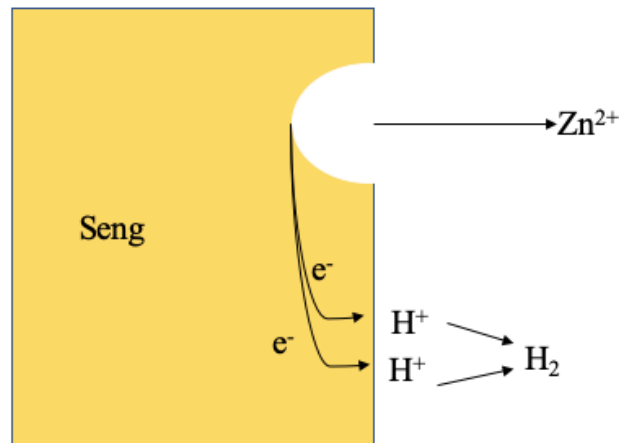


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi

Korosi adalah kerusakan material (khususnya logam) akibat interaksi kimia logam dengan lingkungan. Reaksi ini dapat dibagi menjadi dua yaitu reaksi langsung dan tidak langsung. Reaksi langsung disebut juga sebagai korosi kering, jenis-jenis reaksi yang termasuk dalam kelompok ini adalah reaksi logam dengan; udara, uap belerang, hidrogen sulfida, dan gas kering lainnya. Pada reaksi tidak langsung (korosi basah) terjadi saat logam bereaksi dengan cairan asam atau basa kuat. Reaksi korosi secara umum merupakan proses elektrokimia yang menyebabkan pelepasan elektron dari logam, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1** [10].



Gambar 2.1 Proses korosi logam Zn pada larutan asam [11].

2.2 Faktor-faktor Penyebab Korosi

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap korosi dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu berasal dari material logam dan lingkungan. Faktor dari material logam meliputi: kemurnian bahan, struktur bahan, bentuk kristal, dan teknik pencampuran bahan. Sedangkan faktor lingkungan terdiri dari: tingkat pencemaran lingkungan, suhu, kelembapan, salinitas, serta keberadaan zat kimia yang bersifat korosif. Senyawa korosif merupakan senyawa yang dapat bereaksi dengan logam sehingga mengakibatkan korosi. Senyawa korosif dapat berbentuk senyawa organik dan anorganik yang berada pada sifat asam-basa atau garam [10].

2.3 Mekanisme Korosi

Reaksi elektrokimia pada korosi melibatkan perpindahan elektron dari baja ke lingkungan. Perpindahan elektron tersebut merupakan hasil dari reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Reaksi oksidasi terjadi pada daerah anodik, dimana terjadi pelepasan elektron dari senyawa logam (persamaan 2.1). jumlah elektron yang dilepaskan dari logam bergantung pada sifat logam tersebut, seperti pada logam besi jumlah elektron yang dilepaskan adalah 2 (persamaan 2.2) [10].



Reaksi yang terjadi pada sisi katoda diinisiasikan melalui penurunan nilai valensi atau konsumsi elektron yang dihasilkan pada reaksi anodik. Berbeapa jenis reaksi katodik pada proses korosi logam yaitu :

Pelepasan gas hydrogen:



Reduksi oksigen:



Reduksi ion logam:



Pengendapan logam:



Secara keseluruhan reaksi elektrokimia yang terjadi selama proses korosi pada besi terhadap oksigen dapat ditulis sebagai berikut [10]:



2.4 Jenis-jenis Korosi

2.4.1 Korosi Seragam (*Uniform Attack*)

Korosi seragam (*uniform attack*) adalah bentuk korosi elektrokimia yang terjadi setara di seluruh permukaan logam dan terlihat sebagai kerak atau deposit. Reaksi yang terjadi pada korosi seragam meliputi oksidasi dan reduksi secara acak pada permukaan. Pada suhu tinggi korosi seragam terjadi melalui reaksi dengan oksigen dan membentuk oksida logam atau kerak yang mengakibatkan kerusakan pada logam [12,13].

2.4.2 Korosi Galvanis (*Galvanic Corrosion*)

Korosi galvanis terjadi saat paduan dua logam dengan komposisi berbeda digabungkan secara elektrik dalam suatu larutan elektrolit. Logam yang memiliki potensial volta lebih rendah (lebih reaktif) akan lebih mudah mengalami korosi. Salah satu contoh fenomena korosi galvanis adalah korosi pada sekrup baja yang menempel dengan material logam lain (kuningan) pada infrastruktur yang terendam air laut. Laju korosi galvanis bergantung terhadap luasan permukaan relatif anoda dan katoda yang terpapar elektrolit. Pada area katoda tertentu, area anoda yang lebih kecil akan mengalami laju korosi yang lebih cepat. Hal tersebut menandakan laju korosi bergantung pada rapat arus per satuan luas permukaan logam. Berikut ini langkah yang dapat dilakukan untuk mengurangi laju korosi galvanis [12]:

1. Mengurangi rasio permukaan anoda-katoda antar logam yang berbeda jenis.
2. Mengisolasi logam dengan potensial volta berbeda secara elektrik.
3. Melakukan proteksi katodik.



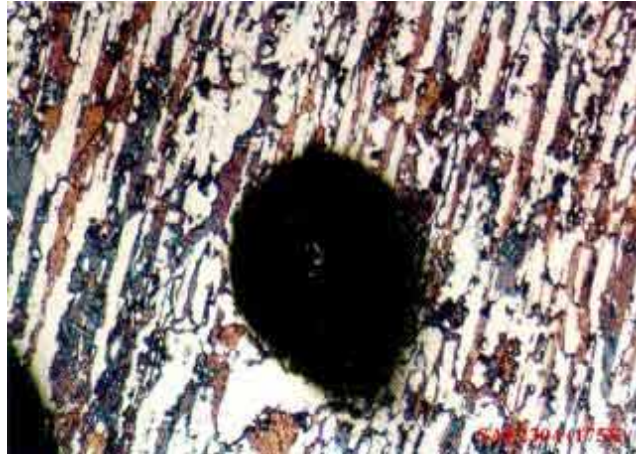
Gambar 2.2 Fenomena korosi galvanis baja karbon berlapis Zn dan baja tahan karat yang digunakan secara bersamaan [14].

2.4.3 Korosi Celah (*Cervice Corrosion*)

Korosi celah (*cervice corrosion*) adalah reaksi elektrokimia yang terjadi akibat perbedaan konsentrasi ion atau gas terlarut dalam larutan elektrolit. Contoh korosi celah dapat ditemukan pada pipa logam dengan endapan yang dilewati oleh larutan pada laju rendah. Pada kondisi ini konsentrasi oksigen didasar pipa akan menurun akibat adanya reaksi oksidasi logam lokal [12].

2.4.4 Korosi Sumur (*Pitting*)

Korosi sumur adalah jenis korosi terlokalisasi yang membentuk suatu lubang pada permukaan logam. Korosi sumur biasanya terjadi secara vertikal dari permukaan hingga dasar logam. Jenis korosi ini merupakan korosi yang berbahaya karena sangat sulit terdeteksi dan dapat mengakibatkan penurunan kualitas material logam yang memicu terjadinya kegagalan pada sistem produksi. Korosi sumur terjadi akibat reaksi oksidasi logam pada celah dan di ikuti ini dengan reaksi reduksi komponen kimia pada permukaan logam. Pada **Gambar 2.3** menunjukkan kerusakan yang diakibatkan oleh korosi sumur pada perpipaan di bawah laut [11,12].



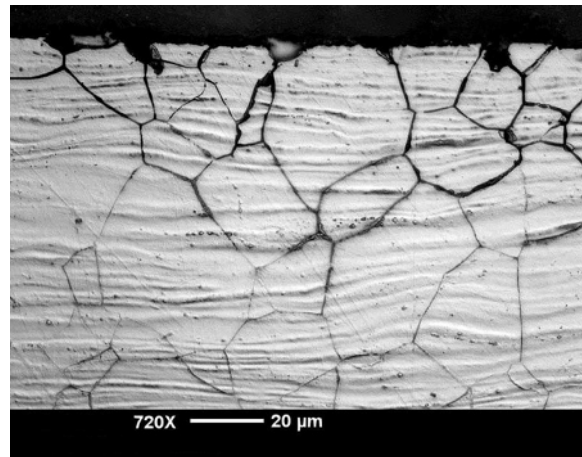
Gambar 2.3 Korosi *pitting* pada perpipaan [11].

2.4.5 Korosi *Intergranular* (*Intergranular Corrosion*)

Korosi *intergranular* terjadi di sepanjang batas butir untuk berberapa paduan logam selama proses pengelasan. Korosi *intergranular* sering ditemukan pada baja anti karat. Korosi ini terjadi akibat perlakuan panas yang menyebabkan pembentukan endapan Kromium Karbida (Cr_{23}C_6). Partikel ini terbentuk pada sepanjang batas butir, baik Kromium (Cr) dan Karbon (C) harus berdifusi ke batas butir agar

membentuk endapan yang meninggalkan zona kosong Cr yang berdekatan dengan batas butir. **Gambar 2.4** menunjukkan korosi *intergranular* pada permukaan lembaran baja tahan karat. Penganggungan agar baja tahan karat tidak terkena korosi *intergranular* adalah sebagai berikut [12,15]:

1. Membuat bahan peka terhadap perlakuan panas suhu tinggi di mana semua partikel kromium karbida larut kembali.
2. Menurunkan kadar karbon dibawah 0,03 wt% sehingga pembentukan karbida minimal.
3. Paduan baja tahan karat dengan logam lain seperti niobium atau titanium yang memiliki kecenderungan yang lebih besar untuk membentuk karbida dari pada Cr sehingga Cr tetap dalam padatan.

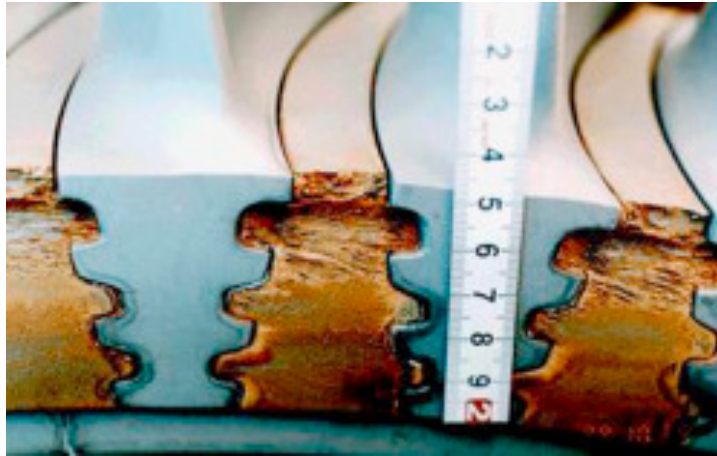


Gambar 2.4 Kerusakan pada lembaran baja tahan karat yang diakibatkan oleh korosi *intergranular* [13].

2.4.6 Korosi Erosi (*Erosion Corrosion*)

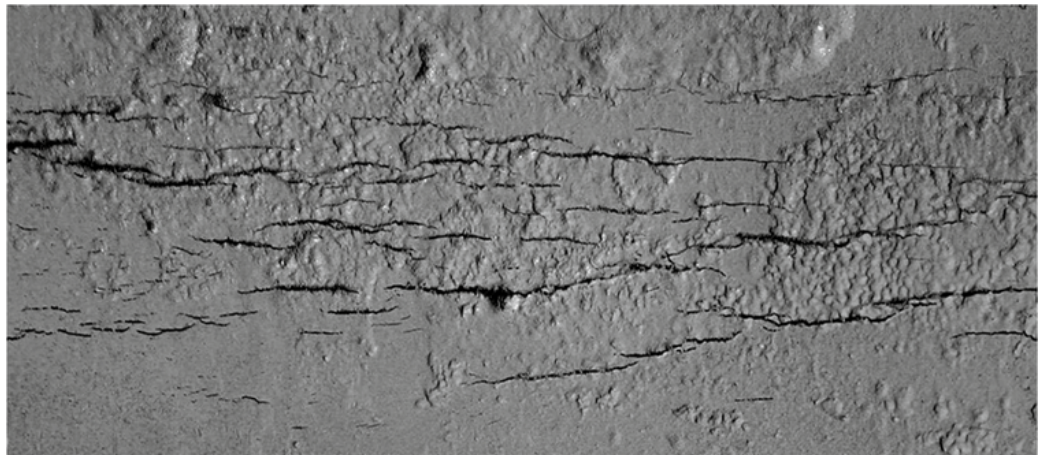
Korosi erosi terjadi akibat aksi gabungan reaksi kimia pada gerakan fluida. Korosi erosi sangat berbahaya bagi paduan logam yang bersifat pasif dan membentuk lapisan pelindung di permukaan. Perilaku abrasif dapat mengikis lapisan pada permukaan logam yang terbuka. Korosi erosi biasanya dapat dicirikan dengan alur permukaan bergelombang yang menyerupai karakteristik fluida. Peningkatan laju kecepatan fluida dapat meningkatkan laju korosi. Suatu larutan lebih korosif jika terdapat gelembung udara dan partikel pada permukaan logam. Korosi erosi dapat

ditemukan pada perpipaan, terutama pada siku, dan perubahan mendadak pada diameter pipa [11-12].



Gambar 2.5 Korosi erosi yang terjadi pada saluran area pemasangan bilah rotor setelah beroperasi 10 tahun [11].

2.4.7 Korosi Tegangan (*Stress Corrosion*)



Gambar 2.6 Kerusakan pada permukaan pipa transmisi gas bertekanan tinggi akibat adanya korosi tegangan [15].

Korosi tegangan didefinisikan sebagai kerusakan yang dialami oleh paduan logam yang mengalami keretakan akibat adanya tegangan tarik statis. Tegangan Tarik statis minimum disebut “tegangan ambang” yang bernilai dibawah 10% dari tegangan leleh. Korosi tegangan terjadi pada titik *stress* logam pada permukaan yang menyebabkan retakan halus dapat terjadi hingga menembus kedalaman tertentu [13]. Kondisi yang dapat mengakibatkan korosi tegangan antara lain:

lingkungan yang korosif, tegangan tarik, suhu, dan nilai pH. Pada **Gambar 2.6** menunjukkan kerusakan pada pipa transmisi gas yang di akibatkan oleh korosi tegangan [13].

2.4.8 Korosi Biologis (*Biologycal Corrosion*)

Korosi biologis dipengaruhi oleh proses biologis yang menyebabkan degradasi logam karena aktivitas organisme. Korosi biologis dipengaruhi oleh mikro dan makroorganisme di berbagai lingkungan seperti: air tawar, air laut, tanah, dan sumur minyak bumi. Korosi biologis memiliki laju korosi yang relatif rendah dibandingkan dengan korosi jenis lainnya. Aktivitas metabolik suatu organisme dapat secara langsung atau tidak langsung mengakibatkan kerusakan pada logam. Proses yang mendukung terjadinya korosi biologis adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan lingkungan yang korosif.
2. Membuat sel elektrolitik pada permukaan logam.
3. Mengubah resistansi film permukaan.
4. Memiliki pengaruh terhadap laju reaksi anodik atau katodik.
5. Mengubah komposisi lingkungan karena bentuk korosi biologis memberikan kesan adanya lubang, pertama kali perlu mendiagnosis keberadaan bakteri.

Salah satu contoh korosi bilologis yaitu terjadinya korosi pada logam yang disebabkan oleh bakteri preduksi sulfat (SRB) [13].

2.5 Pengukuran Korosi

Pengukuran korosi sangat penting untuk tujuan pemilihan material. Kompatibilitas logam dengan lingkungan merupakan persyaratan utama untuk menghasilkan kinerja yang bagus. Pengukuran laju korosi juga digunakan untuk evaluasi dan pemilihan material untuk lingkungan tertentu atau evaluasi paduan baru atau lama dalam menentukan lingkungan yang sesuai. Selain itu pengukuran laju korosi juga berfungsi untuk mengetahui mekanisme korosi yang terjadi pada material logam dan paduan logam [13].

2.6 Pelapisan Logam Zn

2.6.1 Zn Coating

Banyak jenis lapisan Zn dan paduan Zn yang dapat diklasifikasikan menurut komposisi lapisannya dan metode produksi yang digunakan. Jika diklasifikasikan menurut komposisi kimianya, pelapis berbasis Zn dikelompokkan menjadi kategori utama, yaitu Zn murni, seng-besi (Zn-Fe), seng-alumunium (Zn-Al), seng-nikel (Zn-Ni), dan seng komposit[16].

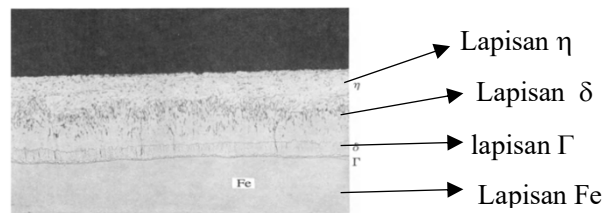
Dari segi metode lapisan Zn dapat diproduksi dengan pencelupan panas, *electroplating*, ikatan mekanis, sheradisasi, dan penyemprotan termal (metalisisasi). Metode *hot-dip* dapat bekerja pada bagian-bagian baja yang berukuran besar seperti jembatan baja. Metode tersebut juga dapat digunakan untuk memperbaiki permukaan baja galvanis yang permukaannya hilang karena terjadinya kerusakan mekanis pada baja tersebut. Penggunaan lapisan Zn menggunakan metode termal *spray* dapat digunakan pada permukaan beton yang berguna sebagai anoda untuk perlindungan katodik. Lapisan Zn yang disemprotkan pada beton tersebut relatif kasar dan berpori jika dibandingkan dengan metode pelapisan Zn yang lain [16, 17-18].

2.6.2 Hot-Dip Galvanizing

Hot-dip galvanizing adalah proses di mana lapisan Zn yang melekat dari paduan Zn dan Zn-Fe yang diproduksi pada permukaan besi atau baja dengan merendamnya dalam bak Zn cair. *Hot-dip galvanizing* merupakan proses paling tua dan paling banyak diaplikasikan pada proses pelapisan Zn. Galvanisasi *hot-dip* dibagi menjadi dua jenis, yaitu galvanisasi *batch* dan galvanisasi kontinu/berkelanjutan.

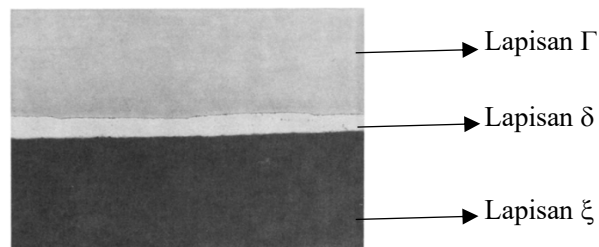
Secara umum pada proses pengaplikasian galvanisasi suatu baja atau besi yang akan dilapisi harus dibersihkan terlebih dahulu, dengan cara diasamkan dan diflux dalam proses *batch* atau diolah dengan panas dalam atmosfer reduksi untuk menghilangkan oksida permukaan dalam proses galvanisasi berkelanjutan. Kemudian direndam dalam bak Zn cair untuk waktu yang cukup untuk membasahi permukaan dengan paduan Zn, setelah itu sampel/besi ditarik dan di dinginkan [19].

Hasil dari proses galvanisasi menghasilkan serangkaian lapisan paduan Zn-Fe dengan lapisan Zn murni di permukaan baja/besi. Kualitas pelapisan tergantung pada sifat fisik dan kimiawi lapisan intermetalik Zn-Fe yang terbentuk. Ketebalan dan komposisi paduan bergantung pada apakah paduan tersebut diproduksi dalam proses *batch* atau *continue*, terutama karena perbedaan waktu pencelupan dalam bak Zn cair. Lapisan yang dihasilkan pada proses galvanisasi *batch* menghasilkan lapisan yang tebal dan dapat terlihat jelas jika dilihat menggunakan mikroskop optik seperti pada **Gambar 2.7** berikut.



Gambar 2.7 Hasil pelapisan menggunakan *batch* galvanisasi Zn-Fe [19].

Sedangkan hasil dari proses galvanisasi *continue* lebih tipis dan terkadang tidak terlihat dengan mikroskop optik seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.8** berikut.



Gambar 2.8 Hasil pelapisan menggunakan proses galvanisasi *continue* Zn-Fe [19].

Pada hasil galvanisasi *batch* diperoleh karakterisasi yang dapat dilihat pada **Tabel 2.1** sebagai berikut [20].

Tabel 2.1 Karakterisasi Pada Proses Galvanisasi *hot-dip batch* Zn-Fe [20].

Fase	Formula	Konten Fe (wt.%)	Struktur kristal	Kepadatan
η	Zn	Max. 0,003	Heksagonal	7,14
ξ	FeZn ₁₃	5,7-6,3	Monoklinik	7,18

δ_1	FeZn_{10}	7,0-11,5	Heksagonal	7,24
Γ	$\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$	21,0-28,0	Kubus berpusat-muka	7,36

Ketebalan fasa tertentu dalam lapisan Zn pada baja ditentukan oleh laju difusi melalui fasa selama pertumbuhan lapisannya. Proses difusi utama adalah difusi Zn melalui lapisan galvanis menuju permukaan besi. Difusi besi yang bergerak keluar memiliki kecepatan yang jauh lebih lambat [20].

2.6.3 Galvanisasi Berkelanjutan (*Countinuous*)

Dalam proses pelapisan galvanisasi *hot-dip* berkelanjutan (*continuous*), gulungan baja dilas dari ujung ke ujung dan dilapisi dengan kecepatan hingga 200ml/min. Secara umum proses pencelupan secara berkelanjutan dilakukan dalam kondisi panas dan dingin. Perbedaan utama antara proses panas dan dingin terletak pada proses pelapisan permukaan baja setelah tahapan pembersihan pertama dan sebelum perendaman dalam bak Zn cair. Dalam proses panas, langkah pertama diawali dengan memasukan baja/besi ke bak alkali yang berfungsi untuk menghilangkan kotoran, minyak, dan sisa zat besi halus dari proses penggulungan.

Pada substrat baja/besi ini diikuti dengan tahap pembersihan lebih lanjut dengan penyikatan mekanis dan pembersihan alkali elektrolitik. Lembaran tersebut kemudian melewati tungku tabung radiasi yang mengandung campuran nitrogen dan hidrogen yang mengurangi oksida pada permukaan baja/besi. Pemanasan dari suhu yang tepat untuk rekristalisasi subkritis. Baja kemudian didinginkan hingga mendekati suhu pada saat sebelum masuk bak Zn cair.

Dalam proses dingin, baja dibersihkan, diasamkan, dan di flux sejajar tanpa pemanasan diluar yang diperlukan untuk mengeringkan larutan fluks *ammonium* klorida (NH_4Cl) dan seng klorida (ZnCl_2) pada permukaan baja sebelum memasuki pengangas Zn. Biasanya dilakukan penambahan Al sebesar 0,1-0,2% untuk mencegah pembentukan lapisan intermetalik Zn-Fe yang tebal dan *continue* yang dapat menyebabkan adhesi lapisan yang buruk selama pembentukan [17,21].

Pada saat baja keluar dari bak Zn cair, lapisan Zn akan melapisi pada permukaan baja. Ketebalan lapisan dapat dikontrol dengan melewati strip diantara *wiping dies* untuk menghilangkan kelebihan logam dengan aliran gas. Pendinginan udara

digunakan untuk mengurangi suhu lembaran, yang mencegah kerusakan lapisan dari kontak putaran gulungan haluan [19].

2.6.4 *Plating Zn*

Pada umumnya, proses pelapisan Zn bertujuan untuk mendapatkan lapisan pada permukaan logam dasar dengan maksud sebagai lapisan pelindung, memperbaiki tampak rupa, dan sebagai lapisan dasar untuk proses selanjutnya. Secara keseluruhan proses pelapisan Zn merupakan suatu kesatuan dari rangkaian pekerjaan pembersihan dengan mekanis, pencucian dengan asam dan *alkaline*, pembilasan, proses pelapisan, dan pengerjaan akhir. Larutan elektrolit yang dapat digunakan untuk melakukan metode pelapisan Zn cukup banyak, hanya prinsip kerja dan kondisi operasinya yang membedakan antara larutan elektrolit satu dengan larutan elektrolit yang lain. Selain larutan elektrolit, pengaturan anoda juga harus diperhatikan, yaitu anoda berhadapan langsung dengan katoda dan jarak anoda dan katoda berada diantara 100 mm [3].

Proses pelapisan pada benda kerja dapat diterangkan dengan mengambil contoh *electroplating Zn* dengan menggunakan elektrolit *Zinc Cate*. Ion logam Zn^{2+} dalam elektrolit yang bermuatan positif menuju benda kerja (katoda) yang bermuatan negatif sehingga ion logam Zn^{2+} akan tereduksi menjadi logam Zn dan mengendap di katoda membentuk lapisan logam (deposit), menurut reaksi sebagai berikut:



(pembentukan lapisan Zn)



(pembentukan gas hidrogen)



(reduksi oksigen terlarut)

Ion Zn dalam elektrolit yang telah tereduksi dan menempel pada katoda, posisinya akan diganti oleh anoda Zn yang teroksidasi dan larut dalam elektrolit menurut reaksi [3]:



(oksidasi anoda Zn ke dalam elektrolit)



(pembentukan gas oksigen)



(oksidasi gas hidrogen)

Apabila reaksi *electroplating* berjalan seimbang maka konsentrasi elektrolit akan tetap, anoda semakin lama akan berkurang dan terjadi pengendapan (deposit) logam yang melapisi katoda sebagai benda kerja [3].

2.6.5 Electroplating

Electroplating adalah metode umum lainnya untuk menghasilkan lapisan Zn pada permukaan baja. *Electroplating* pada umumnya ada 3 tahap yang harus dilakukan, yaitu *degreasing* atau pembersihan, pelapisan listrik, dan paska perawatan. Berbagai jenis bak elektrolit dilakukan dalam industri pelapisan ini dapat diklasifikasikan sebagai asam atau basa. Kebanyakan pelapisan Zn secara komersial dilakukan dalam elektrolit alkali konvensional. Masalah lingkungan yang terkait dengan penggunaan sianida telah menyebabkan pengembangan dan penerapan proses lainnya yang berkelanjutan. Saat ini elektrolit yang digunakan untuk pelapisan Zn menggunakan cairan asam yang sudah banyak digunakan secara umum di dunia [21].

Komposisi larutan asam dan basa pada suatu cairan untuk proses *electroplating* dapat dilihat pada **Tabel 2.2** [22].

Tabel 2.2 Komposisi bak pelapisan dan kondisi pelapisan [22].

	Bak klorida	Bak sianida
Komposisi	ZnCl ₂ , 15-56 g/l NH ₄ Cl, 100-200 g/l	Zn(CN) ₂ , 54-86 g/l NaCN, 30-41 g/l NaOH, 68-105 g/l Na ₂ CO ₃ , 15-60 g/l H ₂ NaS ⁺ , 2-3 g/l
Temperatur	21-27°C	21-40 °C
pH	5,2-6,2	~ 13
Rapat arus	0,3-5 A/dm ²	1-5 A/dm ²

2.6.5 Proses Pelapisan Berkelanjutan

Proses pelapisan berkelanjutan adalah proses untuk melapisi lapisan logam ke lembaran baja atau kawat tanpa ujung. Terdapat 4 bagian utama pada proses pelapisan ini, yaitu *payoff*, *pretreatment*, pelapisan, paska perawatan. Dibagian *payoff* atau pengerjaan, kumparan baja dimuat ke gulungan, dengan ujung kumparan baru dilas ke ujung ekor kumparan sebelumnya. Kemudian strip bergerak menuju stasiun pembersihan dan pembilasa, yang berfungsi untuk menghilangkan minyak[23].

Pada bagian *pretreatment* sisa minyak, karbon permukaan, dan oksida permukaan cahaya dihilangkan saat strip dilewatkan melalui satu atau lebih stasiun pembersihan, penyikatan, pengawetan, dan pembilas alkali. Strip yang sudah dibersihkan kemudian dimasukkan kedalam bagian pelapisan, yang biasanya terdiri dari beberapa sel pelapisan. Pada awal proses pelapisan sel pendingin dapat digunakan untuk menyiapkan permukaan baja untuk pelapisan. Saat strip bergerak dari sel ke sel, ketebalan lapisan secara bertahap dibangun ke nilai yang diperlukan. Setelah keluar dari sel terakhir, lembaran yang dilapisi segera dibilas dan dikeringkan untuk mencegah goresan atau pewarnaan pada permukaan yang dilapisi. Pada bagian pasca perawatan, strip baja diolah dengan proses seperti fosfat, kromasi, atau peminyakan untuk mempersiapkan pengecatan atau untuk memberi perlindungan secara merata [23].

Proses pelapisan secara berkelanjutan diklasifikasikan dalam 3 jenis karakteristik yaitu jenis anoda, jenis kimia elektrolit, dan geometri sel pelapisan [25]. Anoda yang dapat digunakan yaitu anoda yang bersifat larut dan anoda yang bersifat tidak larut. Anoda larut secara anodik akan larut dalam elektrolit, sedangkan reaksi anoda tak larut pada umumnya adalah reaksi oksidasi air. Anoda larut biasanya digunakan dalam bak klorida, dan anoda tidak larut biasanya digunakan dalam bak sulfat. Ada tiga jenis sel berdasarkan geometri sel yaitu vertikal, horizontal, dan radial [25]. Pilihan jenis anoda, elektrolit dan geometri sel dalam jalur *electroplating* bergantung pada kapasitas, produktivitas, dan otomatisasi [19].

2.7 Logam Zn

Logam Zn ($A_r = 65,38$) merupakan logam yang memiliki warna putih-kebiruan. Logam ini cukup mudah ditempa dan liat pada suhu 110-150 °C. Zn melebur pada suhu 425 °C dan mendidih pada suhu 906 °C [26] .

Zn menempati urutan ke-23 diantara unsur dalam unsur-unsur kelimpahan relatif di kerak bumi sebesar 0,013%, dibandingkan dengan aluminium (Al) sebesar 8,13% dan besi (Fe) sebesar 5,0%. Namun Zn menempati pada urutan keempat diantara logam dalam produksi dan konsumsi di seluruh dunia, di belakang hanya Fe, Al, dan tembaga (Cu) [27].

Penggunaan Zn dapat dibagi menjadi enam kategori utama, yaitu sebagai pelapis, paduan pengecoran, elemen paduan dalam kuningan dan paduan lainnya, paduan Zn tempa, seng oksida (ZnO), dan Zn sebagai bahan kimia. Penggunaan lapisan Zn untuk perlindungan korosi pada struktur baja adalah aplikasi yang paling penting karena ketahanan korosi Zn yang tinggi di atmosfer dan pada lingkungan lainnya. Posisi Zn dalam rangkaian *electromotive* dari logam berarti bahwa lapisan Zn tidak hanya menyediakan lapisan penghalang untuk mencegah kontak antara baja lapis dan lingkungan tetapi juga sebagai pelindung korban jika terjadi pelapisan yang tidak berkesinambungan [19].

2.7.1 Sifat Fisis (*Physical Properties*)

Zn adalah logam yang berwarna abu-abu biru keperakan dengan titik leleh yang relatif rendah pada suhu 419°C dan titik didih pada suhu 907°C. Sifat fisik Zn dapat ditunjukkan pada **Tabel 2.3** [15].

Tabel 2.3 Sifat fisik dari Zn [15].

Nomor atom	30
Massa atom	65,38
Densitas padat, 20 °C	7,14 g/cm ³
Densitas padat, 419,5 °C	6,83 g/cm ³
Densitas cair, 419,5 °C	6,62 g/cm ³
Kecepatan suara, 20 °C	3,67 km/s
Titik leleh	419,5 °C
Titik didih, 1 atm	907 °C
Potensial ionisasi, pertama	9,39 eV
Potensial ionisasi, kedua	17,87 eV
Potensial ionisasi, ketiga	40,0 eV
Panas fusi, 419,5 °C	7,28 kJ/mol
Panas penguapan, 907 °C	114,7 kJ/mol
Kapasitas panas padat, 25 °C	25,4 J/mol
Kapasitas panas cair	31,4 J/mol
Resistivitas padat, 20 °C	5,96 μΩ cm
Resistivitas cair, 419,7 °C	37,4 μΩ cm
Konduktivitas termal padat, 18 °C	113 W/(m.K)
Konduktivitas termal padat, 419,5 °C	96 W/(m.K)
Konduktivitas termal cair, 419,5 °C	61 W/(m.K)
Koefisien linier ekspansi termal	
Polikristal	$39,7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Sumbu a	$14,3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Sumbu c	$60,8 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Koefisien volume ekspansi termal	$0,9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Tegangan permukaan, cair 419,5 °C	782 mN/m
Viskositas, cair 419,5 °C	3,85 mN/m

Kristal Zn memiliki struktur heksagonal yang rapat. Konstanta kisi a dan kisi c masing-masing 0,2664 dan 0,4947 nm. Setiap atom Zn memiliki tetangga dekat, 6 berbeda pada jarak 0,2665 nm dan 6 lainnya berada pada 0,2907 nm. Dengan demikian ikatan atom-atom pada lapisan basal heksagonal lebih kuat dari ikat antar lapisan [15].

2.7.2 Sifat Mekanik (*Mechanical Properties*)

Zn murni memiliki kekuatan dan kekerasan lebih besar daripada timah atau timbal tetapi jauh lebih kecil daripada Al atau Cu. Zn rapuh pada suhu biasa tetapi ulet pada suhu sekitar 100°C [16]. Zn murni akan mengkristal kembali dengan cepat setelah deformasi pada suhu kamar karena mobilitas atom yang tinggi didalam kisi. Dengan itu Zn tidak dapat mengeras kembali pada suhu kamar. Zn memiliki ketahanan yang rendah untuk menyerap energi karena adanya migrasi batas butir. Suhu untuk rekristalisasi dan resistansi dapat ditingkatkan melalui bentuk paduan [15].

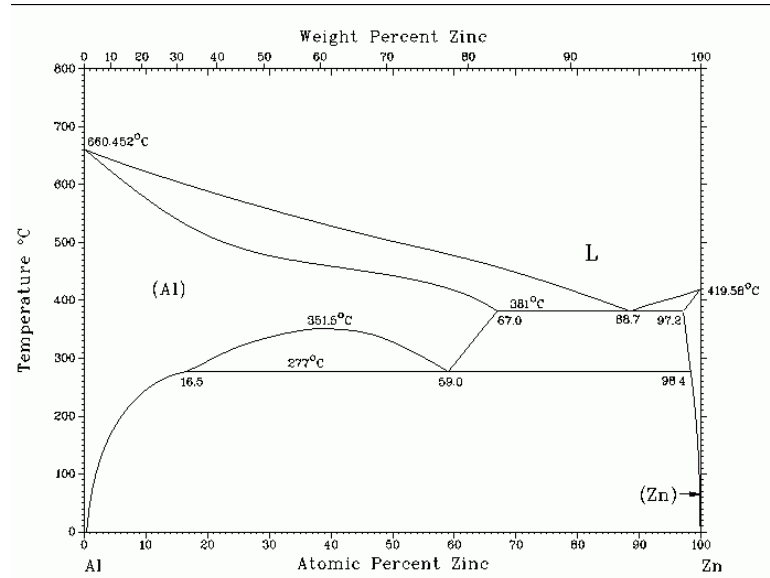
Superplastisitas dengan perpanjangan hingga 1000% dapat diperoleh untuk paduan *eutectoid* Zn-Al dengan ukuran butiran yang sangat halus dengan urutan 1 μ m, pada suhu 200-2700°C. Deformasi dalam kondisi ini dapat terjadi dengan menyelipkan butiran kecil diatas satu sama lain, dengan sedikit distorsi butir [15].

2.7.3 Sifat Paduan (*Alloy Properties*)

Sistem paduan Zn biner yang paling sering digunakan dalam pengaplikasian komersial adalah sebagai berikut [15]:

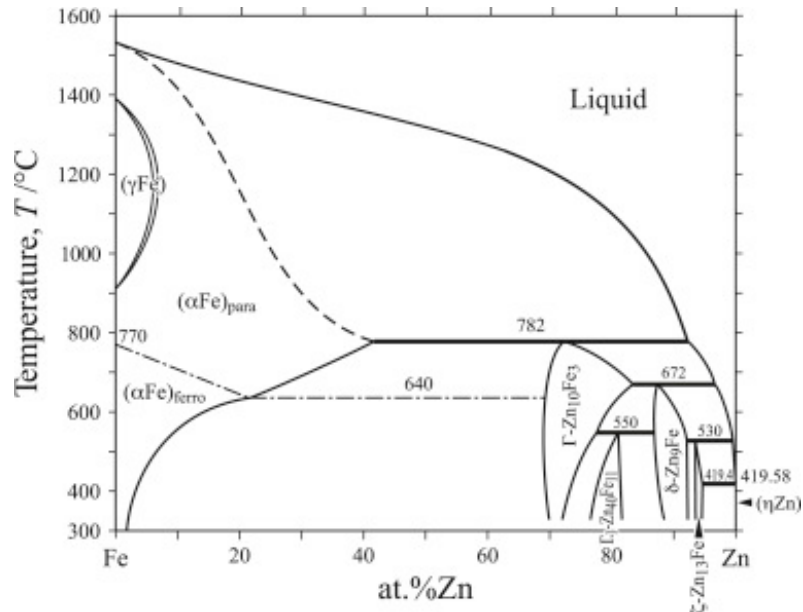
1. Zn-Al, yang pada 4% Al membentuk dasar paduan Zn *die-casting* .
2. Zn-Cu, yang mengandung Zn hingga 45%.
3. Zn-Fe, yang meliputi fase-fase penyusun lapisan galvanis.
4. Zn-Pb, yang berperan penting dalam beberapa proses ekstraksi pyrometurgical.

Bisa dilihat pada **Gambar 2.9** adalah diagram fase untuk sistem paduan Zn-Al. sementara kelarutan Zn dalam Al agak terbatas. Sistem ini memiliki komposisi eutektik pada sekitar 5% Al dan komposisi *eutectoid* pada 22% Al.



Gambar 2.9 Diagram fase Zn-Al [30].

Pada **Gambar 2.10** menunjukkan diagram fase dari sistem Zn-Fe. Besi memiliki kelarutan padat yang sangat sedikit didalam Zn. Ketika jumlah besi didalam Zn diatas 0,001%, keberadaannya sudah dapat dideteksi secara mikrofasis dengan munculnya fasa intermetalik, kemungkinan FeZn₇. Dalam proses galvanisasi *hot-dip* sejumlah senyawa intermetalik Zn-Fe dapat terbentuk. Jumlah relatif dan morfologi metalografi senyawa ini bergantung pada substrat baja dan kondisi *hot-dip*, terutama pada kandungan Al dalam bak (*bath*). Sudut Zn dalam diagram fase sistem trener Zn-Fe-Al sangat penting untuk proses galvanisasi *hot-dip* [28,29].



Gambar 2.10 Diagram fase Zn-Fe [30].

2.8. Baja Karbon

Baja karbon adalah logam yang tersusun dari Fe, C, dan beberapa unsur lainnya. Unsur C pada kandungan baja karbon sangat berpengaruh terhadap sifat mekaniknya itu sendiri. Semakin kecil persentase C yang dimiliki maka baja tersebut akan semakin lunak dan ulet. Sebaliknya semakin besar persentase C pada suatu baja tersebut akan semakin keras dan getas [32].

Baja karbon dapat digolongkan menjadi tiga bagian berdasarkan jumlah kandungan C yang terdapat didalam baja tersebut. Penggolongan baja karbon adalah sebagai berikut [32-33].

1. Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*) : Kadar C < 30%.
2. Baja karbon medium (*Medium Carbon steel*) : Kadar C < 0,30 – 0,70%.
3. Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*) : Kadar C < 0,70 – 1,40%.

2.8.1 Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah pada umumnya memiliki kadar C maksimum sebesar 0,3%. Baja karbon rendah memiliki sifat lunak dan ulet serta mempunyai sifat mampu mesin (*machinability*) dan sifat mampu las (*weldability*) yang baik. Hal tersebut dikarenakan rendahnya kadar karbon yang dimilikinya. Baja karbon rendah

biasanya diaplikasikan sebagai kawat, baja profil, ulir, paku, baut, dan skrup [31,34].

2.8.2 Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon medium pada umumnya memiliki kadar karbon sebesar 0,30-0,70%. Baja karbon medium dalam pengaplikasiannya biasanya digunakan sebagai baja konstruksi mesin, poros, roda gigi, dan rantai. Untuk menghasilkan baja karbon medium yang mempunyai kekerasan dan kekuatan yang tinggi maka baja karbon medium dapat diberi perlakuan panas (*heat treatment*) untuk mengubah sifat mekaniknya [32,34].

2.8.3 Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi pada umumnya memiliki kadar karbon sebesar 0,70-1,40%. Pada umumnya baja karbon tinggi digunakan untuk pengaplikasian yang membutuhkan kekuatan, kekerasan, dan ketahanan aus, seperti alat potong, kabel, kabel musik, dan alat makan. Setelah dibuat menjadi suatu bentuk, biasanya bagian akan diberikan perlakuan panas dan diberi temper. Semakin tinggi kandungan karbon pada baja, maka semakin tinggi pula kekerasan, kekuatan, dan ketahanan ausnya setelah diberi perlakuan panas [28,31].

2.8.4 Baja ST 37

Baja karbon ST 37 adalah baja karbon rendah yang setara dengan AISI 1045. Baja ST 37 memiliki komposisi kimia Karbon = 0,5%, Mangan = 0,8%, dan silikon = 0,3% ditambah unsur lainnya. Baja yang penulisannya diawali dengan ST, menunjukkan kekuatan Tarik minimum (dalam kg/mm^2) yang dimiliki baja tersebut. Baja tipe ST 37 memiliki kekuatan Tarik sebesar $\leq 37 \text{ kg/mm}^2$. Baja karbon kelas rendah ini dapat mudah teroksidasi, memiliki kekuatan yang relatif rendah, keuletan yang baik, dan dapat diaplikasikan untuk tabung, pipa, dan komponen mesin berkekuatan rendah [8,33].