

BAB II

DASAR TEORI

Peristiwa korosi merupakan hal yang tidak luput dari logam, karena korosi merupakan kerusakan yang dihasilkan dari reaksi yang terjadi antara logam dan lingkungannya. Korosi tidak hanya merugikan manusia secara ekonomi, tetapi juga dapat mengancam keselamatan manusia [4]. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode untuk mengendalikan terjadinya korosi pada logam. Dan penggunaan pelapisan organik (*organic coating*) merupakan salah satu metode pengendalian korosi pada logam.

Paint merupakan salah satu metode tertua yang digunakan untuk memperlambat proses korosi. Metode ini banyak digunakan karena selain dapat melindungi logam dari lingkungannya, juga dapat meningkatkan penampilan dari logam yang dilindungi dengan adanya warna dari penghalang organik [1]. Dari segi penggunaannya, *paint* bernilai ekonomis dan fleksibel karena terdapat dalam berbagai jenis dan pengaplikasiannya dapat menggunakan berbagai macam cara seperti *brushing*, *rolling*, dan *spray painting*.

Baja karbon merupakan logam memiliki ketahanan yang rendah terhadap korosi sehingga seringkali membutuhkan lapisan pelindung. Di dalam pengaplikasiannya seperti struktur jembatan, pipa, dan lain-lain, baja karbon dapat diproteksi dengan penghalang organik atau *paint*. Sebelum pengaplikasian *organic coating* pada baja karbon, maka kondisi lingkungan di mana komponen baja karbon akan ditempatkan harus diperhatikan karena akan menentukan jenis penghalang organik yang akan digunakan serta metode pengaplikasian dari *organic coating*. Contohnya jenis *glass flake epoxy coating* yang dapat digunakan di lingkungan agresif seperti lingkungan air laut [4].

Di dalam penggunaan metode pelapisan organik, preparasi permukaan merupakan proses penting yang tidak boleh dilupakan dan harus dipertimbangkan sebelum pelaksanaan pelapisan. Karena kinerja optimum dari lapisan penghalang

akan didapat bila permukaan baja karbon telah dipreparasi dengan baik [4]. Pemilihan metode preparasi permukaan bergantung pada logam yang akan dilapisi, bentuk dan ukuran komponen logam, sistem pelapisan, dan kondisi lingkungan di mana komponen logam ditempatkan [5].

2.1 PELAPISAN ORGANIK (*ORGANIC COATING*)

2.1.1 Pengertian Pelapisan Organik

Organic coating merupakan penghalang organik tipis antara material dan lingkungannya. *Organic coating* biasanya diaplikasikan dalam bentuk cairan dengan menggunakan kuas (*brushing*), rol (*rolling*), dan penyemprotan (*spraying*) [6]. *Paint*, yang terdiri dari *binder*, *pigment*, *additive*, dan *solvent*, merupakan zat lapis organik yang sering digunakan untuk proteksi korosi. Tingkat proteksi dari pelapisan organik tergantung pada sistem keseluruhan dari pelapisan yang terdiri dari jenis lapisan, substrat logam, dan preparasi permukaan [7].

2.1.2 Komponen Pada Lapisan Organik

Komponen pada lapisan organik terdiri dari *binder*, *pigment*, *additive*, dan *solvent*. Sistem pelapisan organik diklasifikasikan berdasarkan jenis *binder* atau *resin*. Meskipun *binder* atau *resin* yang biasanya merupakan polimer organik merupakan elemen yang memberikan efek yang lebih berpengaruh terhadap ketahanan dan sifat dari lapisan organik, namun jenis dan jumlah dari *pigment*, *solvent*, dan *additive* dapat mempengaruhi sifat dan kemampuan proteksi dari lapisan organik [7].

2.1.2.1 Binder

Binder atau resin merupakan unsur pembentuk film pada pelapisan organik, di mana *binder* akan membentuk matriks berupa fasa polimerik yang kontinu pada lapisan organik. Berat jenis dan komposisi dari resin sangat menentukan permeabilitas, ketahanan kimia, dan ketahanan sinar ultraviolet dari lapisan organik.

Proses terbentuknya lapisan film yang kontinu terjadi melalui proses *curing* (*drying*), baik itu secara fisika, kimia, ataupun keduanya. Proses *curing* secara fisika didapatkan dengan proses *sintering* (pemanasan). Contoh dari *curing*

secara fisika ialah serbuk zat lapis organik (*powder coating*) yang berjenis *thermoplastic* dipanaskan di dalam oven, sehingga serbuk *binder* dapat terdeposit pada permukaan logam. Pada proses *curing* secara kimia, pembentukan lapisan film terjadi melalui reaksi kimia yang dapat berupa *reactive curing* maupun *oxidative curing*. Pada *reactive curing* terjadi reaksi *crosslinking*. Sedangkan pada *oxidative curing*, oksigen dari atmosfer bereaksi dengan monomer-monomer *binder* sehingga menyebabkan reaksi polimerisasi [7].

Jenis *binder* yang digunakan berbagai macam, seperti *epoxy*, *acrylic*, *polyurethane*, *polyester*, *alkyd*, dll. Masing-masing *binder* tersebut memiliki sifat yang berbeda satu sama lain [7]. Oleh karena itu di dalam menentukan jenis lapisan organik yang akan digunakan harus diperhatikan lingkungan operasi dan juga sifat-sifat yang dimiliki oleh masing-masing *binder*.

2.1.2.2 Pigment

Pigment yang ada pada lapisan organik bertujuan untuk memberikan warna pada sistem pelapisan sehingga meningkatkan sifat dekoratif. Selain itu unsur pigmen juga dapat meningkatkan sifat proteksi korosi dari lapisan organik. Di dalam memproteksi substrat logam dari korosi, pigmen dapat bekerja sebagai zat inhibitor seperti *phosphate*, zat yang dikorbankan (*sacrificial*) seperti seng, serta zat penghalang (*barrier*) seperti kaca (*glass*) [6].

Sebagai inhibitor, pigmen merupakan zat yang dapat larut di dalam air yang berpenetrasi pada lapisan organik. Sehingga saat menyentuh permukaan logam, zat tersebut mendorong terbentuknya lapisan pelindung yang akan melindungi permukaan logam dari korosi. Sebagai zat penghalang (*barrier*), pigmen memiliki ketahanan terhadap zat kimia. Dan bentuk geometri dari pigmen yang dapat berupa *flake* atau *plate* merupakan hal yang harus diperhatikan [6]. Contohnya sejumlah besar pigmen berbentuk *flake* yang ada di permukaan logam akan menghalangi penyerapan dari media korosif pada lapisan organik. Jadi, jenis pigmen yang terkandung di dalam lapisan organik harus cocok dengan resin dan juga harus tahan terhadap lingkungan di mana lapisan organik berada [7].

2.1.2.3 Solvent

Tujuan dari komponen *solvent* (pelarut) ialah untuk mengurangi viskositas (kekentalan) dari resin dan komponen lainnya sehingga menghasilkan pencampuran yang homogen. Dengan berkurangnya viskositas maka zat lapis organik akan mudah diaplikasikan pada substrat sehingga menghasilkan lapisan film yang tipis, halus, dan kontinu/merata.

Pelarut organik dibutuhkan saat pengaplikasian zat lapis organik pada substrat. Tetapi setelah pengaplikasian tersebut, pelarut didesain untuk menguap dari lapisan film organik yang masih basah. Jika ada pelarut yang tidak menguap, maka akan menyebabkan kegagalan pada lapisan organik, seperti *blistering* dan *pinhole*. Pada beberapa aplikasi, sistem pelapisan organik dapat diaplikasikan tanpa penggunaan pelarut. Pelapisan organik jenis ini disebut sebagai “*solvent-free*”, seperti pada sistem pelapisan *two-component epoxy* dan *powder coating* yang memiliki viskositas yang rendah [7].

2.1.2.4 Additive

Untuk tujuan proteksi korosi, komponen paling utama pada lapisan organik ialah *binder* dan pigmen. Komponen *additive* diperlukan saat proses manufaktur, pengaplikasian, dan *cure* dari lapisan organik. Fungsi dari *additive* tersebut ialah sebagai pengontrol aliran dan dispersi, reagen yang reaktif, dan zat kimia yang tahan terhadap lingkungan tertentu.

Sebagai pengontrol aliran dan dispersi, *additive* membuat lapisan organik dapat mengontrol sifatnya saat dalam keadaan basah, baik saat pencampuran, pengaplikasian maupun proses *curing*. Jadi, zat lapis organik dapat membasahi substrat logam dengan merata sehingga membentuk film yang kontinu sepanjang permukaan logam. Sebagai reagen yang reaktif, *additive* membantu dalam hal pembentukan film, membentuk ikatan pada substrat, proses *crosslinking*, dan *curing*. Dan sebagai zat kimia yang tahan terhadap lingkungan tertentu, zat *additive* dapat memberikan perlindungan terhadap suatu lingkungan tertentu seperti sinar UV dan lingkungan laut [6].

2.1.3 Mekanisme Pembentukan Lapisan Film

Agar *coating* bekerja secara efektif dalam memproteksi substrat dari lingkungannya, maka *coating* harus mengalami *curing* dengan baik. Kebanyakan dari resin organik merupakan zat cair yang akan mengering atau *cure* menjadi film padat. Resin tersebut dapat diklasifikasikan sebagai *thermoplastic* dan *thermoset*. Resin *thermoplastic* akan mengering dengan menguapnya *solvent*, dan akan menjadi *soft* saat dipanaskan serta akan mengeras saat didinginkan. Sedangkan resin *thermoset* yang telah mengalami *curing* tidak akan menjadi *soft* saat dipanaskan [7].

Mekanisme pembentukan lapisan film dapat dikategorikan sebagai berikut [7].

1. *Air drying*

Air drying merupakan mekanisme *curing* yang terjadi pada temperatur ruang. Mekanisme ini terdiri dari:

- *Solvent Evaporation*

Dengan menguapnya *solvent*, maka *thermoplastic* resin dapat membentuk film padat.

- *Conversion*

Sejalan dengan menguapnya *solvent*, lapisan film dapat terbentuk dengan mekanisme *curing* melalui proses oksidasi, katalisis, atau *cross-linking*. Untuk *thermoset coating*, lapisan film akan terbentuk dengan proses *cross-linking* pada temperatur ruang. *Epoxy resin* akan mengalami *cross-linking* dengan *polyamine* sehingga membentuk lapisan film.

2. *Baking*

Pada *baking*, poses *curing* berjalan pada temperatur 150 – 200 °C.

2.1.4 Metode Pengaplikasian Zat Lapis Organik

Terdapat beberapa metode pengaplikasian zat lapis organik pada substrat logam, yaitu seperti *brushing*, *roller*, *spray coating*, *powder coating*, serta *electrodepositing*. Pemilihan metode yang akan digunakan dalam pengaplikasian zat lapis tersebut dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu tujuan pelapisan, lingkungan di mana zat lapis organik akan ditempatkan, jenis zat lapis organik,

bentuk dan ukuran dari komponen yang akan dilapisi, waktu pengaplikasian, serta biaya.

Dari beberapa metode pengaplikasian yang ada, *brushing* merupakan metode yang efektif dan sederhana. Biasanya metode *brushing* digunakan untuk pengaplikasian lapisan primer karena kuas dapat menjangkau pori serta ketidakseragaman dari permukaan substrat. Karena pengerjaan dengan menggunakan kuas berjalan lambat, maka metode *brushing* diutamakan untuk pelapisan permukaan substrat pada sisi yang rumit seperti sudut, pelapisan pada area yang kecil, serta untuk tujuan perbaikan.

Keunggulan dari metode *brushing* diantaranya ialah pengaplikasiannya yang mudah dan tidak mahal, dapat menjangkau bentuk yang rumit, serta dapat menghasilkan lapisan tebal dengan sekali pelapisan. Kelemahan metode *brushing* ialah sulit untuk menghasilkan lapisan yang seragam [6].

2.1.5 Mekanisme Proteksi Lapisan Organik

Mekanisme proteksi korosi yang diberikan oleh lapisan organik pada substrat logam dapat melalui dua hal, yaitu melalui aksi penghalangan (*barrier*) dan juga melalui aksi inhibisi. Dengan aksi penghalangan, lapisan organik dapat melindungi logam karena adanya partikel inorganik yang *inert* yang tersusun dengan rapi di dalam lapisan, seperti *aluminium flake* dan *glass flake*. Dan aksi inhibisi juga didapat dari pigmen yang ada di dalam lapisan organik.

Secara umum, lapisan organik memberikan perlindungan dengan membentuk suatu penghalang fisik antara substrat logam dan lingkungan korosif. Namun pada kenyataannya sifat penghalang tersebut terbatas karena lapisan organik dapat ditembus oleh air dan juga oksigen. Tetapi hal tersebut bukan menjadi suatu masalah dalam melindungi substrat dari lingkungan apabila lapisan organik melekat dengan baik pada substrat. Jadi, adesi merupakan kriteria utama untuk memproteksi substrat logam dari lingkungan melalui lapisan organik. Selama tidak terjadi kondensasi air pada lapisan antara substrat dan lapisan organik, maka penyerapan air pada lapisan organik tidak akan merusak sistem proteksi [8].

2.2 PREPARASI PERMUKAAN

Sifat kunci dari suatu lapisan organik ialah kemampuan untuk melekat pada permukaan logam (substrat). Oleh karena itu substrat yang akan dilapisi harus bebas dari kotoran seperti minyak dan produk korosi. Dan untuk mendapatkannya maka diperlukan suatu proses yang disebut preparasi permukaan.

Preparasi permukaan merupakan proses yang meliputi pengkasaran permukaan untuk mendapatkan *mechanical bonding* dan juga untuk menghilangkan karat, minyak, lemak, dan pengotor lainnya. Dengan permukaan substrat yang bersih dan kasar maka zat lapis organik diharapkan dapat melekat dengan baik. Proses ini dapat dilakukan secara mekanik seperti *grit-blast* dan *sandblast*, ataupun secara kimia seperti *pickling* dan *degreasing*. Pemilihan metode preparasi permukaan itu sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti logam yang akan dilapisi, bentuk dan ukuran komponen, sistem pelapisan, serta kondisi operasi. [5].

2.2.1 Standar Preparasi Permukaan

Hal penting di dalam pengaplikasian lapisan organik ialah preparasi permukaan untuk mendapatkan daya lekat (adesi) yang baik serta ketebalan yang diinginkan. Karena preparasi permukaan memegang peranan penting, maka terdapat suatu standar yang mengatur metode preparasi permukaan. Metode standar yang biasa digunakan ialah standar yang dikeluarkan oleh *Steel Structures Painting Council* (SSPC). Tabel 2.1 berikut ini merangkum metode standar preparasi permukaan yang dikeluarkan oleh SSPC.

Tabel 2.1 Ringkasan Standar Preparasi Permukaan SSPC [7]

<i>Specification</i>	<i>Description</i>
<i>SP 1: Solvent Cleaning</i>	<i>Removal of oil, grease, dirt, sossil, salts, and contaminants by cleaning with solvent, vapour, alkali, emulsion, or steam</i>
<i>SP 2: Hand-tool Cleaning</i>	<i>Removal of loose rust, mill scale, and paint to degree specified by hand chipping, scraping, sanding, and wire brushing</i>

<i>SP 3: Power-tool Cleaning</i>	<i>Removal of loose rust, mill scale, and paint to degree specified by power tool chipping, descaling, sanding, wire brushing, and grinding</i>
<i>SP 5: White-metal Blast Cleaning</i>	<i>Removal of all visible rust, mill scale, paint, and foreign matter by blast cleaning by wheel or nozzle (dry or wet), using sand, grit, or shot</i>
<i>SP 6: Commercial Blast Cleaning</i>	<i>Blast cleaning until two thirds of the surface area is free of all visible residues</i>
<i>SP 7: Brush-off Blast Cleaning</i>	<i>Blast cleaning of all except tightly adhering residues of mill scale, rust, and coatings, exposing numerous evenly distributed flecks of underlying metal</i>
<i>SP 8: Pickling</i>	<i>Complete removal of rust and mill scale by acid pickling, duplex pickling, or electrolytic pickling</i>
<i>SP 10: Near-white Blast Cleaning</i>	<i>Blast cleaning nearly to white-metal cleanliness, until at least 95% of the surface area is free of all visible residues</i>

2.1.2 Preparasi Permukaan dan Keberhasilan Pelapisan Organik

Preparasi permukaan merupakan faktor penting untuk mendapatkan adesi/daya lekat yang baik dari *coating* pada permukaan substrat. Selain itu, preparasi permukaan juga dapat mempengaruhi *wetting* (pembasahan).

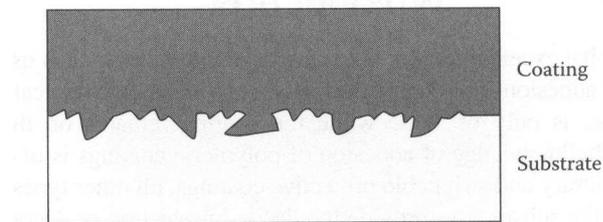
2.1.2.1 Adesi

Adesi merupakan suatu fenomena yang terjadi pada *interface* (lapisan antarmuka) yang berhubungan dengan efek fisik dan reaksi kimia. Dalam hal ini, adesi merupakan interaksi antara *coating* dengan substrat logam. Ada tiga teori berkaitan dengan adesi, yaitu *mechanical bonding* (ikatan mekanik), *electrostatic attraction*, dan *chemical bonding* (ikatan kimia) [7]. Penjelasan dari teori tersebut ialah sebagai berikut.

1. *Mechanical Bonding*

Saat permukaan substrat logam yang mengandung pori, lubang, atau celah diaplikasikan *coating*, maka *coating* akan berpenetrasi ke dalam celah tersebut.

Sehingga saat *coating* mengering, maka akan terbentuk *mechanical bonding* antara *coating* dengan substrat, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.1. Permukaan substrat yang kasar dapat meningkatkan adesi dari *coating* pada substrat.



Gambar 2.1. Skema *Mechanical Bonding* antara *Coating* dengan Substrat [7]

2. *Electrostatic Attraction*

Gaya elektrostatik dapat terjadi pada *interface* antara *coating* dengan substrat. Adanya perbedaan *electrical charge* antara *coating* dengan substrat membentuk adesi *coating* pada substrat.

3. *Chemical Bonding*

Ikatan kimia yang terjadi pada *interface* seringkali terdapat pada *thermoset coating*. Ikatan tersebut merupakan ikatan yang sangat kuat dan tahan lama. Untuk terjadinya ikatan kimia maka diperlukan suatu *reactive chemical group*, seperti silane, yang dapat menciptakan ikatan yang kuat antara *coating* dengan substrat.

2.1.2.2 *Wetting*

Untuk mendapatkan ikatan yang baik dengan substrat, maka lapisan organik memerlukan kontak fisik dengan substrat. Proses di mana suatu cairan menyebar pada permukaan substrat sehingga menimbulkan kontak fisik dinamakan dengan *wetting* (pembasahan). Mekanisme *wetting* dipengaruhi oleh tegangan permukaan (*surface tension*). *Surface tension* ialah energi yang dibutuhkan per unit area permukaan, dengan satuan J/m^2 .

Agar cairan organik membasahi permukaan substrat, maka tegangan permukaan dari cairan tersebut harus lebih kecil dari tegangan permukaan substrat. Namun kebersihan dari substrat merupakan faktor penting yang dapat memberikan kesuksesan proses pembasahan. Karena kontaminan pada substrat seperti oli dan minyak memiliki tegangan permukaan yang rendah. Sehingga saat

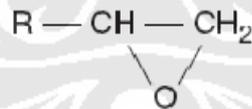
coating diaplikasikan pada permukaan yang kurang bersih akan mengganggu proses pembasahan sehingga adesi *coating* pada substrat juga akan terganggu [9].

2.3 GLASS FLAKE EPOXY COATING

Pelapisan *glass flake epoxy* digunakan untuk memproteksi baja di lingkungan yang sangat agresif. Saat pertama kali dikenalkan, pelapisan ini digunakan untuk aplikasi di lepas pantai (*offshore*). Pigmen *glass flake* yang ada di dalam *coating* memiliki ukuran yang sangat tipis sehingga dapat membuat lapisan padat di mana partikel-partikel gelas saling tumpang-tindih satu sama lain. Lapisan tersebut menghasilkan suatu penghalang (*barrier*) yang sangat efektif bagi penetrasi uap air, oksigen, dan zat kimia. Pigmen gelas juga dapat meningkatkan ketahanan impak dan abrasi. [6]

2.3.1 Epoxy Coating

Karena sifatnya yang sangat kuat, tahan terhadap zat kimia, dan memiliki adesi yang baik pada substrat, maka *epoxy coating* merupakan jenis pelapisan antikorosi yang paling penting. *Epoxy*, *epoxy resin*, atau *epoxide* merupakan kelompok senyawa yang memiliki ciri dengan adanya cincin *oxirane* atau *epoxy*, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.2. [10].



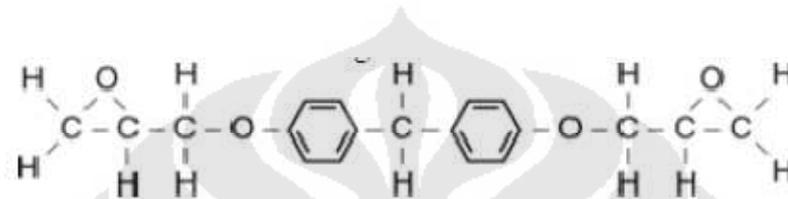
Gambar 2.2. Struktur Cincin *Epoxy* atau *Oxirane* [10]

Epoxy merupakan jenis *thermoset coating* yang mengalami proses *crosslinking*. *Coating* jenis ini biasanya terdiri dari dua komponen, yang sering disebut dengan *two-component epoxy system*. Komponen pertama, yang bisa disebut dengan *base*, terdiri dari *epoxy resin*, pigmen, dan *solvent*. Dan komponen kedua merupakan *curing agent*. Untuk mengaplikasikan *coating* ini, maka kedua komponen tersebut dicampur sehingga akan terjadi proses *curing* [11]. Jadi, saat proses *curing* berlangsung akan terjadi *crosslinking* antara *base* dan *curing agent*

sehingga menciptakan struktur *thermoset* yang padat dan memiliki kekuatan kohesi serta kekuatan adesi yang tinggi [10].

2.3.1.1 Epoxy resin

Epoxy resin merupakan senyawa yang mengandung cincin *epoxy*. Dan Bisphenol-F resin merupakan salah satu jenis *epoxy resin* yang terbentuk dari hasil reaksi antara *phenol* dengan *formaldehyde*. Resin ini memiliki ketahanan kimia dan panas yang baik serta berat molekul yang rendah [11]. Struktur dari Bisphenol-F resin dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Struktur Resin Bisphenol-F [11]

2.3.1.2 Amine Adduct

Amine adduct merupakan *curing agent* yang mengandung gugus *amine* (NH_2). *Curing agent* ini sudah ditambahkan sedikit *epoxy resin* untuk mencegah cacat yang dapat terjadi saat pengaplikasian *epoxy coating* pada substrat logam. Dengan penambahan tersebut, maka berat molekul dari *amine* dapat meningkat sehingga cacat pada lapisan film nantinya dapat dihindari [11].

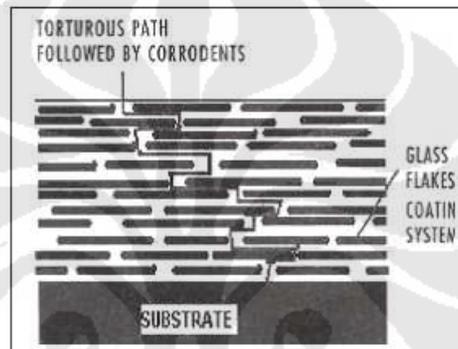
Saat *amine adduct* bereaksi dengan *epoxy resin*, maka terbentuk film *amine-cured epoxy* yang memiliki *cross-linking* yang relatif tinggi. Produk reaksi antara *epoxy resin* dan *polyamine* ini memiliki ketahanan terhadap zat kimia dan pelarut yang paling besar dibandingkan dengan jenis *epoxy* lainnya. Ketahanannya terhadap alkali, air, serta larutan garam juga sangat baik. Untuk mendapatkan sifat maksimum dari *polyamine epoxy*, maka dibutuhkan waktu curing selama 7 hari [7].

2.3.2 Pigmen Glass Flake

Glass merupakan zat yang dapat digunakan sebagai pigmen penghambat (*barrier pigment*) di dalam lapisan organik. *Glass flake* dapat memberikan sifat

penghambat yang paling baik di dalam sistem pelapisan dengan pigmen penghambat. *Glass* digunakan sebagai pigmen saat sistem pelapisan membutuhkan ketahanan terhadap temperatur tinggi maupun ketahanan terhadap abrasi, erosi, dan beban impak. Ketebalan lapisan organik yang berisi *glass flake* biasanya sebesar 1-3 mm; di mana tebal dari *flakenya* sebesar 3-5 μm , jadi tiap millimeter lapisan dapat mengandung ± 100 *flake layer* [6].

Mekanisme penghalangan dari pigmen *glass flake* di dalam *coating* dapat dilihat pada Gambar 2.4. Pigmen tersebut akan menyulitkan uap air, oksigen, serta zat-zat kimia yang ada di lingkungan untuk mencapai substrat logam.



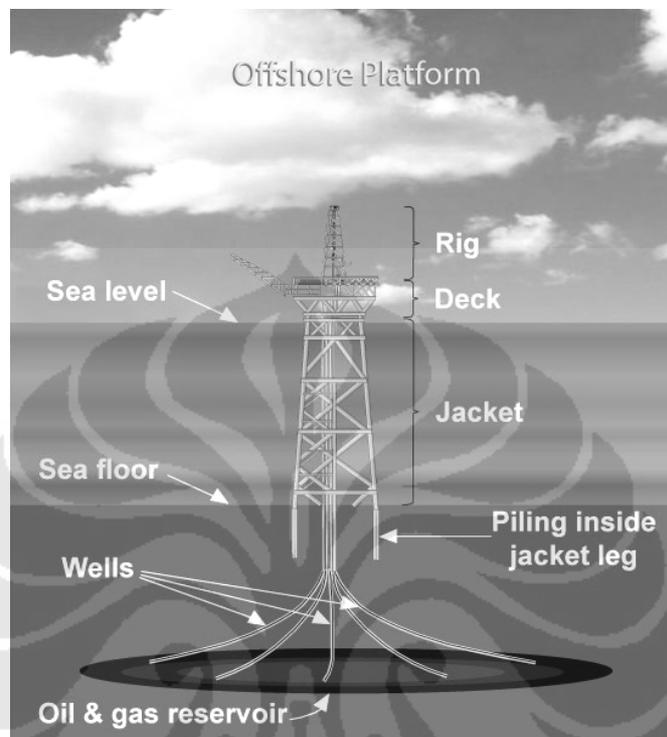
Gambar 2.4. Mekanisme Penghalangan dari Pigmen *Glass Flake* di dalam *Coating* [3]

2.3.3 Aplikasi *Glass Flake Epoxy Coating*

Glass flake sebagai bahan mentah (*raw material*) sudah ada sejak tahun 1950. Saat itu *glass flake* digunakan untuk penguat pada atap karena dapat menahan sinar matahari dan juga untuk meningkatkan kestabilan dimensi dari atap. Dan pada awal tahun 1960-an, *glass flake* digunakan pada industri *coating*. Penggunaan pigmen *glass flake* pada *ester coating* dapat mengurangi penetrasi dari uap air. Selain itu, juga memiliki kestabilan terhadap zat kimia dan memberikan sifat mekanik yang baik dan juga tidak berbahaya. Di awal tahun 1980-an, penggunaan pigmen *glass flake* pada *epoxy coating* sangat tinggi karena memberikan performa dan kinerja yang lebih baik. [12]

Seperti sudah dijelaskan sebelumnya, *glass flake epoxy coating* digunakan untuk aplikasi lepas pantai (*offshore*), seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.5. Sistem proteksinya yang baik memungkinkan pelapisan ini digunakan pada

bagian atas *offshore structures*, pada jembatan, dan industri petrokimia [12, 13]. Biasanya untuk lingkungan basah dan korosif seperti itu diperlukan pelapisan dengan ketebalan 500 μm [13].



Gambar 2.5. *Offshore Platform yang Menggunakan Glass Flake Epoxy Coating* [14]

Adanya pigmen *glass flake* di dalam *epoxy coating* memberikan proteksi jangka panjang di dalam pengaplikasian lingkungan yang sangat korosif seperti area *splash-zone*. Lapisan *glass flake epoxy coating* merupakan material yang keras dan tangguh dengan ketahanan kimia, *solvent*, dan abrasi yang baik. [15]

2.4. KEGAGALAN PADA LAPISAN ORGANIK

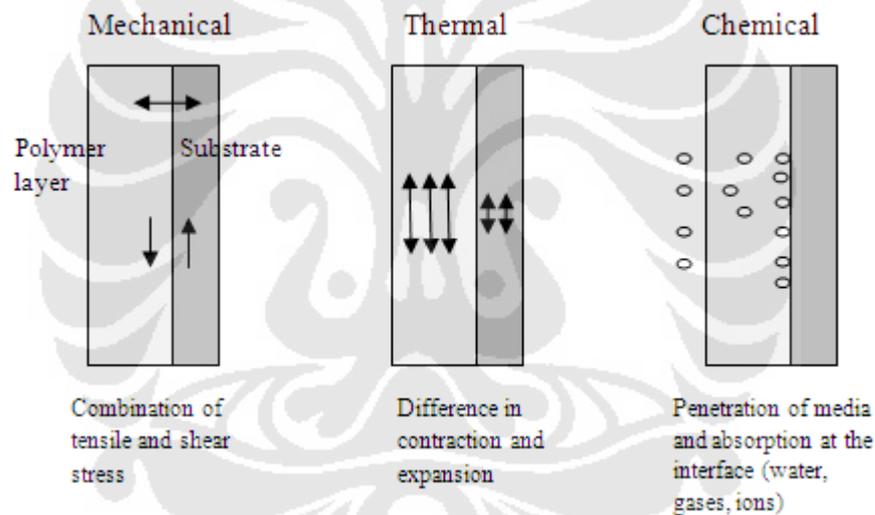
Kegagalan pada ikatan dan *coating* dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti preparasi permukaan yang kurang baik, pengaplikasian lapisan organik pada substrat yang kurang baik, efek lingkungan, cacat pada lapisan organik, serta korosi. Kegagalan yang terjadi pada *coating* dapat berupa *cohesive failure* serta *stress* dan *chemical failure* [7].

1. *Cohesive failure*

Cohesive failure terjadi saat *coating* tidak dapat menahan gaya/beban dari luar, sehingga kerusakan terjadi pada *coating*.

2. *Stress* dan *thermal failure*

Adanya gaya mekanik dari luar, baik itu tegak lurus maupun sejajar dengan lapisan *interface*, dapat merusak *coating* maupun ikatan yang terjadi antara *coating* dengan substrat. Adanya perubahan temperatur yang dialami *coating* akan menimbulkan *stress concentration* pada lapisan *interface*. Dan adanya zat kimia pada suatu lingkungan yang berpenetrasi ke dalam *coating* sehingga mencapai lapisan *interface* akan membuat *coating* kehilangan adhesinya pada substrat logam. Gambaran dari kerusakan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Kerusakan pada *Coating*. (a) *Mechanical*, (b) *Thermal*, (c) *Chemical Bond Failure* [7]

2.4.1 Korosi di Bawah Lapisan Organik

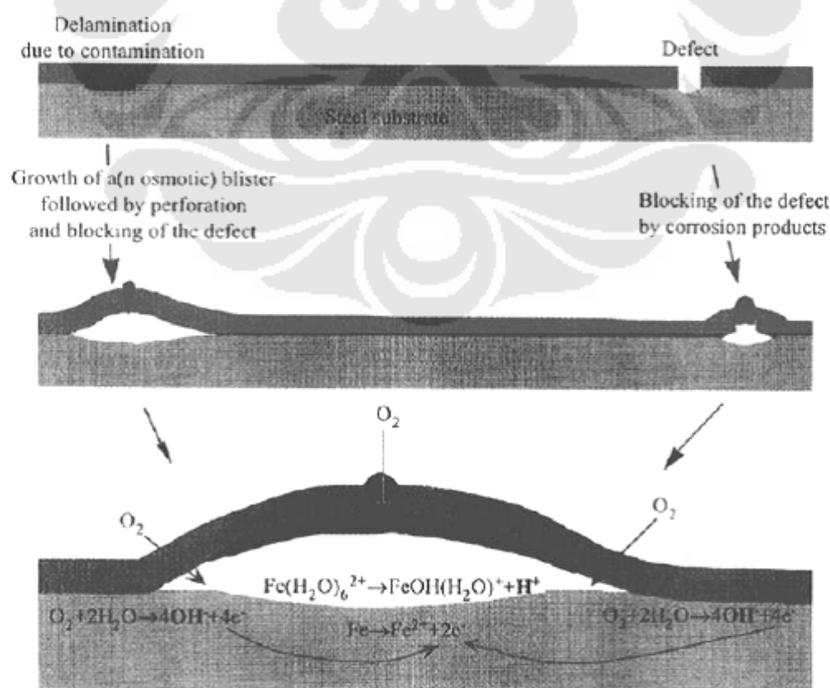
Saat lapisan organik berada pada lingkungan lembab ataupun larutan encer, air akan berpenetrasi ke dalam lapisan *interface* antara substrat dan lapisan organik. Penetrasi air tersebut akan mengganggu ikatan antara substrat dan lapisan organik sehingga menyebabkan hilangnya adesi, dan terjadinya inisiasi korosi. Korosi di bawah lapisan organik diantaranya ialah *blistering* (pelepuhan) serta delaminasi katodik. [7]

2.4.1.1 *Blistering*

Uap air dan oksigen dapat berdifusi ke dalam lapisan film dan berakhir pada lapisan *interface* antara substrat dan lapisan film. Akibatnya, pada *interface* akan terkumpul molekul air, dan akan terus meningkat sehingga pada bagian *interface* yang adhesinya kurang baik. Reaksi korosi dimulai pada bagian tersebut karena adanya elektrolit yang terakumulasi. Reaksi tersebut menyebabkan terbentuknya *blister* (pelepuhan), di mana adesi antara *coating* dan substrat menjadi rusak. *Blister* tersebut nantinya dapat tumbuh dan berkembang, sehingga menyebabkan peristiwa delaminasi katodik. [7]

2.4.1.2 Delaminasi Katodik

Saat proteksi katodik diberikan pada logam yang terlapis *organic coating*, maka peristiwa delaminasi katodik (*cathodic delamination*) dapat terjadi. Delaminasi katodik merupakan peristiwa hilangnya adesi antara substrat dan lapisan film. Peristiwa tersebut juga dapat terjadi tanpa adanya proteksi katodik yang diberikan pada substrat logam. Hilangnya adesi *coating* pada substrat dapat terjadi pada daerah lapisan organik yang mengandung cacat maupun yang masih baik. Mekanisme delaminasi katodik dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Mekanisme Delaminasi Katodik yang Diawali dari Cacat pada Lapisan Organik dan juga *Blister*. [8]

Pada kondisi lapisan organik yang mengandung cacat, ada bagian substrat yang langsung terpapar oleh lingkungan korosif sehingga menghasilkan produk korosi. Produk korosi tersebut terus terbentuk sehingga menutupi bagian *coating* yang cacat, dan merusak ikatan antara *coating* dengan substrat sehingga terjadi *blistering*. Pada daerah lepuhan tersebut terjadi perbedaan konsentrasi oksigen, di mana konsentrasi oksigen di daerah bawah produk karat lebih kecil dibandingkan di daerah tepi kerusakan pada *coating*. Sehingga proses korosi akan terus berjalan di bawah lapisan film. Sedangkan pada lapisan film yang masih terlihat baik, delaminasi katodik terjadi pada daerah yang memiliki adesi yang kurang baik. Di mana daerah tersebut merupakan awal mula terjadinya korosi. Sehingga saat korosi berpropagasi ke daerah sekitarnya, adesi antara substrat dan *coating* akan hilang. [8]