

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Dalam industri maritim dan transportasi perkapalan global, kapal dituntut untuk beroperasi secara kontinu dengan tingkat keandalan yang tinggi guna menjaga kelancaran rantai pasok logistik. Namun, operasional kapal selalu dihadapkan pada tantangan lingkungan yang sangat destruktif, di mana area lambung bawah air (*underwater hull*) terendam secara konstan di dalam air laut yang merupakan salah satu lingkungan paling korosif di alam (Tian et al., 2022). Kondisi air laut yang sarat akan ion klorida (Cl^-) aktif, tingginya kadar oksigen terlarut (*dissolved oxygen*), variasi temperatur, serta fluktuasi pH bertindak sebagai media elektrolit dengan konduktivitas tinggi yang secara konstan memicu reaksi elektrokimia berupa korosi. Pada kondisi terendam penuh (*immersion zone*), material baja karbon yang menjadi struktur utama lambung kapal dapat mengalami laju korosi berkisar antara 0.1mm hingga 0.2mm per tahun, di mana laju ini akan terakselerasi secara drastis apabila permukaan baja menerima beban dinamis berupa tegangan geser hidrodinamika (*fluid shear stress*) saat kapal berlayar membelah arus laut. Bahaya korosi yang tidak dikendalikan pada lambung kapal sangat fatal, karena memicu terjadinya degradasi material berupa penipisan ketebalan pelat secara masif, memicu korosi sumuran (*pitting corrosion*) lokal yang dapat menembus pelat yang menyebabkan kebocoran kompartemen kapal (Xu et al., 2021).

Dalam upaya memitigasi risiko kerusakan struktural akibat paparan lingkungan laut yang agresif tersebut dapat ditempuh melalui beberapa metodologi yang seperti yaitu pengendalian lingkungan (*environmental modification*), pemilihan material tahan korosi (*corrosion-resistant materials*), proteksi katoda (*cathodic protection*), dan lapisan pelindung (*protective coating*) (Roberge, 2008). Penerapan kontrol lingkungan adalah dengan meminimalkan konsentrasi oksigen terlarut atau memanipulasi zat kimia di sekitar logam, namun metode ini sangat

sulit dan tidak praktis untuk diterapkan pada lambung luar kapal yang selalu bergerak di laut lepas. Sementara itu, penggunaan material tahan korosi seperti baja paduan tinggi umumnya dihindari untuk konstruksi utama lambung karena kendala biaya material yang sangat tinggi serta kompleksitas yang besar dalam proses fabrikasi dan pengelasan berskala besar di galangan. Metode ketiga, yaitu proteksi katoda (*cathodic protection*) baik menggunakan anoda korban (*sacrificial anode*) maupun arus tanding (*Impressed Current Cathodic Protection - ICCP*), bekerja secara aktif dengan cara menyuplai elektron eksternal untuk memaksa seluruh permukaan baja lambung bertindak sebagai katode dalam sel elektrokimia. Meskipun sangat efektif, proteksi katoda memiliki keterbatasan radius jangkauan arus dan konsumsi daya atau massa anoda yang sangat bergantung pada luas area yang dilindungi, sehingga dalam praktiknya, metode ini tidak dapat berdiri sendiri melainkan wajib dikombinasikan dengan metode keempat, yaitu mengaplikasikan lapisan pelindung (*protective coating*).

Di dalam industri maritim global, *protective coating* merupakan metode yang paling luas digunakan untuk mengendalikan dan mencegah korosi, sekitar 90% dari keseluruhan pengendalian korosi (*corrosion control*) dilakukan dalam metode *coating* (NACE, 2011). Pengendalian korosi melalui *coating* ini di pilih karena memberikan rasio biaya-terhadap performa terbaik dibandingkan metode perlindungan lainnya karena mampu memproteksi area permukaan yang sangat luas dengan biaya yang relatif efisien. Lapisan cat ini bekerja sebagai penghalang fisik untuk memutus kontak langsung dan memblokir transfer muatan antara ion-ion korosif air laut dengan permukaan baja (Grundmeier et al., 2000).

Sistem pengecatan sangat bergantung pada Kualitas kebersihan plat baja sebelum di cat. National Association of Corrosion Engineer (NACE) (2011) menyatakan bahwa 80% kegagalan cat (*coating failure*) disebabkan oleh kualitas kebersihan permukaan yang kurang baik. Oleh karena itu, sebelum pengecatan dimulai, rangkaian inspeksi awal wajib dilakukan secara ketat. Proses ini dimulai dari *Pre-inspection* dimana memperbaiki cacat-cacat karena proses fabrikasi seperti percikan las (*welding spatter*), takikan pengelasan (*undercut*), serta bagian-bagian tepi pelat yang tajam (*sharp edges*). Hal ini dilakukan karena akan mengganggu penetrasi cat ketika proses pengecatan. Selanjutnya dilakukan tahap *Pre-cleaning*

untuk membersihkan kontaminan seperti garam, minyak dan grease. Jika tahapan ini sudah selesai maka dilanjutkan pada surface cleaning berupa melalui metode penyemprotan bahan abrasive bertekanan tinggi (*abrasive blasting*) menggunakan media seperti *copper slag*, *garnet*, atau pasir silika. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan kontaminasi seperti karat dan mill scale dan juga berfungsi untuk menciptakan kekasaran permukaan agar adanya mechanical interlocking antara cat dengan permukaan. Setelah proses *blasting* selesai, sisa-sisa debu pasir yang masih mengendap dibersihkan menggunakan semprotan udara bertekanan tinggi (*blowing*). Dilanjutkan dengan pengujian kebersihan permukaan yang meliputi uji kadar garam (*salt test*) berdasarkan standar ISO 8502-6 dan ISO 8502-9, dan uji tingkat debu (*dust level test*) ISO 8502-3. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan apakah kondisi kebersihan di lapangan sudah sesuai dengan kriteria spesifikasi proyek dan *Product Data Sheet* (PDS) dari pabrikan cat. Kelalaian dalam pengawasan kebersihan pada fase ini akan menyebabkan kontaminan terperangkap di bawah lapisan cat. Akumulasi kontaminan tersebut nantinya menjadi pemicu utama timbulnya berbagai jenis kegagalan cat.

Kerusakan atau cacat pada coating bisa berbentuk visual yang bervariasi di lapangan. Beberapa jenis kegagalan yang paling sering dijumpai dalam industri maritim antara lain adalah pengelembungan (*blistering*), retak (*cracking/mud-cracking*), lubang jarum (*pinholing*) hingga hilangnya gaya rekat pada lapisan cat (*adhesion failure/delamination*). Setelah gejala cacat visual ini muncul di permukaan, film cat akan mengalami penurunan fungsi barier pelindung secara drastis. Dampak lanjutan dari munculnya cacat ini adalah terbukanya celah bagi air laut, oksigen, dan ion klorida yang agresif untuk berpenetrasi menembus lapisan cat hingga mencapai substrat baja (Fontana, 2005). Ketika barier pelindung telah ditembus, degradasi material akan berjalan cepat melalui pembentukan sel korosi lokal di bawah film cat (*under film corrosion*), yang lambat laun memicu pengelupasan skala besar dan reduksi ketebalan pelat baja lambung kapal (Weldon, 2009).

Berdasarkan besarnya dampak risiko kerusakan terhadap integritas struktur lambung kapal, maka pelaksanaan analisis mengenai kegagalan sistem pengecatan ini sangat penting untuk dilakukan. Melalui laporan teknik ini, jenis *coating failure*

pada kapal XY terjadi dapat diidentifikasi secara tepat, serta dapat diketahui faktor-faktor utama yang menyebabkan kegagalan tersebut terjadi di lapangan. Selain itu, hasil dari evaluasi ini juga diperlukan sebagai landasan dalam merumuskan tindakan pencegahan (*preventive action*) yang efektif di masa yang akan datang. Dengan diketahuinya penyebab utama dari kegagalan tersebut, langkah korektif yang tepat dapat diterapkan untuk memitigasi risiko berulangnya cacat serupa, sehingga batas umur pakai (*lifetime*) sistem proteksi dan efisiensi biaya perawatan pada proses pengecatan kapal selanjutnya dapat tercapai secara optimal.

1.2 Rumusan masalah

1. Apa jenis cacat atau kegagalan pengecatan (*coating defect*) yang terjadi pada area lambung bawah air (*underwater hull*) kapal XY objek studi?
2. Faktor-faktor apa saja yang menyebabkan terjadinya kegagalan sistem pengecatan tersebut di lapangan?
3. Bagaimana tindakan pencegahan (*preventive action*) yang efektif agar kegagalan pengecatan tersebut tidak terulang kembali pada proyek selanjutnya?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari pelaksanaan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi jenis cacat pengecatan yang terjadi pada area lambung bawah air kapal XY. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis penyebab terjadinya kegagalan pengecatan tersebut berdasarkan data pengujian parameter di lapangan. Melalui hasil analisis data tersebut, tujuan akhir dari penelitian ini adalah untuk merumuskan rekomendasi tindakan pencegahan (*preventive action*) yang efektif guna memitigasi risiko munculnya kembali kegagalan serupa di masa yang akan datang.

1.4 Batasan Masalah

1. Objek studi yang diteliti difokuskan pada area lambung bawah air (*underwater hull*) kapal XY.
2. Analisis parameter lapangan dibatasi pada evaluasi nilai ketebalan film kering atau *Dry Film Thickness* (DFT) sesuai Spesifikasi cat, serta temuan visible contaminant yang berada di cat yang sudah mengelupas.

3. Analisis ini tidak membahas mengenai kegagalan yang disebabkan oleh kualitas formulasi kimia cat dari pabrikan, melainkan fokus pada aspek aplikasi dan persiapan permukaan (*surface preparation*).

1.5 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan Teori tentang korosi, Jenis-jenis korosi, pencegahan korosi, definisi coating, proses coating, dan jenis-jenis kerusakan coating.

BAB III METODOLOGI PELAKSANAAN

Bagian ini menjelaskan cara diagram alir pengambilan data, objek dan lokasi penelitian, alat dan bahan, dan metoda pengumpulan dan analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menganalisis jenis coating failure, analisa terhadap ketebalan cat, analisa terhadap kontaminasi pada cat, dan rekomendasi tindakan pencegahan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab penutup memberikan kesimpulan dari keseluruhan analisa dan saran