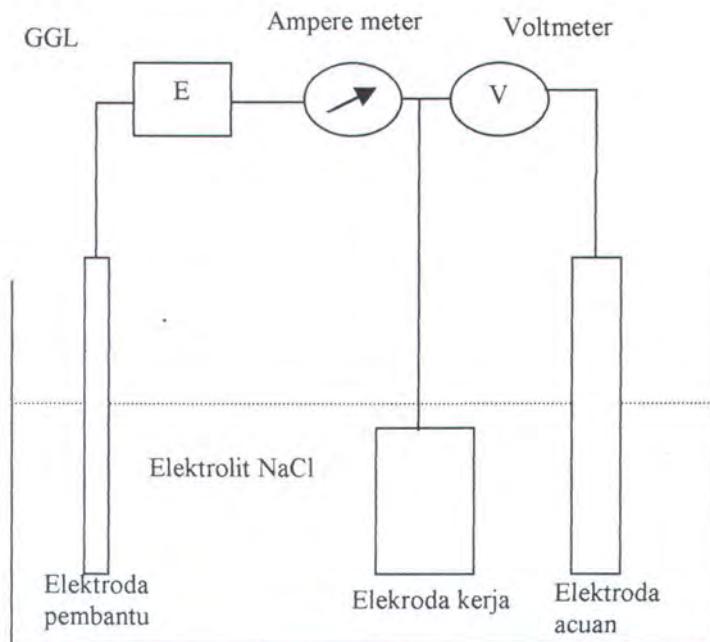
1.6. METODOLOGI

Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode pengujian elektrokimia dan teknik polarisasi dengan ICCP yang menggunakan instrumen potensiostat, yaitu alat



untuk mengatur beda potensial antara spesimen (elektroda kerja) dengan elektroda acuan dan menggunakan variable arus antara spesimen dengan elektroda pembantu. Besarnya elektron yang mengalir diantara elektroda kerja dengan elektroda pembantu tersebut besarnya sebanding dengan besarnya arus yang mengalir diantara dua elektroda tersebut. Urutan langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

- a. Sebagai permulaan kerja, dilakukan *surface preparation* material uji, yaitu dengan melakukan penggeraan pada material sesuai dengan standart sebelum pengecatan, kemudian dilakukan pengecatan sesuai dengan spesifikasi dari cat.
- b. Untuk langkah pengujian elektrokimia dilakukan langkah-langkah sebagai berikut: siapkan seperangkat alat kerja seperti pada Gambar 1.1 berikut ini, alat tersebut disebut sebagai sel tiga elektroda, karena menggunakan tiga buah elektroda, yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda pembantu, dan elektroda acuan kalomel jenuh (*reference electrode*).
- c. Elektrode yang digunakan adalah baja SS 41 yang luas permukaannya seragam , dan natrium clorida sebagai elektrolit.
- d. Potensiostat diatur hingga bacaannya menunjukkan angka – 800 mV SCE, kemudian di ukur arus pada beda potensial tersebut. biarkan sampai jangka waktu 4 jam.



Gambar 1.1 Rangkaian pengujian sel tiga elektroda

- e. Percobaan dilakukan untuk masing-masing beda potensial mempunyai langkah-langkah sama seperti diatas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi korosi

“ Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya.” [Chamberlain, 1991]

Berdasarkan keterangan diatas maka perlu ditekankan:

Korosi berkaitan dengan logam, sedangkan logam adalah suatu material yang mempunyai jenis ikatan yang khusus yang membuat logam mempunyai sifat-sifat tersendiri dan berbeda dengan bahan-bahan lain yang bukan logam. Ketika logam mengalami suatu reaksi korosi, atom itu diubah menjadi ion melalui reaksi dengan suatu unsur yang terdapat di lingkungannya.

Melalui penggunaan istilah degradasi atau penurunan mutu menggambarkan bahwa korosi adalah proses yang tidak dikehendaki. Namun demikian ini tidak selamanya benar, dan dalam hal itu proses tersebut tidak disebut korosi.

Penurunan mutu logam tidak hanya melibatkan reaksi elektrokimia, yaitu antara bahan-bahan bersangkutan terjadi perpindahan elektron. Karena elektron adalah sesuatu yang bermuatan negatif, maka pengangkutannya menimbulkan arus listrik, sehingga reaksi dipengaruhi oleh potensial listrik.

Lingkungan adalah sebutan paling mudah untuk mewakili semua unsur sekitar logam terkorosi pada saat reaksi korosi



berlangsung. Lingkungan yang dimaksudkan diantaranya adalah lingkungan berwujud gas (-10° C s/d +30° C), bahan yang terendam dalam air bebas dan tanah dan mineral-mineral yang terlarut dan membentuk elektrolit yang bersifat menghantarkan arus listrik..

[*Chamberlain, 1991*]

Pada umumnya baja karbon akan mengalami korosi pada setiap lingkungan atmosfer bila kelembaban relatif melebihi 60%. Begitu butir-butir air pada permukaan terbentuk, maka korosi akan terjadi dengan kecepatan yang dipengaruhi beberapa faktor antara lain: kandungan oksigen, pH, serta kandungan ion-ion agresif.

Proses korosi dapat diterangkan melalui konsep sel korosi sederhana. Pada konsep korosi sel sederhana terdapat empat faktor yang harus ada secara bersamaan untuk dapat berlangsungnya proses korosi, yaitu:

- a. Anoda, yang merupakan bagian yang akan terkorosi dan akan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion. Reaksi suatu logam M dapat dinyatakan dalam persamaan sederhana sebagai berikut:

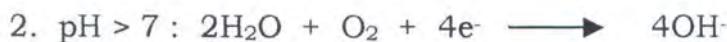
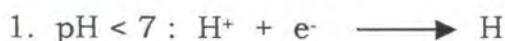


Banyaknya elektron yang diambil dari masing-masing atom ditentukan oleh valensi logam yang bersangkutan. Umumnya harga $z = 1,2$ atau 3 .

- b. Katoda, bagian yang biasanya tidak mengalami korosi, walaupun mungkin menderita kerusakan-kerusakan. Ada dua



reraksi yang umum terjadi pada katoda, tergantung dari PH yang bersangkutan:

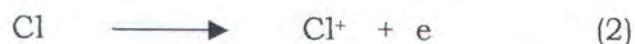


Reaksi ini akan mengkonsumsi elektron –elektron yang dihasilkan oleh proses anoda, serta perubahan energi yang cukup besar.

- c. Elektrolit, merupakan istilah yang diberikan pada larutan yang bersifat menghantarkan listrik. Larutan ini biasanya mempunyai harga konduktivitas tertentu.
- d. Hubungan listrik, dimana antara katoda dan anoda harus ada hubungan listrik agar arus di dalam sel korosi dapat mengalir. Hubungan secara fisik tidak diperlukan jika katoda dan anoda merupakan bagian dari logam yang sama.

Dari proses oksidasi dan reduksi suatu reaksi, proses korosi dapat digolongkan ke dalam beberapa reaksi, satu diantaranya adalah reaksi anodik.

Reaksi anodik yaitu suatu reaksi dimana terjadi reaksi oksidasi dari logam menjadi ionnya. Demikian pula dalam korosi, setiap korosi adalah oksidasi dari logam menjadi ionnya. Dan secara umum dapat dituliskan seperti contoh dibawah ini:





Dari beberapa macam reaksi yang terjadi, ada bermacam-macam reaksi anodik yang disertai reaksi katodik. Tetapi reaksi yang paling umum adalah reaksi-reaksi dibawah ini: [Chandler, 1981]

- a. Pembebasan hidrogen : $2\text{H}^+ + 2e \longrightarrow \text{H}_2$ (4)
- b. Reduksi oksigen (larutan asam) : $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ (5)
- c. Reduksi oksidasi(larutan netral) : $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e \longrightarrow 4\text{OH}^-$ (6)
- d. Reduksi ion logam : $\text{M}^{3+} + e \longrightarrow \text{M}^{2+}$ (7)
- e. Deposisi ion logam : $\text{M}^+ + e \longrightarrow \text{M}$ (8)

Dari beberapa macam reaksi diatas, reaksi pembebasan hidrogen merupakan reaksi katodik yang umum terjadi pada media asam. Sedangkan reduksi ion logam jarang terjadi pada reaksi ini.

Dengan memahami hal diatas maka korosi dapat terjadi jika antara anoda dan katoda terdapat selisih energi bebas. Selisih energi ini merupakan perwujudan potensial listrik yang dapat diukur dengan menyisipkan sebuah voltmeter pada rangkaian listrik.

Untuk menghindari terjadinya proses korosi, dapat dihilangkan salah satu atau keseluruhan komponen yang dapat menyebabkan korosi diatas. Pada konsep sel korosi basah, deret galvanik mempunyai peran yang sangat penting untuk menentukan logam mana yang akan bersifat sebagai anoda dan katoda.

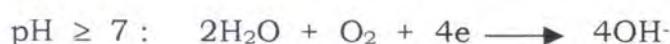


2.2 Pengertian Korosi Galvanik

Korosi galvanik (*Bimetallic Corrosion*) atau disebut juga *dissimilar metal corrosion* adalah suatu proses korosi logam yang tidak sejenis yang tergandeng (*coupled*) dan membentuk sebuah sel korosi basah sederhana dalam suatu media elektrolit. Dari proses tersebut, terjadilah korosi yang disebabkan karena perbedaan potensial dari kedua logam itu. [*Chamberlain, 1991*]

Biasanya daerah-daerah pada permukaan logam yang terkorosi dapat dikenali, dan tempat reaksi-reaksi anoda dan katoda dimana masing-masing berlangsung, dan daerah-daerah itu disebut anoda dan katoda. Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion-ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau bereaksi membentuk hasil korosi yang tidak larut.

Sedangkan katoda biasanya tidak mengalami korosi, walaupun mungkin menderita kerusakan dalam kondisi-kondisi tertentu. Dua reaksi yang penting dan umum yang mungkin terjadi pada katoda, tergantung pada pH larutan yang bersangkutan, seperti contoh dibawah ini: [*Chamberlain, 1991*]



Perbedaan potensial antara dua logam yang berbeda dan berkontak (terhubung secara kontak listrik) ketika tercelup dalam



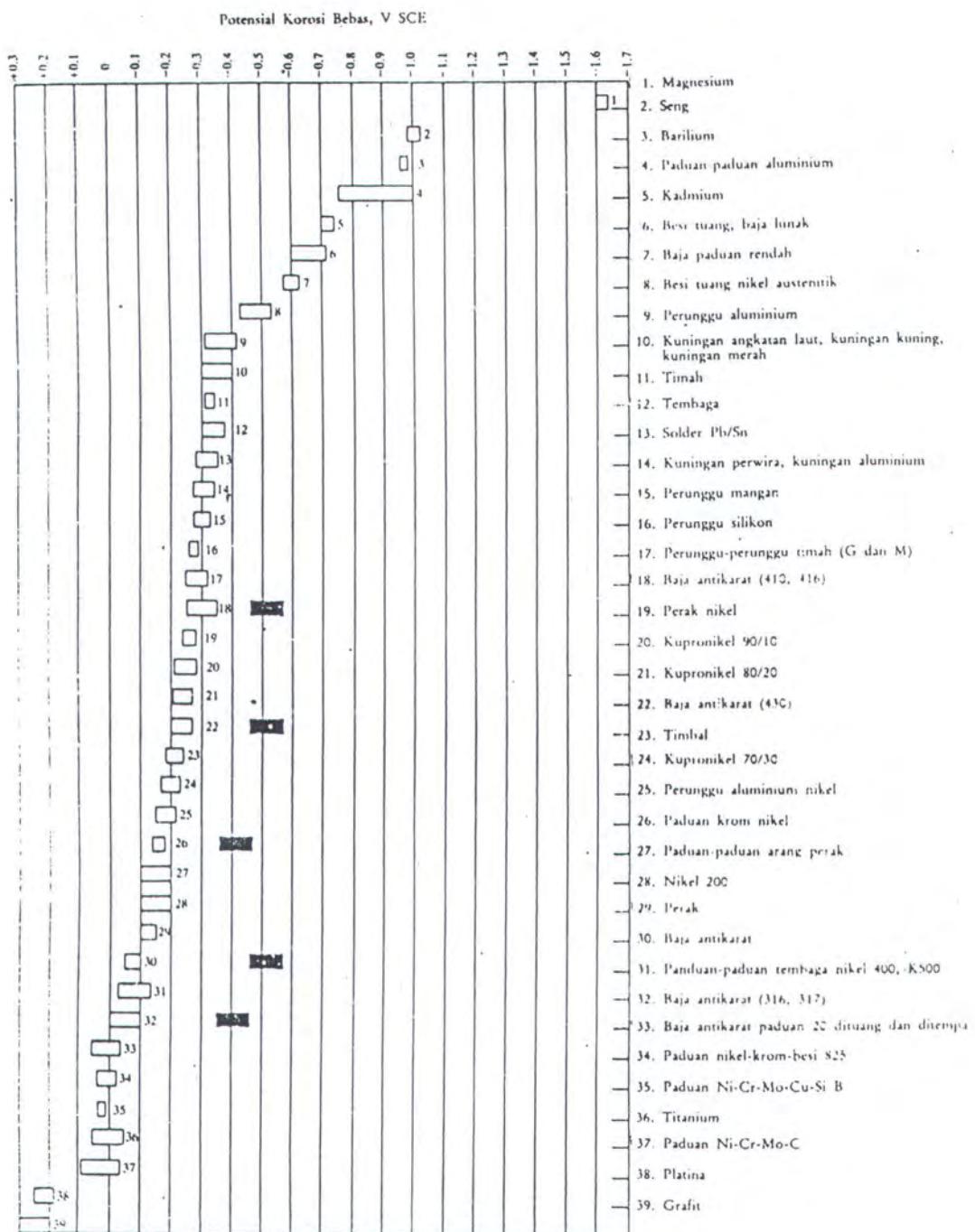
elektrolit, akan menyebabkan elektron mengalir diantara kedua logam tersebut, sehingga terjadilah korosi. Bahan yang mempunyai ketahanan korosi yang rendah akan lebih rentan terkena korosi dari pada logam yang mempunyai ketahanan korosi yang lebih tinggi. Bahan dengan ketahanan lebih rendah disebut anoda, sedangkan logam dengan kondisi sebaliknya disebut katoda [Chamberlain, 1991].

Pada korosi galvanik, semakin jauh letak kedua logam dalam deret galvanik, maka akan semakin besar beda potensial yang dihasilkan antara kedua logam tersebut.

2.2.1. Mekanisme Terjadinya Korosi Galvanik

Prinsip korosi logam tidak sejenis atau sering disebut korosi galvanik merupakan dasar untuk memahami semua bentuk korosi yang lain. Untuk lebih menjelaskan tentang korosi galvanik tersebut, maka diberikan salah satu bentuk reaksi korosi yang dapat mewakili korosi galvanik, yaitu korosi logam yang dikopel dengan logam yang tanpa dikopel.

Korosi terjadi pada logam tunggal, misalnya pada besi (Fe) yang mengalami korosi akibat perbedaan potensial lokal yang dimilikinya. Perbedaan potensial tersebut dapat berasal dari batasan dari butiran, impurity, fasa-fasa, dan bagian lainnya. Dengan demikian terbentuklah suatu anoda dan katoda lokal pada permukaan logam tersebut, dan selanjutnya terjadi aliran elektron dari anoda ke katoda diikuti oleh oksidasi dari anoda lokal.

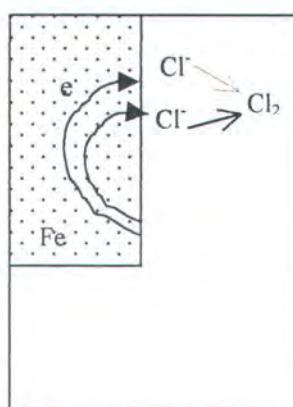


Gambar 2.1 Deret galvanik dalam air laut. Daerah yang dihitamkan menunjukkan rentang-rentang potensial aktif.

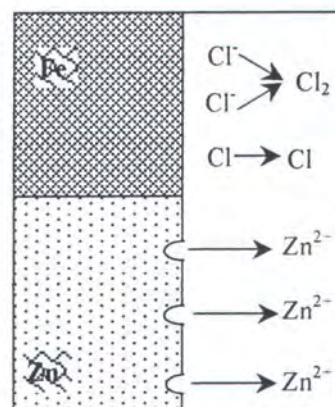
(Chamberlain, 1991)



Pada suatu keadaan tertentu besi akan terkorosi sampai habis, dan ini terjadi bila besi dicelupkan dalam Natrium klorida pekat. Hal ini dimungkinkan karena tak ada bagian-bagian besi yang benar-benar sama. Apabila suatu anoda lokal habis terkorosi, maka bagian sisa katoda lokal menjadi anoda dan katoda lokal baru, demikian seterusnya proses ini berulang sampai besi benar-benar habis. [Riggs and Locke, 1981]



(a)



(b)

(a)Korosi logam bebas

(b)Korosi logam yang dikopel

Gambar 2.2 Proses korosi pada media asam

[Riggs and Locke, 1981]

Oleh karena itu, dibuatlah standar potensial dari beberapa bahan. Potensial yang dipakai untuk keperluan diatas adalah Hydrogen (H_2/H^+), artinya potensial oksidasi dari gas Hydrogen (H_2) menjadi ion Hydrogen (H^+) adalah nol.

Pada kenyataannya, korosi Hydrogen umumnya terjadi pada logam-logam paduan. Oleh karena itu, untuk memperkirakan



kehadiran korosi Hydrogen yang lebih akurat, diperlukan deret Hydrogen, dengan melihat harga elektroda potensial vs elektroda Hydrogen pada suhu 25° C.

Tabel 2.2. Elektromotive Series of Metal

[*Bethune and Lound, 1964*]

Ion logam pada kesetimbangan (unit aktivitas)	Elektroda potensial vs elektroda Hydrogen normal pada 25°C, volt
Au – Au ³⁺	+ 1,498
Pt – Pt ²⁺	+ 1,2
Pd – Pd ²⁺	+ 0,987
Ag – Ag ⁺	+ 0,799
Hg – Hg ²⁺	+ 0,788
Cu – Cu ²⁺	+ 0,377
H ₂ – H ⁺	0,000
Pb – Pb ²⁺	- 0,126
Sn – Sn ²⁺	- 0,136
Ni – Ni ²⁺	- 0,250
Co – Co ²⁺	- 0,277
Cd – Cd ²⁺	- 0,403
Fe – Fe ²⁺	- 0,440
Cr – Cr ³⁺	- 0744
Zn – Zn ²⁺	- 0,763
Al – Al ³⁺	- 1,662
Mg – Mg ²⁺	- 2,363
Na – Na ⁺	- 2,714
K – K ⁺	- 2,925



2.2.2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Proses Korosi Galvanik

Pada percobaan reaksi korosi galvanik atau reaksi korosi antar dua logam yang berbeda, hasil yang diperoleh kadang-kadang kurang tepat seperti yang diharapkan, hal tersebut dikarenakan beberapa faktor yang mempengaruhi pada proses saat terjadinya korosi tersebut.

Demikian juga pada pasangan kopel seperti diatas, laju korosi logam yang terkopel juga sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut :

- a. Efek lingkungan korosif
- b. Perbedaan potensial antara logam yang dikopel
- c. Efek dari luasan benda yang terkorosi

Dari ketiga faktor tersebut diatas, dapat dijelaskan dijelaskan satu-persatu seperti di bawah ini, yaitu sebagai berikut :

a) Efek Lingkungan Korosif

Lingkungan korosif yang sering juga disebut medium elektolit, sangat mempengaruhi laju korosi pada suatu kasus. Pada medium tertentu, semakin naik laju korosinya dibandingkan dengan medium pengkorosi lainnya pada kepekatan (konsentrasi) yang sama. Pada umumnya, bahan mempunyai ketahanan korosi lebih rendah akan menjadi anoda saat dikopel. Tetapi kadang-kadang potensial akan menjadi terbalik untuk suatu lingkungan tertentu. Sebagai contoh pengaruh dari lingkungan ini, dapat dilihat pada tabel 2.2 di bawah ini menunjukkan perubahan berat besi dan seng. Jika besi ini



dikopel dengan seng, maka seng akan terkorosi dan besi akan terlindungi. Hal ini menunjukkan bahwa besi lebih mulia dibandingkan seng. Tetapi untuk keadaan khusus seperti lingkungan air pada 180° C, keadaan diatas menjadi terbalik sehingga besi menjadi anoda. Hal ini disebabkan karena produk korosi terjadi sering menutupi seng sehingga hal ini menjadikan permukaan seng menjadi lebih mulia dibandingkan dengan besi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari tabel 2.2 perubahan berat dari besi dan seng yang dikopel dengan yang tanpa dikopel di bawah ini.

Tabel 2.3. Perubahan berat dari Besi dan Seng yang dikopel dan tanpa dikopel

[Fontana , 1991]

Medium Korosi	Uncouple		Couple	
	Seng	Besi	Seng	Besi
MgSO ₄ 0.05M	0,00	-0,04	-0,05	+0,02
Na ₂ SO ₄ 0.05M	-0,17	-0,15	-0,48	+0,01
NaCl 0.05M	-0,15	-0,15	-0,44	+0,01
NaCl 0.005M	-0,06	-0,10	-0,13	+0,02

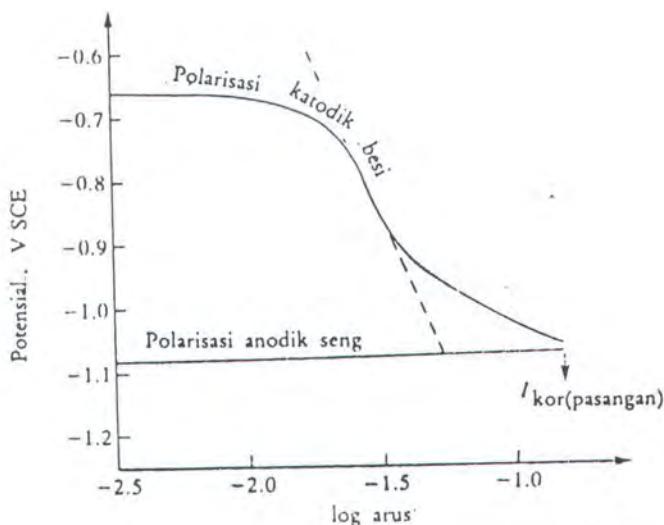


b) **Perbedaan potensial logam yang dikopel**

Besarnya beda potensial antara dua logam yang dikopel akan sangat mempengaruhi laju korosi galvanik yang terjadi. Semakin besar beda potensialnya, maka akan semakin besar laju korosinya dan sebaliknya.

c) **Efek luasan**

Besarnya luasan yang terlibat dalam suatu sistem korosi menentukan besarnya kerapatan arus yang mengalir dalam sistem. Sedangkan harga kerapatan arus akan menentukan laju korosi logam tersebut dalam sistem serta potensial korosinya. Akan tetapi polarisasi suatu logam apalagi yang berada dalam sistem terkopel dengan logam lain tidak dapat dipastikan secara linier. Sehingga akan lebih tepat apabila digunakan harga potensial korosi pengkopelan logam dari hasil percobaan yang dilakukan di laboratorium. Perlu diingat pula bahwa kerapatan arus yang cukup besar akan merusak sistem proteksi dengan lapisan cat. Pada diagram Evans dapat dilihat bahwa polarisasi besi tidak linier seperti yang diharapkan, hal tersebut diakibatkan oleh pembentukan hidrogen dari sekitar $-0,9$ V SCE hingga lebih rendah dari $-0,9$ V SCE.



Gambar 2.3 Diagram Evans dari pasangan dwilogam besi\seng

2.3 Polarisasi

Laju korosi yang terjadi, juga tergantung pada kerapatan arus yang timbul (*current density*). Semakin tinggi kerapatan arus yang timbul, maka korosi akan semakin hebat dan sebaliknya. Karena kedua kenyataan itulah, fenomena korosi dapat dijelaskan dengan pemakaian diagram tegangan listrik fungsi arus yang selanjutnya disebut teknik polarisasi.

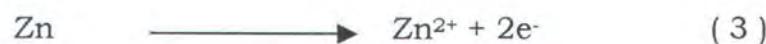
Polarisasi dapat digolongkan menjadi dua, yaitu polarisasi aktifasi dan polarisasi konsentrasi. Tetapi kedua jenis polarisasi tersebut umumnya terjadi dalam suatu reaksi korosi membentuk polarisasi union.

Polarisasi aktifasi adalah pengontrolan polarisasi oleh aktifasi reaksi pada pertemuan logam dan elektrolit pengkorosif. Dengan kata



lain, jenis polarisasi ini dikontrol oleh aktifasi ion-ion di permukaan logam yang mengalami proses korosi.

Step pertama polarisasi ini hanya terjadi jika ion hidrogen (H^+) ditempatkan pada permukaan logam, sehingga pada permukaan logam tersebut terjadi kelebihan muatan positif dan akibat dari hal tersebut adalah elektron bergerak ke tempat tersebut untuk menetralkan muatan (step 2). Akibat dari bergeraknya elektron ke tempat tersebut akan mengakibatkan ion H^+ tereduksi menjadi atom hidrogen, dan selanjutnya dua atom tersebut bergabung membentuk gas hidrogen (step 3 dan 4).



Secara matematis hubungan antara laju reaksi dari voltase untuk polarisasi aktivasi adalah sebagai berikut :

$$\varepsilon_a = + \beta \log (i / i_0) \quad [Riggs \text{ and } Locke, 1981]$$

dimana :

ε_a = potensial lebih

β = konstanta

i = laju oksidasi atom reduksi yang dinyatakan sebagai kerapatan arus yang terjadi.

i_0 = exchange current density arus dalam keadaan kesetimbangan



Sedangkan polarisasi konsentrasi adalah polarisasi yang disebabkan oleh difusi ion akibat perbedaan konsentrasi. Hal ini dapat terjadi bila konsentrasi ion didekat permukaan logam sangat kecil, akibatnya terjadi difusi ion-ion ke permukaan logam. Selanjutnya akibat terkonsentrasi ion H^+ di permukaan tersebut maka elektron bergerak ke daerah ini untuk mereduksi ion H^+ membentuk gas hidrogen.

Dari uraian di atas dapat dinyatakan bahwa laju reduksi yang sangat besar akan terjadi bila pada daerah dekat permukaan logam sangat sedikit kandungan ion H^+ . Laju reduksi pada keadaan tersebut akan meningkat sampai batas tertentu tergantung pada difusi ion hidrogen di permukaan logam.

Dari keterangan di atas dapat dijelaskan bahwa akibat polarsasi potensial anoda-katoda yang disambung (dikopel), akan mengakibatkan harga potensialnya mengalami perubahan sampai suatu harga tertentu, dan akan berhenti mengalami perubahan apabila besar potensial antara keduanya sama. Arus yang timbul karena pertemuan potensial anoda-katoda tersebut disebut arus korosi.

2.4 Pengendalian Korosi

Proses korosi tidak dapat dihilangkan, namun hanya dapat dikendalikan sehingga umur dari struktur atau komponen menjadi lebih lama. Setiap komponen mengalami tiga tahapan utama dalam



suatu pembentukan struktur yaitu perancangan, pembuatan dan pemakaian. Pengendalian korosi memainkan peranan penting dalam tiap tahapan tadi. Ketidakberhasilan salah satu dari aspek-aspek pengendalian korosi ini bisa menyebabkan komponen mengalami kegagalan prematur.

Pengendalian bisa dilakukan dengan berbagai cara tetapi yang paling utama dilakukan dalam usaha pengendalian korosi adalah: [*Trethewey dan Chamberlain, 1991*]:

- a. Modifikasi disain
- b. Modifikasi lingkungan
- c. Pemberian lapisan pelindung
- d. Pemilihan bahan
- e. Perlindungan katodik atau anodik

Untuk proses pengendalian korosi yang terjadi pada bangunan kapal, khususnya dibawah garis air, sering dilakukan dengan cara:

- a. Pemberian lapisan pelindung (Coating)
- b. Perlindungan katodik

2.5 Lapisan pelindung (Coating)

Pemberian lapisan pelindung pada permukaan logam berfungsi untuk memisahkan lingkungan korosif dengan logam dan mengendalikan lingkungan mikro pada permukaan logam. Cara pelapisan yang digunakan misalnya cat, selaput organik, vernis,



lapisan logam dan enamel. Yang paling umum adalah pelapisan dengan menggunakan cat.

Cat merupakan suatu produk yang berbentuk cair atau *powder* (serbuk) yang mengandung *pigmen* (zat warna) dan atau tanpa *additive* (bahan tambahan), serta dapat diaplikasikan untuk membentuk lapisan tipis pada permukaan material, dimana nantinya cat tersebut akan mengering dan membentuk lapisan film [Berendsen, 1989].

Lapisan cat diharapkan akan mempunyai umur panjang dan akan membatasi masuknya udara, butir-butir air dan ion-ion agresif ke permukaan logam. Meskipun telah banyak macam cat tidak dapat ditembus ion-ion seperti klorida, sulfat, dan karbonat, namun belum ada lapisan cat yang sepenuhnya mampu menghalangi oksigen atau air. Bila tiba saatnya maka air atau oksigen akan mampu mencapai permukaan logam dan dengan demikian maka lapisan cat tidak akan mampu menghalangi terjadinya reaksi katoda [Chamberlain, 1991].

Sistem cat yang digunakan dalam air mungkin mempunyai lapisan primer berpigmen, misalnya seng organik, atau mungkin juga tidak, tetapi lapisan yang paling atasbergantung pada absorpsi air dan koefisien transmisi yang sangat rendah untuk menahan masuknya elektrolit ke permukaan logam. Ikatan antara permukaan logam dengan cat harus kuat untuk mencegah kerusakan akibat osmosis [Chamberlain, 1991].



Penggunaan cat secara umum berfungsi sebagai lapisan *protective* (pelindung), *decorative* (dekorasi) dan tujuan khusus pada obyek. Sistem pengecatan terdiri atas beberapa lapisan:

1. *Primer (shop primer)*
2. *Under coat (intermediate coat)*
3. *Finish coat (top coat)*

Shop primer atau *pre-fabrication primer*, merupakan suatu lapisan tipis yang diaplikasikan pada obyek yang telah mengalami proses *blast cleaning*, untuk melindungi permukaan pelat dari korosi selama proses *fabrikasi*, transportasi dan *assembly* berlangsung [Silalahi, 1995].

Sesuai dengan aplikasinya, *shop primer* ada beberapa jenis [Hempel, 1996] :

- a. *Zinc epoxy*, untuk aplikasi *hull* (badan kapal) diatas garis air
- b. *Epoxy*, untuk aplikasi *hull* dibawah garis air

Under coat (intermediate coat) diaplikasikan setelah dilakukan persiapan permukaan tambahan, berfungsi untuk memberikan *adhesivitas* (daya lekat) antara *shop primer* atau *primer* dengan lapisan berikutnya, dan untuk melindungi permukaan pelat terhadap resapan air.

Finish coat (lapisan akhir) untuk daerah dibawah garis air berfungsi melindungi pelat dari binatang dan tumbuhan laut,



sedangkan untuk bagian diatas garis air finish coat diaplikasikan untuk keindahan, selain itu juga dapat melindungi obyek terhadap benturan-benturan dan gesekan dari benda-benda lain.

2.5.1 Aplikasi cat

Komposisi cat sebagai suatu sistem secara garis besar dapat dikelompokkan dalam empat bagian [Weismantle, 1981]:

- a. Bahan dasar (*Binder*)
- b. Bahan pewarna (*Pigmen*)
- c. Pelarut/pengencer (*Solvent* atau *Thinner*)
- d. Bahan tambahan (*Adhesive*)

Sebelum pengaplikasian cat pada suatu sistem perlu diperhatikan keadaan permukaan sistem tersebut antara lain: harus bersih dari separator seperti debu, minyak, air, dan lain-lain. Yang tidak kalah pentingnya adalah kekasaran permukaan (SA). Pengecatan dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa cara antara lain yaitu: *brushing*, *rolling*, *spraying*, dan lain-lain [Berensend, 1989].

1. *Brushing*

Pengecatan dengan menggunakan metode *brushing* dilakukan dengan menggunakan brush atau kuas. Metode ini dan mempunyai daya penetrasi yang baik dalam menutup pori-pori



atau lubang yang terdapat pada permukaan material, dimana alat lain tidak mungkin dipakai.

2. *Rolling*

Dalam metode *rolling*, pengecatan dilakukan dengan menggunakan alat *roll*. *Roll* yang digunakan harus tahan terhadap benturan obyek atau permukaan material, larutan (*solvent*), dan *thinner* yang digunakan dalam cat.

3. *Spraying*

Pengecatan dengan menggunakan metode *spraying* dapat dibedakan menjadi:

- a. Conventional Air Spray
- b. Airless Spray

Dalam pengecatan agar dapat diperoleh hasil yang maksimal dalam fungsinya maka perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut:

a) Kelembaban udara (*relative humidity*)

Jika kelembaban udara relatif tinggi, udara menjadi dingin, sehingga partikel-partikel uap air mulai *terkondensasi* menjadi embun, yang memungkinkan terjadinya pengembunan pada permukaan material. Kondisi ini disebut *dew point* (titik terjadinya pengembunan). Keadaan ini memungkinkan



terjadinya korosi pada material serta daya adhesi antara material dan cat dapat berkurang diikuti dengan timbulnya gelembung-gelembung pada hasil pengecatan.

Dalam pelaksanaannya, kelembaban udara yang diijinkan, baik selama blasting, painting, dan proses pengeringan dibawah 85%. Pada kondisi ini suhu permukaan material harus dijaga 3°C diatas titik embunnya.

b) Suhu udara

Dalam cuaca atau udara yang sangat panas thinner akan cepat menguap. Sehingga hasil pengecatan kurang sempurna, akan timbul retak-retak (*crack*) dan pori-pori. Oleh karena itu pengecatan harus dilakukan pada suhu yang berkisar antara 5° - 35° C . Pada umumnya pabrik pembuat cat akan menentukan spesifikasi temperatur pengecatan.

c) Kondisi permukaan material

Kondisi permukaan material pada saat pengecatan harus diperhatikan kebersihannya, yaitu bebas dari debu, karat, mill scale, dan kontaminasi lainnya. Kekasaran (SA) dari permukaan harus memenuhi persyaratan yang ditentukan.



2.5.2 Pengujian Adhesivitas Hasil Pengecatan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas kelekatan antara coating dengan substrate dan antara coats (lapisan). Adhesion test (pengujian adhesivitas) yang umum dilakukan pada galangan antara lain adalah :

- a) Knife/micrometer

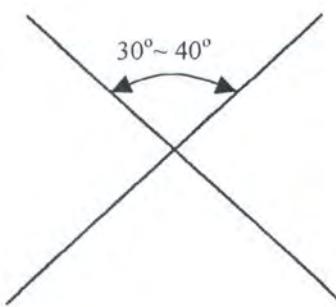
Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan pisau atau *scraper* yang digunakan untuk memotong *coating*, kemudian dari potongan tersebut dilakukan usaha untuk mengelupas coating dari *substrate*. Dari proses pengelupasan tersebut jika coating dengan mudah dapat terkelupas maka adhesivitasnya tidak dapat diterima, dan bila coating terkelupas dalam bentuk serpihan kecil-kecil maka adhesivitasnya dapat diterima/ layak.

- b) Tape pull-off (ASTM D-3359)

Pengujian jenis ini dibedakan dalam dua kelompok yang berdasarkan pada ketebalan dari obyek coating.

a. **Methode A**

Pada metode ini dibuat potongan berbentuk X dengan panjang garis 4 cm-5 cm. Sudut yang dibentuk antara kedua garis potong sebesar 30° - 45° . Metode jenis ini digunakan untuk ketebalan lapisan cat > 5 mils (125 mikron)



Gambar 2.4 potongan cross uji adhesivitas ASTM D-3359

Daya rekat menurut ASTM D-3359 adalah :

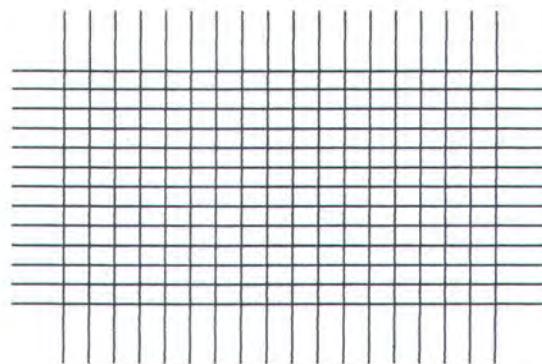
1. 5A : tidak ada coating yang terkelupas
2. 4A : coating yang terkelupas sedikit, pada garis potong
3. 3A : coating yang terkelupas pada garis potong sampai dengan 1,6 mm pada kedua sisi
4. 2A : coating yang terkelupas pada garis potong sampai dengan 3,2 mm pada kedua sisi
5. 1A : coating yang terkelupas pada sebagian besar daerah potongan dibawah pita
6. 0A : coating yang terkelupas pada daerah diluar X (potongan)

b. **Metode B**

Pada metode ini pada coating dibuat garis-garis secara horizontal, kemudian dipotong garis-garis vertikal memotong dengan membentuk sudut tegak lurus (90°).



Untuk coating films 0 - 2 mils dibuat 11 potongan dengan jarak 1mm untuk masing-masing garis potong, dan untuk coating films 2 mils - 5 mils dibuat 6 potongan dengan jarak 2 mm untuk masing-masing garis potong.



Gambar 2.5 potongan uji adhesivitas ASTM D-3359 MetodeB

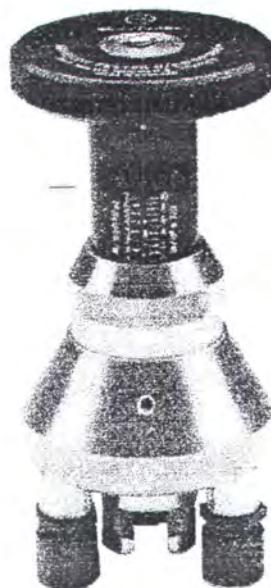
Tingkat kerekatan menurut ASTM D-3359 adalah :

1. 5B: pada siku-siku potongan mulus, tidak ada coating yang terkelupas
2. 4B: ada sedikit serpihan coating, yang terkelupas < 5%
3. 3B: ada serpihan-serpihan coating sepanjang siku-siku, yang terkelupas 5% -15%bagian
4. 2B: bagian yang terkelupas sepanjang siku- siku dan bagian-bagian luasan coating15% - 35%
5. 1B: bagian yang terkelupas sepanjang siku- siku dan sebagian besar daerah luasan coating 35% - 65%
6. 0B: daerah yang terkelupas lebih buruk dari 1B



- c) Dolly pull-off (ASTM D-4541)

Dari jenis pengujian knife test dan tape pull-off hanya diketahui tingkatan dari adhesion coating terhadap substrate. Untuk pengujian jenis dolly pull-off maka dapat ditentukan besarnya kekuatan adhesi dari coating yang dinyatakan dengan satuan **psi** atau **kg/cm²**.



Gambar 2.6 Peralatan Dolly Pull off (ASTM D-4541)

2.6 Perlindungan katodik

Pengendalian korosi ini dilakukan dengan cara memasok sejumlah arus yang dibutuhkan oleh suatu konstruksi. Anoda yang digunakan dalam sistem ini dapat berupa anoda termakan atau permanen. Logam yang mempunyai kerapatan arus tinggi



apabila digunakan sebagai anoda harus dikelilingi dengan lapisan pelindung arus (*protective shields*). Lapisan pelindung ini dimaksudkan untuk menghindari terlalu tingginya kerapatan arus katoda di sekitar anoda. Pengendalian ini dilengkapi dengan transformator dan sistem pengendali untuk mengatur jumlah kebutuhan arus listrik pada konstruksi.

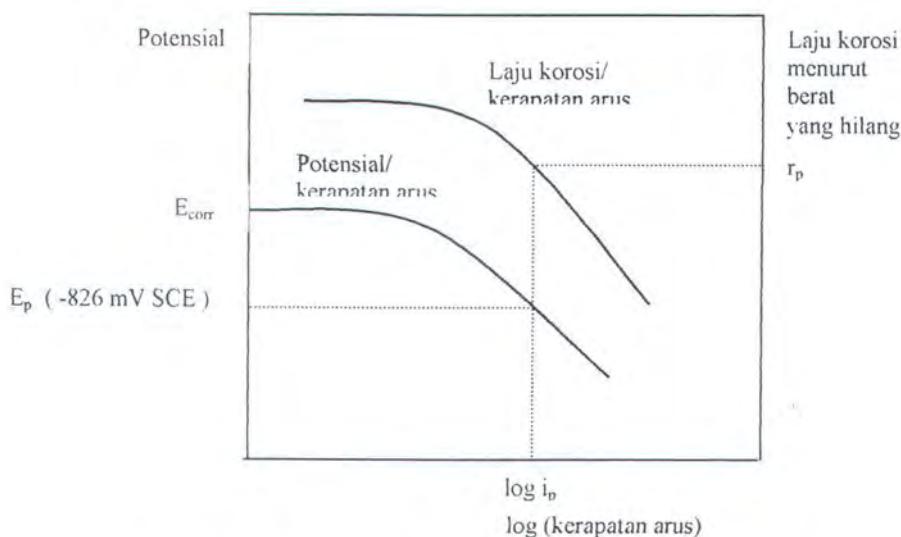
Unsur penting dalam pemakaian system perlindungan katodik adalah kemampuan untuk menilai suatu tingkat proteksi. Tingkat proteksi dapat diketahui dengan mengukur potensial logam tersebut. Baja dalam elektrolit seperti air laut mempunyai potensial alamiah sebesar kurang lebih – 0,65 volt terhadap sel pembanding tembaga/tembaga sulfat jenuh (saturated copper/copper sulphate/SCE). Dengan cara mengubah potensial permukaan logam menjadi lebih negatif menggunakan arus perlindungan katodik, korosi akan secara efektif dapat dicegah.

2.6.1. Prinsip Dasar Perlindungan Katodik

Suatu material akan mengalami pengkaratan bila material tersebut bertindak sebagai anoda dalam sel galvanis, sedangkan material yang bertindak sebagai katoda tidak akan mengalami pengkaratan. Dengan dasar tersebut pencegahan pengkaratan dapat dilakukan dengan cara memberikan atau mengalirkan potensial negatif pada logam. Cara pencegahan seperti ini



disebut sebagai pencegahan pengkaratan dengan menggunakan perlindungan katodik (*impressed current cathodic protection*). Semakin negatif potensial yang diberikan pada material maka reaksi anodik yang terjadi akan semakin lambat namun sebaliknya reaksi katodik menjadi lebih cepat sehingga logam menjadi lebih bersifat katodik. Dengan lambatnya reaksi anodik maka laju korosi yang terjadi semakin lambat pula. Hal tersebut ditunjukkan dalam gambar dibawah:



Gambar 2.7. Variasi potensial katodik terhadap kerapatan arus untuk baja dalam air laut serta hubungannya dengan laju korosi yang diukur dari berat yang hilang [Trethewey dan Chamberlain. 1988].

Gambar tersebut memperlihatkan korosi yang dialami oleh logam semakin sedikit bila potensial dibuat lebih negatif [Trethewey dan Chamberlain, 1998]. Tetapi dengan potensial yang terlalu negatif maka lapisan pelindung logam dalam hal ini adalah cat menjadi rusak sehingga daya adhesifitasnya menurun.



Ada dua alasan mengapa pemberian arus perlindungan katodik yang terlalu negatif bukan merupakan gagasan yang baik. Pelepasan gas hidrogen, yang terjadi pada potensial yang lebih negatif itu sering menimbulkan kerusakan dalam bentuk lain, khususnya terjadinya perapuhan hidrogen. Disamping itu, arus yang semakin negatif akan menyebabkan tingginya konsentrasi-konsentrasi lokal ion hidroksil yang sering merusak lapisan penghalang seperti cat.

Potensial dimana logam mengalami korosi lebih dikenal dengan. Pada kondisi ini kerapatan arus yang dihasilkan kecil dan laju korosi yang dihitung dari berat yang hilang besar. E_P -850 mV SSC atau -826 mV SCE adalah potensial perlindungan katodik yang diberikan pada logam, dimana pada kondisi ini kerapatan arus yang terjadi menjadi lebih besar dan korosi yang dialami logam semakin sedikit.

Dengan demikian pencegahan pengkaratan pada suatu konstruksi dapat dilakukan dengan jalan membuat material konstruksi bertindak sebagai katoda. Langkah yang harus dilakukan untuk memenuhi hal tersebut adalah dengan mengalirkan arus potensial negatif kepada material. Perlindungan katodik memerlukan jumlah arus yang sesuai agar dapat berfungsi dengan baik. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya kerapatan arus, faktor-faktor tersebut adalah:



- a. Luas permukaan material.

Lebih besar permukaan material yang berhubungan dengan air laut, maka semakin besar pula elektron yang harus diterima oleh permukaan material tersebut.

- b. Kecepatan aliran.

Bertambah besarnya kecepatan aliran fluida maka akan memperbesar kepadatan arus yang diperlukan. Dengan bertambah cepatnya aliran air laut maka memungkinkan oksigen yang mencapai permukaan material semakin banyak.

- c. Suhu air laut.

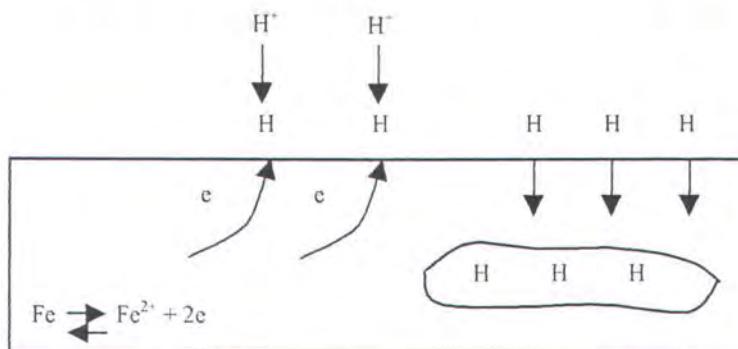
Suhu air laut berbeda untuk daerah perairan satu dengan lainnya. Kenaikan suhu akan menyebabkan semakin besarnya oksigen yang mencapai permukaan logam. Kenaikan oksigen ini akan menyebabkan bertambah besarnya kepadatan arus yang dibutuhkan.

Seperti yang telah disebutkan diatas bahwa reaksi anodik yaitu proses berubahnya logam menjadi ion logam menjadi lebih lambat, tetapi reaksi katodik semakin cepat bila potensial perlindungan katodik yang diberikan semakin negatif (*cathodic overprotection*). Dengan semakin cepatnya reaksi katodik ini akan mempercepat pula terjadinya evolusi hidrogen, yaitu proses pembentukan gas hidrogen:





Pada atom hidrogen hanya ada satu proton dalam intinya, sehingga atom hidrogen sangat kecil, hal tersebut menyebabkan atom hidrogen dengan cepat berpidah melalui struktur kristal logam [Jones, 1992]. Jadi, penggunaan perlindungan katodik yang semakin negatif selain mampu memperlambat proses pengkaratan juga menyebabkan terjadinya difusi atom hidrogen kedalam logam melalui lapisan pelindung yang ada.



Gambar 2.8. Diagram skematis difusi atom hidrogen kedalam logam [Jones, 1992]

2.6.2. Jenis Proteksi Katodik

Ditinjau dari sumber arus yang digunakan sistem perlindungan katodik dibedakan menjadi dua jenis:

1. Sistem Anoda Korban/Tumbal (*Sacrificial Anode*)

yaitu sistem proteksi dengan memasang logam lain yang lebih aktif (potensial yang dimiliki lebih negatif dari logam yang dilindungi) pada logam utama dengan suatu konduktor terisolasi atau pengendalian korosi dengan cara mengorbankan logam



yang bersifat anodik untuk melindungi logam katoda yang merupakan bahan logam utama konstruksi. Dalam hal ini, logam yang ditumbalkan harus mempunyai potensial yang lebih rendah dari logam utama sehingga yang terkorosi adalah logam tambahan, dan logam utama terhindar dari korosi. Contoh logam yang ditumbalkan antara lain: aluminium, zinc, Magnesium dan lain-lain.

2. Sistem Proteksi Arus Terpasang (*Impressed Current*)

Dimana perlindungan yang diberikan dengan jalan menggunakan sumber arus DC yang dialirkan dari luar sistem. Arus ini dialirkan ke logam yang diproteksi melalui anoda dan elektrolit, dimana anodanya boleh tidak terkorosi.

Persamaan kedua sistem perlindungan katodik tersebut diatas adalah:

- a. Anoda dan struktur yang diproteksi harus berada dalam medium elektrolit yang menyatu.
- b. Anoda, struktur yang diproteksi, medium elektrolit berada dalam satu rangkaian tertutup.

BAB III

METODOLOGI DAN DATA PENGUJIAN

BAB III

METODOLOGI DAN DATA PENGUJIAN

3.1. METODOLOGI

Dalam penelitian tugas akhir ini dilaksanakan pengujian yaitu pengujian elektrokimia sel-tiga elektroda. Pengujian elektrokimia sel-tiga elektroda dilakukan sebagai usaha dalam memberikan potensial perlindungan katodik pada material dan untuk menimbulkan terjadinya reaksi kimia yang terjadi pada lapisan cat material, sehingga diharapkan dengan terjadinya reaksi kimia ini daya adhesivitas dari cat akan terpengaruh.

3.1.1 PEMBUATAN MATERIAL UJI

Material uji yang digunakan dalam pengujian elektrokimia sel-tiga elektroda dan uji tarik mempunyai bentuk, ukuran, dan dibuat dari bahan yang sama yaitu baja SS-41. Jumlah material uji yang digunakan untuk kedua pengujian adalah dua belas buah. Langkah-langkah pembuatan material uji adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan 14 buah material uji dengan dimensi 60 x 100 x 6 mm menggunakan gergaji listrik.
2. Material dihaluskan dengan menggunakan steel grid blasting sehingga kesemua sisi dari material itu mempunyai S_a 2,5



3. Melakukan pengecatan sesuai standard dari produk cat yang digunakan.

3.1.2 Proses pengecatan

Jenis cat yang digunakan: cat lambung kapal pruduk dari HEMPEL dengan ketebalan total cat pada material uji 520 mikron.

1. Epoxy (Red Brown)
 - a. Menggunakan jenis Hempadur 45150 dengan kandungan polyamid cured epoxy dan diaplikasikan dengan menggunakan thinner 08460.
 - b. Diaplikasikan pada suhu 34° C dan pada kelembaban 30% - 50 %.
 - c. Ketebalan basah 250 mikron.
 - d. Ketebalan kering 200 mikron
 - e. Lama pengeringan minimal 8 jam hingga aplikasi lapisan berikutnya.
2. V/AC (Anti Corrosion)
 - a. Menggunakan jenis Hempanyl HB.46220 dengan kandungan vinyl dan diaplikasikan dengan menggunakan thinner 08460.
 - b. Diaplikasikan pada suhu 34° C dan pada kelembaban 30%- 50%.
 - c. Ketebalan basah 250 mikron.



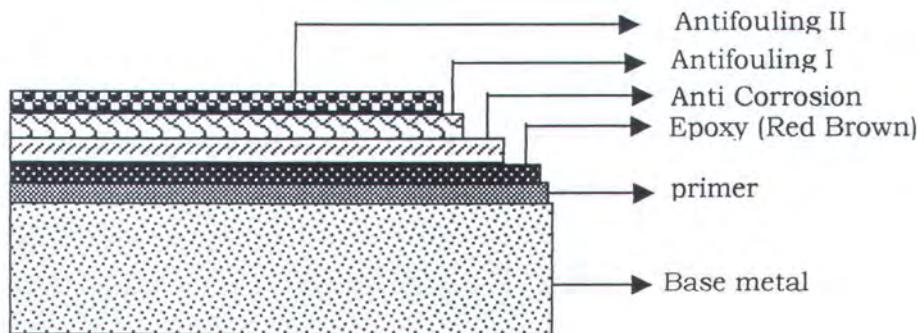
- d. Ketebalan kering 100 mikron
- e. Lama pengeringan minimal 8 jam hingga aplikasi lapisan berikutnya.

3. AF I (Antifouling I)

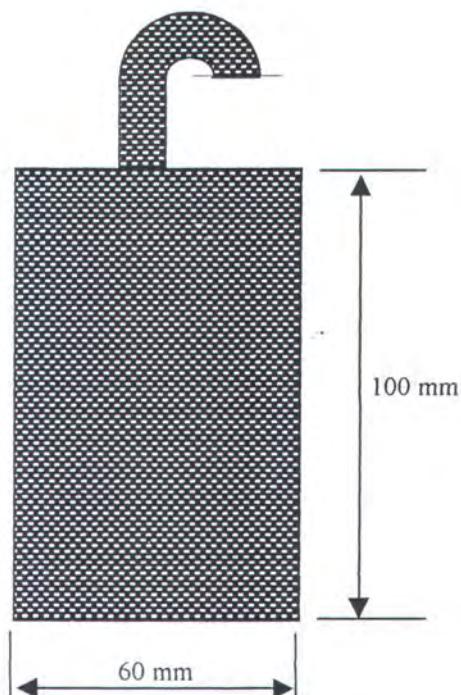
- a. Menggunakan jenis Hempel's AF Combic 7699 B dengan thinner 0808.
- b. Diaplikasikan pada suhu 34o C dan pada kelembaban 30 % - 50%.
- c. Ketebalan basah 182 mikron.
- d. Ketebalan kering 100 mikron
- e. Lama pengeringan minimal 4 jam hingga aplikasi lapisan berikutnya.

4. AF II (Antifouling II)

- a. Menggunakan jenis Hempel's AF Nautic 7690 B dengan thinner 0808.
- b. Diaplikasikan pada suhu 34o C dan pada kelembaban 30 % - 50%.
- c. Ketebalan basah 189 mikron.
- d. Ketebalan kering 100 mikron
- e. Lama pengeringan minimal 4 jam.



Gambar 3.1 Lapisan cat spesimen uji



Gambar 3.2 Spesimen uji sebelum pengecatan

3.1.3 PENGUJIAN ELEKTROKIMIA SEL-TIGA ELEKTRODA

Dilakukan untuk memperlambat laju korosi pada material atau biasa disebut potensial perlindungan katodik dan untuk



menimbulkan terjadinya absorpsi atom-atom tunggal hidrogen kedalam material.

1. Persiapan alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

a. Elektroda kerja

Yaitu elektroda (material uji) yang sedang diteliti.

b. Elektroda pembantu

Elektroda untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam pengujian dan tidak diperlukan untuk pengukuran potensial. Elektroda yang digunakan adalah batang karbon.

c. Elektroda acuan

Dimaksudkan sebagai titik acuan pengukuran potensial elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus sekecil-kecilnya sehingga dapat diabaikan, jika tidak elektroda ini akan ikut dalam reaksi sel dan potensialnya tidak lagi konstan. Dalam pengujian ini yang digunakan adalah SCE (*Saturated Calomel Elektrode*) atau (*Standart Calomel Elektrode*).

d. Larutan elektrolit

Yang dipakai adalah NaCl salinitas 30.



e. Sumber GGL

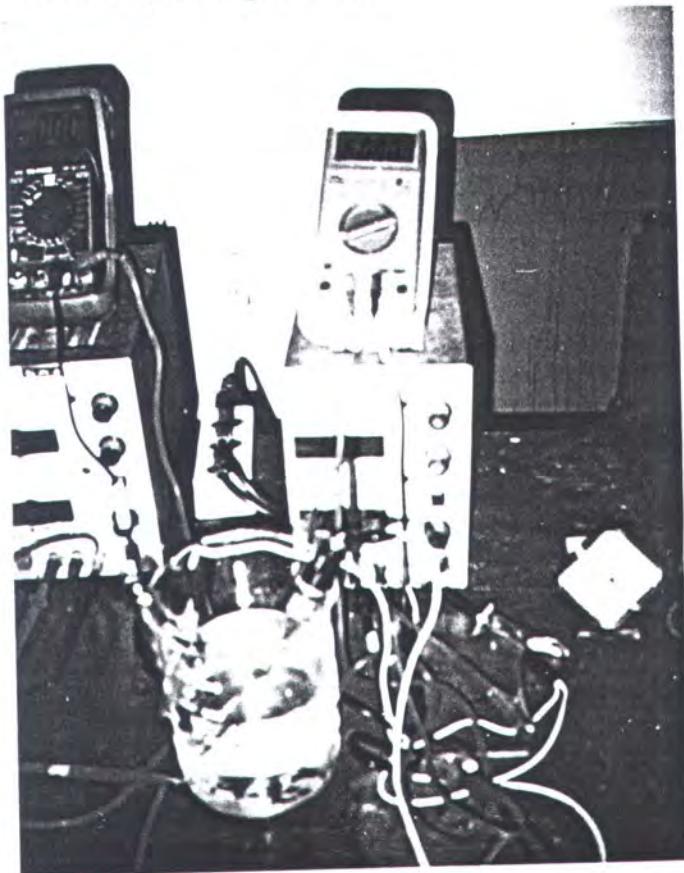
Bertindak sebagai penggerak elektroda kerja sedemikian hingga reaksi sel yang dikehendaki berlangsung.

f. Galvanometer

Pengukur arus yang dapat dibaca hingga miliampere atau bahkan mikroampere.

g. Voltmeter

Alat untuk mengukur potensial

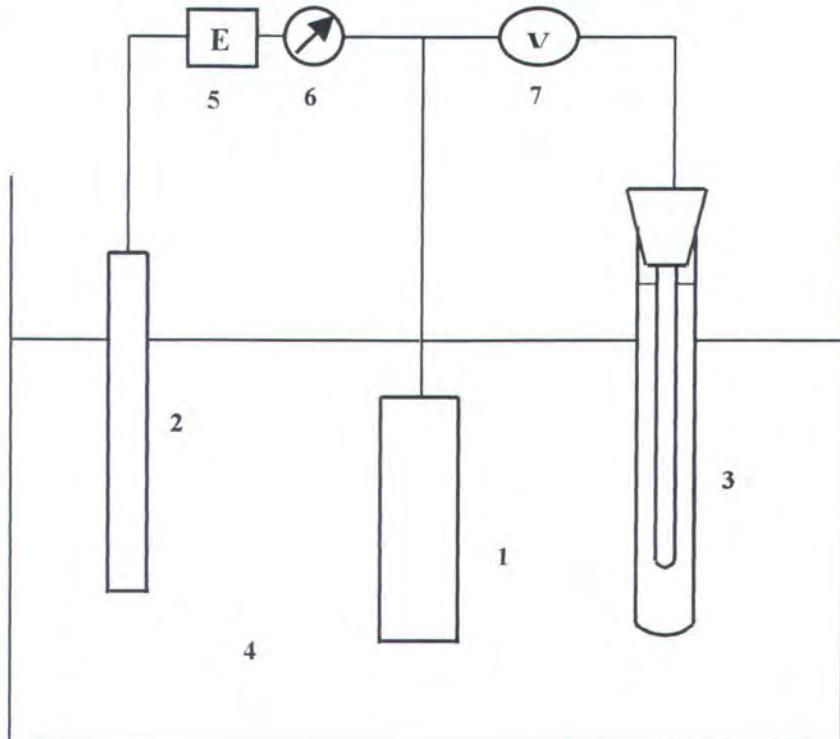


Gambar 3.3 Dokumentasi rangkaian peralatan uji elektrokimia
sebelum pengujian



Pelaksanaan pengujian:

1. Alat dan bahan yang sudah tersedia dirangkai seperti gambar 3.3



Gambar 3.4. Rangkaian alat uji sel-tiga elektroda [Trethewey dan Chamberlain, 1988]

Keterangan gambar:

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| 1. Elektroda kerja | 5. Sumber GGL |
| 2. Elektroda pembantu | 6. Galvanometer |
| 3. Elektroda acuan | 7. Voltmeter |
| 4. Larutan elektrolit | |
-
2. Pemeriksaan cacat pada material uji.
 3. Peralatan uji dan material uji dirangkaikan seperti gambar 3.3



e. Sumber GGL

Bertindak sebagai penggerak elektroda kerja sedemikian hingga reaksi sel yang dikehendaki berlangsung.

f. Galvanometer

Pengukur arus yang dapat dibaca hingga miliampere atau bahkan mikroampere.

g. Voltmeter

Alat untuk mengukur potensial

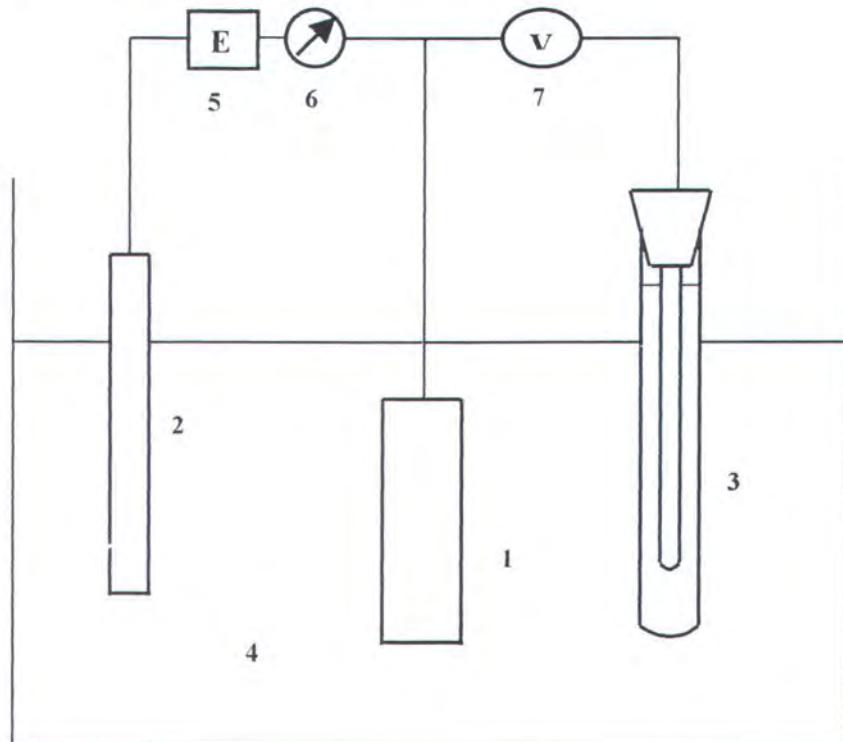


Gambar 3.3 Dokumentasi rangkaian peralatan uji elektrokimia sebelum pengujian



Pelaksanaan pengujian:

1. Alat dan bahan yang sudah tersedia dirangkai seperti gambar 3.3



Gambar 3.4. Rangkaian alat uji sel-tiga elektroda [Trethewey dan Chamberlain, 1988]

Keterangan gambar:

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| 1. Elektroda kerja | 5. Sumber GGL |
| 2. Elektroda pembantu | 6. Galvanometer |
| 3. Elektroda acuan | 7. Voltmeter |
| 4. Larutan elektrolit | |

2. Pemeriksaan cacat pada material uji.
3. Peralatan uji dan material uji dirangkaikan seperti gambar 3.3



Gambar 3.5 Dokumentasi rangkaian uji elektrokimia

4. Dilakukan pemberian tegangan pada material uji seperti ketentuan dibawah:

Jumlah material uji 14 buah, dengan perlakuan pengujian sebagai berikut:

- a. 2 tidak dialiri tegangan
- b. 2 dialiri tegangan sebesar – 800 mV SCE selama 4 jam dan 7 jam.
- c. 2 dialiri tegangan sebesar – 825 mV SCE selama 4 jam dan 7 jam.
- d. 2 dialiri tegangan sebesar – 850 mV SCE selama 2 jam dan 7 jam



- e. 2 dialiri tegangan sebesar – 875 mV SCE selama 4 jam dan 7 jam.
 - f. 2 dialiri tegangan sebesar – 900 mV SCE selama 2 jam dan 7 jam
 - g. 2 dialiri tegangan sebesar – 825 mV SCE selama 4 jam dan 7 jam.
5. Dilakukan pencatatan beda potensial dan arus terpasang yang terbaca pada voltmeter dan ampere meter.

Gambar 3.6 Dokumentasi hasil pengujian elektrokimia sesudah dicuci (sebelum dikeringkan)



3.1.4 PENGUJIAN ADHESIVITAS

1. Pengujian dilakukan untuk ketebalan lapisan antara 519 mikron sampai 522 mikron
2. Pengujian adhesivitas yang dilakukan dengan menggunakan Dolly pull-off (ASTM D-4541)

Gambar 3.7 Dokumentasi peralatan Dolly pull off ASTM D-4541

3. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan data adhesivitas dari cat setelah dilakukan pengujian elektrokima terhadap material uji.
4. Pelaksanaan pengujian.
 - a. Pendekripsi ketebalan cat dengan menggunakan posimeter, dan dipilih ketebalan cat antara 519 mikron sampai 522 mikron.



- b. Dilakukan pengeleman material dengan alat tarik Dolly pull off dengan menggunakan lem Dextone dua warna.
- c. Lem dibiarkan mengering dalam jangka waktu 18 sampai 20 jam.
- d. Dilakukan pemotongan untuk area uji seluas 1 cm^2 dengan peralatan pemotong Dolly pull off.

Gambar 3.8 Pemotongan area uji dengan peralatan uji adhesivitas ASTM D-4541



- e. Dilakukan uji adhesivitas.
- f. Pencatatan kekuatan adhesivitas cat material pengujian .
- g. Analisa data pengujian

Gambar 3.9 Pengujian adhesivitas dengan menggunakan
Dolly pull off ASTM D-4541



Gambar 3.10 Dokumentasi contoh hasil pengujian adhesivitas

dengan peralatan Dolly pull off ASTM D-4541

Gambar 3.11 Dokumentasi hasil pengujian adhesivitas dengan

peralatan Dolly pull off ASTM D-4541



3.2. DATA HASIL PENGUJIAN

Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan data-data yang secara lengkap dapat dilihat pada tabel-tabel berikutnya.

Tabel 3.1 Tabel tegangan dan kuat arus terpasang pengujian

Spesimen uji	Luas Permukaan Spesimen (M ²)	Arus Terpasang (mA)	Kerapatan arus (mA/M ²)
Spesimen I / -800 mV SCE	0,012667	-0,002	-0.157890582
Spesimen II / -825 mV SCE	0,012667	-0,003	-0.236835873
Spesimen III / -850 mV SCE	0,012667	-0,0088	-0.69471856
Spesimen IV / -875 mV SCE	0,012667	-0,013	-1.026288782
Spesimen V / -900 mV SCE	0,012667	-0,0205	-1.618378464
Spesimen VI / -925 mV SCE	0,012667	-0,023	-2.289413436

Dari pengujian yang telah dilakukan, kekuatan tarik cat lambung untuk daerah dibawah garis air tanpa perlakuan perlindungan katodik adalah 39 kg/cm². (hasil pengujian dengan pengeringan material uji secara alami)

Tabel 3.2 Data uji adhesivitas spesimen A lama pemberian perlindungan katodik 4 jam.

(Pengeringan material uji setelah dicuci dilakukan dengan lap kering)
(Dilakukan hari Jumat tgl 11-1-200 pukul 10.00 ~ 10.35)

Nomor spesimen	Tegangan (E) SCE	Arus terpasang (I)	Kuat tarik lapisan cat Kg/cm ²	Lapisan cat tertarik (keterangan)
Spesimen I	-800 mV	-0.002	14.2	Anti corrosion
Spesimen II	-825 mV	-0.003	14.2	Anti corrosion
Spesimen III	-850 mV	-0.009	13.5	Anti corrosion
Spesimen IV	-875 mV	-0.013	12.2	Anti corrosion
Spesimen V	-900 mV	-0.021	13	Anti corrosion
Spesimen VI	-925 mV	-0.029	10.1	Anti corrosion+Epoxy



Tabel 3.3 Data uji adhesivitas spesimen B dengan pemberian perlindungan katodik 7 jam

(Pengeringan material uji setelah dicuci dilakukan secara alami dengan cara dibiarkan diudara terbuka selama 2 hari)

(Dilakukan hari Minggu tgl 15-1-200 pukul 11:00 ~ 11.20)

Nomor spesimen	Tegangan (E) SCE	Arus terpasang (I)	Kuat tarik lapisan Kg/cm ²	Lapisan cat tertarik (keterangan)
Spesimen I	-800 mV	-0.002	19.2	Anti Corrosion
Spesimen II	-825 mV	-0.003	19	Anti Corrosion
Spesimen III	-850 mV	-0.0088	14.2	Anti Corrosion
Spesimen IV	-875 mV	-0.013	15	Anti Corrosion
Spesimen V	-900 mV	-0.0205	12.5	Anti Corrosion+Epoxy
Spesimen VI	-925 mV	-0.029	8.25	Anti Corrosion

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Cat sebagai sistem pelindung

Adhesivitas suatu hasil aplikasi cat pada permukaan suatu benda terutama pada lambung kapal tergantung dari beberapa hal antara lain:

- 1 Surface preparation yang meliputi kekasaran dari permukaan serta kebersihan permukaan dari benda dan zat yang dapat mempengaruhi kerekatan cat pada permukaan benda.
- 2 Ketepatan pengaplikasian sesuai dengan standar yang diberikan dari spesifikasi cat, yang meliputi antara lain: suhu, kelembaban udara, jenis dari setiap lapisan yang digunakan serta waktu antara pengaplikasian suatu lapisan dengan lapisan berikutnya.

Hasil dari pengaplikasian cat pada suatu material akan membentuk lapisan tipis yang menutup dan melindungi material tersebut. Secara fisik lapisan tersebut tampak seperti solid, tetapi pada kenyataannya lapisan tersebut mempunyai pori-pori yang memungkinkan terjadinya penerobosan oleh atom-atom hidrogen dari H_2O menembusnya dan bereaksi dengan logam yang dilindungi tersebut, sehingga terjadi reaksi kimia yang mengakibatkan korosi didalamnya.



Jika logam yang dilindungi oleh cat tercelup dalam air maka kemungkinan terjadinya korosi akan sangat besar. Hal ini disebabkan ketika butir-butir air terdifusi melalui lapisan cat, larut garam dari produk korosi akan larut, atau senyawa-senyawa dari cat sendiri dapat terbentuk pada bagian dimana pada tempat itu adhesi antara cat dengan permukaan logamnya kurang kuat. Dalam hal ini, selaput cat bertindak sebagai selaput semipermeabel [Chamberlain, 1991].

4.2. Analisa Luasan spesimen dan Elektronika

(Pemberian potensial pada spesimen uji bukanlah tujuan akhir dari percobaan, hanya merupakan perlakuan spesimen sebelum dilakukan pengujian adhesivitas.)

Luasan spesimen uji yang tercelup dalam hal ini adalah seragam yaitu:

$$(9 \text{ cm} \times 6,1 \text{ cm}) \times 2 = 109,8 \text{ cm}^2$$

$$(0,7 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}) \times 2 = 12,6 \text{ cm}^2$$

$$\begin{array}{rcl} (0,7 \text{ cm} \times 6,1) \text{ cm} & = & 4,27 \text{ cm}^2 \\ \hline \text{L Total} & = & 126,67 \text{ cm}^2 \end{array} +$$

Adapun kerapatan arus yang dialami oleh spesimen uji dapat dihitung dengan formula sebagai berikut:

$$i = I/A \quad \text{Dimana : } I = \text{besarnya arus (ampere)} \quad (\textbf{Pers. 1})$$

$$i = \text{kerapatan arus (ampere/m}^2\text{)}$$

$$A = \text{Luas permukaan (m}^2\text{)}$$



Jadi dengan diubahnya potensial yang diberikan pada saat perlakuan perlindungan katodik, maka besar dan kerapatan arus akan berubah dengan sendirinya. Dalam formula untuk tegangan atau beda potensial berlaku:

V = I . R Dimana: V = Beda potensial (tegangan); Volt

I = Arus listrik; Ampere **(Pers.2)**

R = Tahanan (hambatan listrik); Ohm

Dalam pelaksanaan pengujian yang dilakukan, arus terpasang yang terjadi tidak persis seperti perhitungan dalam rumus diatas, tetapi kecenderungan dan trend perubahan besar arus terpasang yang timbul akibat perubahan tegangan telah sesuai dengan hasil dari formula diatas. Atau arus berbanding lurus dengan tegangan.

Dalam pengujian dan pelaksanaan perlindungan katodik ini menggunakan tegangan dalam SCE (*Saturated Calomel Elektrode*) atau (*Standart Calomel Elektrode*). Karena untuk pengujian dan perlindungan suatu struktur yang terletak dalam medium elektrolit air laut (NaCl) lebih sesuai menggunakan standar SSC (*Silver/Silver Chloride*), maka standar tersebut dapat disesuaikan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

E_{MET/REF} = E_{MET/SHE} - E_{REF/SHE}. **(Pers.3)**

Dimana: E_{MET/REF} = Besar potensial menurus standar tertentu.

E_{MET/SHE} = Besar potensial standar hidrogen

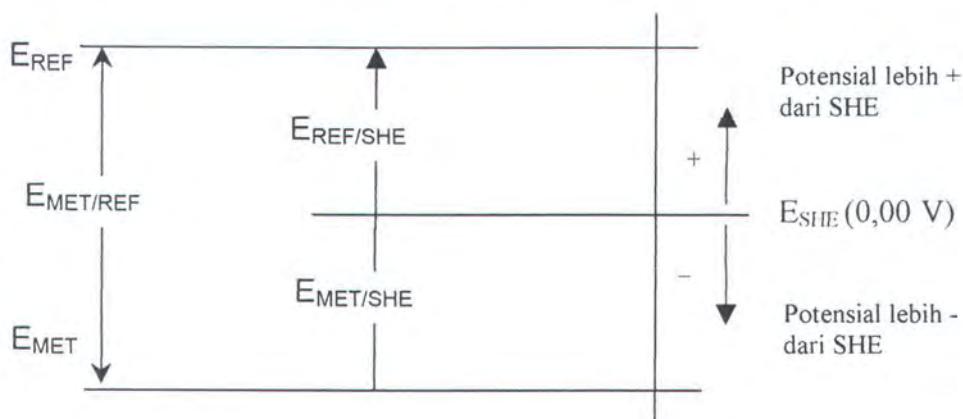
E_{REF/SHE} = Potensial elektroda baku/pebanding



*REF = Reference Electrode

*SHE = Standard Hydrogen.

Untuk memudahkan perhitungan nilai SHE = 0,00 V



Gambar 4.1 Diagram konversi potensial

Tabel 4.1 Potensial acuan elektroda baku/pembanding

Elektroda baku	Elektrolit	Potensial baku (V)
Kalomel (SCE)	KCl Jenuh	+ 0,2420
Kalomel (NCE)	1 M KCl	+ 0,2810
Kalomel	0.1 M KCl	+ 0,3335
Silver/Silver Chloride(SSC)	1 M KCl	+ 0,2224
Silver/Silver Chloride(SSC)	Air laut	+ 0,2660
Tembaga/Tembaga Sulfat (CSE)	Air laut	+ 0,30
Seng	Air laut	-0,784

Maka potensial dapat dikonversikan kedalam SSC dengan rumus Pers.3:



- ❖ Untuk Material I dengan potensial -800 mV SCE adalah:

$$E_{MET/REF} = E_{MET/SHE} - E_{REF/SHE}$$

$$-800 \text{ mV} = E_{MET/SHE} + (242)$$

$$E_{MET/SHE} = -800 \text{ mV} + 242 \text{ mV}$$

$$= -558 \text{ mV SHE}$$

Maka dinyatakan dalam standar potensial baku SSC adalah:

$$E_{MET/REF} = E_{MET/SHE} - E_{SSC/SHE}$$

$$E_{MET/SSC} = -558 \text{ mV} \quad (266)$$

$$= -824 \text{ mV SSC}$$



Jadi : - 800 mV SCE sama dengan - 824 mV SSC.

- ❖ Untuk Material II dengan potensial -825 mV SCE adalah:

$$E_{MET/REF} = E_{MET/SHE} - E_{REF/SHE}$$

$$-825 \text{ mV} = E_{MET/SHE} + (242)$$

$$E_{MET/SHE} = -825 \text{ mV} + 242 \text{ mV}$$

$$= -583 \text{ mV SHE}$$

Maka dinyatakan dalam standar potensial baku SSC adalah:

$$E_{MET/REF} = E_{MET/SHE} - E_{SSC/SHE}$$

$$E_{MET/SSC} = -583 \text{ mV} \quad (266)$$

$$= -849 \text{ mV SSC}$$

Jadi : - 825 mV SCE sama dengan - 849 mV SSC.

- ❖ Untuk Material III dengan potensial -850 mV SCE adalah:

$$E_{MET/REF} = E_{MET/SHE} - E_{REF/SHE}$$

$$-850 \text{ mV} = E_{MET/SHE} + (242)$$



$$\begin{aligned}E_{\text{MET/SHE}} &= -850 \text{ mV} + 242 \text{ mV} \\&= -608 \text{ mV SHE}\end{aligned}$$

Maka dinyatakan dalam standar potensial baku SSC adalah:

$$E_{\text{MET/REF}} = E_{\text{MET/SHE}} - E_{\text{SSC/SHE}}$$

$$\begin{aligned}E_{\text{MET/SSC}} &= -608 \text{ mV} - (266) \\&= -874 \text{ mV SSC}\end{aligned}$$

Jadi : - 850 mV SCE sama dengan - 874 mV SSC.

- ❖ Untuk Material IV dengan potensial -875 mV SCE adalah:

$$E_{\text{MET/REF}} = E_{\text{MET/SHE}} - E_{\text{REF/SHE}}$$

$$-875 \text{ mV} = E_{\text{MET/SHE}} + (242)$$

$$\begin{aligned}E_{\text{MET/SHE}} &= -875 \text{ mV} + 242 \text{ mV} \\&= -633 \text{ mV SHE}\end{aligned}$$

Maka dinyatakan dalam standar potensial baku SSC adalah:

$$E_{\text{MET/REF}} = E_{\text{MET/SHE}} - E_{\text{SSC/SHE}}$$

$$\begin{aligned}E_{\text{MET/SSC}} &= -633 \text{ mV} - (266) \\&= -899 \text{ mV SSC}\end{aligned}$$

Jadi : - 875 mV SCE sama dengan - 899 mV SSC.

- ❖ Untuk Material V dengan potensial -900 mV SCE adalah:

$$E_{\text{MET/REF}} = E_{\text{MET/SHE}} - E_{\text{REF/SHE}}$$

$$-900 \text{ mV} = E_{\text{MET/SHE}} + (242)$$

$$\begin{aligned}E_{\text{MET/SHE}} &= -900 \text{ mV} + 242 \text{ mV} \\&= -658 \text{ mV SHE}\end{aligned}$$



Maka dinyatakan dalam standar potensial baku SSC adalah:

$$E_{MET/REF} = E_{MET/SHE} - E_{SSC/SHE}$$

$$E_{MET/SSC} = -658 \text{ mV} \quad .(266)$$

$$= -924 \text{ mV SSC}$$

Jadi : - 900 mV SCE sama dengan - 924 mV SSC.

- ❖ Untuk Material VI dengan potensial -925 mV SCE adalah:

$$E_{MET/REF} = E_{MET/SHE} - E_{REF/SHE}$$

$$-925 \text{ mV} = E_{MET/SHE} + (242)$$

$$E_{MET/SHE} = -925 \text{ mV} + 242 \text{ mV}$$

$$= -683 \text{ mV SHE}$$

Maka dinyatakan dalam standar potensial baku SSC adalah:

$$E_{MET/REF} = E_{MET/SHE} - E_{SSC/SHE}$$

$$E_{MET/SSC} = -683 \text{ mV} \quad .(266)$$

$$= -949 \text{ mV SSC}$$

Jadi : - 925 mV SCE sama dengan - 949 mV SSC.

Perhitungan diatas dalam bentuk tabel,: sebagai berikut:

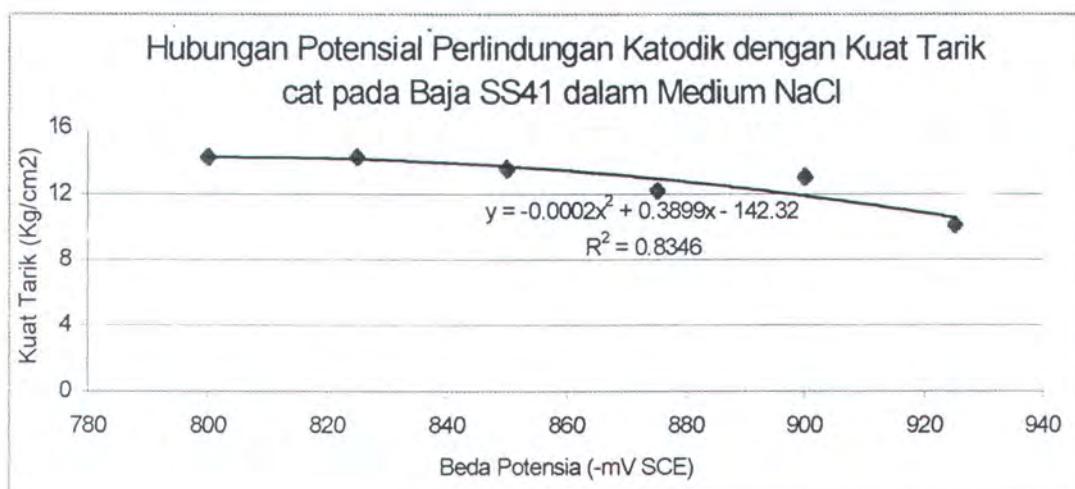
Tabel 4.2 Koversi Potensial mV SCE terhadap Potensial mV SSC

Potensial SCE	Potensial SSC
-800	-824
-825	-849
-850	-874
-875	-899
-900	-924
-925	-949

**Material kategori kelompok A**

Dari data diatas dapat dibuat grafik hubungan antara tegangan dan kuat tarik cat akibat pengaruh perlindungan katodik Yang diberikan seperti dibawah ini:

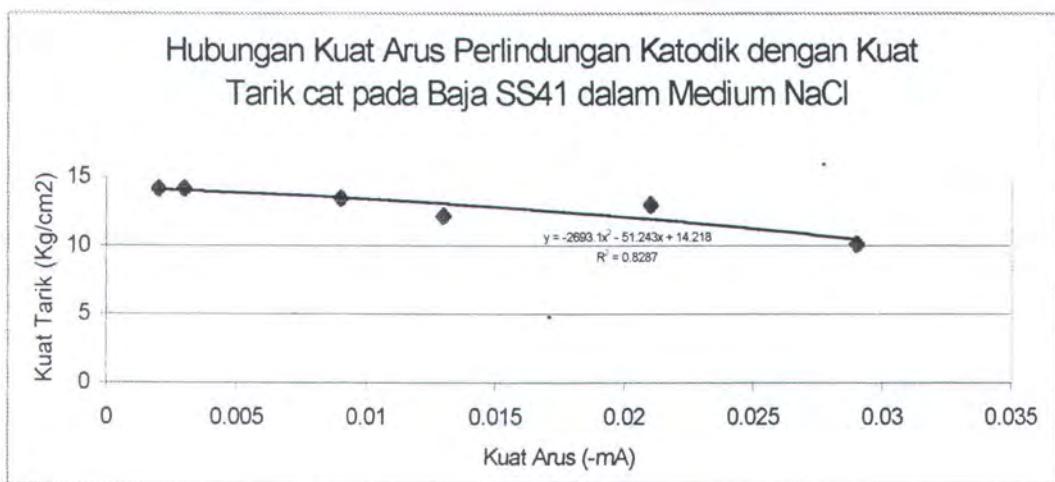
Gambar 4.2 Grafik hubungan potensial perlindungan katodik dengan kuat tarik cat



Dari di atas dapat pula diperoleh grafik hubungan antara arus terpasang dengan kuat tarik cat pada perlakuan perlindungan katodik seperti dibawah ini:



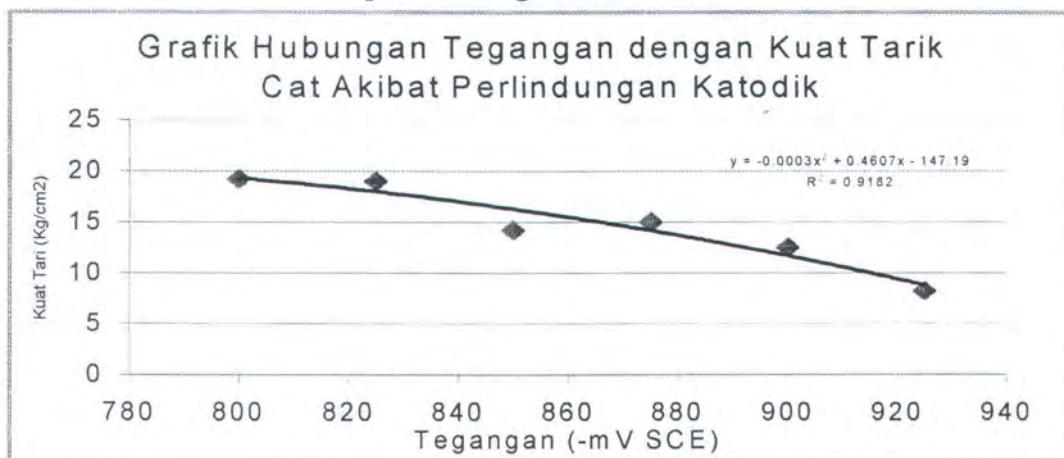
Gambar 4.3. Grafik hubungan kuat arus terpasang terhadap kuat tarik cat



**Material kategori kelompok B**

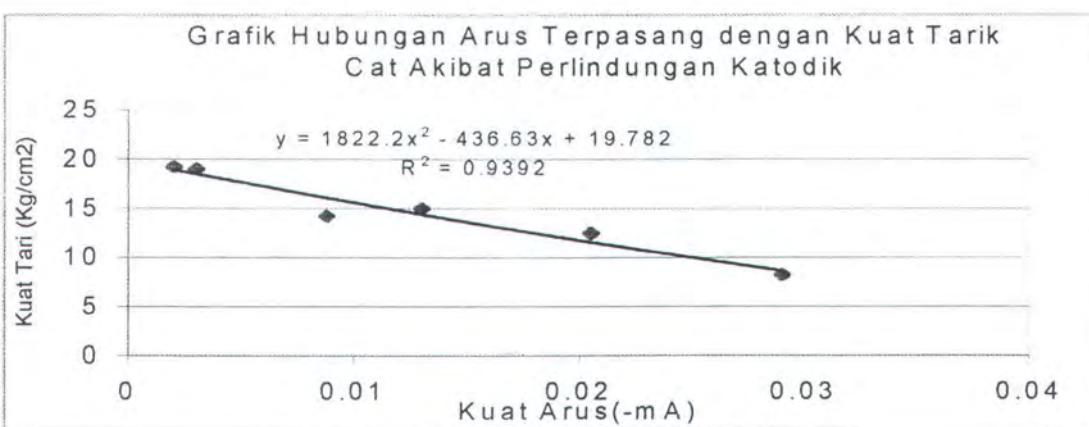
Grafik hubungan tegangan terhadap kekuatan tarik dari cat dapat dilihat seperti berikut:

Gambar 4.4 Grafik hubungan potensial dengan kuat tarik cat akibat perlindungan katodik



Hubungan arus terpasang saat pemberian perlindungan katodik dengan kekuatan tarik cat, dalam bentuk grafik sebagai berikut:

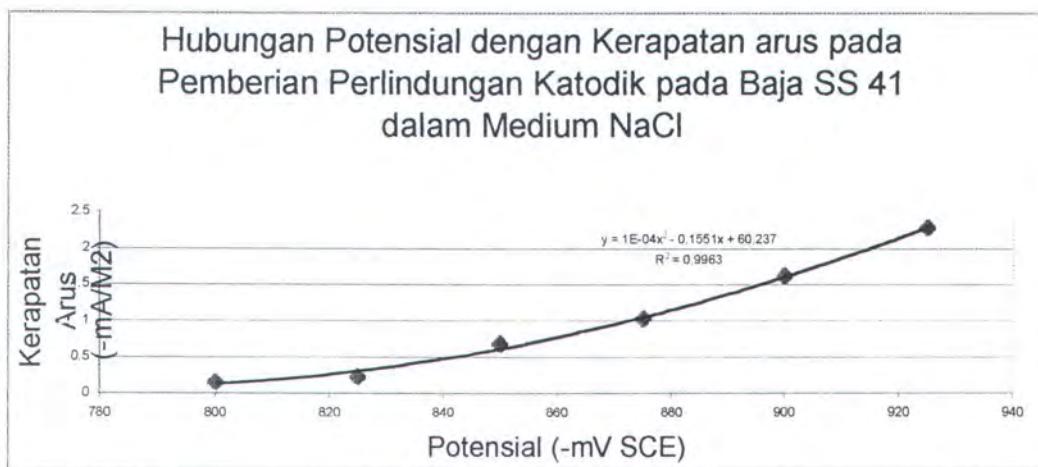
Gambar 4.5 Hubungan arus terpasang dengan kuat tarik cat





Dari kedua pengelompokan tabel maka dapat diketahui bahwa kedua pengelompokan mempunyai kuat arus yang sama, sehingga dapat diketahui kerapatan arus masing-masing tahapan pengujian.

Gambar 4.6 Grafik hubungan antara potensial dan kerapatan arus pengujian seperti gambar dibawah ini:



4.2.1. Analisa Arus Terpasang

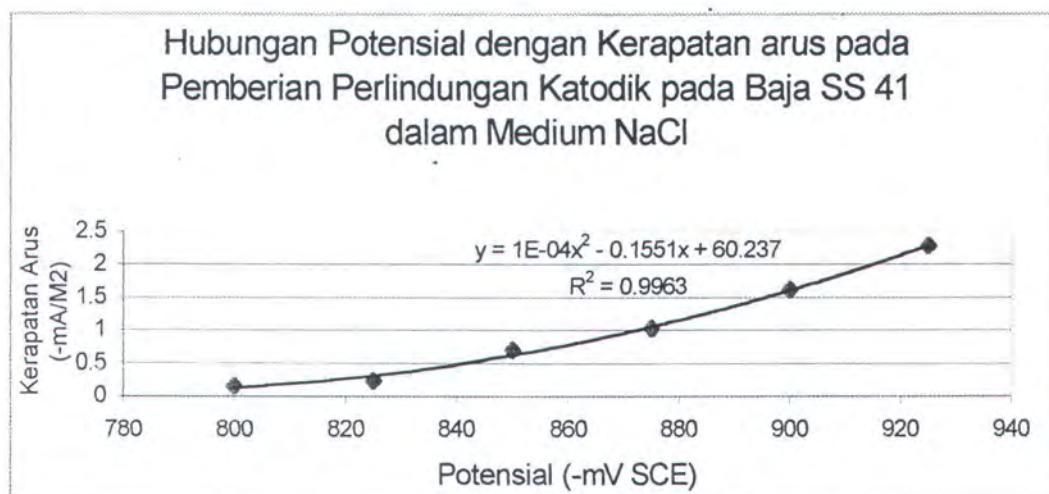
Dari data grafik hubungan tegangan dengan arus terpasang terlihat bukan merupakan garis linier, hal ini dikarenakan beberapa faktor, diantaranya:

- ❖ Luasan spesimen uji yang tercelup saat pemberian perlindungan katodik.
Karena pada saat pemotongan material terjadi selisih luasan spesimen, dan juga pengaruh tebal cat pada



Dari kedua pengelompokan tabel maka dapat diketahui bahwa kedua pengelompokan mempunyai kuat arus yang sama, sehingga dapat diketahui kerapatan arus masing-masing tahapan pengujian.

Gambar 4.6 Grafik hubungan antara potensial dan kerapatan arus pengujian seperti gambar dibawah ini:



4.2.1. Analisa Arus Terpasang

Dari data grafik hubungan tegangan dengan arus terpasang terlihat bukan merupakan garis linier, hal ini dikarenakan beberapa faktor, diantaranya:

1. Luasan spesimen uji yang tercelup saat pemberian perlindungan katodik.

Karena pada saat pemotongan material terjadi selisih luasan spesimen, dan juga pengaruh tebal cat pada



masing-masing spesimen uji menyebabkan terjadinya perbedaan luasan.

2. Besar hambatan listrik yang tidak seragam diantara sistem rangkaian pengujian.

Dalam pengujian ini menggunakan tiga catu daya (tiga rangkaian sistem). Dengan kondisi diatas maka memungkinkan terjadinya ketidaktelitian pemasangan dan pembacaan alat, jarak spesimen uji dengan elektroda pembantu (batang karbon) yang tidak sama antar sistem satu dengan sistem yang lain, perbedaan tahanan dalam sistem karena peralatan yang tidak seragam pada saat merangkai sistem misalnya: panjang kabel, bahan kabel, pengukur arus yang berbeda dan lain-lain.

3. Kepekatan dan konsentrasi elektrolit.

Karena pelaksanaan pengujian yang tidak serentak, maka dimungkinkan terjadinya kepekatan elektrolit pada pengujian awal dan pengujian akhir.

4.2.2. Analisa Sistem Cat

Dari data diatas jelas bahwa telah terjadi penurunan kekuatan tarik dari cat lambung akibat adanya perlindungan katodik. Dalam perlindungan katodik, maka pelat baja yang digunakan telah berubah menjadi katoda. Seperti halnya ketika hal itu terjadi pada saat pemberian perlindungan katodik pada



spesimen uji. Karena spesimen uji berada dalam medium elektrolit (larutan NaCl), Jadi selain terdapat NaCl juga terdapat H₂O disekitarnya. Maka hal itu memungkinkan terjadi reaksi seperti yang tergambar dibawah ini:



Dari ion H⁺ akan membentuk gas H₂ melalui reaksi:



Atom-atom hidrogen yang terbentuk dari proses pembangkitan gas oksigen seperti diatas akan teradsorbsi dan terabsordsi ke dalam logam menembus lapisan cat, masuk kedalam rongga-rongga yang ada. Karena pengaliran arus listrik terus berlanjut maka dalam jangka waktu tertentu atom tersebut akan berikatan menjadi gas hidrogen (H₂). Dalam kondisi gas, maka akan meningkatkan tekanan dalam ronggarongga semakin besar yang berakibat rongga membesar.

4.2.3. Analisa Lapisan cat yang mengelupas dan kekuatan tarik.

Dari pengamatan hasil pengujian diperoleh bahwa kondisi lapisan yang mengelupas cenderung lunak dan kadar air yang dikandung meningkat. Hal ini disebabkan karena adanya osmosis larutan elektrolit selama pemberian perlakuan perlindungan katodik, dan dikarenakan adanya penerobosan ion-ion hidrogen dan oksigen kedalam akibat sifat logam yang



katodik. Hidrogen tersebut terperangkap didalam logam dan lapisan cat sehingga memperbesar rongga dan pori-pori cat sehingga kekuatan dari cat tersebut berkurang.

Dari hasil pengujian diketahui pula bahwa lapisan cat yang terjadi penurunan kekuatannya sampai pada batas lapisan anti corrosion. Kondisi penurunan hingga menyebabkan penurunan pada lapisan epoksi belum terlihat dalam pengujian ini.

Penurunan kekuatan ini juga dipengaruhi oleh sistem pengeringan material uji, dan lama pengeringan. Untuk sistem pengeringan dengan menggunakan lap kering kekuatan tariknya lebih kecil dari pada kuat tarik dari spesimen uji yang menggunakan sistem pengeringan alami (udara terbuka)



TABEL 4.3 Penurunan kekuatan Tarik Cat Akibat Perlakuan Perlindungan Katodik Dibandingkan Dengan Kuat Tarik Cat Tanpa Perlakuan Perlindungan Katodik

(Data A: Pemberian perlindungan katodik selama 4 Jam, dengan pengeringan bantuan lap kering)

Spesimen	Kuat tarik		Penurunan Kekuatan Tarik (%).K ₀	Kegagalan lapisan (Keterangan)
	(Kg/cm ²)	(%)/K ₀		
Spesimen I (520 mikron)	14.25	36.53	63.46	Luas area: 40% Mengelupas sampai lapisan anti corrosion dengan kondisi lunak
Spesimen II (521 mikron)	14.2	36.41	63.58	Luas Area: 75% Mengelupas sampai lapisan anti corrosion dengan kondisi lunak
Spesimen III (522 mikron)	13.5	34.61	65.38	Luas Area: 50% Mengelupas sampai lapisan anti corrosion dengan kondisi lunak
Spesimen IV (519 mikron)	12.2	31.28	68.71	Luas Area: 50% Mengelupas sampai lapisan anti corrosion dengan kondisi lunak
Spesimen V (519 mikron)	13	33.33	66.66	Luas area: 100% Mengelupas sampai lapisan anti corrosion dengan kondisi lunak
Spesimen VI (521 mikron)	10.1	25.89	74.10	Luas Area: 45% Mengelupas sampai lapisan anti corrosion dengan kondisi lunak, dan sedikit terlihat lapisan epoxy



TABEL 4.4 Penurunan kekuatan Tarik Cat Akibat Perlakuan Perlindungan Katodik Dibandingkan Dengan Kuat Tarik Cat Tanpa Perlakuan Perlindungan Katodik
(Data B: Pemberian perlindungan katodik selama 7 Jam, dengan pengeringan alami diudara terbuka)

Spesimen	Kuat tarik		Penurunan Kekuatan Tarik (%).Ko	Kegagalan Lapisan (Keterangan)
	(Kg/cm ²)	(%).Ko		
Spesimen I (521 mikron)	19.2	49.23	50.76	Luas Area: 80% Mengelupas sampai lapisan anti corrosion dengan kondisi Agak keras
Spesimen II (522 mikron)	19	48.71	51.28	Luas area: 25% Mengelupas sampai lapisan Anti Fouling I dengan kondisi keas
Spesimen III (521 mikron)	14.2	36.41	63.58	Luas Area: 100% Mengelupas sampai lapisan anti corrosion dengan kondisi lunak
Spesimen IV (520 mikron)	15	38.46	61.53	Luas Area: 85% Mengelupas sampai lapisan anti corrosion dengan kondisi agak keras
Spesimen V (521 mikron)	12.5	32.05	67.94	Luas Area: 75% Mengelupas sampai lapisan anti corrosion dengan kondisi agak keras dan terlihat lapisan epoxy
Spesimen VI (520 mikron)	8.25	21.15	78.84	Luas Area: 60% Mengelupas sampai lapisan anti corrosion dengan kondisi agak keras dan

Dari kedua tabel diatas dapat diketahui terjadi penurunan kekuatan tarik yang cukup besar pada lapisan cat yang telah diberi perlindungan katodik, bahkan dapat dilihat penurunannya hingga mencapai 78% dari kekuatan awal adhesivitas cat tanpa perlindungan katodik.



Lapisan cat yang paling rawan terpengaruh kekuatan tariknya adalah lapisan anti corrosion (berwarna abu-abu). Ini terlihat dari hampir semua pengujian dari spesimen uji. Dari 13 spesimen uji, hampir keseluruhan mengalami kegagalan kerekatan pada lapisan epoxy saat pengujian dengan menggunakan Dolly pull off.

Lapisan anti corrosion yang digunakan adalah Hempanyl HB.46220 dengan kandungan vinyl. Melihat sifat dan karakteristik cat yang mengandung vinyl tahan minyak, lemak, dan sangat baik untuk struktur baja yang terendam dalam air, maka kegagalan dalam lapisan ini dimungkinkan sebab :pengaplikasian yang kurang sempurna, dan juga karena pengaruh dari pemberian perlindungan katodik serta osmosis.

BAB V
KESIMPULAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Dari Analisa data pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengaruh potensial yang terlalu negatif (lebih kecil dari -850 mV SCE) dalam perlakuan perlindungan katodik berakibat pada penurunan adhesivitas dan kekuatan cat yang diaplikasikan. Hal ini dikarenakan tingginya konsentrasi lokal ion hidroksil yang sering merusak cat.
2. Potensial perlindungan katodik yang terlalu negatif juga mengakibatkan cepatnya pembentukan gas hidrogen (terlihat gelembung-gelembung yang menempel pada material uji pada potensial perlindungan katodik -925 mV SCE) yang dapat menerobos sistem cat melalui proses absorpsi dan adsorpsi sehingga kuat adhesivitas antar lapisan cat maupun antara cat dengan logam menjadi berkurang dibawah $14,2 \text{ Kg/cm}^2$.
3. Dari pengujian yang dilakukan, perlindungan maksimal (pengaruh negatif terkecil) dari potensial perlindungan katodik terhadap adhesivitas cat terjadi pada beda potensial antara -800 mV SCE sampai dengan -825 mV SCE dengan kuat adhesivitas 19 Kg/cm^2 sampai $19,2 \text{ Kg/cm}^2$ atau kira-kira 43,23% dari kuat adhesivitas tanpa perlakuan perlindungan katodik.



4. Surface preparation dan kondisi pengaplikasian cat dalam suatu sistem berpengaruh pada kekuatan hasil pengecatan. Hal ini disebabkan adhesivitas cat selain dipengaruhi kondisi lingkungan pengaplikasian juga dipengaruhi kondisi permukaan material yang dilapisinya, baik tingkat kekasarannya maupun kebersihannya.

5.2. SARAN

Perlindungan katodik sangat penting dalam usaha untuk pencegahan korosi dalam suatu struktur, Karena itu perhitungan-perhitungan dalam menentukan besar beda potensial yang diberikan harus tepat. Untuk itu perlindungan katodik harus dilakukan dengan memperhatikan juga faktor-faktor lain yang mungkin berpengaruh, seperti kondisi elektrolit baik suhu maupun klorinitasnya, juga sistem perlengkapan yang dipakai. Setelah melakukan pengujian adhesivitas dengan menggunakan percobaan kimia sel tiga elektroda, maka penulis menyarankan untuk memperhatikan proses pengeringan material, dan kebersihan permukaan logam dari garam-garaman sebelum dilakukan pengujian tarik terhadap kekuatan adhesivitas cat.



PENUTUP

PENUTUP

Demikian tugas akhir dengan judul "PENGARUH ARUS PERLINDUNGAN KATODIK TERHADAP ADHESIVITAS CAT SEBAGAI UPAYA UNTUK PENCEGAHAN KOROSI PADA LAMBUNG KAPAL (BAJA SS-41)" ini disusun sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S1) di jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS, semoga bermanfaat bagi kita semua.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

Berensen, A.M., "Marine Painting Manual", National Foundation for the Co-Ordination of Maritime Research, Rotterdam, 1989.

British Maritime Technology, "Recommended Practice for the Protection and Painting of Ship", Limited General Council of British Shipping, London, 3rd edition, 1986.

Chamberlain, J. and K.R Trethewey, "Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasaawan", Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991.

Chandler, K.A., "Marine and Offshore Corrosion", Butter Worth & Co (Published) Ltd, 1985.

Fontana, Mars G., "Corrosion Engineering", 2nd edition.

Hempel's Marine Paints A/S, "Explanatory Notes to The Product Data Sheets", Hempel Group, Jakarta, 1994.

Hansen, F., "Technical Reference Book", Hempel's, Denmark, March, 1987.

Riggs, Olen L. and Carl E. Locke, "Anodic Protection", Plenum Press, New York, 1981.

Sheir,L.L., R.A. Jarman, and G.T. Burtstein, "Corrosion Volume 1 and 2", Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 1995.

Silalahi, Lindung, "Pengendalian Korosi untuk Meningkatkan Efisiensi Industri dengan Protective Coating", Hempelindo, Jakarta, 1996.

LAMPIRAN

Lampiran 2.1 Standar Abrasive

Comparative listing of NACE, SSPC, ISO, and BSI surface preparation standards.

Note: This chart is comparative only, since many standards are not equivalent.

	NACE	SSPC	ISO 8501-1	BSI BS 7079
Nonabrasive Blast Cleaning				
Solvent Cleaning		SSPC-SP-1		
Hand Tool Cleaning		SSPC-SP-2	St2 or St3 ¹	Identical to NACE St2 or St3
Power Tool Cleaning		SSPC-SP-3	St 2 or St 3 ¹	Identical to NACE St 2 or 3
Power Tool Cleaning to Bare Metal		SSPC-SP-11		
Flame Cleaning		SSPC-SP-4 ²	F1	Identical to ISO F1
Pickling		SSPC-SP-8		
Abrasive Blast Cleaning	Joint Surface Preparation Standards			
White Metal	NACE No. 1/SSPC-SP-5		Sa 3 ("Blast Cleaning to Visually Clean Steel")	Identical to ISO Sa 3
Near-White Metal	NACE No. 2/SSPC-SP-10		Sa 2 1/2 ("Very Thorough Blast Cleaning")	Identical to ISO Sa 2 1/2
Commercial	NACE No. 3/SSPC-SP-6		Sa 2 ("Thorough Blast Cleaning")	Identical to ISO Sa 2
Brush-Off	NACE No. 4/SSPC-SP-7		Sa 1 ("Light Blast Cleaning")	Identical to ISO Sa 1
Water Blasting	NACE No. 5/SSPC-SP-12 ³			

¹ ISO St is for hand and power tool cleaning. The two grades, St 2 and St 3 are shown as attainable with either hand or power tool cleaning.

² Withdrawn

³ Refers to Water Blasting (covered in Session II)

NOTE: ISO 8501-1 has been widely adopted as a national standard in a similar way to B.S. 7079 in various countries, including Australia, New Zealand, Sweden, Japan.

[NACE, International, 1997]





Contractor : P.T. PAL

Shell Outside

Flat Bottom to Deep Load Line including Sea Chests Bow

Thruster Channel Rudder etc. for PB 1600 Type

SURFACE PREPARATION AND REMARKS (IF ANY) - ENSURE SURFACES ARE FREE FROM OIL / GREASE

- ABRASIVE BLASTING TO MINIMUM Sa 2 1/2 - SIS 055900 SWEDISH STANDARD
- WHEN RECOATING INTERVAL IS EXCEEDED ROUGHENING OF THE SURFACE IS IMPORTANT TO ENSURE INTERCOAT ADHESION
- APPLY PAINT ONLY TO DRY AND CLEAN SURFACES
- ENSURE SURFACES ARE FREE FROM DIRT, DUST AND OTHER IMPURITIES
- REFER TO PRODUCT DATA SHEET ; - REFER TO APPLICATION INSTRUCTION
- CLEAN ABRASIVE DUST WITH CLEAN AND DRY BLOW AIR ; - DEDUSTING WITH VACUUM CLEANER

SYSTEM INFORMATION

PRODUCT NAME (incl. quality number)	C O L O U R	F I L M THICKNESS In micron/mill	SPREADING RATE M2/LTR	RECOAT INTERVAL 20 C / 68 F AND AMPLE VENTILATION	METHODE APPLICATION				
					(*) TOUCH-UP	(B) BRUSH	(R) ROLLER		
HEMPADUR	45150 RD-BROWN	50630	235 WET	200 DRY	4.3 THEORETICAL	8 HR	2 D	X X .021"-.023"	3600 psl
HEMPANYL HI BUILD	46220 GREY	12170	256	100	3.9	16 HR	NONE	X X .023"-.027"	2900 psl
HEMPEL'S A/F COMBIC	7699B RED	50300	182	100	5.5	6 HR	6 MO	X X X .023"-.027"	3600 psl
HEMPEL'S A/F COMBIC	7699B RED	51110	182	100	5.5	6 HR	6 MO	X X X .023"-.027"	3600 psl
				500					

PRODUCT INFORMATION

	VOLUME SOLIDS %	CURING AGENT	MIXING RATIO	POT-LIFE AT 20 C / 68 F	DRYING TIME AT 20 C / 68 F	FLASH POINT C / F	THINNER	APPLICATION RESTRICTION		
								TEMP C / F	R. H. %	
HEMPADUR	45150	85	95450	1 : 1	2 HR	14 HR	25/77	08460	MIN 10 C	MAX 85
HEMPANYL HI BUILD	46220	39				8 HR	28/82	08460	MIN 10 C	MAX 85
HEMPEL'S A/F COMBIC	7699B	55				4 HR	27/81	08080	MIN 10 C	MAX 85

REFERENCE : (A) REFER TO APPLICATION INSTRUCTION

(B) REFER TO PRODUCT DATA SHEET

(C) WHEN FULLY CURED

NOTE: FURTHER REMARKS (IF ANY), SEE OVERLEAF

MOLE/MONTH

WEEK

DAY

HR

MINUTE

DATE : 03 - 12 - 1997

REF NO. : XII-97546-FERRO/LS/TJ

SURFACE TEMP.

MUST BE ABOVE

DEW POINT.

PAGE : 2 / 41



Contractor : P.T. PAL

Shell Outside

Flat Bottom to Deep Load Line including Sea Chests Bow

Thruster Channel Rudder etc. for PB 1600 Type

SURFACE PREPARATION AND REMARKS (IF ANY) - ENSURE SURFACES ARE FREE FROM OIL / GREASE

- ABRASIVE BLASTING TO MINIMUM Sa 2 1/2 - SIS 055900 SWEDISH STANDARD
- WHEN RECOATING INTERVAL IS EXCEEDED ROUGHENING OF THE SURFACE IS IMPORTANT TO ENSURE INTERCOAT ADHESION
- APPLY PAINT ONLY TO DRY AND CLEAN SURFACES
- ENSURE SURFACES ARE FREE FROM DIRT, DUST AND OTHER IMPURITIES
- REFER TO PRODUCT DATA SHEET ; - REFER TO APPLICATION INSTRUCTION
- CLEAN ABRASIVE DUST WITH CLEAN AND DRY BLOW AIR ; - DEDUSTING WITH VACUUM CLEANER

SYSTEM INFORMATION

PRODUCT NAME (incl. quality number)	COLOUR	FILM THICKNESS In micron/mil	SPREADING RATE M2 / LTR	RECOAT INTERVAL		METHOD OF APPLICATION				
				20 C / 68 F AND AMPLE VENTILATION	(B) BRUSH	(R) ROLLER	(S) AIRLESS SPRAY			
SHADE	NO.	WET	DRY	THEORETICAL	MIN	MAX	(B)	(R)		
HEMPADUR	45150	RD.BROWN	50630	235	200	4.3	8 HR	2 D	X X .021"-.023"	3600 psi
HEMPANYL HI BUILD	46220	GREY	12170	256	100	3.9	16 HR	NONE	X X .023"-.027"	2900 psi
HEMPEL'S A/F COMBIC	7699B	RED	50300	182	100	5.5	6 HR	6 MO	X X X .023"-.027"	3600 psi
HEMPEL'S A/F COMBIC	7699B	RED	51110	182	100	5.5	6 HR	6 MO	X X X .023"-.027"	3600 psi
				500						

PRODUCT INFORMATION

	VOLUME SOLIDS %	CURING AGENT	MIXING RATIO	POT-LIFE AT 20 C / 68 F	DRYING TIME AT 20 C / 68 F	FLASH POINT C / F	THINNER	APPLICATION RESTRICTION		
								TIME AT 20 C / 68 F	C / F	R. H. %
HEMPADUR	45150	.85	95450	1 : 1	2 HR	14 HR	25/77	08460	MIN 10 C	MAX 85
HEMPANYL HI BUILD	46220	.39				8 HR	28/82	08460	MIN 10 C	MAX 85
HEMPEL'S A/F COMBIC	7699B	.55				4 HR	27/81	08080	MIN 10 C	MAX 85

REFERENCE : A) REFER TO APPLICATION INSTRUCTION

B) REFER TO PRODUCT DATA SHEET

C) WHEN FULLY CURED

NOTE: FURTHER REMARKS (IF ANY), SEE OVERLEAF



DATE : 03 - 12 - 1997

REF NO. : XII-97546-FERRO/LS/TJ

SURFACE TEMP.
MUST BE ABOVE
DEW POINT.

PAGE : 2 / 11



HEMPPEL'S SHOPPRIMER ZS 15890

HEMPPEL'S LIQUID 99751

Description:	HEMPPEL'S SHOPPRIMER ZS 15890 is a two-component, low-zinc, solvent-borne ethyl silicate shopprimer, designed for automatic spray application. Especially suited, where welding (MIG/MAG) and gas-cutting properties are of importance.
Recommended use:	For short to medium-term protection of blastcleaned steel plates and other structural steel during the storage, fabrication, and construction periods.
Certificates/Approvals:	Approved as a welding primer by Lloyd's Register of Shipping, American Bureau of Shipping, Det Norske Veritas, Germanischer Lloyd, Korean Register of Shipping, Bureau Veritas, RINA, Italy and Maritime Register of Shipping, Russia. See REMARKS overleaf.
Availability:	Part of Group Assortment. Local availability subject to confirmation.

PHYSICAL CONSTANTS:

Colours/Shade nos:	Reddish grey/19890 - Grey/19840
Finish:	Flat
Volume solids, %:	25 ± 1
Theoretical spreading rate:	See REMARKS overleaf
Flash point:	5°C/41°F
Specific gravity:	1.3 kg/litre - 10.8 lbs/US gallon
Dry to handle:	3-4 minutes at 20°C/68°F
Fully cured:	4 days at 20°C/68°F (75% RH)
V.O.C.:	620 g/litre - 5.15 lbs/US gallon (According to EPA Fed Ref Method 24)
Shelf life:	6 months (25°C/77°F) from time of production. Shelf life is dependent on storage temperature. Shelf life is reduced at storage temperatures above 25°C/77°F. Do not store above 40°C/104°F or below 5°C/40°F. Shelf life is exceeded if the liquid is gelled or if the mixed product forms gels before application.

The physical constants stated are nominal data according to the HEMPEL Group's approved formulas. They are subject to normal manufacturing tolerances and where stated, being standard deviation according to ISO 3534-1. Further reference is made to "Explanatory Notes" in the HEMPEL Book.

APPLICATION DETAILS:

Mixing ratio for 15890:	Base 15899 : Liquid 99751 2 : 3 by volume	
Application method:	Airless spray	Air spray
Thinner (max.vol.):	08570 or 08700 (30%)	08700 (30%)
Pot life:	(See REMARKS overleaf)	08570 or 08700 (15%)
Nozzle orifice:	24 hours (20°C/68°F) (Closed container, constant stirring)	(See REMARKS overleaf)
Nozzle pressure:	.019"-.023"	80 bar/1200 psi
Cleaning of tools:	(Airless spray data are indicative and subject to adjustment)	
Indicated film thickness, dry:	THINNER 08570 or 08700	
Indicated film thickness, wet:	15 micron/0.6 mil (See REMARKS overleaf)	
Recoat interval, min:	Not relevant	
Recoat interval, max:	When fully cured	
	None (See REMARKS overleaf)	

2. HEMPEL'S SHOPPRIMER ZS 15890

SURFACE PREPARATION:	Remove oil and grease with suitable detergent. Abrasive blasting to minimum Sa 2½ with a surface profile equivalent to Rugotest No. 3, min. N9a, Keane-Tator Comparator, 2 mils segments or ISO Comparator Medium (G,S). For special purposes gritblasting is necessary.
APPLICATION CONDITIONS:	The surface must be completely clean and dry with a temperature above the dew point to avoid condensation. Minimum steel temperature 0°C/32°F, max. approximately 55°C/131°F: Curing: Minimum temperature for curing 0°C/32°F, minimum 50%, preferably above 65% relative humidity. Consult separate APPLICATION INSTRUCTIONS.
SUBSEQUENT COAT:	As per specification.
REMARKS: Film thicknesses and theoretical spreading rates:	Certificates are issued under the former quality number 1589. On steel abrasive blasted to a profile Ra = 12½ micron (½ mil), equivalent to Rugotest No. 3, N10a-b, or Keane-Tator Comparator, 3 mils segments, the indicated 15 micron/0.6 mil film thickness corresponds to approx. 25 micron/1 mil measured on a smooth test panel (see special instructions for this procedure). The corresponding "theoretical" spreading rate will be 10.0 m²/litre (401 sq.ft./US gallon) (reddish grey shade 19890). On steel abrasive blasted to a profile Ra = 6.3 micron (1/4 mil), equivalent to Rugotest No. 3, N9a, or Keane-Tator Comparator, 2 mils segments, the indicated 15 micron/0.6 mil film thickness corresponds to approx. 20 micron/0.8 mil measured on a smooth test panel (see special instructions for this procedure). The corresponding "theoretical" spreading rate will be 12.5 m²/litre (501 sq.ft./US gallon) (reddish grey shade 19890). The shopprimer should be applied in a uniform film thickness. Avoid dry spray and exaggerated film thicknesses. Depending on requested protective lifetime the dry film thickness may be varied. Minimum is approximately 10 micron/0.4 mil, maximum 20 micron/0.8 mil as specified on a blasted surface.
Thinning:	Selection of proper thinner is related to application conditions. At high temperatures, a special THINNER 08740 with a very slow flash-off may be used - please consult separate APPLICATION INSTRUCTIONS.
Curing: Recoating:	Curing time is prolonged at relative humidity below 75%. No maximum recoating interval for adhesion, but dictated by gradual breakdown and damage during exposure and fabrication. Regarding treatment before recoating, please consult the APPLICATION INSTRUCTIONS.
Shelf life:	If shelf life is exceeded, it is usually possible to use the zincpaste (BASE), if any settling can be remixed. The LIQUID may be used provided it shows no signs of turbidity, but pot life will be very much shortened, see below. In any case, possible surpassing of storage time will be of 1-2 months maximum (20°C/68°F) for the LIQUID.
Pot life:	The pot life may be gradually reduced to 8 hours (20°C/68°F) as the liquid approaches the end of its shelf life, assuming that it is stored under favourable conditions.
Note:	HEMPEL'S SHOPPRIMER ZS 15890 is for professional use only.
SAFETY:	Handle with care. Before and during use, observe all safety labels on packaging and paint containers, consult HEMPEL Material Safety Data Sheets and follow all local or national safety regulations. This goes for personal protection such as, but not limited to, protection of lungs, eyes and of the skin, medical treatment in case of swallowing the paint or in case of other direct contact with the paint. Take necessary precautions against possible risks of fire or explosions as well as protection of the environment. Apply only in well ventilated areas and ensure that adequate forced ventilation exists when applying paint in confined spaces or when the air is stagnant.

This Product Data Sheet supersedes those previously issued. For definition and scope, see explanatory notes to applicable Product Data Sheets. Data, specifications, directions and recommendations given in this data sheet represent only test results or experience obtained under controlled or specially defined circumstances. Their accuracy, completeness or appropriateness under the actual conditions of any intended use of the Products herein must be determined exclusively by the Buyer and/or User. The Products are supplied and all technical assistance is given subject to HEMPEL's GENERAL CONDITIONS OF SALES, DELIVERY AND SERVICE, unless otherwise expressly agreed in writing. The Manufacturer and Seller disclaim, and Buyer and/or User waive all claims involving, any liability, including but not limited to negligence, except as expressed in said GENERAL CONDITIONS for all results, injury or direct or consequential losses or damages arising from the use of the Products as recommended above, on the overleaf or otherwise.

Product data are subject to change without notice and become void five years from the date of issue.



APPLICATION INSTRUCTIONS

For product data description refer to the product data sheet

HEMPPEL'S SHOPPRIMER ZS 15890

HEMPPEL'S LIQUID 99751

Scope: These Application Instructions cover surface preparation, application equipment, and application of HEMPEL'S SHOPPRIMER ZS 15890.

Surface preparation: a. Prior to abrasive blast cleaning of the steel, remove oil and grease and other contamination with a suitable detergent, followed by high pressure fresh water hosing.

- b. Abrasive blasting to Sa 2½, ISO 8501-1: 1988.
The abrasives must be capable of developing a surface profile equivalent to Rugotest No. 3, N9a to N10a ($R_a = 6-12.5$ micron/1/4-1/2 mil), Keane-Tator Surface Comparator, 2-3 mils segments (average maximum peak to valley roughness 50-75 micron/2-3 mils), or ISO Comparator, Medium (G.S.).

Note: In case of abrasive blasting with shot instead of grit the resulting surface profile will give lower adhesive values and thereby reduced mechanical properties of the coating. Recoating with heavy-duty systems such as HEMPADUR qualities can then generally be recommended only after a very thorough abrasive gritsweeping. Also for recoating with zinc silicates such as GALVOSIL 15700 a thorough abrasive grit sweeping is mandatory to give the required surface profile.

- c. When the abrasive blasting is completed, remove all grit and dust by vacuum cleaning.

Note: As abrasive blasted surfaces will rust rapidly, HEMPEL'S SHOPPRIMER ZS 15890 must be applied immediately after the abrasive blasting and de-dusting. If re-rusting occurs, re-blasting is necessary.

Application equipment: HEMPEL'S SHOPPRIMER ZS 15890 can be applied by conventional spray equipment (pressure pot type only), airless spray equipment and brush.

Conventional spray equipment:

Standard industrial spray equipment with mechanical agitator, pressure regulator, air filters, and water traps.

Pot pressure: 2.5-5 bar (35-75 psi)
Atomizing pressure: 1.5-2.5 bar (20-35 psi)
Air hose: 10 mm (3/8") internal diameter
Material hose: 13 mm (1/2") internal diameter

(Spray data are indicative and subject to adjustment).

Note: The hoses should be as short as possible, preferable not longer than 10 metres/35 feet. Place the pressure pot at the same level as or at a higher level than the spray gun when spraying, owing to the weight of the paint.

The pressure pot may advantageously be replaced by a piston pump with a low ratio of pressures.

In case of application stops, if possible re-circulate the paint through the hoses to avoid settling.

Clean all equipment promptly after use with the THINNER used.

Leave THINNER in the hoses when the equipment is not in use.

Airless spray equipment:

A large, slow-working, piston pump is recommended.

Gaskets: Teflon
Nozzle orifice: .019" through .023"
Fan angle: 65° through 80°.
Nozzle pressure: 80 bar (1200 psi).

(Spray data are indicative and subject to adjustment).

Note: During application stops, if possible re-circulate the paint through the hoses to avoid settling.

Clean all equipment promptly after use with the THINNER used.

Leave THINNER in the hoses when the equipment is not in use.

Mixing:

- a. Do not open packings until immediately before use. The entire content of the two packings must be used for each batch to ensure a correct mixture. Left-overs in the packings cannot be used later.
- b. Before mixing, shake or stir the liquid very thoroughly.
- c. Mix only in the proportions supplied. Do not vary or sub-divide.
- d. Pour the liquid slowly into the zinc paste with constant mechanical stirring. Do not mix in the reverse order. Continue stirring until the mixture is free of lumps.
- e. Strain the mixture through a screen, 60-80 mesh (250-160 DIN Norm. 4188).
- f. For use in automatic shoppriming plants, adjust the mixture to a viscosity of 15-18 sec:DIN 4 or equal with the prescribed thinner.

Thinning:

Dilute the mixed product only.

For airless spray application, add maximum 30% of THINNER.

For conventional spray application, add maximum 30% of THINNER.

For touch up by brush, add maximum 15% of THINNER.

Note: THINNER 08570 has a very fast flash-off which makes it suitable at low temperatures but gives risk for dry-spray at high temperatures. THINNER 08570 is generally not recommended for conventional spray application.

THINNER 08700 has a relative slow flash-off with good film formation at high temperatures but slower drying at low temperatures.

If application takes place at high temperatures, ie 40-55°C/104-131°F, a special THINNER 08740 with even lower flash-off than THINNER 08700 should be used. Correct selection of thinner is dependent on the actual application conditions.

Pot life:

24 hours at 20°C/68°F in a tightly closed container.

Note: Prepare only the quantity that can be used within this period. Maintain constant agitation until the batch is depleted. After expiration of the pot life the mixture must not be used even if it may appear to be unchanged.

The pot life may be gradually reduced to 8 hours (20°C/68°F) as the liquid approaches the end of its shelf life, assuming that it is stored under favourable conditions.

Application:

The coating must be wet and smooth just after application. Avoid dry-spray and excessive film thicknesses, which especially may be encountered at manual spray application.

Micro climate:

Steel temperature: min 0°C/32°F, max. approximately 55°C/131°F.



Note: The temperature should be a few degrees above the dew point to avoid condensation. At the freezing point beware of ice on the surface.

For application beyond the stated intervals contact HEMPEL for guidance.

Drying time:

Dry to handle in 3-4 minutes at 20°C/68°F and sufficient ventilation in 15 micron/0.6 mil dry film thickness.

Note: These figures apply when the temperature of the steel does not differ appreciably from that of the surroundings.

Plates can be transported or stacked as soon as dry to handle.

Processing is only recommended when fully cured.

Curing time:

Dependent on temperature and humidity.

Relative humidity: min. 50%, preferably above 65%

Min. temperature for curing is 0°C/32°F.

At 20°C/68°F and min. 75% relative humidity the coating will be fully cured in 4 days.

At low humidities, curing can be promoted by hosing down the surface with water 24 hours after application and by keeping the surface constantly wet until curing is complete.

Complete curing, in the sense of being ready for recoating, can be checked by rubbing the coating with a rag soaked in THINNER 08700 used. If the coating remains unaffected, the curing is complete.

Recoating interval:

HEMPEL'S SHOPPRIMER ZS 15890 must be fully cured before recoating.

Recoating procedure:

Remove oil and grease, dirt, etc. with suitable detergent followed by fresh water hosing. Remove weld spatters. Damaged areas, burns, etc. to be cleaned by rotary wire brushing, by disc grinding, by abrasive sweeping, or by abrasive blasting according to specification and touch up with the primer of the coating system proper. In case of "white rust" on intact surfaces, it is recommended to clean by fresh water hosing and scrubbing with stiff brushes.

It is risky to make a general cleaning of the exposed surface by grinding, and especially by wire-brushing as this process easily tends to give a smooth, polished surface to which the adhesion of following coats usually will be reduced.

In any case abrasive grit sweep the entire surface if the subsequent coat is GALVOSIL 15700 or similar, or if the shopprimer is polished (smooth) and the following paint system will be exposed to aggressive environments during service.

Especially if the paint system will be exposed to heavy wear - for instance a MULTI-STRENGTH-system - a very thorough abrasive grit sweeping is recommended, in severe cases a full reblasting.

Removal of dust is mandatory before recoating.

Safety precautions: Handle with care. Before and during use, observe all safety labels on packaging and paint containers, consult HEMPEL Material Safety Data Sheets and follow all local or national safety regulations. This goes for personal protection such as, but not limited to, protection of lungs, eyes and of the skin, medical treatment in case of swallowing the paint or in case of other direct contact with the paint. Take necessary precautions against possible risks of fire or explosions as well as protection of the environment. Apply only in well ventilated areas and ensure that adequate forced ventilation exists when applying paint in confined spaces or when the air is stagnant.

This Product Data Sheet supersedes those previously issued. For definition and scope, see explanatory notes to applicable Product Data Sheets.
Data, specifications, directions and recommendations given in this data sheet represent only test results or experience obtained under controlled or specially defined circumstances. Their accuracy, completeness or appropriateness under the actual conditions of any intended use of the Products herein must be determined exclusively by the Buyer and/or User. The Products are supplied and all technical assistance is given subject to HEMPEL's GENERAL CONDITIONS OF SALES, DELIVERY AND SERVICE, unless otherwise expressly agreed in writing. The Manufacturer and Seller disclaim, and Buyer and/or User waive all claims involving any liability, including but not limited to negligence, except as expressed in said GENERAL CONDITIONS for all results, injury or direct or consequential losses or damages arising from the use of the Products as recommended above, on the overleaf or otherwise. Product data are subject to change without notice and become void five years from the date of issue.

Issued by HEMPEL'S MARINE PAINTS A/S.

1589019890CO008

Issued:

October 1999/15890 - Page 4 of 4



HEMPADUR®45150

CURING AGENT 95450

Description:	HEMPADUR 45150 is a two-component, high solids, polyamine cured epoxy paint with good self-priming properties.	
Recommended use:	Especially for repair and maintenance work where high demands to surface preparation cannot be obtained completely and where good compatibility with existing paint system is required. Facilitates furthermore a high dry film thickness per touch-up coat. May be used as a high build primer, intermediate and/or finishing coat in paint systems according to specification when a low solvent content and high film thickness per coat are required. As a finishing coat where a "cosmetic appearance" is only of less importance.	
Service temperatures:	Dry: Maximum: 80°C/176°F See REMARKS overleaf.	In water (no temperature gradient): 30°C/86°F
Certificates/Approvals:	Tested for non-contamination of grain cargo at the Newcastle Occupational Health, Great Britain. Classified as class 1 material according to BS 476: Part 7: 1987 (fire testing).	
Availability:	Part of Group Assortment. Local availability subject to confirmation.	

PHYSICAL CONSTANTS:

Colours/Shade nos:	Red/50630* - Gray/12170*
Finish:	Semi-gloss
Volume solids, %:	82 ± 1
Theoretical spreading rate:	4.1 m²/litre - 200 micron 164 sq.ft./US gallon - 8 mils
Flash point:	25°C/77°F
Specific gravity:	1.4 kg/litre - 11.4 lbs/US gallon
Surface dry:	6 (approx.) hrs at 20°C/68°F (ISO 1517)
Dry to touch:	14 (approx) hours at 20°C/68°F
Fully cured:	7 days at 20°C/68°F
V.O.C.:	170 g/litre - 1.4 lbs/US gallon

*Another shade grey 11480 according to assortment list.

The physical constants stated are nominal data according to the HEMPEL Group's approved formulas. They are subject to normal manufacturing tolerances and where stated, being standard deviation according to ISO 3534-1. Further reference is made to "Explanatory Notes" in the HEMPEL Book.

APPLICATION DETAILS:

Mixing ratio for 45150:	Base 45159 : Curing agent 95450 (see REMARKS overleaf)
Application method:	1 : 1 by volume
Thinner (max.vol.):	Airless spray Brush
Pot life:	08450 (5%) 08450 (5%) (See separate APPLICATION INSTRUCTIONS)
Nozzle orifice:	2 hrs (20°C/68°F) 3 hrs (20°C/68°F) (See REMARKS overleaf)
Nozzle pressure:	.019"-.023" (See separate APPLICATION INSTRUCTIONS)
Cleaning of tools:	250 bar/3600 psi (Airless spray data are indicative and subject to adjustment)
Indicated film thickness, dry:	HEMPEL'S TOOL CLEANER 99610 or THINNER 08450
Indicated film thickness, wet:	200 micron/8 mils (See REMARKS overleaf)
Recoat interval, min:	250 micron/10 mils (See REMARKS overleaf)
Recoat interval, max:	As per separate APPLICATION INSTRUCTIONS
	As per separate APPLICATION INSTRUCTIONS

Issued:

October 1999

2. HEMPADUR 45150

SURFACE PREPARATION:	Repair and maintenance: Remove oil and grease, etc. with suitable detergent. Remove salt and other contaminants by (high pressure) fresh water cleaning. Clean damaged areas thoroughly by power tool cleaning to St 3 (spot-repairs) or by abrasive blasting to min. Sa 2, preferably to Sa 2½. Improved surface preparation will improve the performance of HEMPADUR 4515. As an alternative to dry cleaning, water jetting to min. WJ-3, preferably WJ-2 (NACE No. 5/SSPC-SP 12), may be used. A flash-rust degree of maximum FR-2 (Hempel standard) is acceptable before application. Feather edges to sound intact areas. Dust off residues. Touch up to full film thickness. On pit-corroded surfaces, excessive amounts of salt residues may call for high pressure water jetting, wet abrasive blasting, alternatively dry abrasive blasting, high pressure fresh water hosing, drying, and finally, dry abrasive blasting again. Please see APPLICATION INSTRUCTIONS. New steel: When used as intermediate and/or finishing coat surface preparation as to Product Data Sheet for the preceding primer coat (HEMPADUR primers). When used selfpriming surface preparation as to specification. GALVOSILS: Please see APPLICATION INSTRUCTIONS.
APPLICATION CONDITIONS:	Apply only on a dry and clean surface. Use only where application and curing can proceed at temperatures above approx. 15°C/59°F. The temperature of the paint itself should also be minimum 15°C/59°F. At high temperatures use the product immediately after a thorough mixing and stirring. See REMARKS below. In confined spaces provide adequate ventilation during application and drying.
PRECEDING COAT:	None or according to specification. HEMPADUR 45150 may be used directly on zinc silicates or metal-sprayed surfaces - reference is made to APPLICATION INSTRUCTIONS.
SUBSEQUENT COAT:	None or according to specification.
REMARKS:	Please see separate APPLICATION INSTRUCTIONS. Certificates have been issued under the former quality number 4515. The natural tendency of epoxy coatings to chalk in outdoor exposure and to become more sensitive to mechanical damage and chemical exposure at elevated temperatures is also reflected in this product.
Weathering/ service temperatures:	Light shades will have a tendency to yellow when exposed to sunshine and darken when exposed to heat.
Colour:	
Film thicknesses:	May be specified in another film thickness than indicated depending on purpose and area of use. For airless spray application normal range is 150-250 micron/6-10 mils. This will alter spreading rate and may slightly influence drying time and recoating interval. Concerning measurement of wet film thickness, please consult separate APPLICATION INSTRUCTIONS. For application by brush, obtainable dry film thicknesses are up to 100-125 micron/4-5 mils per coat.
Curing agent:	Note: At certain stockpoints, HEMPADUR 45150 may be supplied with an alternative, low-viscosity CURING AGENT 95454 in order to facilitate spray application in a dry film thickness of 75-150 micron/3-6 mils. This curing agent can be used for brush application too if a smooth surface is required. Contact HEMPEL for further advice.
Pot life:	The pot life is dependent on packing size and temperature. For bigger packings and a temperature at 35°C/95°F the pot life will be reduced to approx. 15 minutes.
Recoating:	Recoat intervals related to later conditions of exposure: Consult separate APPLICATION INSTRUCTIONS. Before recoating after exposure in contaminated environment, clean the surface thoroughly by (high pressure) fresh water hosing and allow to dry. If the maximum recoat interval is exceeded, roughening of the surface is necessary to ensure intercoat adhesion.
Note:	HEMPADUR 45150 is for professional use only.
SAFETY:	Handle with care. Before and during use, observe all safety labels on packaging and paint containers, consult HEMPEL Material Safety Data Sheets and follow all local or national safety regulations. This goes for personal protection such as, but not limited to, protection of lungs, eyes and of the skin, medical treatment in case of swallowing the paint or in case of other direct contact with the paint. Take necessary precautions against possible risks of fire or explosions as well as protection of the environment. Apply only in well ventilated areas and ensure that adequate forced ventilation exists when applying paint in confined spaces or when the air is stagnant.

This Product Data Sheet supersedes those previously issued. For distribution and scope, see explanatory notes to applicable Product Data Sheets. Data, specifications, directions and recommendations given in this data sheet represent only test results or experience obtained under controlled or specially defined circumstances. Their accuracy, completeness or appropriateness under the actual conditions of any intended use of the Products herein must be determined exclusively by the Buyer and/or User. The Products are supplied and all technical assistance is given subject to HEMPEL's GENERAL CONDITIONS OF SALES, DELIVERY AND SERVICE, unless otherwise expressly agreed in writing. The Manufacturer and Seller disclaim, and Buyer and/or User waive all claims involving, any liability, including but not limited to negligence, except as expressed in said GENERAL CONDITIONS for all results, injury or direct or consequential losses or damages arising from the use of the Products as recommended above, on the overleaf or otherwise.

Product data are subject to change without notice and become void five years from the date of issue.
Issued by HEMPEL'S MARINE PAINTS A/S.

HEMPPEL

PRODUCT DATA, MARINE



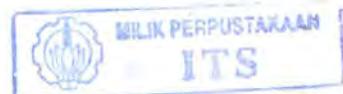
HEMPANYL* HI-BUILD 4622

DESCRIPTION:	HEMPANYL HI-BUILD 4622 is a vinyl-based paint, which can be applied in high film thicknesses (Hi-Build) without sagging. It is designed to reduce the number of coats in long-life HEMPANYL Systems. Physically drying. It dries to a flexible, hardwearing coating, which is resistant to corrosive fumes, sea-water, and splashes/spillages of many chemicals. Not resistant to strong solvents. For service temperature range, see REMARKS overleaf.	
RECOMMENDED USE:	As a high-build intermediate or finishing coat in HEMPANYL Systems on exterior steel-work in severely corrosive environment.	
AVAILABILITY:	Subject to confirmation.	
PHYSICAL CONSTANTS:		NOTES:
Finish:	Flat	
Colours:	white	According to assortment list other shades may be available
Shade Nos.:	1000	
Volume solids:	36%	
Theoretical spreading rate:	3.6 147	m ² /litre - 100 micron sq.ft/US gallon - 4 mils
Flash point:	28/82	°C/F Abel-Pensky, closed cup
Specific gravity:	1.2 10.0	kg/litre lbs/US gallon
Dry to touch:	8 (approx)	hours at 20°C/68°F
Shelf life:	1	year at 20°C/68°F
	For surface preparation, application conditions and coating system see overleaf.	
APPLICATION DETAILS:		
Application method:	Airless spray	Brush (touch-up)
Thinner (max.vol.):	0846 or 0888 (5%)	0846 (5%)
Nozzle orifice:	.023" - .027"	
Nozzle pressure:	200 bar/2900 psi (Airless spray data are indicative and subject to adjustment)	
Cleaning of tools:	THINNER 0846	
Indicated film thickness:	wet: 275 micron/11 mils dry: 100 micron/ 4 mils	
Recoat interval:	min: 10 hours (20°C/68°F) max: none	(See REMARKS overleaf) (See REMARKS overleaf)

Issued by J.C. HEMPEL HOLDING A/S.

FOR INTERNAL USE ONLY

* This is a corporate trade mark of the Hempel Group.



2. HEMPANYL HI-BUILD 4622

APPLICATION CONDITIONS: Apply only on a clean and dry surface with a temperature above the dew point to avoid condensation.
Tolerates low temperature application which, however, will increase the drying time.
At the freezing point and below be aware of the risk of ice on the surface which will hinder the adhesion.
In confined spaces provide adequate ventilation during application and drying.

PRECEDING COAT: HEMPANYL PRIMER 1606 or according to specification.

SUBSEQUENT COAT: None, or HEMPANYL ENAMEL 5616, or according to specification.

REMARKS: May be specified in another film thickness than indicated depending on purpose and area of use.
This will alter spreading rate and may influence drying time.
In case of multi-coat application, drying time and minimum recoat interval will be influenced by the number of coats and by the thickness of each coat applied -reference is made to the corresponding painting specification.
Tolerates temperatures up to 60°C/140°F in continuous service and non-continuously up to 80°C/175°F.
Being a thermoplastic product, prolonged direct contact at temperatures above approx. 40°C/105°F may cause film indentation. When the temperature drops below, the mechanical strength is recovered.
Before overcoating after exposure in contaminated environment, clean the surface thoroughly by (high pressure) fresh water hosing and allow to dry.
At high temperatures HEMPEL'S THINNER 0888 can be used to minimize dry spray by retarding the solvent evaporation.
Do not store at temperatures below 5°C/41°F or above 45°C/113°F.
HEMPANYL HI-BUILD 4622 is for professional use only.

Note:

SAFETY: Packings are provided with applicable safety labels which should be observed. In addition, national or local regulations should be followed.
As a general rule, inhalation of solvent vapours or paint mist, and contact of liquid paint with skin and eyes, should be avoided. Forced ventilation should be provided when applying paint in confined spaces or stagnant air. Even when ventilation is provided, respiratory, skin, and eye protection are always recommended when spraying paint.

ISSUED: August 1989



HEMPATEX®HI-BUILD 46330

Description:	- HEMPATEX HI-BUILD 46330 is based on chlorinated rubber. Physically drying. Resistant to salt water, splashes of mineral oils, aliphatic solvents and a wide range of chemicals, but not to animal and vegetable oils or aromatic solvents.
Recommended use:	Seafomed, or as an intermediate or finishing coat on steel structures in moderately to severely corrosive environment, including permanently submerged surfaces.
Service temperatures:	Maximum, dry: 80°C/176°F (see remarks overleaf).
Availability:	Part of Group Assortment. Local availability subject to confirmation.

PHYSICAL CONSTANTS:

Colours/Shade nos:	Grey/11480 - Red/50630
Finish:	Flat
Volume solids, %:	42 ± 1
Theoretical spreading rate:	5.3 m²/litre - 80 micron 211 sq.ft./US gallon - 3.2 mils
Flash point:	32°C/90°F
Specific gravity:	1.4 kg/litre - 11.7 lbs/US gallon
Dry to touch:	8 (approx.) hours at 20°C/68°F
V.O.C.:	510 g/litre - 4.2 lbs/US gallon

The physical constants stated are nominal data according to the HEMPEL Group's approved formulas. They are subject to normal manufacturing tolerances and where stated, being standard deviation according to ISO 3534-1. Further reference is made to "Explanatory Notes" in the HEMPEL Book.

APPLICATION DETAILS:

Application method:	Airless spray	Air spray	Brush (touch-up)
Thinner (max.vol.):	08080 (5%)	08080 (15%)	08080 (5%)
Nozzle orifice:	.021"- .023"		
Nozzle pressure:	150 bar/2200 psi		
Cleaning of tools:	<i>(Airless spray data are indicative and subject to adjustment)</i>		
Indicated film thickness, dry:	THINNER 08080		
Indicated film thickness, wet:	80 micron/3.2 mils (See REMARKS overleaf)		
Recoat interval, min:	175 micron/7 mils		
Recoat interval, max:	8 hours (20°C/68°F) (See REMARKS overleaf)		
	None (See REMARKS overleaf)		

2. HEMPATEX HI-BUILD 46330

SURFACE PREPARATION:	New steel: Abrasive blasting to Sa 2½. For temporary protection, if required, use suitable shopprimer. All damage of shopprimer and contamination from storage and fabrication should be thoroughly cleaned prior to final painting. For repair and touch-up use HEMPATEX HI-BUILD 46330 Maintenance: Remove oil and grease, etc. with suitable detergent. Remove salt and other contaminants by (high pressure) fresh water cleaning. Remove all rust and loose material by abrasive blasting or power tool cleaning. Dust off residues. Touch up to full film thickness.
APPLICATION CONDITIONS:	As dictated by normal good painting practice. In confined spaces provide adequate ventilation during application and drying.
PRECEDING COAT:	None or according to specification.
SUBSEQUENT COAT:	None, or HEMPATEX system as per specification. Ship bottoms: Antifouling according to specification.
REMARKS:	
Service temperatures:	As HEMPATEX HI-BUILD 46330 is a thermoplastic product, prolonged mechanical exposure at temperatures above approximately 40°C/105°F may cause film indentation. When temperature drops below, mechanical strength is recovered.
Film thicknesses:	May be specified in another film thickness than indicated depending on purpose and area of use. This will alter spreading rate and may influence drying time and recoating interval. Normal range dry is 40-100 micron/1.6-4 mils. A series of maintenance jobs may result in build up of a too high total film thickness which may cause blister formation due to "entrapped" solvents. As each coat may also retain solvents, it is generally recommended not to apply HEMPATEX HI-BUILD 46330 in excessive film thickness.
Recoating:	In case of multi-coat application, drying time and minimum recoating interval will be influenced by the number of coats and by the thickness of each coat applied - reference is made to the corresponding painting specification. No maximum recoating interval, but before recoating after exposure in contaminated environment, clean the surface thoroughly by high pressure fresh water cleaning and allow to dry.
Note:	HEMPATEX HI-BUILD 46330 is for professional use only.
SAFETY:	Handle with care. Before and during use, observe all safety labels on packaging and paint containers, consult HEMPEL Material Safety Data Sheets and follow all local or national safety regulations. This goes for personal protection such as, but not limited to, protection of lungs, eyes and of the skin, medical treatment in case of swallowing the paint or in case of other direct contact with the paint. Take necessary precautions against possible risks of fire or explosions as well as protection of the environment. Apply only in well ventilated areas and ensure that adequate forced ventilation exists when applying paint in confined spaces or when the air is stagnant.

This Product Data Sheet supersedes those previously issued. For definition and scope, see explanatory notes to applicable Product Data Sheets. Data, specifications, directions and recommendations given in this data sheet represent only test results or experience obtained under controlled or specially defined circumstances. Their accuracy, completeness or appropriateness under the actual conditions of any intended use of the Products herein must be determined exclusively by the Buyer and/or User. The Products are supplied and all technical assistance is given subject to HEMPEL's GENERAL CONDITIONS OF SALES, DELIVERY AND SERVICE, unless otherwise expressly agreed in writing. The Manufacturer and Seller disclaim, and Buyer and/or User waive all claims involving, any liability, including but not limited to negligence, except as expressed in said GENERAL CONDITIONS for all results, injury or direct or consequential losses or damages arising from the use of the Products as recommended above, on the overleaf or otherwise.
Product data are subject to change without notice and become void five years from the date of issue.



HEMPEL'S ANTIFOULING COMBIC* 7699B

Description:

HEMPEL'S ANTIFOULING COMBIC 7699 is a high-build, high-solids, self-polishing antifouling. The organotin copolymer reinforced with extra bio-active compounds makes it suitable for long-term protection under severe fouling conditions. Due to its self-renewing effect this product maintains an effective bio-active surface during its entire service life. Gives a certain surface smoothing.

Recommended use:

As an antifouling for bottom and boottop on vessels operating in global trade and with short to medium idle periods.
For "tailor"-made specifications combined with ANTIFOULING NAUTIC to obtain optimum performance results.
Also suitable for upgrading the antifouling system on older vessels without costly surface preparation.

Availability:

Subject to confirmation.

PHYSICAL CONSTANTS:

Colours	Shade nos:	Light red/50300 - Red/51110 (see REMARKS overleaf)
Finish:	Flat	
Volume solids:	55%	
Theoretical spreading rate:	5.5 m ² /litre - 100 micron 221 sq.ft/US gallon - 4.0 mils	
Flash point:	27°C/81°F	
Specific gravity:	1.7 kg/litre - 14.2 lbs/US gallon	
Dry to touch:	3-4 hours at 20°C/68°F	
V.O.C.:	425 g/litre - 3.5 lbs/US gallon	

The physical constants are subject to normal manufacturing tolerances.
Further reference is made to "Explanatory Notes" in the Hempel Book.

APPLICATION DETAILS:

Application method:	Airless spray	Brush/Roller (See REMARKS overleaf)
Thinner (max. vol.):	0808 (5%)	0808 (5%)
Nozzle orifice:	.023"- .027"	
Nozzle pressure:	250 bar/3600 psi	
Cleaning of tools:	(Airless spray data are indicative and subject to adjustment)	
Indicated film thickness, dry:	THINNER 0808	
Indicated film thickness, wet:	100 micron/4 mils (See REMARKS overleaf)	
Overcoating interval, min.:	175 micron/7 mils	
Overcoating interval, max.:	6 hours (20°C/68°F)	
	See REMARKS overleaf	

2. HEMPEL'S ANTIFOULING COMBIC 7699B

SURFACE PREPARATION:	Existing selfpolishing antifouling: Remove possible oil and grease etc. with suitable detergent followed by high pressure fresh water cleaning. Allow the surface to dry before overcoating. Existing non-selfpolishing antifouling: Remove possible oil and grease, etc. with suitable detergent, followed by high pressure fresh water cleaning, also to remove possible weak structure of leached antifouling. Allow the surface to dry before overcoating. Whether or not to use a sealer coat depends on the type and condition of the existing antifouling.
APPLICATION CONDITIONS:	The surface must be completely clean and dry at the time of application and its temperature must be above the dew point to avoid condensation. In confined spaces such as sea chests and stagnant air under large flat bottoms provide adequate ventilation during application and drying.
PRECEDING COAT:	HEMPANYL TAR 1628, HEMPATEX HI-BUILD 4633, or according to specification. Note: Tar bleeding may occur if the preceding coat(s) contain(s) coal tar. The effect is only cosmetic and has no negative influence on the anticorrosive or the antifouling properties of the system.
SUBSEQUENT COAT:	None, or as per specification.
REMARKS:	This product contains heavy particles. Stir well before use. By providing a constantly active surface during its lifetime, this antifouling is gradually sacrificed in the process. The colour of the system changes in accordance with the colours of the coats applied. Light red 50300 changes to whitish in direct contact with seawater. Indicated film thickness will vary according to specification. This will alter spreading rate and may influence drying time. In case of multi-coat application, drying time and minimum overcoating interval will be influenced by the number of coats and by the thickness of each coat applied - reference is made to the corresponding painting specification. Range and control of dry film thickness: 60 micron/2.4 mils to 160 micron/6.4 mils. Keep thinning to a minimum to ensure that correct film thickness is obtained. The proper way of governing the film thickness is to sub-divide the areas to be painted and calculate the amount of paint to be applied on each sub-divided area. The exact amount of paint calculated must be applied evenly on the area. For further information, please consult the corresponding painting specification. Recommended number of coats: As per specification depending on existing hull condition, trading pattern and intended service life. Overcoating: No maximum overcoating interval, but after prolonged exposure to polluted atmosphere, remove accumulated contamination by high pressure fresh water cleaning and allow to dry before applying next coat. If roller/brush application exceptionally is utilized (e.g. to line cut) more coats are necessary to achieve the recommended film thickness.. Undocking: Minimum undocking time depends on number of coats applied, film thickness, and the prevailing temperature. For further information, please consult the corresponding painting specification. Maximum undocking time depends on the exposure conditions, degree of air pollution, etc. The most important factor is to carry out a thorough high pressure fresh water cleaning after prolonged exposure. Outfitting of up to 6 months followed by such cleaning normally presents no problem. Longer outfitting periods to be evaluated from case to case. The recommended maximum undocking interval relates to vertical bottom only. Flat bottom, which has not been exposed to direct sunlight, will for all normal practical building schedules have a no-maximum value. HEMPEL'S ANTIFOULING 7699 is for professional use only.
Note:	
SAFETY:	Handle with care. Before and during use, observe all safety labels on packaging and paint containers, consult HEMPEL Material Safety Data Sheets and follow all local or national safety regulations. Harmful or fatal if swallowed; immediately seek medical assistance if swallowed. Avoid inhalation of possible solvent vapours or paint mist, as well as paint contact with skin and eyes. Apply only in well ventilated areas and ensure that adequate forced ventilation exists when applying paint in confined spaces or when the air is stagnant. Always take precautions against the risks of fire and explosions.

This Product Data Sheet supersedes those previously issued. For definition and scope, see explanatory notes to applicable Product Data Sheets. Data, specifications, directions and recommendations given in this data sheet represent only test results or experience obtained under controlled or specially defined circumstances. Their accuracy, completeness or appropriateness under the actual conditions of any intended use of the Products herein must be determined exclusively by the Buyer and/or User. The Products are supplied and all technical assistance is given subject to HEMPEL's GENERAL CONDITIONS OF SALES, DELIVERY AND SERVICE, unless otherwise expressly agreed in writing. The Manufacturer and Seller disclaim, and Buyer and/or User waive all claims involving, any liability, including but not limited to negligence, except as expressed in said GENERAL CONDITIONS for all results, injury or direct or consequential losses or damages arising from the use of the Products as recommended above, on the overhead or otherwise.

Product data are subject to change without notice and become void five years from the date of issue.
Issued by HEMPEL'S MARINE PAINTS A/S.

*This is a corporate trademark of the Henkel Group.