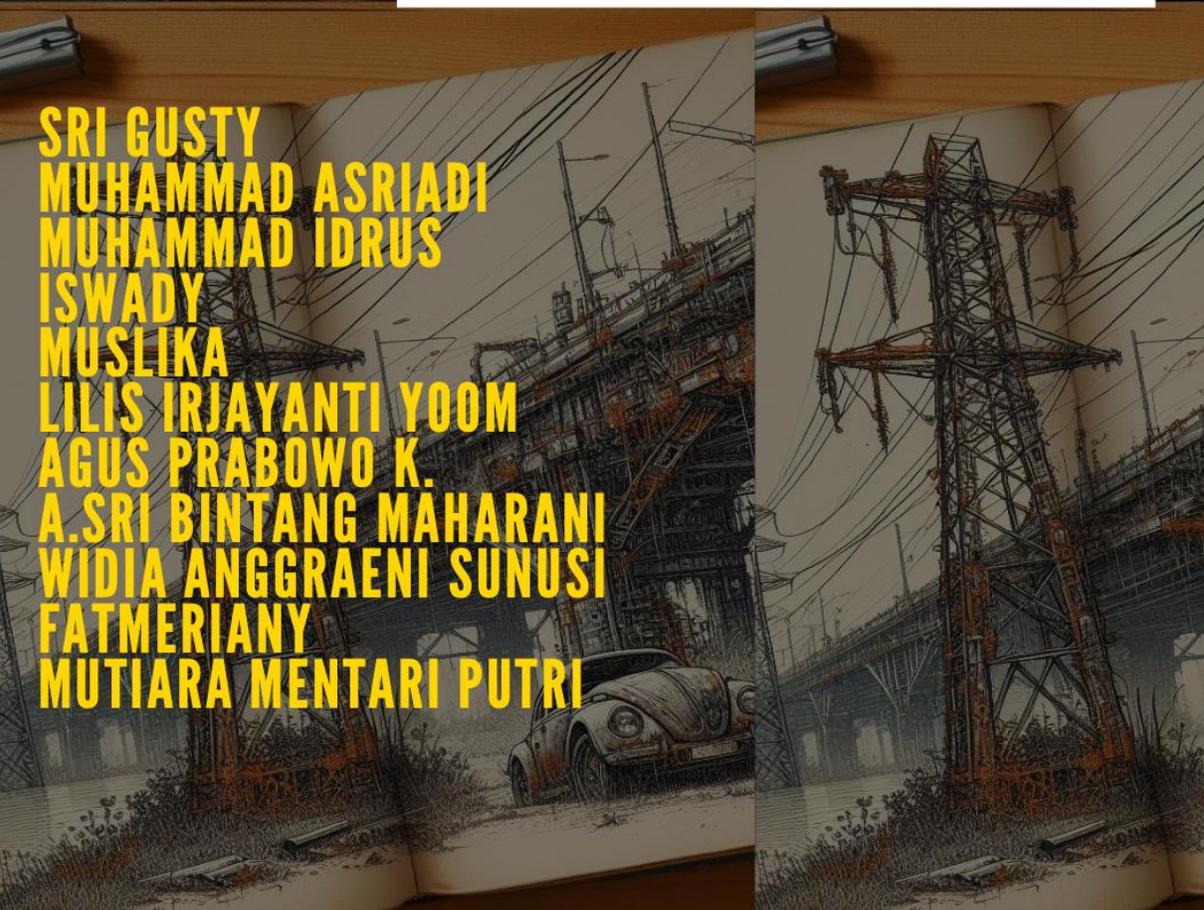


AM
ARSY MEDIA

KOROSI DAN PERLINDUNGAN MATERIAL

**SRI GUSTY
MUHAMMAD ASRIADI
MUHAMMAD IDRUS
ISWADY
MUSLIKA
LILIS IRJAYANTI YOOM
AGUS PRABOWO K.
A.SRI BINTANG MAHARANI
WIDIA ANGGRAENI SUNUSI
FATMERIANY
MUTIARA MENTARI PUTRI**



KOROSI DAN PERLINDUNGAN MATERIAL

Penulis

SRI GUSTY
MUHAMMAD ASRIADI
MUHAMMAD IDRUS
ISWADY
MUSLIKA
LILIS IRJAYANTI YOOM
AGUS PRABOWO K.
A. SRI BINTANG MAHARANI
WIDIA ANGGRAENI SUNUSI
FATMERIANY
MUTIARA MENTARI PUTRI

Penerbit

ARSY MEDIA

Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (Tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak **Rp. 5.000.000.000,00 (Lima Miliar Rupiah)**

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait sebagaimana dimaksud pada ayat 1, dipidana paling lama 5 (**lima tahun**) dan/atau denda paling banyak **Rp. 500.000.000,00 (Lima Ratus Juta Rupiah)**

KOROSI DAN PERLINDUNGAN MATERIAL

Penulis :

Sri Gusty
Muhammad Asriadi
Muhammad Idrus
Iswady
Muslika
Lilis Irjayanti Yoom
Agus Prabowo K.
A.Sri Bintang Maharani
Widia Anggraeni Sunusi
Fatmeriany
Mutiara Mentari Putri

Editor :

Natsar Desi

ISBN : 978-623-10-0307-2

Desain Sampul dan Tata Letak

Andi Arfan Sahabuddin

Penerbit

Arsy Media

Redaksi :

Villa Mutiara Hijau 7 No 26, Kel. Bulurokeng, Kec. Biringkanaya, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan

Telp. 0853-9900-0031

Email : Srigusty@ymail.com

Website : <https://arsymedia.com>

Cetakan Pertama Mei 2024

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik termasuk memfotocopy, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit

Prakata

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunianya, sehingga buku ini dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan pengikutnya hingga akhir zaman.

Dalam perjalanan ilmu pengetahuan dan teknologi, manusia seringkali dihadapkan pada tantangan, salah satunya adalah korosi yang dapat merusak material. Dalam buku ini, tim penulis menyajikan fenomena korosi, dampaknya, serta berbagai metode perlindungan material yang dapat diterapkan. Dengan harapan, buku ini dapat menjadi sumber pengetahuan yang bermanfaat bagi pembaca yang ingin memahami dan mengatasi masalah korosi dengan lebih baik.

Buku ini disusun dengan tujuan untuk memberikan tambahan referensi tentang korosi dan perlindungan material. Korosi merupakan proses degradasi material akibat interaksi dengan lingkungannya, yang dapat menyebabkan kerusakan dan kerugian ekonomi yang signifikan. Oleh karena itu, penting untuk mempelajari korosi dan berbagai metode perlindungan material agar dapat mencegah dan meminimalkan kerusakan yang ditimbulkannya.

Tim penulis berharap dapat bermanfaat bagi mahasiswa, dosen, peneliti, serta praktisi di bidang teknik material, kimia, dan ilmu teknik lainnya. Penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu saran dan kritik

yang membangun dari pembaca sangat diharapkan demi perbaikan dan penyempurnaan di masa depan.

Akhir kata, tim penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan buku ini, khususnya kepada keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan dan semangat.

Makassar, Mei 2024

Penulis

Daftar Isi

Halaman Depan	i
Halaman Penerbit	iii
Prakata	iv
Daftar Isi ..	vi
Bab 1 Inovasi Material Anti-Korosi:	1
1. 1 Pendahuluan	1
1. 2 Beton Tekstil.....	2
1. 3 Serat Karbon.....	5
1. 4 Balok Beton Bertulang Karbon.....	6
1. 5 Keuntungan Ekologis dan Ekonomis dari Beton Bertulang Karbon.....	9
1.5. 1 Potensi Ekologis.....	10
1.5. 2 Potensi Ekonomi	12
1. 6 Penutup.....	13
Bab 2 Konstruksi Berkelanjutan dan Pengelolaan Sisa Bangunan.....	15
2.1 Pendahuluan	15
2.2 Konstruksi Berkelanjutan	16
2.3 Analisis Dampak Penggunaan Material Ramah Lingkungan Pada Konstruksi Bangunan.....	17
2.4 Material Ramah Lingkungan	19
2.5 Pengelolaan Limbah Hasil Konstruksi.....	21
2.6 Metode Pengujian Korosi	22
2.7 Dampak <i>Green Construction</i> Terhadap Lingkungan.....	23
2.8 Penanganan Limbah.....	25
2.9 Cara Mencegah Korosi.....	27
2.10 Penutup.....	29
Bab 3 Perlindungan Korosi Material Dengan Nano Teknologi.....	31

3.1	Pendahuluan	31
3.2	Nano Teknologi	32
3.3	Klasifikasi Bahan Nano	33
	A. Klasifikasi Bahan Nano Berdasarkan Asal Usulnya.....	33
	B. Klasifikasi bahan nano berdasarkan strukturnya konfigurasi/komposisi	34
3.4	Perlindungan korosi material dengan nano teknologi	40
3.5	Penutup.....	45
Bab 4	Pengembangan Metode Proteksi Katodik	47
4.1	Pendahuluan	47
4.2	Prinsip Proteksi Katil (CP).....	49
4.3	Jenis Proteksi Katodik	52
4.4	Metode dan Sistem CP	54
4.5	Peralatan CP	58
4.6	Keunggulan.....	59
4.7	Kelemahan.....	60
4.8	Cara Kerja Proteksi Katodik	61
4.9	Penutup.....	62
Bab 5	Dampak Perubahan Iklim Terhadap Korosi	65
5.1	Pendahuluan	65
	5.1.1 Iklim	65
	5.1.2 Cuaca dan Perubahan Iklim	67
	5.1.3 Apa Saja Alat Pengukur Cuaca / Iklim?.....	68
5.2	Variabilitas.....	73
	5.2.1 Bencana Terkait Cuaca / Iklim	74
	5.2.2 Infrastruktur dan Iklim	75
	5.2.3 Kontribusi Baja Merupakan Kontributor Utama Perubahan Iklim	79
5.3	Dampak Iklim Terhadap Korosi Infrastruktur	82

5.3.1	Bagaimana perubahan iklim mempengaruhi infrastruktur transportasi?	82
5.3.2	Penerbangan bisa menjadi industri yang paling terkena dampak perubahan iklim	83
5.3.3	Dampaknya terhadap jaringan air.....	84
5.3.4	Jembatan harus diperkuat untuk bertahan dari perubahan iklim	86
5.4	Manfaat Iklim dan Cuaca Bagi Kehidupan	87
Bab 6 Korosi dalam Struktur Bangunan Canggih:		89
6.1	Pendahuluan	89
6.2	Bangunan Canggih.....	90
6.3	Kegagalan Struktur Bangunan Canggih.....	97
6.4	Mekanisme Korosi.....	99
6.4.1	Faktor Penyebab / yang Mempercepat Korosi.....	101
6.4.2	Hal-hal yang Terkait Langsung Pada Korosi Baja Tulangan	102
6.4.3	Laju Korosi.....	103
6.4.4	Jenis-jenis Korosi (Panda, 2012)	104
6.5	Korosi pada Struktur Bangunan Canggih	105
6.6	Mencegah Kegagalan Struktur Bangunan Canggih (Jembatan) di Masa Depan	108
6.7	Penutup.....	110
Bab 7 Korosi pada Material Non-logam:		113
7.1	Pendahuluan	113
7.2	Non-Logam	114
7.3	Sifat Fisis dan Sifat Kimia Non Logam	115
7.4	Penggolongan Material Non Logam	116
7.5	Korosi Pada Material Non Logam.....	120
7.6	Perbedaan Korosi Pada Material logam dan Non-Logam	121
7.7	Penyebab dan Dampak Korosi Material Non-Logam.....	121

7.8	Korosi Pada Material Keramik Lantai.....	122
7.9	Korosi Material Plastik/Polimer.....	124
7.10	Korosi Pada Material Kayu	129
Bab 8	Korosi Pada Infrastruktur Transportasi	133
8.1	Pendahuluan	133
8.2	Dampak Korosi	134
8.3	Studi Kasus Korosi Pada Infrastruktur Transportasi	138
8.4	Penutup.....	146
Bab 9	Edukasi dan Pelatihan Tenaga Kerja	149
9.1	Pendahuluan	149
9.2	Pengenalan Korosi terhadap konstruksi.....	150
9.3	Dampak Korosi pada Struktur Konstruksi.....	151
9.4	Keselamatan dan Kesehatan Kerja	157
9.5	Pentingnya Penerapan SMK3 Pada Konstruksi.....	161
9.6	Penutup.....	164
Bab 10	Integrasi Data dan Analitika:	167
10.1	Pendahuluan	167
10.2	Manfaat Integrasi Data dan Analitika	168
10.3	Integrasi Data dalam Konteks Pemeliharaan Korosi	168
10.4	Analitika Data untuk Manajemen Risiko Korosi.....	173
10.5	Model Prediktif untuk Deteksi Dini Korosi	175
10.6	Penutup.....	177
	Daftar Pustaka	1678
	Biografi	188

BAB 1

Inovasi Material Anti-Korosi:

1.1 Pendahuluan

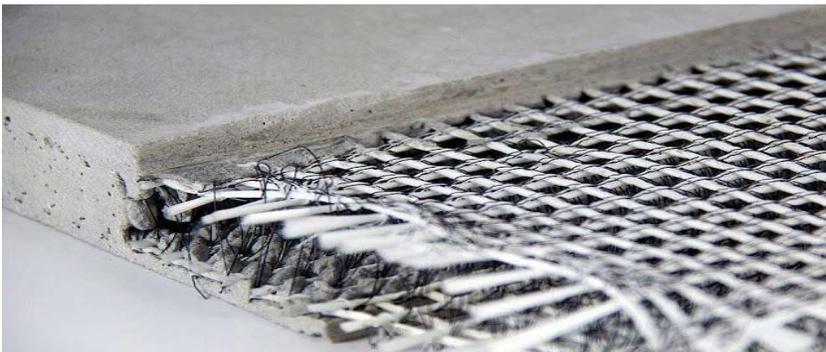
Dengan pengembangan lebih lanjut dari bahan bangunan, keuntungan dari sisipan tulangan untuk menyerap gaya tarik diakui. Pada abad ke-20, dengan meningkatnya industrialisasi dan dorongan cepat untuk inovasi, metode konstruksi beton bertulang yang dikenal saat ini muncul, yang maju menjadi bahan bangunan terpenting di dunia karena sifat teknis dan keunggulan terkait produksinya. Namun, pada saat yang sama, beton bertanggung jawab atas konsumsi sumber daya dan emisi CO₂ yang signifikan. Setiap tahun, sekitar 4,2 miliar ton semen, 28 miliar ton agregat (pasir dan kerikil) dan 2,8 miliar ton air dibutuhkan untuk produksi di seluruh dunia. Untuk produksi semen saja, ini setara dengan tujuh hingga delapan persen emisi CO₂ global. Untuk mencapai target iklim, proporsi beton yang berbahaya bagi lingkungan di industri konstruksi harus sangat dikurangi, meskipun permintaan perumahan dan infrastruktur meningkat. Selama dua dekade terakhir, alternatif praktis untuk beton bertulang telah diteliti dan dikembangkan untuk kematangan aplikasi: beton karbon. Dibandingkan dengan baja,

tulangan karbon berkinerja tinggi memiliki kekuatan tarik sekitar enam kali lebih tinggi dan pada saat yang sama memiliki kepadatan yang berkurang dengan faktor empat. Dengan memanfaatkan sifat-sifat yang ditingkatkan ini, penghematan material sebesar 50 hingga 80% pada beton dimungkinkan, tergantung pada desainnya. Jadi, dari sudut pandang ekologi, beton bertulang karbon adalah bahan bangunan yang jauh lebih masuk akal daripada beton bertulang. Selain itu, baja tulangan dapat menimbulkan korosi. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan struktural besar-besaran, yang pada gilirannya memerlukan Langkah-langkah perbaikan yang luas dengan biaya keuangan yang tinggi. Untuk melindungi tulangan dari korosi di lingkungan alkali beton, diperlukan penutup beton yang tinggi. Secara umum, diasumsikan bahwa bangunan yang terbuat dari beton bertulang memiliki umur sekitar 80 tahun. Penguatan karbon lembam, di sisi lain, tidak harus tunduk pada persyaratan apa pun dalam hal perlindungan korosi, sehingga penutup beton dapat dikurangi hingga minimum yang diperlukan secara statis beberapa milimeter dan masa pakai yang diperpanjang secara signifikan tercapai. Selain itu, beton bertulang karbon tidak memerlukan nilai pH tinggi untuk melindungi tulangan, sehingga proporsi klinker semen dalam pengikat dapat dikurangi dan konsep pengikat yang benar-benar baru dan lebih ekologis juga dimungkinkan sebagai alternatif semen. (curbach, M., Baumgartel, E., Betz, P. F. & Sandman, D., 22 November 2023)

1.2 Beton Tekstil

Di Indonesia, beton tekstil belum lazim digunakan karena beberapa alasan. Serat karbon yang merupakan bahan utama dari inovasi beton ini harganya mahal. Selain itu, material tersebut

masih cukup susah didapat. Silahkan dicek apakah toko material bangunan di dekat rumah kamu sudah menjual material karbon ini? Kemungkinan besar belum. Dalam penerapannya juga, beton ini belum ada standar yang mengatur sehingga masih belum dipercaya untuk dipergunakan sebagai material alternatif. Beton bisa dibuat dari bahan olahan tekstil berupa serat karbon. Sejak awal abad ke 19 bahkan mungkin lebih jauh lagi di zaman Yunani dan Romawi beton sudah menjadi bahan utama dalam membentuk bangunan. Terlepas dari itu semua, beton tekstil ialah jawaban bagi masa depan dunia konstruksi dan desain interior. Dengan beton ini, para profesional tersebut lebih bisa mengekspresikan diri dalam inovasi yang maju. Beton kini terkenal dengan inovasi terdahulunya dengan tulangan baja sehingga disebut beton bertulang.



Gambar 1.1. Beton Bertulang (*Sumber: Heiko Weckbrodt, Jong Singer*)

Tulangan baja pada beton dipercaya melalui riset bisa membuat strukturnya lebih stabil dan kokoh. Tetapi, seiring dengan perkembangan zaman beton tulangan baja ternyata mempunyai timbangan yang berat dan rentan terhadap korosi atau bisa berkarat. Beton tekstil terbukti melalui riset mempunyai kekuatan 6 kali lebih kuat dibandingkan dengan beton biasa,

beton tekstil tidak menggunakan tulangan baja sebagai perkuatannya sehingga bersifat anti korosi, tidak ada baja bisa berkarat pada beton tekstil karna penguatnya adalah serat karbon yang tahan terhadap korosi, dengan campuran khusus yang lebih lembut dan halus, penelitian pada beton tekstil telah berhasil menciptakan beton yang lebih ringan, tipis, dan fleksibel. Di German, seorang profesor di teknik Universitas Dresden telah mengembangkan beton tekstil yang berasal dari olahan material karbon.

Awalnya material karbon yang lunak dibuat menjadi serat dengan bantuan mesin tenun raksasa yang dipintal secara berkala kemudian dilakukan anyaman sesuai dengan arah kekuatan yang bisa diatur. Serat ini sangatlah tipis yaitu 10 kali lebih tipis dari ukuran rambut manusia dengan ukuran kurang lebih 5 mikrometer. Setelah diolah di mesin tenun raksasa, sekitar 50.000 serat karbon tersebut tidak langsung jadi melainkan harus ditambah dengan lapisan pengaku sesuai arah kekuatan yang telah diatur sebelumnya. Hasil akhir dari olahan karbon tersebut adalah 'tulangan' yang baru yang berfungsi mengganti tulangan baja pada umumnya. Dalam penciptaannya, beton tekstil tidak didesain seperti penempatan tulangan baja pada beton melainkan beton tekstil berbentuk anyaman yang fungsinya sebagai penguat stabilitas pada beton. Serat karbon yang sudah jadi diproses dalam waktu 15 menit kemudian anyamannya mengeras sehingga bisa dipotong. Beton normal yang terbuat dari semen, pasir, dan air diinovasikan di universitas ini dengan olahan campuran semen khusus yang sangat halus dan lebih lembut. Produk akhirnya yaitu beton ini nantinya akan mengeras selama waktu 24 jam dalam bentuk yang bisa disesuaikan dengan keperluan. (Manfred Curbach, 2018)

1.3 Serat Karbon

Serat karbon adalah bahan yang terdiri dari serat yang sangat kecil dengan diameter serat $\pm 7 \mu\text{m}$ dan sebagian besar terdiri dari atom karbon. Karakteristik dari serat karbon antara lain: tegangan tarik $360 \pm 50 \text{ kg/mm}^2$, modulus elastisitas $23.500 \pm 1.000 \text{ kg/mm}^2$, massa jenis $1,75 \pm 0,2 \text{ g/cm}^3$. (Sutrisno,2015).

Komposit yang dibuat dari serat karbon lima kali lebih kuat daripada baja untuk komponen struktur, juga masih lima kali lebih ringan. Product Data Sheet Sika Viscocrete-3115 N(2016).(Agus Edy Pramono 2012)

Kandungan serat pada beton menambah kekuatan interlocking antar material penyusun beton, membantu penyaluran dan perambatan beban-beban/gaya-gaya yang bekerja pada beton serta mencegah terjadinya keretakan pada beton, bahkan setelah terjadi keretakan, kandungan serat dapat menjadi jembatan yang menjebatani beban-beban/gaya-gaya yang bekerja pada beton. (Balaguru dan Shah, 1992).

Penggunaan serat dapat meningkatkan kinerja beton, seperti peningkatan penyerapan energi, pengurangan retak plastis pada umur awal, mengontrol retak dan juga mengurangi spalling ketika beton sudah retak. Penggunaan fiber dalam beton juga dapat meningkatkan daktilitas beton dari sifat yang getas menjadi lebih daktil. Keuntungan yang lain adalah dapat meningkatkan kekuatan lentur balok beton. (Antoni, dkk 2007).

Selain itu peningkatan kekuatan beton setelah penambahan serat karbon juga dikarenakan serat karbon sendiri memiliki tegangan tarik/kemampuan menahan beban tarik yang cukup besar, yaitu 3800 MPa atau ± 5 kali lebih besar bila dibandingkan dengan besi baja ($\pm 500 \text{ MPa}$) dan modulus elastisitas 240 GPa (240.000 MPa) hampir sama dengan modulus elastisitas baja

tulangan (200.000 MPa). Peningkatan kuat desak beton juga terus meningkat seiring bertambahnya panjang serat yang dicampurkan, dan hingga panjang 15mm belum mencapai nilai optimum. Serat karbon ini sendiri bisa sangat kuat dan ringan karena terbuat dari 92-99% karbon. Karbon yang melalui berbagai proses mekanis dan perlakuan pemanasan mulai dari 200° C hingga 3000° C saat produksi hingga proses pemintalan, menjadikan molekul-molekul karbon mengkristal dan mengeras. Proses pemanasan ini menjadikan serat karbon mengandung kristal-kristal mikro yang tersebar sedemikian rupa dan memperkuat serat karbon itu sendiri. Kekuatan dan karakteristik serat karbon sangat ditentukan oleh proses perlakuan pemanasan yang nantinya akan berdaMPak pada proses pengkristalan dan sebaran kristal karbon tersebut. (Xiaosong Huang, 2009).

Bahkan dari pengamatan visual didapati serat karbon tidak mengalami kegagalan dalam proses penyaluran beban-beban/gaya- gaya yang bekerja pada beton. Hal itu terlihat dari serat-serat yang masih mampu menahan keruntuhan beton yang sudah hancur. Sehingga beton yang sudah gagal melalui pengujian, secara dominan masih menggumpal menjadi satu kesatuan dan hanya sebagian kecil yang terlepas. Berbeda dengan beton yang tidak menggunakan serat, keruntuhan beton terjadi dengan tiba- tiba dan keruntuhannya semua terlepas.

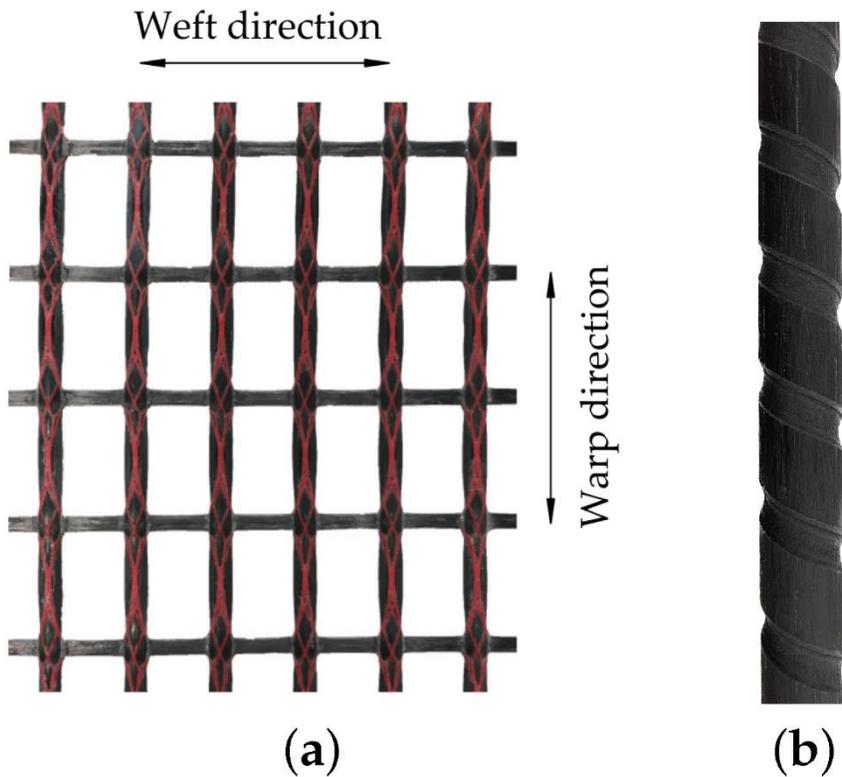
1.4 Balok Beton Bertulang Karbon

Beton saat ini merupakan material terpenting untuk konstruksi perumahan dan infrastruktur. Bahan serbaguna ini telah mengalami evolusi transformatif dengan diperkenalkannya beton bertulang karbon (CRC), yang merupakan bahan komposit dari beton berbutir halus dan penguatan karbon. Akibatnya,

tahan terhadap korosi – fitur utama yang memiliki implikasi luas untuk desain struktural. Ketahanan korosi memberikan keuntungan besar, dengan memungkinkan penutup beton dikurangi seminimal mungkin, karena hanya dihasilkan dari persyaratan ikatan. Berbeda dengan beton bertulang baja, kondisi untuk kepatuhan dengan daya tahan dapat dihilangkan. Fitur ini sendiri mengubah kemungkinan konstruksi, memungkinkan penciptaan anggota dan struktur yang halus dan berdinding tipis, baik datar maupun melengkung. Inovasi ini tidak hanya meningkatkan potensi estetika konstruksi, tetapi juga mengambil lompatan besar menuju konservasi material, yang berperan penting dalam strategi desain berkelanjutan. Intinya, CRC menantang gagasan konvensional tentang anggota yang solid dan memungkinkan strategi konstruksi dan desain yang sepenuhnya baru. (Liebold, F., Wagner, F., Giese, J., Grezesiak, S., de Sousa, C., Beckmann, B., Pahn, M & 3 lainnya 23 Okt 2023)

Matriks semen berkekuatan tinggi yang digunakan untuk penyelidikan ini adalah pemadatan sendiri dan berisi ukuran agregat maksimum 2 mm. Rincian lebih lanjut tentang campuran beton, yang secara eksplisit dikembangkan untuk digunakan dalam CRC, diberikan dalam Kekuatan tekan dan kuat tarik lentur ditentukan pada prisma standar ($160 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$) dilemparkan bersama dengan balok masing-masing ke 107, 4 MPa dan 11, 4 MPa. Modulus rata-rata elastisitas matriks semen telah diselidiki dalam penelitian sebelumnya pada spesimen silinder (rasio tinggi-diameter $h / d = 300 \text{ mm} / 150 \text{ mm}$) dan ditentukan sekitar 44.000 MPa. Mengenai tulangan tekstil planar, kisi-kisi rajutan lungsin dua arah yang terbuat dari benang serat karbon dengan lapisan poliakrilat digunakan. Karena jarak untai

serat yang berbeda dan luas penampang benang, area tulangan dalam arah lungsin secara signifikan lebih tinggi ($141 \text{ mm}^2/\text{m}$) daripada pada arah pakan ($28 \text{ mm}^2/\text{m}$). Sedangkan untuk tulangan berbentuk batang, tulangan dengan profil beralur yang terbuat dari serat karbon dan impregnasi resin epoksi digunakan. Diameter inti, yang juga sesuai dengan diameter yang relevan dengan desain, adalah $8,5 \text{ mm}$, menghasilkan area tulangan 57 mm^2 . Informasi lebih lanjut tentang sifat material tulangan karbon dapat ditemukan pada tabel.



Gambar 1.2 Penguatan Tekstil yang Digunakan dalam Penelitian: (A) Jaringan Karbon; (B) Tulangan Karbon. Ilustrasi (A) Diadaptasi dan (B) Dicitak Ulang dengan Izin dari Ref. 2023, J. Giese.

Tabel 1.1 Karakteristik Penguatan Karbon. Bagian Tabel
Diadaptasi dengan Izin dari Ref. 2023, J. Giese

		Kisi [14]		Tulangan [15]
		Arah Warp	Arah pakan	
Jarak benang aksial	dalam mm	12.7	16.0	
Luas penampang (benang/tulangan)	dalam mm ²	1.81	0.45	57
Kekuatan tarik tertinggi	dalam MPa		2200	1650
Ketegangan pamungkas	dalam ‰		11.3	11.0
Modulus elastisitas	dalam MPa		195,000	151,000

1.5 Keuntungan Ekologis dan Ekonomis dari Beton Bertulang Karbon

Untuk mencapai penghematan yang signifikan di bidang sumber daya dan CO₂ Emisi, perlu untuk menargetkan area produk di industri konstruksi yang mewakili pasar yang besar. Karena beton adalah komoditas kedua yang paling banyak digunakan di dunia setelah air dalam hal volume dan setidaknya 7% dari CO₂ emisi di seluruh dunia dapat dikaitkan dengan semen, Penetrasi pasar yang besar dapat diasumsikan di sini. Untuk penempatan aplikasi beton bertulang karbon di sektor konstruksi beton ini, penting untuk memilih produk yang di satu sisi merupakan produk massal dan di sisi lain sudah dapat digantikan oleh beton bertulang karbon, karena keunggulan beton bertulang karbon lebih besar daripada kerugiannya. Produk massal ini adalah elemen prefabrikasi (elemen dinding dan langit-langit) yang terbuat dari beton bertulang. Mereka memiliki pangsa pasar di Jerman sebesar 34% pada tahun 2020 dan mewakili kelompok terbesar di depan batu bata, beton aerasi, dan batu bata pasir-kapur. Potensi ekologis adalah konsumsi material yang lebih rendah sebesar 50% dan

rentang hidup yang lebih lama hingga 200 tahun secara umum. Potensi ekonomi yang dihasilkan dari ini adalah keuntungan ruang sebesar 15% yang dapat dihasilkan dan biaya pemeliharaan yang dapat dikurangi hingga 50%. Selain itu, ada pengurangan emisi dan dengan demikian menurunkan biaya untuk kompensasi melalui CO2 Sertifikat. CUBE, sebagai hasil dari C3 Proyek, merupakan tonggak penting dalam penggunaan beton bertulang karbon sebagai bahan umum dalam konstruksi. (Susanne Kirmse, Alexander, Kahnt, Frank Scladitz, Manfred Curbach. 07 Mei 2022)

1.5.1 Potensi Ekologis

Sebagai contoh, dampak lingkungan dari metode konstruksi baru dipertimbangkan berdasarkan bagian prefabrikasi dari dinding kotak, elemen beton bertulang karbon yang dirancang sebagai elemen pracetak (semi-). Agar dapat mengevaluasi komponen baru, mereka dibandingkan dengan produk beton pracetak klasik yang biasanya digunakan untuk aplikasi ini (dinding ganda termal pracetak yang terbuat dari beton bertulang). Karena produksi semen, dengan pangsa sekitar 90%, memiliki pengaruh terbesar terhadap potensi pemanasan global beton, ditentukan sebagai berikut sejauh mana bagian semen dalam komponen dapat dikurangi dengan menggunakan metode konstruksi beton karbon untuk aplikasi yang disebutkan. Perhitungan didasarkan pada rasio campuran beton yang digunakan untuk Kubus dan proporsi pasir dan semen dari dinding ganda termal pracetak konvensional yang terbuat dari beton bertulang.

Di dinding luar kotak kubus, dua lempengan beton bertulang karbon prefabrikasi, di luar dan di dalam, diatur.

Setiap panel memiliki ketebalan 4 cm. Dalam konstruksi komparatif pada beton bertulang, panel luar tebal 8 cm dan panel dalam tebal 6 cm. Pelat pracetak Cube yang lebih ramping memungkinkan pengurangan ketebalan sekitar 43%. Meskipun matriks beton dari komponen Cube memiliki kandungan semen yang tinggi dibandingkan dengan campuran untuk produk bangunan klasik, panel ramping menghasilkan penghematan sekitar 20% semen dan sekitar 50% pasir. Namun, ada potensi untuk optimasi dalam komposisi campuran Kubus: jika proses pabrik disesuaikan dan komposisi agregat diubah, proporsi semen yang digunakan dalam Kubus, yang lebih dari 400 kg / m³, dapat dikurangi di masa mendatang menjadi sekitar 350 hingga 400 kg/m³ (tergantung pada persyaratan untuk kualitas beton yang terbuka). Berdasarkan nilai rata-rata 375 kg/m³ dan pengurangan ketebalan pelat dari 4 menjadi 3 cm, penghematan semen sebesar 49,8% dapat direalisasikan untuk elemen dinding pracetak. Potensi penghematan yang divalidasi berdasarkan suku cadang prefabrikasi Cube untuk keadaan aktual desain dan untuk tahap berikutnya yang layak, sekarang harus diilustrasikan sehubungan dengan segmen pasar terkait. Menurut Referensi 30 beton bertulang, yang digunakan sebagai elemen prefabrikasi, ternyata menjadi bahan bangunan dinding yang dominan untuk fasad pada tahun 2019, dengan 51 juta m² dibangun setiap tahun di Jerman. Jika area ini diubah menjadi beton bertulang karbon, 0,45 juta ton semen dapat dihemat (berdasarkan dinding kubus); Dengan optimalisasi yang disebutkan di atas untuk mengurangi kandungan semen dan ketebalan pelat, bahkan 1,14 juta ton semen dapat dihemat.

Semen yang digunakan untuk kedua komponen pembanding tersebut memiliki faktor emisi sebesar 0,803 kg

CO₂/Kg. Akibatnya, untuk penghematan semen yang dihitung sebelumnya sebesar 0,45 juta ton semen, ada CO₂ penghematan 0,36 juta ton CO₂ (elemen pracetak kubus); untuk prediksi penghematan 1,14 juta ton semen (elemen pracetak yang dioptimalkan), 0,91 juta ton CO₂. Berapa nilai penghematan ini sehubungan dengan target iklim Jerman yang ambisius? Pada tahun 2030, 65% gas rumah kaca harus diselamatkan (dibandingkan dengan nilai tahun 1990). Di sektor bangunan saja, emisi tahunan harus dikurangi dengan 51 juta ton CO₂ antara 2020 dan 2030. Kontribusi beton bertulang karbon yang diprediksi sebelumnya untuk ini — berdasarkan bagian kecil fasad pracetak saja — akan menjadi 0,7% jika dinding kubus digunakan sebagai pengganti beton bertulang. Memperbaiki konstruksi dinding kubus seperti yang dijelaskan menghasilkan kontribusi sebesar 1,8%. Pelat langit-langit yang diuji dalam Cube lebih lanjut menggambarkan potensi ekologis yang tinggi dari metode konstruksi baru, 43% lebih sedikit penggunaan sumber daya dibandingkan dengan pelat langit-langit konvensional; Selain itu, pangsa pasar plafon beton pracetak dua kali lebih besar dari dinding pracetak. (Susanne Kirmse, Alexander, Kahnt, Frank Scladitz, Manfred Curbach. 07 Mei 2022)

1.5.2 Potensi Ekonomi

Penggunaan beton karbon skala besar tergantung, di samping kapasitas produksi yang diperlukan, sangat banyak pada keuntungan ekonominya; Baik biaya investasi maupun keuntungan serta potensi penghematan biaya yang dihasilkan dalam fase operasi harus diatasi. Untuk biaya investasi, penting untuk dapat mencapai struktur biaya yang serupa dalam pembuatan komponen dengan produk terkemuka di pasar; ini

diilustrasikan dengan menggunakan contoh dinding ganda CUBE-BOX di Bagian dan kemungkinan daya saing ditunjukkan. Perbandingan sistem dinding juga menunjukkan kemungkinan keuntungan area konstruksi setidaknya 13,6% (cangkang 4 cm) dan 18,2% (cangkang 3 cm). Dalam contoh 44 cm SYSPRO-PART hingga 27 cm CUBE-BOX, gain di area konstruksi adalah 38,6%. Area ini tersedia untuk pemasaran, tetapi juga selama masa operasi bangunan sebagai ruang tambahan bagi pengguna dan pada gilirannya dapat berkontribusi pada pembiayaan kembali bangunan yang lebih mudah dan dengan demikian mengarah pada harga sewa yang lebih rendah. Dengan contoh luas lantai 96 m² (12 m × 8 m), ini mengarah pada peningkatan luas lantai sebesar 6,8%, yang berarti bahwa setiap 16 (12 m × 8 m) contoh ruang lantai tidak perlu dibangun. Aspek masa pakai yang lebih lama (faktor 2) memainkan peran penting, terutama untuk komponen yang sangat tertekan; Ini dapat mengurangi biaya perbaikan dan meningkatkan interval untuk penggantian baru. Namun, cakrawala investasi dalam konstruksi bangunan jarang >50 tahun, sehingga daya tahan tinggi adalah properti yang sangat baik, tetapi tidak akan dimanfaatkan sebagai potensi ekonomi. Hanya melalui arsitektur abadi masa pakai beton bertulang karbon dapat dimanfaatkan dan dengan demikian potensi ekonominya ditingkatkan. (Susanne Kirmse, Alexander, Kahnt, Frank Scladitz, Manfred Curbach. 07 Mei 2022)

1.6 Penutup

Beton tekstil terbukti melalui riset mempunyai kekuatan lebih kuat dibandingkan dengan beton biasa. Beton tekstil tidak menggunakan tulangan baja sebagai perkuatannya sehingga bersifat anti korosi. Dengan campuran khusus yang lebih lembut dan halus, penelitian pada beton tekstil telah berhasil

menciptakan beton yang lebih ringan, tipis dan fleksibel. Dengan kelebihan tersebut beton tekstil yang mempunyai komponen lebih sedikit maka dalam proses pembuatannya beton ini lebih hemat biaya, energi dan berperan dalam mengurangi emisi energi seperti CO₂. Dengan keunggulannya, beton tekstil yang tipis, ringan namun kokoh bisa merangsang inovator konstruksi untuk bisa menciptakan inovasi lainnya di masa depan

Konstruksi Berkelanjutan dan Pengelolaan Sisa Bangunan

2.1 Pendahuluan

Pemilihan material konstruksi berperan penting dalam penerapan konsep konstruksi berkelanjutan. Dengan bijak memilih material, masyarakat dapat berperan aktif untuk mengurangi jejak karbon yang menjadi pemicu utama polusi serta menciptakan lingkungan yang sehat dan berkelanjutan. Material ramah lingkungan seperti bambu dikelola secara berkelanjutan. Batu bata dan genteng daur ulang dapat mengurangi dampak negatif pada lingkungan. Penggunaan material ramah lingkungan pada konstruksi bangunan dapat mengurangi emisi karbon. Material beton dan baja menghasilkan emisi karbon yang besar dalam proses produksinya

Peningkatan fokus pada konstruksi berkelanjutan dan penggunaan material ramah lingkungan merupakan langkah penting dalam mengurangi dampak korosi terhadap lingkungan. Konstruksi berkelanjutan berfokus pada pembangunan hunian

yang mempertimbangkan dampak lingkungan, efisiensi energi, serta kesejahteraan manusia. Tujuan utamanya adalah untuk mengurangi jejak karbon yang menjadi pemicu utama pemanasan global serta menciptakan lingkungan hunian yang sehat dan nyaman.

2.2 Konstruksi Berkelanjutan

Konstruksi Berkelanjutan atau *Sustainable Construction* merupakan istilah yang semakin sering kita dengar dalam beberapa tahun terakhir.

a) Sejarah Konstruksi Berkelanjutan:

- Konsepsi awal mengenai **Konstruksi Berkelanjutan** tidak terlepas dari istilah **Pembangunan Berkelanjutan** yang pertama kali muncul pada tahun 1987 dalam laporan berjudul "*Our Common Future*" dari **Komisi Brundtland**. Laporan ini mencari solusi untuk mengatasi masalah degradasi lingkungan akibat aktivitas pembangunan.
- Beberapa pemikiran yang melandasi laporan tersebut termasuk tulisan **Rachel Carson** tentang pencemaran industri, publikasi **Garret Hardin** tentang "*Tragedy of the Commons*," dan laporan **Club of Rome** berjudul "*Limits to Growth*."
- Istilah "sustainable" atau "berkelanjutan" pertama kali digunakan oleh **Club of Rome** dengan tujuan menciptakan model output yang mampu memenuhi kebutuhan dasar semua orang tanpa mengalami keruntuhan yang tidak terkendali.
- Dalam konteks internasional, konsep pembangunan berkelanjutan muncul secara tersirat pada **United Nations Conference on the Human Environment** di Stockholm, Swedia pada tahun 1972.

b) **Penerapan Konstruksi Berkelanjutan:**

- Dalam pembangunan berkelanjutan, kita perlu memperhatikan integrasi lingkungan, ekonomi, dan sosial selama proses perencanaan, pelaksanaan konstruksi, dan operasi pemeliharaan lingkungan terbangun.
- Beberapa langkah yang dapat diambil untuk menerapkan konstruksi berkelanjutan meliputi:
 - **Efisiensi dalam Desain:** Memastikan desain efisien dan ramah lingkungan.
 - **Efisiensi dalam Material:** Mengurangi sisa material yang berlebihan.
 - **Fleksibilitas Bangunan:** Membuat bangunan yang dapat beradaptasi dengan berbagai kebutuhan di masa depan.
 - **Efisiensi Biaya Operasional:** [Mengelola biaya operasional secara efisien](#).

Dengan memperhatikan prinsip-prinsip ini, kita dapat membangun sektor konstruksi yang berkelanjutan dan bertanggung jawab terhadap lingkungan.

2.3 Analisis Dampak Penggunaan Material Ramah Lingkungan Pada Konstruksi Bangunan

Penggunaan material ramah lingkungan dapat dilakukan pada konstruksi bangunan. Kelayakan dalam konteks ini meliputi aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial. Kelayakan ekonomi berkaitan dengan biaya material ramah lingkungan dalam konstruksi. Kelayakan lingkungan berkaitan dengan dampak lingkungan dari penggunaan material tersebut. Dan kelayakan sosial berkaitan dengan dampak penggunaan material tersebut pada masyarakat.

1. Aspek kelayakan ekonomi

Dalam hal kelayakan ekonomi, penggunaan material ramah lingkungan sering dianggap lebih mahal. Namun, biaya ini bisa dikompensasi dengan efisiensi energi dan rendahnya biaya pemeliharaan. Selain itu, semakin banyak permintaan akan material ramah lingkungan dengan harga terjangkau. Selain itu, penggunaan material ramah lingkungan memberikan nilai tambah pada properti. Konsumen yang peduli dengan lingkungan tertarik pada bangunan yang menggunakan material ramah lingkungan. Sehingga, penggunaan material ramah lingkungan dapat meningkatkan nilai properti pasar.

2. Aspek kelayakan lingkungan

Penggunaan material ramah lingkungan pada konstruksi bangunan memiliki sifat berkelanjutan dan tahan lama. Material ramah lingkungan seperti bambu dikelola secara berkelanjutan. Batu bata dan genteng daur ulang dapat mengurangi dampak negatif pada lingkungan.

Penggunaan material ramah lingkungan pada konstruksi bangunan dapat mengurangi emisi karbon. Material beton dan baja menghasilkan emisi karbon yang besar dalam proses produksinya. Sedangkan, kayu dan bambu memiliki tingkat emisi karbon yang lebih rendah.

Kelayakan lingkungan menjadi fokus utama penggunaan material ramah lingkungan dalam konstruksi bangunan. Kayu yang diperoleh dari hasil pengelolaan hutan. Beton ramah lingkungan menjadi bahan tambahannya dapat mengurangi dampak negatif pada lingkungan. Selain itu, material ramah lingkungan juga membantu mengurangi emisi gas

rumah kaca. Kelayakan sosial juga mempengaruhi pemakaian material ramah lingkungan pada konstruksi bangunan. Penggunaan material ramah lingkungan dapat menciptakan lapangan kerja dan mengurangi ketergantungan sumber daya alam.

Penggunaan material ramah lingkungan pada konstruksi bangun berdampak pada kelayakan ekonomi, lingkungan, dan sosial. Biaya material ramah lingkungan dapat dikompensasi dengan efisiensi energi dan rendahnya biaya pemeliharaan. Dalam jangka panjang, penggunaan material ramah lingkungan menciptakan kesempatan kerja bagi masyarakat lokal. Oleh karena itu, penggunaan material ramah lingkungan menjadi prioritas di masa depan.

2.4 Material Ramah Lingkungan

Material ramah lingkungan dapat membantu mengurangi dampak korosi terhadap lingkungan. Beberapa material ramah lingkungan yang dapat digunakan untuk mengurangi dampak korosi terhadap lingkungan antara lain:

1. **Baja Tahan Karat:** Baja tahan karat merupakan material yang tahan terhadap korosi dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi. Baja tahan karat memiliki kandungan kromium yang tinggi, yang membentuk lapisan oksida yang melindungi baja dari korosi.
2. **Bambu:** Bambu merupakan material yang ramah lingkungan dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi. Bambu memiliki sifat tahan air dan tahan terhadap korosi.
3. **Beton Ramah Lingkungan:** Beton ramah lingkungan adalah beton yang dibuat dengan menggunakan bahan-bahan yang ramah lingkungan. Beton ramah lingkungan

datap mengurangi emisi karbon dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi .

4. **Kayu Tahan Air:** Kayu tahan air merupakan material yang tahan terhadap korosi dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi. Kayu tahan air memiliki sifat tahan air dan tahan terhadap serangan hama .
5. **Kaca Laminasi:** Kaca laminasi merupakan material yang tahan terhadap korosi dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi. Kaca laminasi memiliki lapisan film yang melindungi kaca dari korosi .
6. **Plastik Ramah Lingkungan:** Plastik ramah lingkungan adalah plastik yang dibuat dengan menggunakan bahan-bahan yang ramah lingkungan. Plastik ramah lingkungan dapat mengurangi emisi karbon dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi .



Korosi adalah proses perusakan material, terutama logam, akibat reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungan sekitar. Proses korosi umumnya terjadi karena logam berusaha mencapai keadaan alaminya yang stabil, yang sering kali berarti kembali ke

bentuk oksida atau sulfida aslinya. Korosi adalah proses perusakan material, terutama logam, akibat reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungan sekitar. Proses korosi umumnya terjadi karena logam berusaha mencapai keadaan alaminya yang stabil, yang sering kali berarti kembali ke bentuk oksida atau sulfida aslinya.

2.5 Pengelolaan Limbah Hasil Konstruksi

Pengelolaan limbah hasil konstruksi merupakan aspek penting dalam pembangunan yang berkelanjutan. Dalam konsep sustainable building, perlu ada integrasi antara lingkungan, ekonomi, dan sosial selama proses perencanaan, pelaksanaan konstruksi, dan operasi pemeliharaan suatu lingkungan terbangun. Salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah manajemen sumber material dan sampah/sisa material konstruksi .

1. Beberapa langkah yang dapat diambil dalam pengelolaan sisa bangunan meliputi:
2. Salvage: Tindakan memindahkan sampah dan sisa material konstruksi dari lokasi proyek untuk dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA), dijual, atau disumbangkan kepada pihak ketiga .
3. Pemanfaatan Material Sisa: Memanfaatkan material sisa untuk digunakan kembali dalam pembangunan. Ini dapat mencakup penggunaan material bekas bangunan atau komponen lama yang masih layak digunakan .
4. Pengelolaan Limbah: Pengelolaan limbah hasil konstruksi dilakukan melalui tiga tahap: primary, secondary, dan tertiary treatment. Perusahaan disarankan untuk memantau dan mengawasi

pelaksanaan pengelolaan limbah agar menciptakan lingkungan kerja yang aman .

Dengan mengoptimalkan pengelolaan sisa bangunan, kita dapat berkontribusi pada pembangunan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. 🌱🏠

2.6 Metode Pengujian Korosi

Pengujian korosi merupakan proses penting dalam mengevaluasi sifat korosi suatu material dan kinerja sistem proteksi korosi. Ada beberapa metode yang digunakan untuk menguji korosi, masing-masing memiliki kelebihan dan kelemahan tergantung pada jenis material, lingkungan yang terlibat, dan tujuan pengujian.

Berikut adalah beberapa metode pengujian korosi yang umum digunakan:

1. Uji Berat Hilang

Metode uji berat hilang melibatkan penimbangan material sebelum dan setelah terpapar lingkungan korosif. Material yang diperiksa biasanya terpapar lingkungan yang menyebabkan korosi, seperti larutan garam atau asam, selama periode waktu tertentu. Perbedaan berat sebelum dan setelah paparan dapat digunakan untuk menghitung tingkat korosi yang terjadi.

2. Uji Polarizasi

Uji polarisasi adalah metode elektrokimia yang digunakan untuk mengukur laju korosi dengan menganalisis respons polarisasi dari elektroda logam yang terpapar lingkungan korosif. Metode ini melibatkan pengukuran arus dan potensial selama proses korosi terjadi. Uji polarisasi digunakan untuk memahami sifat elektrokimia material dan menganalisis mekanisme korosi yang terjadi.

3. Uji Perubahan Dimensi

Metode uji perubahan dimensi digunakan untuk mengukur perubahan dimensi atau ketebalan material akibat korosi. Material yang terpapar lingkungan korosif dianalisis untuk mengukur perubahan dimensi atau beratnya. Metode ini sering digunakan untuk mengevaluasi sifat korosi material yang diterapkan dalam lingkungan yang berbeda-beda.

4. Uji Sifat Mekanik

Uji sifat mekanik dilakukan untuk mengevaluasi perubahan sifat mekanik material akibat korosi. Metode ini melibatkan pengujian kekuatan tarik, kekerasan, atau ketangguhan material sebelum dan setelah terpapar lingkungan korosif. Perubahan dalam sifat-sifat mekanik material dapat memberikan informasi penting tentang dampak korosi terhadap kinerja material.

5. Uji Spektroskopi

Uji spektroskopi digunakan untuk menganalisis perubahan komposisi kimia dan struktur material akibat korosi. Metode ini meliputi teknik seperti spektroskopi massa, spektroskopi inframerah, dan spektroskopi X-ray, yang dapat memberikan informasi mendalam tentang perubahan struktur dan komposisi material yang terkena korosi.

2.7 Dampak *Green Construction* Terhadap Lingkungan

Konstruksi Hijau Konstruksi hijau adalah tren yang berkembang pesat dalam industri konstruksi, dengan meningkatnya penekanan pada praktik keberlanjutan dan ramah lingkungan. Ini berusaha untuk mengurangi dampak negatif dari bahan dan proses bangunan tradisional terhadap lingkungan dengan menggunakan metode yang lebih efisien yang meminimalkan limbah dan polusi. Dengan memanfaatkan

sumber daya terbarukan, konstruksi hijau terbukti meningkatkan kualitas udara, menghemat energi, bahkan mengurangi pemanasan global.

Manfaat konstruksi hijau melampaui perlindungan lingkungan saja. itu juga dapat membantu bisnis untuk menghemat uang melalui pengurangan biaya tenaga kerja, bahan dan peralatan. Selain itu, berinvestasi dalam proyek infrastruktur berkelanjutan dapat memberikan stimulus ekonomi ke suatu daerah dengan menciptakan lapangan kerja dalam jangka panjang. Bangunan hijau biasanya lebih sehat bagi penghuninya juga karena peningkatan kualitas udara dalam ruangan yang dicapai melalui sistem ventilasi yang lebih baik dan menghindari bahan kimia atau polutan berbahaya.

Pengurangan Polusi Pengurangan Polusi merupakan masalah penting yang perlu ditangani untuk memastikan lingkungan yang aman dan sehat untuk semua. Dengan maraknya konstruksi hijau, banyak yang mencari tahu apakah metode ini dapat membantu mengurangi pencemaran lingkungan.



Konstruksi hijau menggunakan praktik dan bahan yang berkelanjutan untuk menciptakan bangunan dengan dampak lingkungan yang berkurang. Artikel ini akan mengeksplorasi cara konstruksi hijau mengurangi polusi dan bagaimana hal itu dapat bermanfaat bagi kesehatan planet kita. Konstruksi hijau berfokus pada meminimalkan penggunaan sumber daya alam sambil menggunakan sumber daya terbarukan sebagai gantinya. Ini berarti lebih sedikit polutan yang dilepaskan ke udara dari pembakaran bahan bakar fosil, mengurangi emisi secara signifikan. Selain itu, Green Construction melibatkan penggunaan bahan bangunan ramah lingkungan seperti produk daur ulang seperti baja atau kayu yang disertifikasi oleh Forest Stewardship Council (FSC).

Efisiensi Energi & Energi Terbarukan Efisiensi energi dan energi terbarukan adalah dua topik terpenting dalam konstruksi hijau. Saat bangunan dan kota semakin terhubung, kebutuhan untuk mengurangi konsumsi energi sambil meningkatkan sumber energi terbarukan menjadi semakin penting.

Penelitian menunjukkan bahwa konstruksi hijau dapat menyebabkan pengurangan yang signifikan dalam jumlah energi yang digunakan dalam bangunan dan juga dapat membantu mengurangi emisi karbon secara keseluruhan. Proyek bangunan hijau berfokus pada penggunaan bahan dan metode yang memastikan penggunaan sumber daya yang efisien seperti air, listrik, panas, dan penerangan.

Sumber energi terbarukan seperti tenaga surya, tenaga angin, tenaga panas bumi, tenaga air, sel bahan bakar biomassa dan bentuk energi terbarukan lainnya dapat dimasukkan ke dalam desain bangunan hijau untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

2.8 Penanganan Limbah

Penanganan limbah merupakan bagian integral dari konstruksi hijau dan lingkungan. Teknik pengelolaan limbah

yang tepat dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dari proyek konstruksi, sehingga mengurangi biaya keseluruhannya. Membuang bahan limbah dengan cara yang efektif memerlukan perencanaan dan pertimbangan yang cermat untuk memastikan bahwa semua potensi bahaya ditangani. Untuk mencapai penanganan limbah yang efisien, perusahaan konstruksi harus mempertimbangkan berbagai faktor seperti undang-undang, peraturan, dan kebijakan setempat yang berkaitan dengan pembuangan limbah, jenis bahan limbah yang ditangani, kebutuhan penyimpanan, pertimbangan transportasi, persyaratan pemrosesan untuk menggunakan kembali atau mendaur ulang bahan dan metode untuk membuang bahan berbahaya secara aman. Penggunaan teknik yang tepat selama proyek akan membantu memastikan bahwa kerusakan lingkungan yang diakibatkannya dapat diminimalkan.

Manfaat lingkungan yang diperoleh dari praktik konstruksi hijau dapat diperkuat dengan memasukkan strategi penanganan limbah yang tepat ke dalam setiap tahapan proses.

Daur Ulang & Bahan Bangunan Daurlang adalah bagian penting dari konstruksi hijau, dan dampaknya terhadap lingkungan tidak dapat diabaikan. Bahan bangunan, termasuk baja, beton, aluminium, batu bata, dan plastik semuanya dapat didaur ulang untuk menciptakan bahan baru yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Dengan menggunakan bahan daur ulang alih-alih bahan perawan dalam proyek konstruksi, pembangun dapat mengurangi jejak karbon mereka secara signifikan.

Dalam hal mendaur ulang bahan bangunan seperti baja dan aluminium, pabrikan menggunakan teknologi seperti proses peleburan atau peleburan untuk mengubah scrap menjadi bentuk yang dapat digunakan. Proses ini juga mengurangi jumlah energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan bahan yang sama dari sumber mentah. Ini membantu melestarikan sumber

daya alam seperti batu bara atau minyak yang digunakan untuk memproduksi barang-barang yang tidak dapat didaur ulang.

2.9 Cara Mencegah Korosi

Mencegah korosi merupakan langkah penting untuk mempertahankan integritas dan umur panjang material, terutama logam, yang terpapar lingkungan korosif. Ada berbagai cara yang dapat dilakukan untuk mencegah korosi, baik melalui penggunaan material yang tahan korosi maupun dengan menerapkan teknik perlindungan dan pemeliharaan yang tepat.

Berikut adalah cara utama yang efektif untuk mencegah korosi:

1. Pelapisan dan Pelindung

Salah satu cara paling umum untuk mencegah korosi adalah dengan melapisi permukaan logam dengan bahan pelindung atau pelapis yang tahan korosi. Pelapisan dapat berupa cat pelindung, lapisan seng, lapisan krom, atau lapisan lain yang dapat mencegah akses zat korosif ke permukaan logam. Pelapisan juga dapat dilakukan dengan menggunakan metode elektroplating atau galvanisasi, di mana logam pelindung seperti seng atau krom dideposisikan secara elektrokimia pada permukaan logam.

2. Pemilihan Material yang Tahan Korosi

Memilih material yang tahan korosi adalah langkah penting dalam mencegah kerusakan yang disebabkan oleh korosi. Penggunaan logam atau paduan logam yang memiliki ketahanan terhadap lingkungan korosif dapat mengurangi risiko terjadinya korosi. Beberapa contoh material tahan korosi meliputi stainless steel, aluminium, titanium, dan paduan khusus seperti inconel dan monel.

3. Pengendalian Lingkungan

Pengendalian lingkungan di sekitar material juga merupakan langkah penting dalam mencegah korosi. Memantau dan mengontrol faktor-faktor lingkungan seperti kelembaban, suhu, pH, dan keberadaan zat korosif dapat membantu mengurangi risiko terjadinya korosi. Penggunaan pelapis anti-korosi atau lingkungan yang dikendalikan secara khusus juga dapat membantu dalam mencegah terjadinya korosi.

4. Teknik Proteksi Katodik

Proteksi katodik adalah teknik di mana logam yang diinginkan dilindungi dari korosi dengan membuatnya bertindak sebagai katoda dalam sel elektrokimia. Teknik ini sering digunakan dalam industri perkapalan dan minyak, di mana logam yang rentan terhadap korosi seperti besi atau baja dilindungi dengan menghubungkannya ke anoda aktif, seperti magnesium atau aluminium, yang lebih mudah teroksidasi.

5. Pemeliharaan dan Inspeksi Rutin

Melakukan pemeliharaan dan inspeksi rutin pada material dan struktur yang terpapar korosi dapat membantu mendeteksi kerusakan sejak dini dan mencegah perburukan kondisi. Pembersihan, pelumasan, dan perbaikan permukaan yang rusak atau tergores dapat membantu memperpanjang umur material dan mencegah terjadinya korosi secara berkelanjutan.

Dengan menerapkan langkah-langkah pencegahan yang tepat, kita dapat mengurangi risiko terjadinya korosi dan memastikan integritas material dalam jangka waktu yang lebih lama. Kombinasi dari teknik perlindungan material, pengawasan lingkungan, dan pemeliharaan rutin dapat membantu meminimalkan dampak negatif dari korosi pada infrastruktur, peralatan, dan struktur logam lainnya.

2.10 Penutup

Dalam kesimpulannya, korosi merupakan proses penting yang dapat menyebabkan kerusakan material, terutama logam, akibat interaksi dengan lingkungan korosif. Proses korosi dapat memengaruhi berbagai sektor, termasuk industri, infrastruktur, teknologi, dan kehidupan sehari-hari. Penggunaan material ramah lingkungan pada konstruksi bangunan berdampak positif pada aspek ekonomi dan layanan. Penggunaan material ramah lingkungan dapat mengurangi biaya perawatan dan perbaikan jangka panjang. Selain itu, penggunaan material ramah lingkungan memberikan nilai tambah kesadaran konsumen terhadap lingkungan. Penggunaan material ramah lingkungan juga bersifat berkelanjutan. Material seperti bambu, kayu, batu bata dan genteng dapat mengurangi emisi karbon.. Namun, penggunaan material ramah lingkungan memakan biaya produksi tinggi, keterbatasan, dan persyaratan standarisasi.

Perlindungan Korosi Material dengan Nano Teknologi

3.1 Pendahuluan

Kebutuhan bahan material bangunan yang tahan lama menjadi poin yang utama di dalam mendukung pembangunan infrastruktur. Karena, seiring waktu penggunaan infrastruktur secara terus menerus akan mengalami penurunan kualitas pada aspek kekuatan dan daya tahannya.

Salah satu faktor yang mempengaruhi daya tahan bangunan adalah adanya korosi. Korosi adalah kerusakan atau kehancuran material akibat adanya reaksi kimia di sekitar lingkungannya yang akan berdampak pada umur layanan suatu bangunan. Hal ini umumnya terjadi pada logam, paduan, polimer, kayu, kaca dan keramik karena interaksi bahan dengan polutan, limbah, limbah industri, kotoran manusia, limbah biologis, limbah kota, air laut, lingkungan lembab, hujan asam, emisi, bahan kimia, produk samping, mikro-organik dan makro-organisme serta sinar matahari (radiasi UV) dan panas. Bahan mempunyai struktur antarmuka sehingga mempunyai batas butir dan retakan antar muka. Faktor lain seperti pengotor,

morfologi permukaan dan ketidaksempurnaan kisi pada struktur material juga dapat meningkatkan laju korosi.

Untuk mengatasi hal tersebut, maka inovasi terhadap peningkatan kualitas bahan material bangunan menjadi perhatian yang utama. Ada beberapa teknik yang diterapkan untuk mengurangi korosi dan meningkatkan umur material. Baru-baru ini material berstruktur nano digunakan untuk perlindungan korosi pada material. Metode yang diterapkan untuk pengendalian korosi seperti teknik perawatan permukaan, pelapisan film tipis nano-komposit, pelapisan lapisan atas dan pelapisan penghalang termal. Analisis hasil pengujian menunjukkan bahwa bahan nano secara signifikan mengurangi laju korosi bahan dibandingkan dengan metode perlindungan korosi konvensional. Perlindungan korosi dipelajari dengan bantuan material nano.

3.2 Nano Teknologi

Nanoteknologi berkaitan dengan objek berukuran antara 1 dan 100 nm. 1-Nanometer = 1×10^{-9} m. Teknologi nano dapat didefinisikan sebagai desain, karakterisasi, produksi dan penerapan struktur, perangkat dan sistem dengan mengendalikan bentuk dan ukuran pada skala nano. Nanoteknologi membutuhkan teknik pencitraan canggih untuk mempelajari dan meningkatkan perilaku material dan untuk merancang dan memproduksi bahan bubuk, cairan atau padatan yang sangat halus dengan ukuran partikel antara 1 dan 100 nm, yang dikenal sebagai partikel nano. (Nuryadin, Bebeh Wahid, 2020)

Nanomaterial dapat didefinisikan sebagai zat fisik yang memiliki setidaknya satu dimensi–9 antara 1...150 nm (1 nm = 10^{-9} m). Sifat bahan nano bisa sangat berbeda dengan sifat bahan yang sama–6 –6 –3 skala mikro (10⁻⁶ m) atau skala makro (10⁻³ ...10⁻¹ m). Ilmu nano mewakili studi tentang fenomena dan manipulasi material pada skala nano dan merupakan perpanjangan dari

ilmu-ilmu umum ke dalam skala nano. Nanoteknologi adalah penciptaan bahan dan perangkat dengan mengendalikan materi pada tingkat atom, molekul, dan struktur supramolekul (skala nano) (Elok Fidiani, Ph.D, 2024).

Nanoteknologi adalah penggunaan partikel material yang sangat kecil baik secara mandiri maupun dengan manipulasinya untuk menghasilkan material baru dalam skala besar. Nanoteknologi bukanlah ilmu baru dan bukan pula teknologi baru. Ini lebih merupakan perpanjangan dari ilmu pengetahuan dan teknologi. Teknologi ini memungkinkan kami mengembangkan material dengan sifat yang lebih baik atau dapat digunakan untuk menghasilkan material yang benar-benar baru. Nanoteknologi berurusan dengan partikel pada skala nano, yaitu 10 m. Pada “skala nano”, dunia berbeda dengan “skala makro”, misalnya gravitasi menjadi tidak penting, gaya elektrostatis mengambil alih, dan muncul efek kuantum. Ketika partikel menjadi berukuran nano, proporsi atom di permukaan meningkat relatif terhadap atom di dalamnya yang mengarah ke efek nano, yang pada akhirnya menentukan semua sifat yang kita kenal pada “skala makro” dan disinilah kekuatan nanoteknologi berperan. Berikut ini adalah penerapan utama nanoteknologi di bidang Pengobatan nano, Lingkungan, Energi, Baterai nano, Informasi dan komunikasi, Industri berat dll. Dalam beberapa tahun terakhir nanoteknologi juga mendapatkan popularitas di bidang Teknik Sipil dan konstruksi.

3.3 Klasifikasi Bahan Nano

Bahan nano dapat dikategorikan berdasarkan tempat asal dan konfigurasi strukturalnya.

A. Klasifikasi Bahan Nano Berdasarkan Asal Usulnya

Nanopartikel alami dan buatan adalah dua kelompok dimana bahan nano dibagi berdasarkan asal.

1. Bahan nano alami

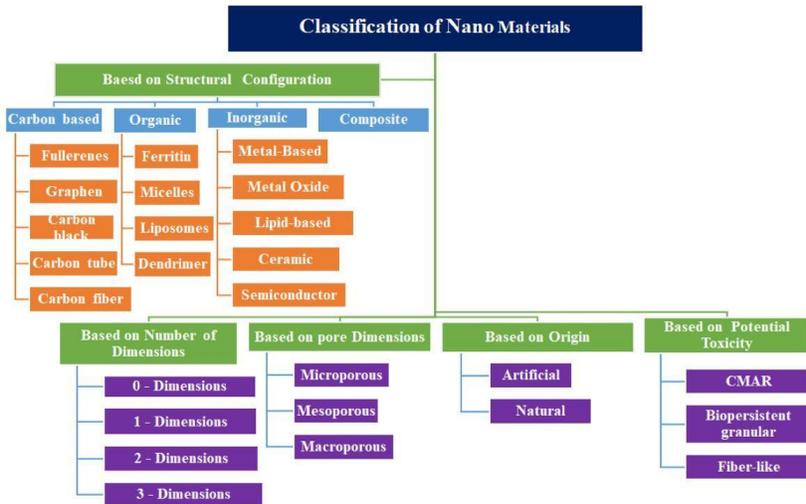
Bahan nano alami dapat ditemukan dalam berbagai bentuk di alam, termasuk virus, molekul protein, mineral seperti tanah liat, koloid alami seperti susu dan darah (koloid cair), kabut (tipe aerosol), gelatin (tipe gel), bahan alami termineralisasi seperti cangkang, koral dan tulang, sayap serangga dan opal, sutera laba-laba, daun teratai, kaki tokek, abu vulkanik, dan semburan laut (S. Khan, MK Hossain, Dalam Komposit Polimer Berbasis Nanopartikel. Woodhead, London; 2022, 15.)

2. Bahan nano buatan

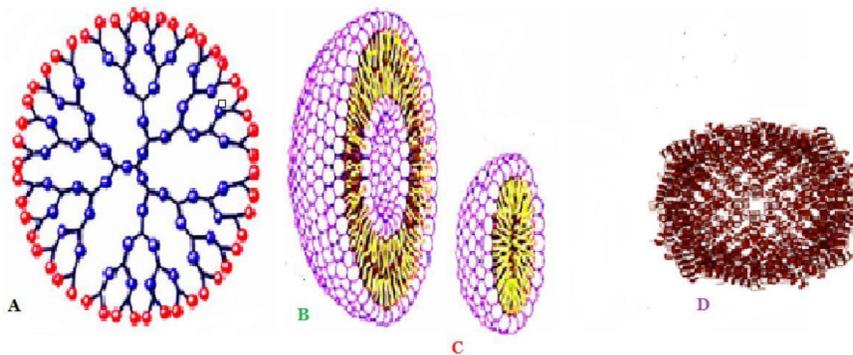
Tabung nano karbon dan nanopartikel semikonduktor seperti titik kuantum (QDs) adalah contoh material nano buatan yang dibuat secara sadar menggunakan prosedur mekanis dan manufaktur yang tepat. Nanomaterial dikategorikan sebagai material berbasis logam, dendrimer, atau komposit tergantung pada susunan strukturalnya, (Bawoke Mekuye, Birhanu Abera, 2023)

B. Klasifikasi bahan nano berdasarkan strukturnya konfigurasi/komposisi

Berdasarkan susunan strukturalnya, nanopartikel secara garis besar dapat dibagi menjadi empat kelompok: organik/dendrimer, anorganik, berbasis karbon, dan komposit.



Gambar 3.1 Klasifikasi Umum Bahan Nano
(onlinelibrary.wiley.com, 2023)



Gambar 3.2. Bahan Nano Organik: A. dendrimer, B. liposom, C. misel, D. feritin (researchgate.net, 2020).

1. Bahan nano organik

Pada skala nano, senyawa organik diubah menjadi bahan nano organik. Beberapa contoh nanopartikel atau polimer organik adalah liposom, dendrimer, misel, dan feritin. Nanopartikel non-toksik yang dapat terbiodegradasi yang dikenal sebagai misel nanokapsul

dan liposom memiliki bagian dalam berongga dan sensitif terhadap panas, radiasi elektromagnetik, dan cahaya. Permukaan dendrimer dilapisi dengan banyak lapisan ujung rantai yang dapat melakukan reaksi kimia tertentu. Dendrimer digunakan dalam pengenalan molekuler, penginderaan nano, pemanenan cahaya, dan sistem optoelektrokimia. Selain itu, karena dendrimer tiga dimensi (3D) memiliki lubang internal yang dapat menampung molekul tambahan, dendrimer tersebut mungkin berguna untuk pemberian obat.

2. Bahan nano anorganik

Nanopartikel anorganik merupakan nanopartikel yang tidak memiliki atom karbon dan dikenal sebagai nanopartikel anorganik. Nanopartikel anorganik biasanya diklasifikasikan sebagai nanopartikel berbasis logam atau berbasis oksida logam.

a. Nanopartikel berbasis logam

Nanopartikel berbasis logam dapat disintesis melalui proses destruktif atau konstruktif. Aluminium (Al), cadmium (Cd), kobalt (Co), tembaga (Cu), emas (Au), besi (Fe), timbal (Pb), perak (Ag), dan seng (Zn) merupakan bahan logam yang sering digunakan dalam sintesis nanopartikel. Karena efek kuantum dan rasio permukaan terhadap volume yang besar, nanopartikel logam memiliki sensitivitas ultraviolet-visibel yang sangat baik, serta sifat listrik, katalitik, termal, dan antibakteri. Nanomaterial logam digunakan dalam berbagai bidang penelitian karena memiliki sifat optik yang luar biasa.

b. Nanopartikel oksida logam

Nanopartikel oksida logam, juga dikenal sebagai bahan nano oksida logam, terdiri dari ion logam positif dan ion oksigen negatif. Contoh nanopartikel oksida logam yang sering disintesis antara lain silikon dioksida (SiO_2), titanium oksida (TiO_2), seng oksida (ZnO), dan aluminium oksida (Al_2O_3). Partikel nano ini menunjukkan sifat yang luar biasa dibandingkan dengan partikel logam lainnya.

c. Bahan nano semikonduktor

Bahan nano semikonduktor menunjukkan sifat yang sama seperti logam dan isolator. Mereka diklasifikasikan menjadi tiga kelompok.

1) Bahan nano semikonduktor magnetik terkonsentrasi. Ia menunjukkan tatanan magnet spontan dan dapat berupa senyawa biner seperti EuTe (anti feromagnetik).

2) Bahan nano semikonduktor non-magnetik.

Semikonduktor nonmagnetik yang tidak mengandung ion magnet dan digunakan untuk pemrosesan informasi dan komunikasi telah sukses besar dalam penggunaannya. Muatan elektron dalam semikonduktor, tetapi tidak digunakan untuk penyimpanan informasi massal dalam teknologi informasi yang dapat dibuang.

3) Bahan nano semikonduktor magnetik encer.

Bahan semikonduktor dibuat bersifat magnetis dengan menambahkan sedikit pengotor magnet ke dalam matriks inang, di mana beberapa kation inang diamagnetik secara acak digantikan oleh kation magnetik (TM). Bahan-bahan ini tidak hanya mempertahankan sifat semikonduktor, tetapi juga

memiliki sifat magnetik yang merupakan campuran semikonduktor biasa dan magnetik.

a) Bahan nano keramik

Bahan nano keramik adalah padatan anorganik yang terdiri dari karbida, karbonat, oksida, karbida, karbonat, dan fosfat yang disintesis melalui panas dan pendinginan berturut-turut.

Nanopartikel keramik dapat diformulasikan dalam sistem penghantaran obat, terutama dalam menargetkan tumor, glaukoma, dan beberapa infeksi bakteri dan bahan nano juga mendapat perhatian besar dari para peneliti karena penggunaannya dalam aplikasi seperti katalisis, fotocatalisis, fotodegradasi pewarna, dan aplikasi pencitraan.

b) Nanomaterial berbasis lipid

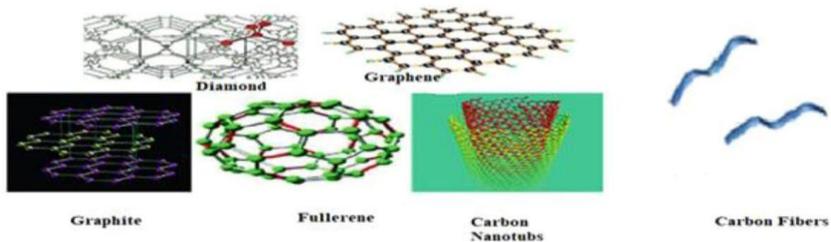
Nanopartikel berbasis lipid umumnya berbentuk bola, dengan diameter berkisar antara 10 dan 100 nm. Ini terdiri dari inti padat yang terbuat dari lipid dan matriks yang mengandung molekul lipofilik yang larut. Nanopartikel berbasis lipid memiliki aplikasi di bidang biomedis sebagai pembawa obat dan terapi pelepasan RNA dalam terapi kanker. (Jai Prakash, Junghyun Cho, Yogendra Kumar Mishra, 2022).

4) Bahan nano berbasis karbon

Bahan nano berbasis karbon yang tersusun dari karbon meliputi lima bahan utama yaitu karbon nanotube, Graphene, fullerene, serat Karbon Nano dan Karbon hitam seperti terlihat pada Gambar 3.3 Sifat bulat dan ellipsoidal yang dikongruasikan dari bahan nano karbon disebut sebagai fullerene

disebut bola Bucky. Fullerene adalah struktur bola dengan diameter hingga 8,2 nm untuk satu lapisan dan 4 hingga 36 nm untuk fullerene berlapis banyak, yang membentuk 28 hingga 1500 atom karbon.

Graphene adalah jaringan heksagonal kisi sarang lebah yang terdiri dari atom karbon pada permukaan planar dua dimensi (2D), dengan lembaran sekitar 1 nm, sedangkan yang berbentuk silinder digambarkan sebagai nanotube. Silinder berongga untuk membentuk tabung nano dengan diameter serendah 0,7 nm untuk tabung nano berlapis tunggal dan 100 nm untuk tabung nano karbon berlapis banyak dan panjang bervariasi dari beberapa mikrometer hingga beberapa milimeter, fosil Graphene Nano yang sama digunakan untuk menghasilkan serat karbon Nano, dan amorf bahan yang terbuat dari karbon, umumnya berbentuk bola, dengan diameter 20 hingga 70 nm dikenal sebagai karbon hitam. Bahan nano berbasis karbon digunakan terutama untuk penguatan struktural karena terkadang lebih kuat dari baja. Bahan nano berbasis karbon bersifat konduktif termal sepanjang tabung dan non-konduktif di seluruh tabung.



Gambar 3.3. Bahan Nano Berbasis Karbon (XF Zhang, ZG Liu, W. Shen, S. Gurunathan, 2016)

5) Bahan nano komposit

Komposit Nanomaterial terdiri dari nanopartikel yang dikombinasikan dengan nanopartikel lain, nanopartikel yang dikombinasikan dengan material berskala lebih besar, dan nanomaterial yang dikombinasikan dengan material tipe curah. Nanomaterial telah digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik, termal, dan tahan api pada produk mulai dari suku cadang mobil hingga bahan kemasan (P. Zhang, W. Tan, X. Zhang, J. Chen, J. Yuan, J. Deng, 2021).

3. 4 Perlindungan korosi material dengan nano teknologi

Perlindungan korosi pada bahan dipelajari dengan menggunakan bahan berstruktur nano (nanokomposit, lapisan tipis skala nano, partikel nano, dll.). Bahan nanopartikel mempunyai sifat fisik, kimia, dan fisikokimia yang spesifik sehingga meningkatkan perlindungan terhadap korosi dibandingkan dengan bahan berukuran curah. Nanopartikel memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga memungkinkan dispersi seragam ke dalam bahan matriks dengan dosis rendah sehingga efisiensinya tinggi.

1. Metodologi Pelapisan

a. Lapisan film tipis nanokomposit

Lapisan film tipis nanokomposit, telah digunakan sebagai inhibitor mitigasi korosi pada material karena memiliki stabilitas termal dan sifat penghalang molekuler yang berbeda. Nanopartikel organik (gel silika, asam paraaminobenzoat, dan benzohpenon) dan anorganik (tanah liat, silika, zirkonium, dan karbon) disuntikkan ke dalam matriks polimer (resin epoksi, polimida, polistiren, nilon, poli (metil metakrilat), dll. Pada fraksi volume yang sangat rendah yaitu 0,5 % hingga 5%. Polimer nanokomposit dan nanopartikel umumnya disintesis dengan menggunakan larutan, polimerisasi in-situ,

interaksi leleh dan pembentukan in-situ. Film berstruktur nano dapat dibentuk dengan sikat semprot nosel dan perakitan mandiri elektrostatis sehingga film sangat tertata dan padat. Lapisan padat yang dapat berfungsi sebagai lapisan penghalang terhadap zat di bawahnya.

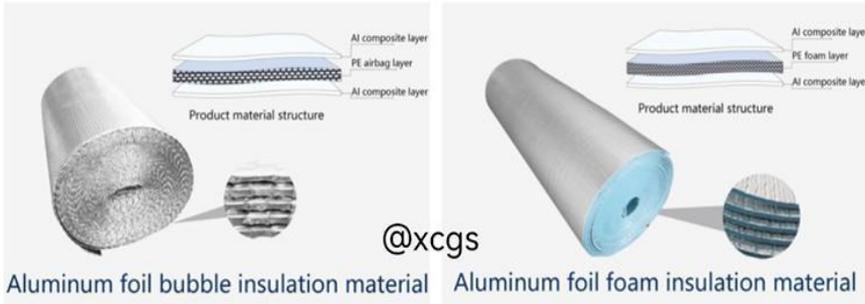


Gambar 3.4. Inovasi Penggunaan Pasir Besi dan Limbah Abu Sekam Padi untuk Nanomaterial Komposit Magnetik dan Silika (Tim Neutrino ITS, 2023).

2. Lapisan Penghalang Termal

Laju korosi dan erosi material meningkat pada suhu tinggi 5 korosi tersebut dikendalikan oleh lapisan penghalang termal tunggal dan multi-lapis. Jenis pelapis seperti ini digunakan pada turbin gas dan mesin jet, pembangkit listrik, kilang minyak bumi, dan kendaraan transportasi. Lapisan jenis ini berkembang pada permukaan material melalui semprotan plasma, glasir laser dan deposisi uap kimia serta teknik deposisi uap fisik. Bahan yang digunakan untuk teknik ini 6 adalah diamond like carbon (DLC), TiO_2 , ZrO_2 , Al_2O_3 , V_2O_3 , TiN , TiB_2 , SiC , Y_2O_3 , hafnium oksida dan oksida pelindung lainnya. Lapisan penghalang termal mengurangi laju korosi dan erosi material dan secara signifikan meningkatkan umur material. Telah

diamati bahwa nano porositas yang dihasilkan pada bahan pelapis dapat menyebabkan peningkatan laju korosi, namun porositas tersebut dapat diblokir menggunakan DLC atau bahan pelapis padat lainnya.



Gambar 3.5. Komposit Multi-Layer Aluminium Foil (<https://id.star-newmaterial.com/info/what-is-the-new-eco-friendly-thermal-insulatio-75368624.html>).

3. Pelapisan Konversi

Metode pasif permukaan 7 lapisan telah diterapkan selama satu abad untuk melindungi material dari serangan korosi. Lapisan ini dihasilkan oleh kromium, molibdenum, zirkonium, fosfat, aluminium, kalium, nikel, emas, perak atau seng yang meningkatkan ketahanan polarisasi permukaan material dan menurunkan arus korosi, potensi dan laju korosi.

Kromium merupakan logam heksavalen yang bahan pelapisnya digunakan di beberapa bidang termasuk kulit pesawat terbang namun memiliki kendala dalam pengendalian polusi. Saat ini, program penelitian baru telah difokuskan pada lapisan molibdenum, zirkonium (ZrO_2 spons) dan fosfat (trikationik(Fe, Zn, Mn) untuk menggantikan lapisan konvensional. Ketebalan lapisan dapat berkisar antara $0,5\mu m$ dan $20\mu m$.

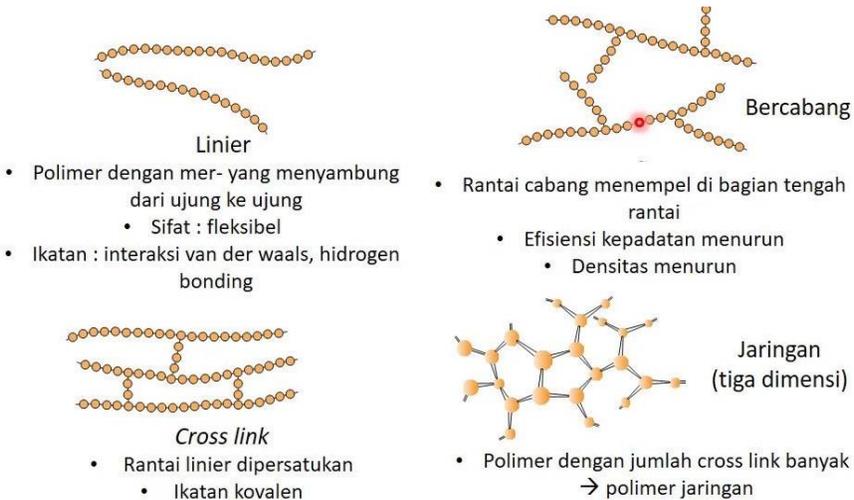


Gambar 3.6. Chromium sebagai Salah Satu Bahan Campuran Stainless Steel (<https://pre-inscription.supmti.ac.ma/>, 2020).

4. Pelapis Lapisan Atas

Lapisan poliuretan 8 digunakan untuk pencegahan korosi pada bahan karena bahan tersebut memiliki beragam sifat penghalang osmotik, sifat stabilitas kimia, termal, hidrolitik dan oksidatif. Bahan pelapis epoksi dan akrilik sudah tersedia di pasaran tetapi kemampuan perlingkungannya terbatas pada kondisi lingkungan yang buruk. Oleh karena itu, lapisan atas uretan tidak hanya melindungi lapisan organik awal tetapi juga permukaan material terhadap serangan korosi.

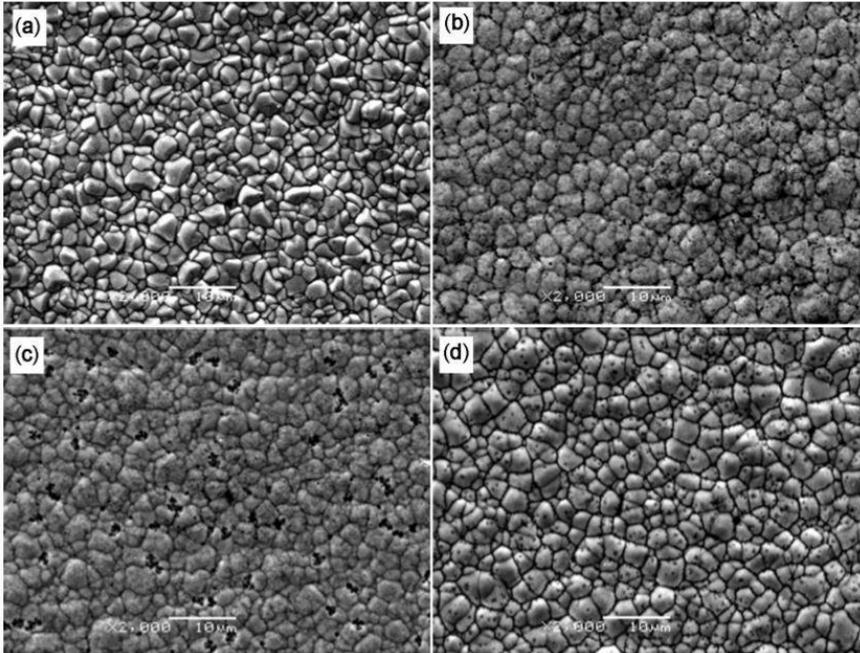
Baru-baru ini polimer poliuretan terfluorinasi dikembangkan yang memiliki energi permukaan terendah yang secara drastis menurunkan permeabilitas film terhadap ion dan molekul korosif, kelembaban, suhu dan radiasi UV. Polimer ini digunakan sebagai perekat antara lapisan pelindung dan permukaan material, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap korosi.



Gambar 3.7. Struktur Rantai Polimer
(Callister, William D., Jr. 2020)

5. Perubahan Struktur Skala Nano

Perlindungan korosi bahan 9 dipengaruhi oleh struktur bahan (ukuran dan bentuk butir, paduan, anil, kristalinitas dan struktur skala nano lainnya). Partikel material berbutir halus memiliki bentuk bulat sehingga mudah tersebar dalam struktur material dan menunjukkan ketahanan korosi dan sifat mekanik yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa ketahanan korosi lapisan paduan Zn-Ni yang diendapkan secara elektro (15% Ni) bisa tujuh kali lebih baik dibandingkan lapisan seng murni terhadap serangan korosi. Lapisan pelapis paduan FeCrTiN mempunyai daya tahan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan Cr.



Gambar 3.8 Deposisi/Perubahan Elektrolitik dan Ketahanan Korosi Lapisan Zn-Ni Diperoleh dari Rendaman Sulfat-Klorida (Katarzyna Wykpis, Magdalena Popczyk, Antoni Budniok, 2011).

6. Teknik Pengukuran Skala Nano

Ahli nanoteknologi mengembangkan nanoindentation dan nano scratch untuk menganalisis sifat nanomekanis lapisan film tipis dan bahan struktur nano yang berhubungan langsung dengan sifat mitigasi korosi. Dalam metode nanoindentasi, ujung indenter berbentuk tertentu didorong ke dalam substrat dengan menerapkan gaya eksternal.

3.5 Penutup

Begitu banyak teknik yang diterapkan untuk mempelajari sifat material nano telah dilakukan untuk menganalisis kemungkinan metode baru untuk mitigasi korosi. Ini termasuk lapisan pasif permukaan, film tipis nanokomposit, film

penghalang termal, pelapis lapisan atas, perubahan struktur nano pada material dan teknik karakterisasinya dalam skala nano. Studi-studi ini memberikan hasil yang menjanjikan untuk pencegahan korosi material dan arah korosi di masa depan.

Penelitian lebih lanjut mengenai formulasi nanoteknologi perlu dilakukan untuk menciptakan hasil yang optimal. Selain itu, penelitian mengenai penerapan nanoteknologi pembuatan produk juga perlu dilakukan untuk memperluas pengetahuan mengenai produk-produk yang dapat dibuat dengan memanfaatkan nanoteknologi dalam prosesnya.

Pengembangan Metode Proteksi Katodik

4.1 Pendahuluan

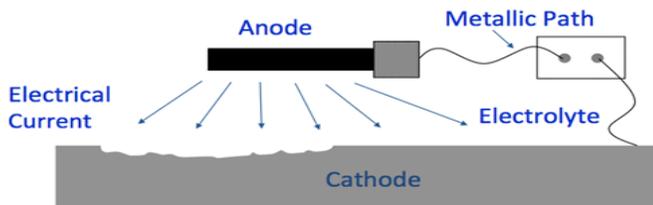
Ada banyak metode yang telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan korosi. Dimana pada masing-masing metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya, sehingga suatu metode yang efektif akan diterapkan dengan melihat kondisi lingkungannya. Akan tetapi perlindungan dengan metode apapun itu tidak berarti selalu aman. Kesalahan-kesalahan fatal dapat terjadi jika dalam operasinya tidak dilaksanakan sesuai dengan prosedur yang ditetapkan. Proteksi katodik adalah suatu metode yang bersifat elektrik yang digunakan untuk pencegahan korosi pada struktur logam yang berada pada suatu lingkungan korosif berupa elektrolit seperti tanah atau air.

Perkembangan Proteksi katodik (CP) secara pesat terjadi di Amerika Serikat setelah tahun 1945. Metoda CP menjadi mapan karena tuntutan dari perkembangan industri migas yang mengeksploitasi penggunaan pipa baja berdinding tipis untuk

sistem transmisi bawah tanah. Sementara di Inggris, pipa besi cor berdinding tebal dan bertekanan rendah lebih banyak dipakai sehingga CP tidak banyak diterapkan. Penerapannya meningkat setelah CP sukses digunakan untuk perlindungan jaringan pipa bahan bakar untuk keperluan perang sepanjang 1000 mil di awal tahun 1952. Sekarang metoda CP telah cukup mapan dan digunakan secara luas untuk pengendalian korosi pada struktur and infrastruktur logam yang terendam atau terkubur atau juga untuk beton bertulang.

Proteksi katodik adalah metode pengendalian korosi yang telah terbukti untuk melindungi struktur logam bawah tanah dan bawah laut, seperti jaringan pipa minyak dan gas, kabel, jalur utilitas, dan pondasi struktural. Proteksi katodik kini banyak diterapkan dalam perlindungan anjungan pengeboran minyak , galangan kapal, dermaga, kapal laut, kapal selam , tabung kondensor pada penukar panas , jembatan dan geladak, pesawat sipil dan militer serta sistem transportasi darat.

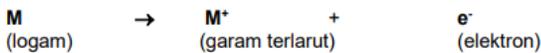
Proteksi katodik (CP) adalah proses elektrokimia yang memperlambat atau menghentikan arus korosi dengan menerapkan arus DC (Direct Current) pada logam. Jika diterapkan dengan benar, CP menghentikan terjadinya reaksi korosi untuk melindungi integritas struktur logam.



Gambar 4.1 Penerapan Proteksi Katodik (matcor,2018."what-is-cathodic-protection")

4.2 Prinsip Proteksi Katil (CP)

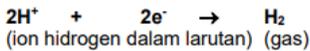
Logam yang telah diekstraksi dari bijihnya (kemasukan energi) memiliki kecenderungan alamiah untuk kembali ke keadaan awal (pelepasan energi) melalui reaksi dengan oksigen dan air. Kejadian ini disebut korosi dan contoh paling umum adalah pengkaratan baja. Korosi adalah proses elektrokimia yang melibatkan aliran arus listrik dalam skala mikro dan makro. Perubahan dari logam (metalik) ke bentuk senyawa (ion atau gram terlarut) terjadi melalui reaksi anodik :



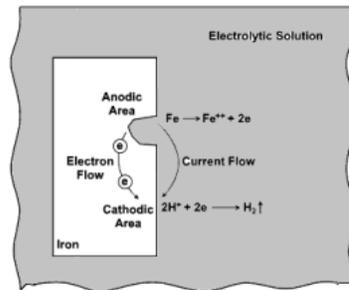
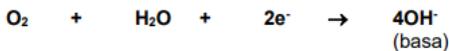
Contoh paling umum adalah:



Reaksi diatas menghasilkan elektron bebas, yang mengalir dalam logam ke lokasi lain di permukaan logam (katoda), dimana dia dikonsumsi oleh reaksi katodik. Dalam larutan asam, **reaksi katodik** adalah:



Dalam larutan netral, reaksi katodik juga melibatkan konsumsi oksigen terlarut:



Gambar 2. Skema sebuah sel korosi.

Gambar 4.2 Skema sebuah Sel Korosi (Hermawan, Hendra. 2019. "Pengantar proteksi katodik.")

Jadi, korosi terjadi di anoda dan tidak di katoda (kecuali logam di katoda diserang oleh basa). Anoda dan katoda dalam proses korosi dapat berupa dua logam yang berbeda yang terhubung satu sama lain, atau seperti yang terjadi pada baja yang berkarat, keduanya berdekatan di permukaan logam yang sama.

Sebab awal terjadinya proses korosi berupa:

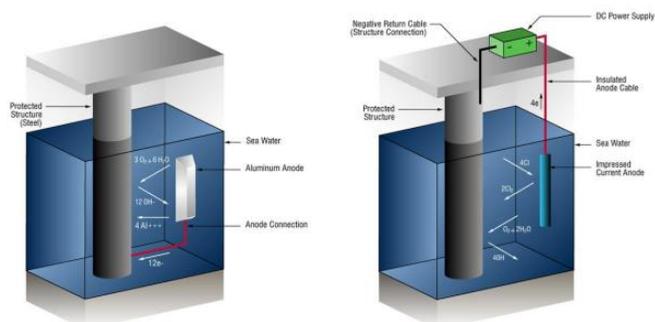
Perbedaan potensial alamiah antara dua logam yang berbeda.

1. Variasi kondisi metalurgi di permukaan logam.

Perbedaan kondisi lokal lingkungan, seperti variasi oksigen di permukaan dimana daerah kaya oksigen menjadi katoda dan daerah miskin oksigen menjadi anoda.

Prinsip CP ialah mengubah semua daerah di permukaan logam menjadi katoda dengan cara menghubungkan anoda dari luar kepada logam yang dilindungi dan melewatkan arus listrik DC. Anoda luar bisa berupa anoda galvanik dimana arus yang mengalir adalah hasil dari perbedaan potensial dua logam, atau berupa anoda arus tanding (*impressed current*) dimana arus dialirkan dari sumber tenaga DC dari luar. Dalam istilah elektrokimia, potensial listrik antara logam dan larutan elektrolit dibuat menjadi lebih negatif, dengan memberikan elektron (bermuatan negatif), ke sebuah nilai dimana reaksi korosi (anodik) tertahan dan hanya reaksi katodik yang berlangsung.

Jadi, CP dapat dicapai dengan dua cara (Gambar 3): 1. Dengan anoda galvanik (korban), "*Sacrificial Anode Cathodic Protection*" (SACP) 2. Dengan arus tanding/luar, "*Impressed Current Cathodic Protection*" (ICCP)



Gambar 3. Skema sistim CP: SACP (kiri); dan ICCP (kanan). Sumber: Deepwater Corrosion Services Ltd.

Gambar 4.3 Skema Sistim, (Hermawan, Hendra. 2019. “Pengantar proteksi katodik.”)

SACP menggunakan logam reaktif sebagai anoda luar yang dihubungkan secara elektrik kepada baja yang dilindungi. Perbedaan potensial alamiah antara anoda dan baja, seperti diindikasikan dengan posisi relatif mereka dalam deret galvanik, menyebabkan arus positif mengalir dari anoda ke dalam elektrolit lalu ke baja. Akibatnya semua permukaan baja menjadi bermuatan lebih negatif dan menjadi katoda. Logam reaktif yang umum digunakan sebagai anoda korban adalah aluminium (Al), seng (Zn) dan magnesium (Mg). Logam-logam ini kemudian dipadu dengan unsur lain untuk meningkatkan performa jangka panjang dan karakteristik pelarutannya.

ICCP menggunakan anoda inert (pelarutan nol atau rendah) dan sumber tenaga DC luar (AC yang diserahkan, rectified) untuk mengalirkan arus dari anoda luar ke permukaan katoda (baja) Anoda yang digunakan dapat berupa besi cor berkadar silikon (Si) tinggi, grafit, atau titanium (Ti).

4.3 Jenis Proteksi Katodik

Dua tipe dasar sistem proteksi katodik menggunakan jenis anoda yang berbeda: galvanik (sering disebut sebagai galvanik) dan arus terkesan.

1. Proteksi Katodik Galvanik

Dalam perlindungan galvanik, logam dengan potensi redoks lebih negatif dari logam yang akan dilindungi terhubung ke struktur dengan kawat dilindungi, membentuk anoda. Magnesium, dengan potensi redoks dari -2,38 volt sering digunakan untuk tujuan ini – logam lainnya yang umum digunakan adalah aluminium dan seng. Prosedur ini membentuk sel listrik dengan arus yang mengalir dari anoda ke struktur, yang bertindak sebagai katoda. Anoda kehilangan elektron dan berkarat; untuk alasan ini, dikenal sebagai “anoda korban.”

Masalah dengan perlindungan katodik galvanik adalah bahwa, pada akhirnya, anoda akan berkarat ke titik dimana tidak lagi memberikan perlindungan dan perlu diganti. Sebuah sistem proteksi katodik alternatif seperti Impressed Current Cathodic Protection (ICCP). Hal ini mirip dengan metode galvanik, kecuali bahwa catu daya yang digunakan untuk menghasilkan arus listrik dari anoda ke struktur harus dilindungi. Sebuah arus searah (DC), sebagai lawan arus bolak-balik (AC), diperlukan, sehingga penyearah digunakan untuk mengkonversi AC ke DC. Metode ini memberikan perlindungan lancar yang lebih lama dengan dipasok dari luar bukannya Dihasilkan oleh reaksi anoda dengan lingkungannya, sehingga umur anoda sangat meningkat.

Metode anoda korban adalah metode dengan menghubungkan benda kerja dengan logam lain yang memiliki potensi reduksi yang lebih kecil (anoda). Hal ini akan menyebabkan terjadinya suatu sel galvani dan menjadikan benda kerja sebagai suatu katoda.

Keuntungan-keuntungan yang dilakukannya anoda korban ini adalah :

- Tidak diperlukan adanya sumber energi
- Mudah untuk dilakukan (ongkos pemasangan murah)
- Kemungkinan terjadinya interferensi katodik pada struktur lain kecil
- Mengatur diri sendiri
- Kemungkinan terjadinya overprotecting kecil
- Distribusi potensi merata.

Tetapi cara ini juga memiliki batasan, yaitu:

- Arus terbatas
- Anoda yang habis harus diganti
- Anoda akan menambah berat dari struktur

Anoda galvanik tersedia dengan beragam fitur, antara lain:

- Anoda logam telanjang seperti magnesium, seng, aluminium, dan paduan lainnya
- Kemasan isi ulang untuk penggunaan bawah tanah
- Tali baja eksternal untuk pemasangan ke struktur
- Beberapa jenis pita
- Batang dan bentuk khusus

Namun perbedaan potensial antara anoda galvanik dan struktur baja tidak cukup untuk terjadinya proteksi.

2. Perlindungan Katodik Terkesan

Metode arus tanding (arus terkesan) Prinsip dari metode anoda arus tanding ini adalah melindungi logam dengan cara mengalirkan arus listrik searah yang diperoleh dari sumber luar, biasanya dari penyearah arus (transformator penyearah), dimana kutub negatif dihubungkan ke logam yang dilindungi dan kutub positif dihubungkan ke anoda. Dimana material anoda yang bisa digunakan dalam metode arus tanding adalah logam yang konduktif dan mempunyai sifat inert atau semi consumable, Platina-titanium, Ferro silikon, baja karbon, ferro silicon chrome, PA-Ag, grafit.

Metode ini menggunakan masukan arus listrik dan anoda inert yang tidak akan habis sehingga sistem ini dapat digunakan

pada waktu yang lama. Metode terkesan arus ini biasanya digunakan pada lingkungan yang memiliki resistivitas yang tinggi. Keuntungan yang digunakannya metode ini adalah:

- Level dari proteksi dapat diatur
- Arus yang digunakan tinggi
- Proteksi area yang luas
- Dapat memproteksi struktur yang tidak di coating dengan baik.

Sementara itu terdapat beberapa kerugian jika menggunakan metode ini:

- Kemungkinan terjadinya interferensi sangat besar
- Perlu perawatan yang baik
- Kemungkinan terjadinya overprotection sangat besar
- Adanya biaya untuk menjalankan energi eksternal.

4.4 Metode dan Sistem CP

Sistem CP harus dirancang dengan hati-hati, dipasang dengan benar, diperiksa fungsinya dengan benar, disertifikasi untuk memberikan perlindungan yang memadai dan dipelihara. Standar NACE saat ini mengakui perlindungan yang memadai melalui tiga kriteria utama untuk baja yang terpapar pada lingkungan tanah:

1. $-850\text{mV}_{\text{CSE}}$ kriteria potensial dengan penerapan saat ini
2. $-850\text{mV}_{\text{CSE}}$ potensi terpolarisasi
3. Kriteria pergeseran polarisasi 100mV

Aerasi (oksigen), agitasi (kecepatan), suhu, pH, luas permukaan, dan waktu mempengaruhi polarisasi, pengukuran potensial, dan validitas kriteria. Saat merancang atau mengevaluasi sistem CP, tujuan dasar desain CP meliputi:

1. Memberikan kerapatan arus yang cukup dan kontinu ke seluruh bagian struktur hingga kriteria yang dapat diterima
2. Meminimalkan efek interferensi pada struktur lain

3. Memberikan fleksibilitas operasional untuk perubahan yang diharapkan pada lingkungan, lapisan pelindung, dan masa pakai sistem
4. Mematuhi kode dan standar yang berlaku untuk menjamin keselamatan publik dan personel operasional
5. Memberikan umur desain sistem CP yang bertepatan dengan umur layanan sistem yang dilindungi
6. Menyediakan fasilitas pengujian dan pemantauan untuk memastikan kinerja sistem CP memenuhi kriteria, standar, dan peraturan industri

Kemudian memastikan keefektifan sistem CP berdasarkan apakah sistem tersebut mengendalikan korosi atau tidak. Menentukan laju korosi secara langsung pada umumnya bukanlah proses yang sederhana. Dalam sebagian besar kasus, digunakan metode tidak langsung dalam menilai sistem CP. Metode utamanya adalah pengukuran struktur terhadap potensial elektrolit dibandingkan dengan kriteria yang dipilih. Lalu mengukur arus sistem sebagai parameter kinerja tambahan. Serta secara rutin mengukur potensi struktur hingga elektrolit untuk memenuhi kriteria ini dan memastikan memenuhi semua standar peraturan. Juga harus memperhitungkan faktor-faktor yang mempengaruhi polarisasi, pengukuran potensial, dan validitas kriteria.



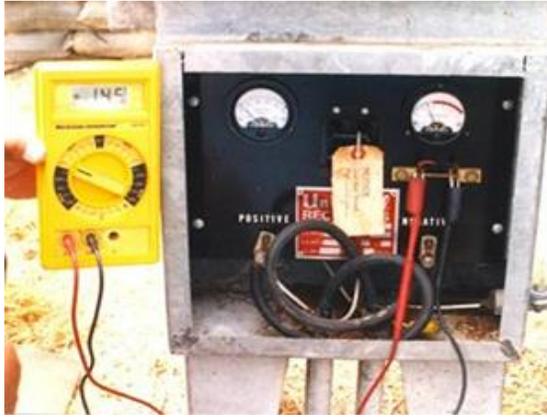
Gambar 4.4 Anoda Seng Diskrit (Dibungkus dengan Jaring Hijau) dalam Perbaikan Dek Beton. Perangkat dengan Kabel Timah Kuning Adalah Elektroda Referensi Permanen.

Sumber: Hermawan, Hendra. 2019. "Pengantar proteksi katodik."

Perlindungan katodik digunakan untuk melindungi infrastruktur penting, yang sebagian besar akan berakibat buruk jika terjadi kegagalan:

- Sistem perpipaan dan distribusi gas alam
 - Pipa bahan bakar cair
 - Pipa oksigen
 - Saluran pemadam kebakaran dan pipa proteksi kebakaran bawah tanah
 - Pipa besi ulet bertekanan di bawah pelat lantai (slab on grade)
 - Distribusi panas bawah tanah dan pipa air dingin di saluran logam
 - Tembok laut tiang pancang baja, penyangga dermaga, tiang fender, dan struktur baja terendam lainnya
 - Sistem tangki penyimpanan bawah tanah, di permukaan tanah, dan ditinggikan
- Sistem lain yang mungkin menggunakan CP:
- Sistem dengan produk berbahaya
 - Sistem distribusi air minum
 - Sistem distribusi udara terkompresi

- Stasiun pengangkat limbah
- Baja tulangan beton



Gambar 4.5 Pengujian Kinerja Berkala – Arus Keluaran Penyearah Sistem ICCP, (Hermawan, Hendra. 2019. “Pengantar proteksi katodik.”)

Sistem CP yang dirancang, dioperasikan, dan dipelihara dengan baik dapat memperpanjang umur struktur tanpa batas waktu dengan penggantian komponen CP. Biaya pemeliharaan tahunan dan perbaikan berkala jauh lebih kecil dibandingkan biaya perbaikan besar atau penggantian struktur itu sendiri. Pengurangan potensi tanggung jawab akibat kegagalan dini utilitas seperti ledakan saluran gas dan kebocoran bahan bakar jet sangatlah besar. Penghindaran biaya yang disebabkan oleh kebocoran yang mengakibatkan denda, pembersihan lingkungan, remediasi dan pembuangan tanah yang terkontaminasi serta citra negatif publik yang terkait merupakan pertimbangan menyeluruh dalam memilih dan mempertahankan solusi CP yang berfungsi dan efektif. . Sistem CP yang dirancang dengan baik dapat melindungi struktur baja selama 30 tahun atau lebih.

- Tangki penyimpanan di atas tanah
- Pipa gas yang terkubur

- Perpipaan tanaman
- Memperkuat baja pada struktur beton
- Penukar panas
- Struktur laut seperti dermaga dan dermaga
- Dinding tumpukan lembaran
- Struktur logam lainnya

4.5 Peralatan CP

Variasi anoda galvanik dari paduan Mg, Al atau Zn tersedia di pasaran dalam berbagai bentuk; blok, batang atau kawat. Paduan ini dicor dengan insersi baja untuk pemasangan dan untuk memelihara kesinambungan listrik dan kekuatan mekanik menuju akhir umur anoda. Insert dapat langsung dilas atau dibaut ke struktur yang dilindungi, atau anoda dapat dihubungkan dengan kabel (umumnya Cu) seperti untuk jaringan pipa. Groundbed untuk ICCP umumnya terbuat dari besi cor berkadar Si tinggi. Namun sekarang anoda campuran oksida logam (mixed metal oxides, MMO) makin populer untuk semua lingkungan karena keunggulan karakteristik mekanik dan listriknya dan ukurannya yang kompak. Untuk aplikasi air laut dimana ion klorida hadir, anoda MMO berfungsi baik demikian juga besi cor berkadar Si tinggi yang dipadu dengan kromium (Cr). Anoda lain adalah paduan Ti atau niobium (Nb) yang dilapis tipis dengan platina (Pt). Banyak pilihan untuk sumber tenaga DC, namun yang paling populer adalah plat selenium (Se) atau rectifier diode Si dengan unit transformer (TR) yang dihubungkan dengan jaringan AC yang tersedia atau generator diesel atau gas. Untuk banyak aplikasi, umumnya dipakai sistem dengan tegangan DC atau arus yang konstan. Di daerah terpencil, sumber tenaga dapat berupa generator thermo-electric, turbin uap dan generator surya atau angin. Pilihan tentunya tergantung pada keperluan tenaga, kemampuan pemeliharaan

dan kondisi lingkungan. Tersedia juga unit kontrol otomatis yang mampu mengatur keluaran arus sesuai perubahan potensial yang terukur oleh elektroda permanen.



Gambar 4.6 Beberapa Peralatan yang Berhubungan dengan CP:
(Atas) Voltmeter, CSE, Soil Resistance Meter; (Tengah) Mg Anode, MMO Anode; (Bawah) TR, Junction Box, Test Point.
(Hermawan, Hendra. 2019. "Pengantar proteksi katodik.")

4.6 Keunggulan

Keunggulan utama CP dibanding teknik pengendalian korosi lainnya adalah kesederhanaan aplikasi yang hanya melibatkan pemeliharaan sebuah sirkuit DC dan efektifitasnya dapat dimonitor terus menerus. CP sangat umum diterapkan pada struktur yang dilapis (coated) untuk mengendalikan korosi di daerah dimana lapisan tak berfungsi (cacat). CP juga dapat diterapkan kepada struktur yang sudah beroperasi untuk memperpanjang usia pakainya. Penentuan CP sejak awal dapat menghindari pemberian alokasi korosi (corrosion allowance) kepada struktur berdinding tipis (seperti pipa) yang membuat ongkos produksi meningkat. Dia juga dapat diterapkan untuk menjamin keamanan ketika kebocoran kecil tidak bisa ditoleransi

demikian alasan keselamatan atau lingkungan. Secara prinsip, CP dapat diterapkan ke semua struktur logam yang berada dalam elektrolit (air, tanah, bahkan beton). Dalam prakteknya, penerapan utama CP adalah untuk melindungi struktur baja yang terkubur di tanah atau tercelup di air. CP tidak dapat digunakan untuk mencegah korosi atmosfer. Tetapi dia dapat melindungi struktur beton bertulang yang terpapar ke atmosfer dan terkubur dalam tanah karena beton sendiri mengandung uap air yang cukup untuk bertindak sebagai elektrolit. Struktur yang umum dilindungi dengan CP adalah permukaan luar dari: jaringan pipa, lambung kapal, dasar tangki, jeti dan struktur pelabuhan, pelat baja tubular dan tiang pondasi, anjungan lepas pantai, struktur terapung dan tenggelam. CP juga dapat melindungi permukaan dalam dari: pipa berdiameter besar, tangki kapal, tangki penyimpanan dan sistem sirkulasi air. Namun karena anoda internal jarang mampu menyebarkan arus proteksi untuk jarak lebih dari 5 kali diameter, CP umumnya tidak praktis atau tidak cocok untuk pipa berdiameter kecil. CP dapat diterapkan untuk mengendalikan korosi dari baja dalam struktur beton bertulang seperti dalam jembatan dan bangunan pelabuhan. CP juga dapat diterapkan untuk paduan berbasis Cu dalam sistem air minum, untuk kabel dan paduan Al tetapi dengan kontrol yang ketat.

4.7 Kelemahan

Ada beberapa keterbatasan pada penggunaan CP. Kelebihan potensial negatif dapat mempercepat korosi pada struktur Al karena terciptanya lingkungan basa di katoda. Lingkungan basa ini dapat juga merusak jenis pelapisan tertentu dan menyebabkan penurunan adhesinya. Evolusi hidrogen di permukaan katoda juga dapat menyebabkan penggetasan

hidrogen dan penurunan kekuatan pada baja berkekuatan tinggi (high strength steels) yang dapat mengarah pada kegagalan struktur. Pembentukan gas hidrogen juga dapat menyebabkan pelepasan lapisan (disbondment) yang bisa membuat lapisan bertindak sebagai perisai isolasi terhadap arus CP. CP dapat menimbulkan bahaya percikan listrik akibat arus yang mengalir di struktur yang berada di daerah berbahaya (misalnya mudah terbakar). Umumnya SACP tidak akan menyebabkan masalah ini karena kemampuan atur dirinya (self regulating). Dia bahkan sering dianggap sistem yang pasang dan lupakan (fit and forget), meski tetap harus diinspeksi teratur untuk menjamin keperluan arus terpenuhi.

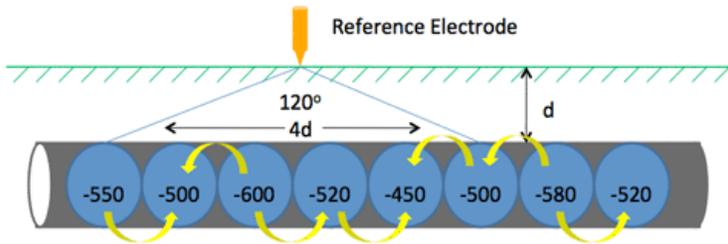
4.8 Cara Kerja Proteksi Katodik

Proteksi katodik bekerja dengan menempatkan anoda atau anoda (perangkat luar) dalam elektrolit untuk membuat rangkaian. Akibatnya, arus mengalir dari anoda melalui elektrolit ke permukaan struktur. Korosi berpindah ke anoda untuk menghentikan korosi lebih lanjut pada struktur.

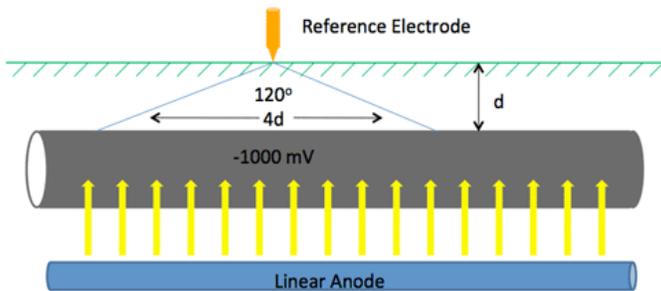
Contoh Proteksi Katodik Pipa

Variasi potensial terjadi secara alami pada saluran pipa yang tidak terlindungi. Akibatnya, aliran arus dari minor positif ke minor negatif menyebabkan korosi pada pipa galvanik. Saat Anda menerapkan proteksi katodik sejajar dengan pipa, arus akan keluar dari anoda dan masuk ke pipa, sehingga mencegah korosi.

1. Pipeline tanpa CP diterapkan



2. CP diterapkan pada pipa



Gambar 4.7 Contoh Proteksi Katodik pada Pipa (matcor,2018."what-is-cathodic-protection")

4.9 Penutup

Proteksi katodik merupakan teknologi yang sangat penting dalam usaha menghambat korosi pada berbagai struktur logam. Dengan menjadikan logam tersebut sebagai katode dalam sel elektrokimia, proses korosi bisa dicegah dan umur pakai struktur dapat diperpanjang.

Ada dua jenis utama proteksi katodik, yaitu proteksi katodik galvanik atau sistem anoda korban, dan proteksi katodik terimpressed (ICCP). Keduanya memiliki prinsip kerja, keuntungan, dan kekurangan yang berbeda, namun secara umum keduanya dapat bekerja efektif dalam situasi yang tepat.

Sistem anoda korban, yang melibatkan penggunaan logam yang lebih mudah mengalami korosi untuk melindungi logam lain, adalah cara sederhana dan biaya-efektif untuk melindungi struktur kecil dan terisolasi. Sementara itu, ICCP, yang menggunakan sumber daya listrik eksternal untuk mengendalikan arus protektif, ideal untuk struktur besar dan dalam lingkungan dengan resistivitas tinggi.

Dampak Perubahan Iklim Terhadap Korosi

5.1 Pendahuluan

5.1.1 Iklim

Apa itu iklim? Iklim adalah kebiasaan dan karakter cuaca yang terjadi di suatu tempat atau daerah. Kurun waktu yang menjadi acuan penentuan iklim rata-rata berdurasi 30 tahun. Unsur penyusun iklim sama dengan cuaca. Pembentukan iklim di suatu tempat dipengaruhi oleh letak garis lintang, lereng, ketinggian, jarak dari perairan, serta kondisi arus air laut. Setiap daerah memiliki iklim yang berbeda. Jenis iklim pada tiap daerah sangat dipengaruhi oleh garis lintang. Karakteristik dari pola iklim global dipelajari melalui klimatologi. Iklim juga didasarkan pada karakteristik cuaca yang mempertimbangkan kondisi hujan, suhu, dan angin atau penguapan. Berdasarkan garis lintangnya, iklim di permukaan Bumi dapat dibedakan menjadi iklim kutub, iklim sedang, iklim subtropis, iklim tropis, dan iklim khatulistiwa. Iklim juga dapat

dibedakan berdasarkan kondisi kawasan, yaitu iklim benua, iklim bahari, iklim tundra, dan iklim gunung. Kondisi iklim dikendalikan terutama oleh atmosfer yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Jenis faktor lingkungan yang mempengaruhi atmosfer yaitu bentuk rupa Bumi, tutupan Bumi, dan posisi pencampuran udara di lapisan atmosfer.

Wladimir Koppen, seorang ahli klimatologi dari Australis memberikan klasifikasi iklim berdasarkan rata-rata suhu udara dan curah hujan bulanan dan tahunan. Tipe iklim di dunia adalah:

1. Iklim A (Tropis) : daerah bersuhu 18° untuk berbulan dingin.
2. Iklim B (tundra dan kutub) : daerah bersuhu 10° untuk berbulan dingin.
3. Iklim C dan D (sedang). Batas antara iklim C dan D pada daerah bersuhu 30° untuk berbulan dingin. Iklim C menempati pinggiran benua yang dipengaruhi iklim laut, disebut iklim sedang hangat. Dan iklim D disebut iklim salju/boreal karena menempati pedalaman benua.

Perubahan iklim yang menyebabkan peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer, serta perubahan suhu dan kelembaban relatif (RH), terutama dalam jangka panjang, akan mempercepat proses kerusakan dan akibatnya menurunkan keamanan, kemudahan servis, dan daya tahan beton bertulang (RC) infrastruktur. Makalah ini menyajikan investigasi kerusakan akibat karbonasi di tiga kota khas Tiongkok (Kunming, Xiamen

dan Jinan) dalam kondisi perubahan iklim. Tren perubahan CO₂ di atmosfer, suhu lokal, dan kesehatan reproduksi kota-kota di Tiongkok diproyeksikan berdasarkan skenario emisi CO₂ terbaru. Analisis bergantung waktu didasarkan pada simulasi Monte Carlo, dan mencakup ketidakpastian proyeksi iklim, proses kerusakan, sifat material, dimensi dan keakuratan model prediktif. Kemunduran struktur RC diwakili oleh kemungkinan inisiasi dan kerusakan korosi tulangan. Ditemukan bahwa kedalaman karbonasi rata-rata pada tahun 2100 dapat meningkat hingga 45% untuk struktur beton bertulang di Tiongkok karena perubahan iklim. Ditemukan juga bahwa perubahan iklim dapat menyebabkan tambahan 7–20% kerusakan akibat karbonasi pada tahun 2100 pada bangunan RC di wilayah beriklim sedang atau dingin di Tiongkok. Temuan ini memberikan dasar bagi pengembangan strategi adaptasi iklim melalui perbaikan desain struktur beton. (Sumber, BMKG 2020)

5.1.2 Cuaca dan Perubahan Iklim

Indonesia masuk iklim tropis yaitu daerah bersuhu 18o untuk berbulan dingin. Dan daerah iklim tropis di Indonesia dikelompokkan sebagai berikut:

- Iklim Musim (Monsun)
- Iklim Tropis, dan
- Iklim laut

a. Iklim Musim (Monsun)

Karena angin monsun yang bertiup berganti arah setiap setengah tahun sekali, atau satu periode

musim. Angin monsun terdiri dari: angin monsun Asia (bertiup dari benua Asia) dan angin monsun Australia (bertiup dari benua Australia) yang membuat 2 musim dominan di Indonesia, yaitu musim penghujan dan musim kemarau.

b. Iklim Tropis

Iklim tropis umumnya berada pada rentang 0° – $23\frac{1}{2}^{\circ}$ lintang utara dan lintang selatan dari belahan bola dunia. Indonesia termasuk dalam iklim tropis karena terletak tepat di sekitar garis khatulistiwa.

c. Iklim Laut

Iklim laut adalah iklim yang banyak mendapat hujan yang bersifat lembab sehingga Indonesia bisa mengalami musim hujan yang berkepanjangan. (Sumber BMKG 2020)

5.1.3 Apa Saja Alat Pengukur Cuaca / Iklim?

Ada 5 macam jenis alat pengukur cuaca/iklim yang utama :

1. Termometer dan Sangkar Meteo

Sangkar meteorologi berbentuk seperti rumah berkisi dipasang dalam taman alat meteorologi. Dalam sangkar meteorologi terdapat / dipasang alat-alat termometer bola basah, termometer bola kering, thermometer maksimum, dan thermometer minimum. Dan evaporasi jenis piche.



(a)



(b)

Gambar 5.1 (a) Gambar Sangkar Meteorologi

(b) Gambar Termometer

(Sumber, BMKG 2022)

2. Penakar Hujan OBS Manual

Penakar hujan observasi merupakan penakar hujan non-recording atau tidak dapat mencatat sendiri. Air hujan yang ditampung oleh penakar hujan OBS diukur menggunakan gelas ukur.



Gambar 5.2 Penakar Hujan OBS Manual (BMKG 2022)

3. Hellman Rain Gauge (Penakar Hujan Tipe Hellman)

Penakar hujan tipe hellman merupakan instrumen/alat otomatis yang dapat mencatat curah hujan tiap waktu pada kertas pias pencatat.



Gambar 5.3 Hellman Rain Gauge (BMKG, 2022)

4. Campbell Stoke

Campbell Stoke adalah alat untuk mengukur lamanya matahari bersinar. Pengamatan dilakukan dari jam 08.00 – 16.00 LT (selama 8 jam/ True Solar Day), sehingga penyinaran matahari dikatakan 100% bila matahari bersinar selama 8 jam sehari.



Gambar 5.4 Campbell Stoke (*BMKG, 2022*)

5. Anemometer

Anemometer adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Sedangkan untuk mengukur arah angin digunakan alat windvane dan windsock yang bisa terpasang menyatu atau terpisah dengan anemometer.



Gambar 5.5 Anemometer (*BMKG, 2022*)



Gambar 5.7 High Volume Air Sampler (BMKG, 2022)

5.2 Variabilitas

Perubahan iklim adalah perubahan iklim yang disebabkan, langsung atau tidak langsung, oleh aktivitas manusia yang menyebabkan perubahan komposisi atmosfer global dan perubahan variabilitas iklim alami yang diamati selama periode waktu yang sebanding.

(UU No. 31 Tahun 2009 tentang Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) Perubahan curah hujan akan berdampak pada sektor-sektor yang terkait dengan air yaitu sumber daya air, pertanian, infrastruktur termasuk pemukiman, transportasi, ketersediaan air baku untuk berbagai keperluan sangat penting. Rentan terhadap perubahan iklim. Ketersediaan air ini menjadi semakin kritis karena peningkatan jumlah kebutuhan air sejalan dengan perkembangan penduduk dan peningkatan kegiatan ekonomi masyarakat. Selain itu, kualitas air di berbagai tempat terutama pada musim kemarau semakin menurun sehingga tidak memenuhi syarat mutu sebagai air baku untuk kebutuhan tertentu. Gambar 1.1 menunjukkan curah hujan di Indonesia.

5.2.1 Bencana Terkait Cuaca / Iklim

Kadangkala cuaca/iklim dapat berkembang diluar kondisi biasanya (normalnya), bahkan ekstrem jauh melebihi normalnya. Keadaan ini dinamakan sebagai cuaca/iklim ekstrem. Cuaca dan iklim ekstrim sering menyebabkan bencana yang merenggut korban jiwa, harta dan fasilitas infrastruktur, serta mengganggu keadaan sosial yang mapan. Bencana cuaca dan iklim itu dinamakan sebagai hidrometeorologi atau hidroklimatologi.



Kekeringan



Kebanjiran



Puting Beliung



Longsor



Angin Kencang &
Gelombang Tinggi



Asap & Kebakaran
Hutan

Gambar 5.8 Jenis Jenis Bencana Hidroklimatologi di Indonesia
(Sumber, BMKG 2020)

5.2.2 Infrastruktur dan Iklim

Infrastruktur sipil semakin rentan terhadap dampak perubahan iklim. Banjir tahun 2021 menyebabkan kota-kota termasuk London, Zhengzhou, dan Newyork terendam air untuk sementara waktu. Suhu ekstrem pada musim panas tahun 2022 di belahan bumi utara telah menyebabkan kebakaran hutan, pemadaman listrik, kereta api melengkung, jalan mencair, dan saluran air rusak. Sementara di belahan bumi selatan, cuaca musim dingin yang penuh badai selama berminggu-minggu telah menyebabkan kerusakan parah pada jalan, pantai, dan rumah.

Namun perubahan iklim juga mempunyai dampak yang lebih lambat dan kurang terlihat terhadap infrastruktur. Tampaknya peningkatan suhu dan kelembaban mulai mempercepat korosi – proses dimana logam yang kuat dan berkilau berubah menjadi oksida logam yang lemah dan rapuh. Seiring waktu, air dan oksigen bekerja sama untuk melepaskan elektron dari atom permukaan logam yang terbuka, membentuk senyawa lain yang lebih stabil secara kimia. Adanya warna orange-merah yang familiar di permukaan memberitahu Anda bahwa ada logam (seperti baja) yang mengandung besi atau besi di dekatnya, dan logam tersebut mulai berkarat.

Dalam hal material yang digunakan dalam konstruksi lanskap perkotaan saat ini, baja selalu ada. Terkadang berada di tempat terbuka, dalam bentuk balok, lembaran, dan rel. Dalam hal ini, pelapukan baja –

bahan yang dirancang khusus untuk berkarat dengan cara yang sangat lambat dan terkendali – cenderung menjadi pilihan yang tepat. Dalam kondisi yang tepat, dan hanya dengan sedikit perawatan, baja tahan cuaca dapat mempertahankan kekuatannya selama 100 tahun. Pendekatan yang berbeda diperlukan untuk bangunan di wilayah pesisir atau yang mengalami musim dingin yang dalam. Di sana, musuh utamanya adalah garam, berupa air laut dan senyawa penghilang lapisan es. Ion klorida yang ada dalam garam mempercepat proses korosi, jadi tujuan utamanya adalah menjauhkannya dari baja. Hal ini biasanya dilakukan dengan menggunakan cat khusus yang diaplikasikan kembali secara teratur.

Penyebab lain dari kegagalan beton adalah karbonasi; reaksi kimia lambat yang dapat terjadi antara CO₂ di udara dan senyawa yang biasa digunakan dalam semen, misalnya kalsium hidroksida. Reaksi ini membentuk karbonat yang justru dapat meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton. Namun, hal ini juga mengurangi pH beton, yang memudahkan klorida mulai menimbulkan korosi pada baja. Karbonasi sangat bergantung pada kelembapan relatif beton hingga dibawah 25%, hal ini hamper tidak menjadi masalah, namun antara 50-75% hal ini sangat menimbulkan masalah. Laju karbonasi juga lebih tinggi pada konsentrasi CO₂ di atmosfer

Beton dan baja bertulang ada di mana-mana dalam infrastruktur modern. Bangunan, terowongan, saluran

pembuangan, landasan pacu bandara, kereta api, jalan raya, dan pelabuhan semuanya bergantung pada salah satu atau kedua bahan tersebut. Namun seperti yang ditunjukkan oleh makalah baru yang memiliki akses terbuka, mereka semakin terancam. Menulis di jurnal *Resilient Cities and Structures*, ketiga peneliti yang berbasis di AS ini mengamati potensi dampak perubahan iklim terhadap kerusakan infrastruktur pesisir.

Garis pantai AS adalah rumah bagi lebih dari 128jt orang itu adalah 40% dari populasi. Dan di mana pun terdapat banyak orang, diperlukan infrastruktur yang mendukung mereka. Dalam penelitian ini, penulis fokus pada jembatan di 223 kabupaten pesisir; khususnya, 8.736 jembatan beton dan baja yang dibangun antara tahun 2000 dan 2020. Mereka kemudian mempertimbangkan berapa biaya penggantian jembatan di wilayah tertentu, berdasarkan data dari Administrasi Jalan Raya Federal AS. Biaya penggantian ini bisa sangat bervariasi antar negara bagian bahwa pada tahun 2020, biayanya berkisar antara \$806/m² di Texas hingga \$13,226/m² di Hawaii. Jadi daripada mengambil rata-rata, mereka menggunakan angka spesifik negara bagian ini.

Skenario ini menunjukkan bahwa di wilayah pesisir AS, suhu akan meningkat pada tahun 2100. Untuk RCP 8.5, suhu dapat meningkat antara 3,1 dan 5,6 °C, dan wilayah dengan garis lintang lebih tinggi mengalami peningkatan yang lebih besar dibandingkan wilayah

dengan garis lintang lebih rendah. Untuk RCP 4.5, kisaran suhunya adalah antara 1,4 dan 2,9 °C pada tahun 2100. Berdasarkan kedua skenario tersebut, kelembaban kemungkinan akan menurun di beberapa wilayah selatan, namun meningkat di wilayah lain, dan kecepatan angin akan meningkat di wilayah dengan garis lintang lebih rendah namun menurun di wilayah dengan lintang lebih tinggi. wilayah lintang.

Data tersebut untuk menghitung tingkat kerusakan beton bertulang pada kedua skenario iklim. Mereka menyimpulkan bahwa laju korosi dapat meningkat sebesar 0-24 $\mu\text{m}/\text{tahun}$ di wilayah pesisir pada tahun 2100. Dalam kaitannya dengan umur jembatan, mereka menemukan bahwa berdasarkan RCP 8.5, struktur beton bermutu tinggi dirancang untuk bertahan lama. 100 tahun mungkin akan memakan waktu 97 tahun. Mungkin kedengarannya tidak terlalu lama, namun jika dihitung di semua wilayah, total kerugian jembatan beton bisa mencapai \$251,8 juta berdasarkan RCP 8.5.

Struktur yang terbuat dari baja tahan cuaca juga akan rusak lebih cepat; khususnya di wilayah yang mengalami peningkatan suhu dan kelembaban. Dalam beberapa kasus, masa manfaatnya akan dipersingkat hampir delapan tahun. Pada tahun 2100, struktur baja karbon yang dirancang untuk bertahan selama 75 tahun mungkin hanya akan bertahan selama 63 tahun. Total biaya kerugian ini dapat mencapai \$628 juta berdasarkan RCP 8.5. Dan itu hanya jembatan di wilayah pesisir di AS. Tingkatkan hal tersebut ke seluruh infrastruktur

penting yang bergantung pada bahan-bahan ini, di wilayah-wilayah di seluruh dunia. Apa yang tersisa adalah gambaran masa depan yang sangat mengkhawatirkan. Hal ini menunjukkan kurangnya ketahanan infrastruktur kita, dan ketergantungan kita yang berlebihan pada bahan bangunan yang tidak ramah lingkungan.

Karena jangan lupa, produksi bahan-bahan ini menimbulkan dampak lingkungan yang sangat besar – pembuatan beton menyumbang setidaknya 8% emisi CO₂ dunia, serta membutuhkan pasir dalam jumlah besar. Mengenai baja, Mark Peplow mengatakan, “Jika industri baja adalah sebuah negara, emisi karbon dioksidanya akan menempati peringkat ketiga di dunia, di bawah Amerika Serikat dan di atas India”. Ini hampir sangat puitis. Iklim yang disebabkan oleh bahan-bahan ini perlahan tapi pasti menghancurkannya. (Sumber, Pemeliharaan, Manajemen, Desain dan Kinerja Siklus Hidup Vol.12, 2016)

5.2.3 Kontribusi Baja Merupakan Kontributor Utama Perubahan Iklim

Setiap tahun, Amerika Serikat menghabiskan hampir satu triliun dolar untuk memerangi korosi logam, suatu reaksi elektrokimia yang terjadi ketika logam teroksidasi dan mulai berkarat. Kini, tim peneliti yang dipimpin oleh Ohio State University (OSU) telah memperkirakan seberapa besar korosi yang secara bertahap memperburuk emisi karbon global. Meskipun penelitian sebelumnya telah memperkirakan kerugian

ekonomi akibat korosi sekitar tiga hingga empat persen dari produk domestik bruto Amerika Serikat, ini adalah studi pertama yang mengukur dampak lingkungan yang terkait dengan korosi baja.

Produksi baja global terus meningkat selama beberapa dekade dan, karena baja memiliki ketahanan yang buruk terhadap korosi, sebagian dari permintaan tersebut adalah untuk menggantikan baja dari bahan konstruksi yang telah terkorosi seiring berjalannya waktu. Menurut para ahli, mengurangi jumlah baja yang perlu diganti karena korosi dapat berdampak signifikan terhadap jumlah gas rumah kaca yang dihasilkan untuk membuat baja. “Meningat ketergantungan masyarakat pada bahan bakar batu bara, produksi besi dan baja merupakan salah satu penghasil gas rumah kaca terbesar dibandingkan industri mana pun. Namun sebagian besar biaya yang terkait dengan industri ini sebenarnya berasal dari energi yang digunakan untuk membuat baja, dan energi tersebut hilang saat baja berubah menjadi karat, yang mirip dengan bentuk aslinya berupa bijih besi,” jelas penulis senior studi Gerald Frankel, seorang profesor Ilmu dan Teknik Material di OSU.

Dengan menggunakan data historis intensitas karbon dioksida untuk memperkirakan tingkat CO₂ per tahun mulai tahun 1960, para ilmuwan menemukan bahwa, pada tahun 2021, produksi baja menyumbang 27 persen emisi karbon sektor manufaktur global, dan sekitar 10,5 persen dari total emisi karbon. emisi karbon di seluruh dunia, sementara emisi baja yang terkorosi

menyumbang sekitar 1,6 hingga 3,4 persen emisi. Untungnya, karena peraturan yang diberlakukan pada industri baja, kemajuan teknologi dalam industri baja telah menghasilkan pengurangan konsumsi energi sebesar 61 persen selama setengah abad terakhir. Meskipun demikian, para pembuat kebijakan dan pejabat industri tetap harus bertindak segera untuk mengubah dan mengkoordinasikan kebijakan internasional mengenai produksi baja dan manajemen korosi.

Strategi internasional yang terkoordinasi, serta penurunan permintaan baja global, dengan menggunakan praktik terbaik untuk mitigasi korosi, dapat meningkatkan strategi manajemen korosi global dengan lebih baik dan secara drastis mengurangi peningkatan emisi gas rumah kaca yang kita lihat akibat penggantian baja yang terkorosi berulang kali," Frankel dikatakan. Jika tindakan tersebut tidak segera dilakukan, emisi rumah kaca yang disebabkan oleh industri baja dapat melonjak hingga 27,5 persen dari emisi karbon global pada awal tahun 2030, dengan empat hingga sembilan persen dari jumlah tersebut adalah baja yang terkorosi. Hal ini bisa berdampak buruk pada iklim bumi. "Pemanasan global adalah tantangan sosial yang membutuhkan koordinasi dari banyak pendekatan multidisiplin. Pekerjaan kami mengungkap masalah yang tampaknya luput dari perhatian karena pentingnya menambah masalah tersebut,". (Sumber, <https://www.earth.com/news/steel-corrosion-is-a-major-contributor-to-climate-change>)

5.3 Dampak Iklim Terhadap Korosi Infrastruktur

5.3.1 Bagaimana perubahan iklim mempengaruhi infrastruktur transportasi?

Akademisi Fakultas Teknik Sipil, Profesor Devid Levinson adalah pakar teknik transportasi yang mengatakan bahwa infrastruktur transportasi berkontribusi terhadap perubahan iklim, namun juga dapat terkena dampaknya. "Masalahnya terjadi pada dua arah dalam transportasi. Biasanya, transportasi jalan raya dan udara dianggap sebagai kontributor utama perubahan iklim, yang menyumbang 23 persen emisi CO₂," kata Profesor Levinson. Tetapi transportasi juga rentan, terutama karena begitu banyak fasilitas seperti jalan raya dan terminal bus yang berada di zona banjir, misalnya New Jersey Transit kehilangan \$US120 juta akibat kerusakan bus setelah Badai Sandy.

Banyak fasilitas transportasi juga berada di bawah permukaan tanah, terowongan seperti yang ada di New York Subway rusak parah akibat banjir saat Sandy. Bandara yang berada pada ketinggian rendah di sepanjang pantai berisiko terhadap kenaikan permukaan laut. Panas ekstrem dapat menyebabkan jalan melengkung, siklus beku-cair menyebabkan trotoar retak dan berlubang. Cuaca ekstrem meningkatkan variabilitas cuaca, dan jalan yang dirancang untuk rentang iklim tertentu mungkin lebih cepat rusak. Semua hal ini menambah biaya desain dan retrofit, serta menurunkan keandalan bagi pengguna."

5.3.2 Penerbangan bisa menjadi industri yang paling terkena dampak perubahan iklim

Profesor Rico Merkert adalah akademisi dari Business School Universitas Sydney yang ahli di bidang transportasi dan logistik. Meskipun kontribusi sektor penerbangan dalam emisi CO₂ global berada di bawah 3 persen dan para komentator memperkirakan bahwa gerakan 'flight malu' global dapat mengurangi separuh pertumbuhan lalu lintas udara, penting untuk dicatat bahwa sektor penerbangan mungkin merupakan sektor transportasi yang paling terkena dampaknya. oleh perubahan iklim.

Sebagai permulaan, tidak ada seorang pun yang suka berada dalam penerbangan yang bergejolak dan perubahan iklim meningkatkan ketidakstabilan cuaca. Terlebih lagi, bandara-bandara besar biasanya dibangun di tempat yang memiliki kondisi angin yang mendukung dan umumnya berada di dekat wilayah pesisir. dan angin yang merusak semakin meningkat seiring dengan perubahan iklim, bandara-bandara menjadi sangat terbuka dan sudah mengalami gangguan parah. Yang lebih buruk lagi, dengan meningkatnya suhu, pesawat-pesawat besar di beberapa bandara tidak bisa lagi lepas landas. Industri tentu saja menyadari hal ini dan tidak hanya mulai mengurangi jejak karbonnya namun juga mulai menerapkan tindakan penanggulangan seperti membangun bandara-bandara baru. sedang dibangun jauh di atas permukaan laut saat ini, dan maskapai penerbangan, seperti Qantas, baru-

baru ini mengumumkan inisiatif untuk mengurangi emisi bersih CO₂.

Apa yang juga harus disebutkan adalah bahwa, khususnya, infrastruktur bandara regional dan terpencil sangat penting bagi respons kebakaran hutan dan operasi bantuan bencana. Kebanyakan orang mengasosiasikan perjalanan udara dengan pariwisata, namun peran mereka dalam perdagangan dan perdagangan sangat penting: bandara adalah tujuan utama dari perjalanan udara. tulang punggung pengangkutan dan rantai pasokan global, perubahan iklim lebih lanjut tidak hanya akan sangat mengganggu industri penerbangan namun juga perekonomian global.

5.3.3 Dampaknya terhadap jaringan air

Profesor Marjorie Valix dari Fakultas Teknik Kimia dan Biomolekuler mengatakan ada beberapa dampak yang dapat ditimbulkan pada infrastruktur pembawa air. “Perubahan iklim dapat berdampak pada infrastruktur pembawa air melalui empat cara utama, yaitu melalui peningkatan dan penurunan curah hujan, kenaikan permukaan laut, dan suhu yang lebih tinggi,”.



Gambar 5.9 Bendungan (*Dok. Kementerian PUPR*)

Setiap skenario memberikan tekanan yang signifikan pada aset jaringan air kami. Peningkatan curah hujan dapat menyebabkan kerusakan infrastruktur dan limpasan tanah; penurunan curah hujan dapat menyebabkan peningkatan polusi air karena penurunan aliran air; peningkatan suhu udara dan air menyebabkan lebih cepatnya aliran air, penguapan dan korosi aset; dan kenaikan permukaan air laut dapat mempengaruhi ketersediaan dan kualitas pasokan air karena intrusi air asin ke akuifer air tanah dan jaringan distribusi.

Apa yang kita saksikan saat ini adalah penurunan curah hujan yang drastis. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa curah hujan akan terus menurun di pusat-pusat perkotaan Australia, membuat kita lebih bergantung pada desalinasi, yang biayanya mahal.

Penurunan curah hujan juga dapat meningkatkan biaya infrastruktur, dengan biaya pemeliharaan dan perbaikan yang lebih tinggi untuk sistem pengolahan air karena kualitas input yang lebih rendah."

5.3.4 **Jembatan harus diperkuat untuk bertahan dari perubahan iklim**

Pakar teknik jembatan yang baru-baru ini bergabung dengan Fakultas Teknik Sipil sebagai Profesor Praktik, Profesor Wije 'Ari' Ariyaratne, mengatakan infrastruktur Jembatan harus diperkuat untuk bersiap menghadapi peningkatan pemicu stres akibat perubahan iklim. Jalan menyatukan masyarakat dan jembatan merupakan penghubung penting dalam infrastruktur jalan. Ada sekitar 53.000 jembatan jalan raya di Australia dengan perkiraan nilai penggantian sekitar \$200 miliar.

Jembatan mulai rusak segera setelah dibuka untuk lalu lintas, namun umumnya dirancang untuk umur layanan lebih dari 100 tahun. Bukti menunjukkan bahwa dengan pemeliharaan yang tepat, sebagian besar jembatan yang ada akan berfungsi dengan baik tanpa mengurangi keselamatannya. Perubahan iklim mungkin memiliki dampak buruk multidimensi terhadap keselamatan, kinerja dan umur panjang jembatan yang ada dan dalam kasus ekstrim bahkan dapat mengakibatkan hilangnya beberapa jembatan karena suhu ekstrim, tingkat dan kecepatan banjir yang lebih tinggi serta kebakaran hutan.

Jembatan baru dapat dirancang dan dibangun untuk menopang perubahan iklim dengan mengikuti

peraturan baru. Tantangan bagi para insinyur saat ini adalah mengembangkan teknik baru untuk menilai jembatan yang ada terhadap dampak perubahan iklim dan menghasilkan metode yang hemat biaya untuk meningkatkan kinerja dan keberlanjutannya. (Sumber : <https://www.sydney.edu.au/news-opinion/news/2019/11/27/how-climate-change-impacts-infrastructure--experts-explain.html>).

5.4 Manfaat Iklim dan Cuaca Bagi Kehidupan

1. Bidang teknologi : Pemanfaatan iklim dan cuaca untuk mendukung sumber energi alternatif dan terbarukan berupa Pembangkit Listrik Tenaga (Air, Anging, Surya). Pemanfaatan sumber daya seperti batu bara, bahan bakar minyak seperti kita ketahui semakin tidak efisien dan cenderung kurang baik bagi ekosistem dunia yang berpengaruh pada iklim serta cuaca.
2. Bidang Pertanian : Penentuan iklim dan musim berfungsi untuk menentukan masa tanam, dengan mengenal tipe iklim dan cuaca di suatu daerah dapat dipilih tanaman yang cocok di lingkungannya. Karena faktor iklim dapat menjadi penentu kecocokan jenis tanaman yang akan dibudidayakan di suatu tempat. Sementara prediksi awal musim berguna untuk merencanakan fase tanam suatu tanaman pertanian.
3. Bidang Infrastruktur : Pengaruh iklim ataupun cuaca suatu daerah dapat dikenali dari desain rumah di daerah itu pada umumnya. Cuaca dan iklim mempengaruhi struktur tanah. Seperti di daerah pinggir pantai masyarakat membangun rumah panggung. Sedangkan di daerah daratan rendah tidak dibangun rumah

panggung. Informasi iklim juga sangat berguna untuk perencanaan pembangunan jalan, jembatan, bandar udara, dan lain-lain.

4. Bidang transportasi : manfaat iklim di bidang transportasi khususnya pada bidang transportasi udara. Data cuaca sangat penting dalam penerbangan pesawat. Terutama saat lepas landas (*take off*) dan mendarat (*Landing*).
5. Bidang Pendidikan : Dewasa ini iklim mendorong kemajuan IPTEK. Manusia tidak lagi tergantung pada alam atau iklim, tetapi justru berupaya untuk menguasai dan berusaha beradaptasi dengan alam.
6. Bidang pariwisata : data iklim dapat mendukung pariwisata pada tempat-tempat tertentu khususnya tempat pariwisata alami di Indonesia yang beriklim tropis. Kondisi Indonesia memungkinkan dan ideal bagi aneka ragam jenis flora dan fauna dapat hidup dan berkembang. Selain itu data suhu dan curah hujan di suatu wilayah dapat digunakan untuk perencanaan pengembangan objek wisata. (*Sumber, BMKG 2020*)

Korosi dalam Struktur Bangunan Canggih:

6.1 Pendahuluan

Pembangunan di Indonesia mengalami kemajuan pesat dengan tingkat kemajuan yang berbeda-beda di berbagai bidang kehidupan. Salah satu capaian yang dicapai adalah pembangunan fisik wilayah, yang terlihat jelas pada perumahan, jalan, jembatan, gedung pencakar langit, sekolah, irigasi, dan lain-lain. Hal ini juga menjadi indikator perkembangan wilayah baik dari segi ekonomi, sosial, dan budaya.

Salah satu bangunan canggih saat ini yang sangat berarti keberadaannya yaitu jembatan yang digunakan sebagai penghubung antar wilayah untuk kelancaran transportasi di suatu wilayah.

Namun pada kenyataannya banyak bangunan atau infrastruktur selain jembatan seperti jalan dan gedung yang dibangun oleh para ahli konstruksi di Indonesia, seringkali mengalami kegagalan infrastruktur akibat korosi bangunan.

Ketika terjadi kegagalan infrastruktur, dapat mengakibatkan konsekuensi ekonomi yang jauh lebih besar

dibandingkan nilai aset itu sendiri. Banyak investigasi telah dilakukan untuk mengevaluasi kesehatan infrastruktur dan penyebab kegagalannya di berbagai negara.

Aspek yang perlu mendapat perhatian selama usia ekonomis bangunan jembatan adalah selama pengoperasiannya, potensi kerusakan jembatan yang sangatlah besar terjadi diakibatkan oleh adanya proses korosi pada suatu bangunan lama ataupun bangunan baru yang kurang perawatan.

Jembatan hendaknya berfungsi sebagai prasarana jalan yang memungkinkan pengangkutan kendaraan dari suatu tempat ke tempat lain dalam waktu yang sesingkat-singkatnya dengan memperhatikan persyaratan kenyamanan dan keselamatan. Namun jika struktur jembatan tidak dibangun secara profesional, jembatan tersebut bisa saja mengalami kegagalan infrastruktur.

Pengelolaan jembatan mulai dari perencanaan, pembangunan hingga pemeliharaan sangatlah penting. Hal ini merupakan suatu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan. Namun sebuah jembatan juga harus memperhatikan aspek keselamatan karena berdampak pada kehidupan masyarakat yang beraktivitas di atasnya. Dalam hal ini, industri jasa konstruksi sebagai kontraktor pembangunan jembatan harus memberikan perhatian khusus terhadap mutu kualitas struktur jembatan yang sedang dibangun.

6.2 Bangunan Canggih

Jembatan merupakan salah satu bangunan canggih saat ini yang sangat berarti keberadaannya. Jembatan merupakan penghubung antar wilayah sehingga kondisi ekonomi, sosial dan budaya masyarakat sangat terbantu. Kelancaran transportasi

dengan adanya jembatan akan sangat berpengaruh terhadap peningkatan kesejahteraan masyarakat.

Sering dijumpai banyak bangunan canggih seperti jembatan gantung mengalami kegagalan infrastruktur karena akibat korosi bangunan. Jembatan gantung adalah suatu sistem jembatan struktural yang pembawa beban utamanya adalah tali. Pada sistem ini, beberapa kabel digantung di atas kabel utama, menghubungkan kabel utama dengan penyangga jembatan. Kabel utama dihubungkan ke dua menara jembatan dan membentang di sepanjang jembatan. Mereka berakhir di jangkar di kedua ujung jembatan untuk menahan pergerakan vertikal dan horizontal dari beban kerja

Jembatan gantung adalah struktur peradaban kita yang paling elegan, estetik, dan relatif ekonomis. Desain jembatan gantung didasarkan pada model matematika, menggunakan pola perilaku fisik yang diketahui, namun memiliki banyak ikatan yang tidak diketahui dan tidak pasti (Crawford, Kenneth C, 2023).

Jembatan gantung yang dikembangkan pada awal tahun 1800 an merupakan sebuah keajaiban dalam bidang rekayasa jembatan dan mampu menjangkau jarak yang jauh. Komponen dasar jembatan gantung adalah kabel utama, menara, dan jangkar pengaman di kedua ujung jembatan. Komponen pembawa beban merupakan kabel utama sebagai komponen tegangan yang terbuat dari baja berkekuatan tinggi dan efisien dalam memikul beban. Dengan konfigurasi kabel suspensi ini bobot mati jembatan dapat dikurangi sehingga memungkinkan bentang yang lebih panjang. Jembatan gantung awal mempunyai masalah dengan getaran dan beban angin sebelum dinamika beban angin pada jembatan

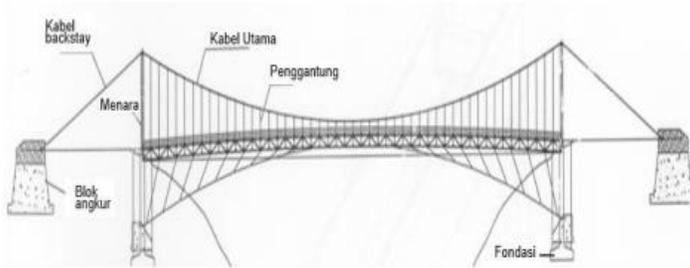
dipahami. John Roebling adalah insinyur pertama yang membangun jembatan gantung yang dirancang untuk memuat angin yaitu jembatan Roebling di Cincinnati, Ohio, gambar 6.1.



Gambar 6.1 John R Roebling Suspension Bridge Cincinnati, OH Opened 1867. CC BY-SA 3.0 (Crawford, Kenneth C, 2022).

Dalam makalah Arioglu, penulis menggambarkan “jembatan gantung sebagai mahakarya dari profesi teknik dengan sistem penahan beban. Bagian yang secara konseptual jelas dan sangat hiperstatis dan mengalami perpindahan besar di bawah beban yang memiliki perilaku nonlinier dan peka terhadap beban horizontal, seperti beban angin.

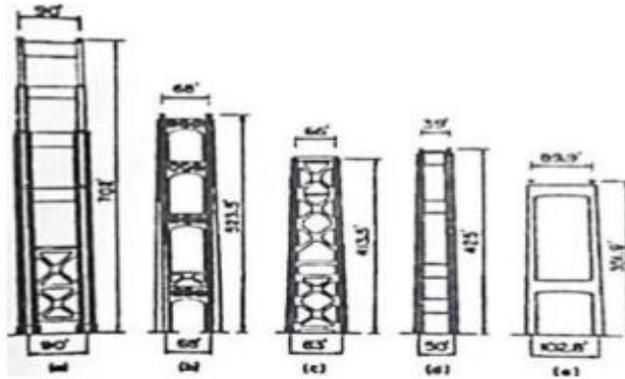
Sistem jembatan ini merupakan sistem yang mampu menampung bentang terpanjang dari seluruh sistem struktur jembatan yang ada. Bila menggunakan jembatan gantung jenis ini, harus diperhatikan bahwa strukturnya dapat didirikan pada bentang yang besar tanpa menggunakan penyangga pusat atau pilar ditengahnya.. Komponen atau bagian bangunan atas jembatan gantung antara lain lantai jembatan (dek), kabel penyangga, kabel induk, dan menara. Sketsa jembatan gantung dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 6.2 Sketsa Jembatan Gantung, (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010)

a. Menara

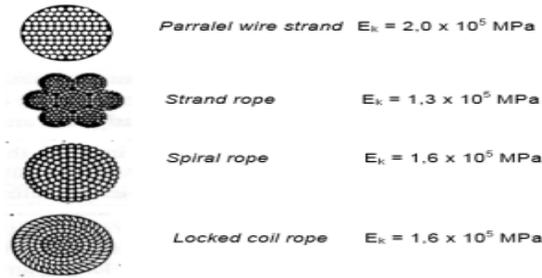
Menara sistem jembatan gantung akan menjadi tumpuan kabel utama. Beban yang dibawa oleh tali kemudian dipindahkan ke menara, yang kemudian disalurkan ke tanah melalui pondasi. Oleh karena itu, untuk mendistribusikan beban dengan benar, Anda juga perlu mengetahui bentuk atau jenis menara yang akan digunakan. Menara ini dapat berbentuk portal, bertingkat atau diperkuat secara diagonal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Struktur menara juga dapat berupa struktur berupa konstruksi seluler, yang terbuat dari pelat baja lembaran, baja berongga, atau beton bertulang. Penopang Menara umumnya baja yang dianggap sebagai pin atau sambungan. Kini roller support banyak digunakan untuk penyangga kabel pada bagian atas menara untuk mengurangi efek ketidakseimbangan manara akibat defleksi kabel.



Gambar 6.3 Tipe Menara (Respa Rose Mangi, 2017)

b. Kabel

Kabel merupakan bahan atau material utama dalam struktur jembatan gantung. Struktur kabel pada jembatan gantung terdiri dari kabel utama dan kabel penggantung. Kabel utama adalah kabel yang berfungsi sebagai penahan kabel penggantung dan menyalurkan beban dari kabel penggantung ke menara. Tali penopang adalah tali vertikal/diagonal yang berfungsi sebagai penyangga tanah dan memindahkan beban dari tanah ke tali utama. Kabel dengan inti fleksibel tidak boleh digunakan pada jembatan gantung ini, kabel harus memiliki kekuatan leleh minimal 1500 MPa. Kabel pendukung yang digunakan terbuat dari bahan berkualitas tinggi dengan kuat tarik minimal 1800 MPa. Jenis kabel ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 6.4 Penampang Melintang Kabel (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010)

Sifat-sifat kabel dan hubungannya dengan struktur jembatan gantung antara lain:

1. Memiliki penampang melintang yang seragam pada seluruh bentang
2. Tidak dapat menahan momen dan gaya tekan
3. Gaya dalam efektif selalu merupakan gaya tarik aksial
4. Bentuk kabel tergantung pada beban yang bekerja padanya
5. Ketika kabel dibebani dengan beban yang merata, maka akan terlihat bentuk lengkung parabola
6. Pada jembatan gantung, tali memikul beban titik sepanjang beban horizontal.

Hal yang perlu diperhatikan pada perawatan kabel:

1. Penguatan kabel (rantai) sangat penting untuk memastikan bahwa kabel dikencangkan dengan benar namun tetap stabil.

2. Bersihkan dan beri oli pada kabel secara berkala.
3. Pastikan tidak ada air atau lumpur yang mengendap pada bagian baja, karena berisiko menimbulkan karat (Ekart Hartmann et al., 2005).

Diameter	Approx. nominal length mass	Minimum Breaking Force 1960 / EIPS Grade	
		kN	Tonnes
8	0.26	44.7	4.56
9	0.33	56.5	5.76
10	0.41	69.6	7.12
11	0.50	84.4	8.60
12	0.59	100	10.2
13	0.69	116	12.0
14	0.80	137	14.0
16	1.05	179	18.2
18	1.33	226	23.0
19	1.48	252	25.7
20	1.64	279	28.4
22	1.98	338	34.5
24	2.36	402	41.0
26	2.76	472	48.1
28	3.21	547	55.8
32	4.19	715	72.9
36	5.30	904	92.2
38	5.91	1010	103
40	6.54	1120	114
44	7.92	1350	138
48	9.42	1610	164
52	11.1	1890	193

Gambar 5. Tabel Untuk Menunjukkan Minimum Breaking Force (PT WIKA, 2018)

c. Deck jembatan

Sistem lantai (dek) merupakan struktur memanjang yang menyalurkan dan mendistribusikan beban hidup, berfungsi sebagai penghubung sistem melintang dan menjamin kestabilan aerodinamis struktur. Saat mendesain teras, aliran udara vertikal dan berat teras itu sendiri harus diperhitungkan. Dengan menggunakan sistem lantai (jembatan), kekakuan struktur jembatan gantung dapat ditingkatkan.

Bahan yang digunakan untuk pelat (sistem lantai) biasanya pelat beton bertulang relatif ringan, pelat ortotropik, atau balok baja berongga yang sebagian diisi beton (komposit baja-beton). Pada teras (sistem lantai ini), Anda harus mempertimbangkan dengan cermat efek pembengkakan dan penyusutan material baja atau beton. Apabila pemuaian dan penyusutan tidak dikendalikan maka dapat menimbulkan tegangan tambahan pada struktur jembatan itu sendiri dan juga merusak struktur jembatan. Oleh karena itu, sambungan ekspansi harus digunakan setiap 30–40 m untuk menghindari kerusakan pada struktur utama jembatan.

6.3 Kegagalan Struktur Bangunan Canggih

Dalam beberapa kasus keruntuhan jembatan gantung terdapat beberapa kerusakan akibat korosi yang menyebabkan kegagalan pada struktur jembatan. Temuan yang diperoleh pada kegagalan jembatan gantung yang disebabkan korosi antara lain:

1. Baja tidak homogen, misalnya pada komposisi, struktur kristal, tegangan internal, pengotor, dll.
2. Lingkungan baja tidak seragam, misalnya: konsentrasi ion, konsentrasi oksigen, laju aliran, suhu, dll.

Korosi merupakan reaksi elektrokimia dimana baja yang bersentuhan langsung dengan oksigen (ada di udara atau terlarut dalam air) cenderung kembali ke bentuk aslinya (bijih) membentuk oksida besi di permukaan (karat). Volume karat 2 - 6 kali lebih besar dari baja dan hal ini menyebabkan berkembangnya tegangan tarik yang besar pada area sekitar beton yang mengakibatkan terjadinya keretakan dan

pengelupasan pada beton serta berkurangnya ikatan antara tulangan dan beton yang dapat mempengaruhi berbagai karakteristik seperti sifat kinerja mekanik dan kapasitas beban struktur beton (Antonia Menga, 2022).

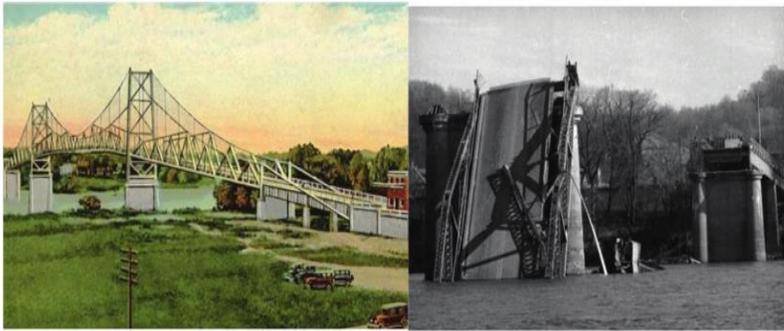
Korosi merupakan faktor utama kerusakan struktur baja. Kerusakan akibat lelah dan patah getas merupakan masalah khusus pada struktur baja akibat pembebanan berulang dalam jangka waktu yang lama. Seperti yang dikatakan Contreras-Nieto dkk. menyatakan dalam makalah mereka ketika sejumlah besar jembatan baja mendekati akhir masa pakainya, memahami karakteristik kerusakan dan tingkat kerusakan akan membantu pemangku kepentingan jembatan memprioritaskan pemeliharaan, perbaikan, dan rehabilitasi jembatan (Kenneth C. Crawford, 2022).

Kegagalan jembatan berikut ini salah satu dari sekian banyak jembatan yang runtuh di Amerika Utara selama beberapa dekade terakhir, yang sayangnya telah memakan banyak korban jiwa. Kegagalan tersebut disebabkan oleh banyak faktor, yang kesemuanya disebabkan oleh kesalahan manusia pada tahap desain, konstruksi, inspeksi, dan pemeliharaan jembatan.

Jembatan Perak, di Point Pleasant WVA, menyeberang ke Gallipolis, Ohio, melintasi Sungai Ohio, dibuka pada tahun 1928, yang merupakan jembatan pertama di AS yang menggunakan sistem suspensi eye-bar-link. Pada pukul 5 sore tanggal 15 Desember 1967, satu batang mata gagal menyebabkan jembatan runtuh dalam hitungan detik, menewaskan 46 orang.

Analisis kegagalan: Fraktur belahan dada pada ekstremitas bawah mata bar 330 adalah penyebab kegagalan

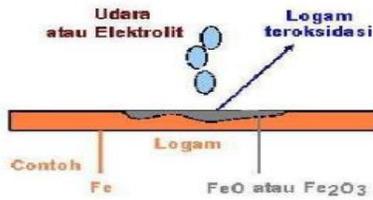
jembatan. Kegagalan satu titik menyebabkan seluruh jembatan runtuh. Faktor penyebabnya adalah fakta bahwa jembatan tersebut tidak memiliki redundansi, tidak ditemukannya mata retak pada batang mata pada pemeriksaan rutin, dan tindakan gabungan dari korosi tegangan dan kelelahan korosi selama 40 tahun. Hasilnya, Kongres AS mengesahkan undang-undang federal yang mewajibkan inspeksi sistematis terhadap semua jembatan AS (Kenneth C. Crawford, 2022).



Gambar 6.6. Jembatan Perak pada tahun 1928, gagal pada bulan Desember 1967. CC BY-SA 3.0 (Kenneth C. Crawford, 2022).

6.4 Mekanisme Korosi

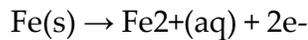
Korosi merupakan proses oksidasi logam dengan udara atau elektrolit lainnya, dimana udara atau elektrolit tersebut mengalami reduksi, sehingga proses korosi merupakan proses elektrokimia. Korosi berkaitan dengan logam karena hampir semua logam merupakan bahan yang mudah terkorosi (Arief Subakti Ariyanto, 2022).



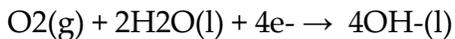
Gambar 6.7 Korosi logam Fe dan berubah menjadi oksidanya (Arief Subakti Ariyanto, 2022)

Korosi terjadi melalui reaksi redoks di mana logam teroksidasi dan oksigen tereduksi. Karat pada besi merupakan zat berwarna coklat kemerahan dengan rumus kimia $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

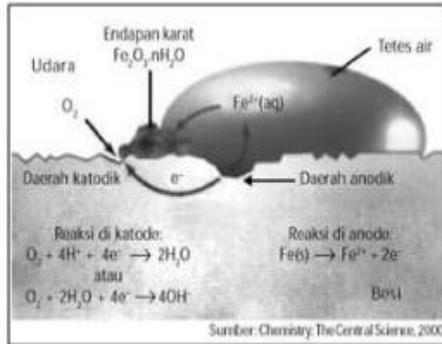
Oksida besi (karat) dapat terkelupas dan menyebabkan korosi bertahap pada permukaan yang baru terbuka. Korosi secara keseluruhan merupakan proses elektrokimia. Ketika besi terkorosi, sebagian besi bertindak sebagai anoda, tempat besi tersebut teroksidasi.



Elektron yang dibebaskan dalam oksidasi akan mengalir ke bagian lain untuk mereduksi oksigen.



Ion besi (II) yang terbentuk pada anode akan teroksidasi membentuk besi(III) yang kemudian membentuk senyawa oksida terhidrasi $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ yang disebut karat.



Gambar 6.8 Proses Perkaratan (korosi) Besi (Arief Subakti Ariyanto, 2022).

6.4.1 Faktor Penyebab / yang Mempercepat Korosi

Beberapa faktor yang menyebabkan atau mempercepat terjadinya korosi pada beton bertulang, antara lain:

- Kelembaban air dan udara Dilihat dari reaksi yang terjadi selama proses korosi, air merupakan salah satu faktor utama terjadinya proses korosi. Udara lembab yang banyak mengandung uap air mempercepat proses korosi. Oleh karena itu, jika tulangan dibiarkan di luar ruangan tanpa perlindungan dan pemeliharaan yang tepat, maka tulangan tersebut akan mudah berkarat atau terkorosi.
- Elektrolit (asam atau garam) Elektrolit (asam atau garam) merupakan media yang baik untuk membawa muatan. Hal ini memudahkan elektron untuk berikatan dengan oksigen di udara. Air hujan mengandung banyak asam dan oleh karena itu merupakan penyebab utama korosi. Pada dasarnya

perawatan baja tulangan sangat penting karena apabila disimpan di luar ruangan mempunyai resiko tinggi terjadinya korosi, karena baja tulangan tentunya akan bersentuhan langsung dengan air hujan atau udara lembab sehingga akan mempercepat proses korosi pada tulangan. Baja (Purnawan Gunawan dan Wibowo, 2007).

6.4.2 Hal-hal yang Terkait Langsung Pada Korosi Baja Tulangan

Pengaruh Efek agresif dari zat korosif ini menyebabkan perubahan pada baja lapis baja, antara lain diameter yang besar dan bobot yang lebih besar. Hal ini mempengaruhi kekuatan struktur beton bertulang, terutama kekuatan sambungan antara baja tulangan itu sendiri dengan beton.

Persyaratan dasar struktur beton bertulang adalah sambungan sempurna antara besi tulangan dengan beton di sekitarnya tanpa tergelincir atau bergeser. Kekuatan rekat adalah kemampuan menahan tegangan fusi antara tulangan dengan beton disekitarnya ketika ada gaya penahan dari luar yang bekerja atau dapat mengakibatkan hilangnya ikatan antara tulangan dengan beton.

Pengaruh Korosi Baja Tulangan Terhadap Struktur Tidak hanya mempengaruhi kekuatan sambungan, korosi pada suatu bangunan juga dapat mempengaruhi umur bangunan seiring dengan menurunnya kinerja komponen struktur bangunan. Untuk mencapai umur bangunan yang diinginkan, diperlukan pemeliharaan dan pemeliharaan yang berkelanjutan (Fahira F, 2007).

Korosi pada struktur menimbulkan beberapa kerugian yaitu H. tambahan biaya yang dikeluarkan untuk memperbaiki kerusakan akibat korosi, kekuatan bangunan menjadi berkurang sehingga membahayakan keselamatan dan mempengaruhi keindahan bangunan.

6.4.3 Laju Korosi

Laju korosi (Corrosion rate) adalah laju penurunan kualitas suatu material seiring berjalannya waktu. Laju korosi merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur ketahanan korosi suatu material, sehingga selanjutnya dapat dinilai apakah material tersebut dianggap cocok atau tidak. Satuan yang digunakan adalah gr/m².h (gram per meter persegi per jam).

Dua metode yang umum digunakan untuk menghitung laju korosi: metode kehilangan massa dan metode elektrokimia. Metode yang digunakan pada penelitian ini untuk menghitung laju korosi adalah metode kehilangan massa. Metode penurunan berat badan menghitung laju korosi dengan mengukur kehilangan berat akibat korosi (Iriansyah Putra, 2010).

Untuk menghitung nilai laju korosi dengan menggunakan metode kehilangan berat, digunakan rumus sebagai berikut:

$$CR = \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana:

CR= laju korosi (corrosion rate) (gr/m² .h)

$K = \text{konstanta } (1,0 \times 10^4 \times D \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h})$

$W = \text{kehilangan berat (gr)}$

$A = \text{luas baja tulangan yang terendam (cm}^2 \text{)}$

$T = \text{waktu terhadap korosi (h)}$

$D = \text{densitas dari baja karbon (7,86 gr/cm}^3 \text{)}$

6.4.4 Jenis-jenis Korosi (Panda, 2012)

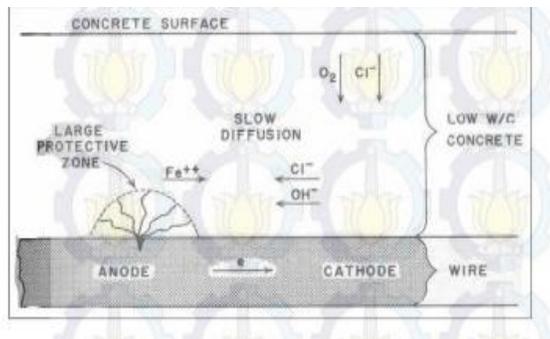
1. Korosi Sumuran (pitting corrosion), ini adalah korosi lokal yang terjadi pada permukaan terbuka setelah rusaknya lapisan pasif.
2. Korosi Arus Liar (stray-current corrosion), ini adalah korosi yang disebabkan oleh arus konvensional yang mengalir berlawanan arah dengan aliran elektron, yang kekuatannya dipengaruhi oleh kekuatan arus luar.
3. Korosi Celah, merupakan korosi lokal yang terjadi pada ruang antara dua elemen.
4. Korosi Logam Tak Sejenis (galvanic), merupakan korosi yang disebabkan oleh kombinasi dua logam berbeda dan kontak dengan lingkungan korosif, sehingga logam yang satu terkorosi dan logam lainnya terlindungi dari serangan korosi.
5. Korosi Merata (uniform corrosion), merupakan korosi yang terjadi secara bersamaan pada seluruh permukaan logam. Oleh karena itu, logam yang mengalami korosi seragam mengalami pengurangan ukuran yang relatif besar per satuan waktu.dst.
6. Korosi Erosi, merupakan korosi yang disebabkan oleh pergerakan relatif elektrolit dan permukaan logam.

Korosi ini umumnya terjadi akibat proses elektrokimia dan pengaruh mekanis seperti abrasi/erosi.

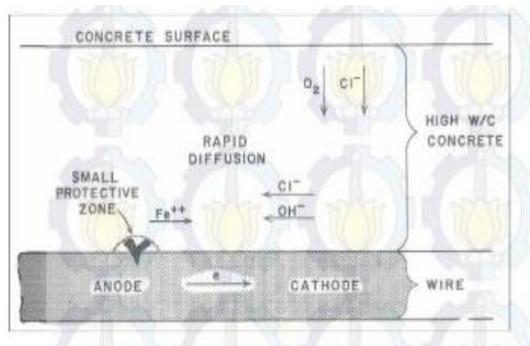
7. Korosi Intergranular, merupakan suatu bentuk korosi yang terjadi pada paduan logam akibat reaksi antar unsur logam.

6.5 Korosi pada Struktur Bangunan Canggih

Korosi merupakan proses alami yang terus berlangsung seiring waktu terutama didaerah pengaruh korosi tinggi (lingkungan agresif). Menurut Cantrell A., (2002), karbonat (O_2) dan ion klorida (Cl^-) turut mempengaruhi terjadinya proses korosi (Gambar 9 dan 10.).



Gambar 6.9 Skema korosi pada beton dengan faktor air-semen rendah (Cantrell A., 2002)

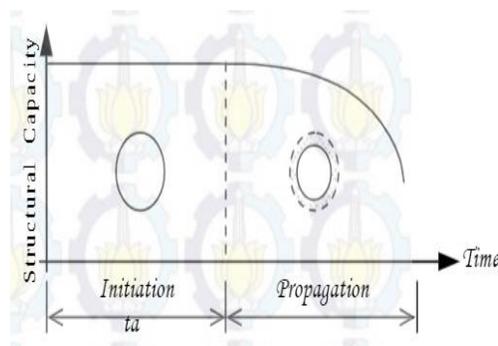


Gambar 6.10 Skema korosi pada beton dengan faktor air-semen tinggi (Cantrell A., 2002)

Karbonat dan ion klorida masuk dan berbauran melalui selimut beton hingga mencapai lapisan pasif tulangan dan berproses sehingga terjadi suatu reaksi elektrokimia. Proses korosi ini meningkat dari dalam selimut beton hingga mencapai lapisan pelindung tulangan (terjadi korosi tulangan beton). Gambar 9 menunjukkan dengan faktor air-semen yang rendah berarti mutu beton tinggi sehingga perlindungan terhadap tulangan lebih baik; sebaliknya dengan Gambar 10 lebih kecil.

Stewart M.G. dan Rosowsky D.V., (1998), berkesimpulan proses pengrusakan akibat korosi pada tulangan terdiri dari dua tahapan, yaitu:

- a. Initiation (inisiasi) yaitu waktu dimana proses masuknya ion klorida (Cl^-) kedalam beton hingga mencapai tulangan dan terakumulasi sampai mencapai konsentrasi tertentu hingga terjadi korosi. Pada waktu terjadi korosi inisiasi, tulangan masih tetap utuh sehingga tidak berpengaruh terhadap kekuatan struktur (lihat Gambar 11).



Gambar 6.11 Kinerja struktur akibat pengaruh korosi

(Darmawan M.S., 2006)

- b. Propagation (propagasi) yaitu korosi pada tulangan menyebabkan pengurangan luas tulangan (metal loss) sehingga terjadi penurunan kekuatan struktur (Gambar 11).

Proses korosi alami terjadi dalam jangka waktu yang cukup lama (> 5 tahun), maka sebagian besar penelitian tentang korosi menggunakan cara korosi yang dipercepat (accelerated corrosion test). Akan tetapi pada kondisi ekstrim, kecepatan korosi alami dapat mencapai $40 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Bahkan Andrade C. dan Alonso C. (1994) serta Millard (1993) mendapatkan dari hasil penelitian bahwa kecepatan korosi alami, i_{corr} dapat mencapai $100 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ atau setara dengan $1,160 \mu\text{m}/\text{year}$.

Korosi tulangan pada struktur beton bertulang merupakan penyebab utama kerusakan struktur. Korosi dimulai dengan retak memanjang, yang (biasanya) menyertai pelepasan ikatan lapisan beton. Beberapa jenis korosi diawali dengan kontaminasi ion klorida (Cl^-), lapisan beton yang buruk (p), atau kualitas beton yang buruk.

Stewart M.G., (2004) juga menyimpulkan bahwa kualitas pekerjaan beton yang buruk mengakibatkan kepadatan beton rendah dengan lapisan tebal yang tidak memenuhi peraturan dan persyaratan teknis. Ketebalan lapisan penutup beton yang tidak mencukupi dan kepadatan beton yang rendah menyebabkan garam (klorida) yang ada dalam air laut menembus beton ke dalam tulangan, terakumulasi di sana hingga konsentrasi tertentu dan merusak lapisan pelindung pasif tulangan.

Beton dengan sifat basa kuat ($\text{pH} \approx 12-13$) memungkinkan terbentuknya lapisan pelindung pada tulangan (Darmawan M.S.,

2006). Selama lapisan pelindung pasif tidak rusak, armor tersebut relatif terlindungi dari korosi.

6.6 Mencegah Kegagalan Struktur Bangunan Canggih (Jembatan) di Masa Depan

Inspeksi dan pemeliharaan jembatan adalah dua kegiatan terpenting pada jembatan yang ada untuk mempertahankan fungsi dan umur layanannya serta untuk menjamin keselamatan masyarakat. Perkumpulan Insinyur Sipil Amerika melaporkan bahwa satu dari sembilan jembatan di Amerika mengalami kekurangan struktur. Usia dan kondisi jembatan yang memburuk merupakan faktor penyebab banyak kegagalan jembatan baru-baru ini.

A. Inspeksi

Seperti yang dinyatakan Silano dan Henderson dalam bukunya “Inspeksi dan Rehabilitasi Jembatan” tujuan utama inspeksi jembatan adalah untuk menjamin keselamatan publik. Tujuan kedua adalah untuk melestarikan sisa umur struktur jembatan melalui deteksi dini dan mengatasi kekurangan.

Undang-undang federal mengatur persyaratan Program Inspeksi Jembatan. Kode Amerika Serikat (23 USC 151) mengharuskan Menteri Perhubungan, dengan berkonsultasi dengan departemen transportasi negara bagian, untuk menetapkan standar inspeksi jembatan nasional untuk inspeksi keselamatan yang tepat dan evaluasi semua jembatan jalan raya (Kenneth C. Crawford, 2023).

Persyaratan ini dijabarkan dalam Kode Peraturan Federal (Bagian 650, Subbagian C) dan mengatur Standar Inspeksi Jembatan Nasional (NBIS) melalui tujuan, penerapan, definisi istilah, kualifikasi personel, frekuensi inspeksi, prosedur inspeksi, prosedur inventaris, dan referensi pendukung. Administrasi Jalan Raya Federal (FHWA) telah mengembangkan 23 Metrik untuk Pengawasan Program Inspeksi Jembatan Nasional. Metrik ini adalah penilaian berbasis risiko terhadap kinerja program inspeksi jembatan negara bagian dan kepatuhan terhadap NBIS. Setiap tahun, program Inspeksi jembatan diaudit oleh FHWA untuk mengetahui kepatuhan terhadap metrik ini. Namun kegagalan jembatan masih terjadi (Kenneth C. Crawford, 2023).

B. Pemeliharaan

Dengan inspeksi dan identifikasi yang tepat terhadap persyaratan pemeliharaan untuk menjaga integritas anggota struktural jembatan, kerusakan komponen jembatan hingga titik kegagalan dapat dicegah. Korosi, salah satu penyebab utama hilangnya bagian struktur baja dan tulangan beton, menyebabkan penurunan kekuatan dan meningkatkan risiko kegagalan. Pemeliharaan yang tepat waktu dapat mencegah kerusakan jembatan dan potensi kegagalan. Kurangnya pemeliharaan jembatan adalah penyebab kegagalan jembatan yang paling dapat dicegah (Kenneth C. Crawford, 2023).

C. Pengujian Non-Destruktif (NDT)

Penggunaan pengujian non-destruktif (NDT) pada komponen jembatan beton dan baja berguna dalam menentukan kondisi material. Dari sekian banyak metode NDT yang tersedia untuk inspektor jembatan, inspeksi visual adalah salah satu yang paling efektif. Untuk menguji rongga dan delaminasi pada beton, metode impact-echo efektif dalam mendeteksi delaminasi substrat. Metode ini diterapkan dengan mesin tumbukan kecil untuk mendeteksi pelepasan ikatan pelat CFRP pada jembatan di Makedonia. Metode dampak NDT yang digunakan dalam inspeksi berkala jembatan memberikan data penting mengenai kondisi jembatan (Kenneth C. Crawford, 2023).

6.7 Penutup

Menghindari terjadinya kegagalan atau keruntuhan konstruksi yang akan berdampak luas terhadap perpindahan kendaraan dari suatu tempat ke tempat lainnya, dimana tidak tercapainya persyaratan nyaman dan aman dalam dalam bertransportasi. Hal ini disebabkan karena sering dijumpai banyak bangunan canggih seperti jembatan mengalami kegagalan infrastruktur karena akibat adanya korosi bangunan. Kegagalan suatu konstruksi jembatan perlu disikapi mulai dari tahap pra rencana, perencanaan maupun pelaksanaan pengawasan sampai dengan tahap operasionalnya. Jembatan merupakan suatu konstruksi yang menerima beban bergerak selama umur konstruksi maka perlu dilakukan pemeliharaan secara berkala pada tahap operasionalnya.

Kegagalan jembatan jarang terjadi, namun bisa saja terjadi. Oleh karena itu bagaimana cara mengurangi laju

kerusakan jembatan dan mencegah kegagalan jembatan. Komponen-komponen jembatan, mulai dari pondasi hingga bangunan keseluruhan jembatan dapat mengalami kerusakan dalam beberapa bentuk. Dua elemen utama kerusakan adalah air yang mengandung bahan kimia penghilang lapisan es pada beton dan baja, serta lalu lintas kendaraan yang padat. Untuk menjaga integritas struktural dan masa pakai jembatan, diperlukan inspeksi, pemeliharaan, dan program pendanaan yang kuat. Penekanan inspeksi harus ditempatkan pada jembatan yang tidak kritis terhadap patahan untuk mencegah kegagalan di masa mendatang.

Korosi pada Material Non-logam:

7.1 Pendahuluan

Terdapat banyak sekali jenis material yang tersedia di alam. Di dalam dunia teknik, material umumnya diklasifikasikan menjadi empat jenis yaitu : material logam, keramik, polymer, dan komposit. Saat ini penggunaan material logam dan berbagai paduannya masih mendominasi. Penggunaan material komposit dan keramik untuk peralatan pada akhir abad 20 mulai berkembang cukup pesat.



Gambar 7.1 Tabel Periodik

Sumber : Buku Teknik Dasar Non-Logam, Cahyo Kuncoro

7.2 Non-Logam

Secara umum bahan non logam didefinisikan sebagai bahan-bahan yang tidak mengandung unsur logam didalamnya. Namun jika dilihat dari sudut keunsurannya, Non logam didefinisikan sebagai kelompok unsur kimia yang bersifat elektronegatif, yaitu lebih mudah menarik elektron valensi dari atom lain dari pada melepaskannya. Unsur unsur yang termasuk dalam non logam adalah:

1. Halogen : Fluorine (F), Chlorine (Cl), Bromine (Br), Iodine (I), Astatine (At), Ununseptium (Uus).
2. Gas mulia : Helium (He), Neon (Ne), Argon (Ar), Krypton (Kr), Xenon (Xe), Radon (Rn), Ununoctium (Uuo).
3. Non Logam lainnya : Hidrogen (H), Carbon (C), Nitrogen (N), Phosphorus (P), Oxygen (O), Sulfur (S), Selenium (Se).

PERIODIC TABLE OF ELEMENTS

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	116 Uuh			

KEY	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb
6 C	138 La	140 Ce	141 Pr	144 Nd	(145)	150 Sm	152 Eu	157 Gd	159 Tb	162,5 Dy	165 Ho	167 Er	169 Tm	173 Yb
12	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	103 No
	227	232	231	238	237	(244)	(245)	(247)	(247)	(251)	(252)	(257)	(258)	(259)

Gambar 7.2 Tabel Periodik

Sumber : 1999 Lawrence Barkeley National Laboratory

Sebagian besar nonlogam ditemukan pada bagian atas tabel periodik, kecuali hidrogen yang terletak pada bagian kiri atas bersama logam alkali. Walaupun hanya terdiri dari 20 unsur, dibandingkan dengan lebih dari 80 lebih jenis logam, nonlogam merupakan penyusun sebagian besar isi bumi, terutama lapisan luarnya. Pada tabel periodik, unsur-unsur di daerah perbatasan antara logam dan nonlogam mempunyai sifat ganda. Misalnya unsur Boron (B) dan Silikon (Si) merupakan unsur nonlogam yang memiliki beberapa sifat logam yang disebut unsur metaloid.

7.3 Sifat Fisis dan Sifat Kimia Non Logam

a) Sifat Fisis Non-logam

Pada umumnya unsur nonlogam mempunyai sifat fisis, antara lain:

1. Nonlogam tidak dapat memantulkan sinar yang datang sehingga nonlogam tidak terlihat mengkilat.
2. Nonlogam tidak dapat menghantarkan panas dan listrik sehingga disebut sebagai isolator.
3. Nonlogam sangat rapuh sehingga tidak dapat ditarik menjadi kabel atau ditempa menjadi lembaran.
4. Densitas atau kepadatannya pun relatif rendah sehingga terasa ringan jika dibawa dan tidak bersifat diamagnetik (dapat ditarik magnet).
5. Non Logam berupa padatan, cairan dan gas pada suhu kamar. Contohnya padatan Carbon (C), cairan Bromin (Br) dan gas Hidrogen (H).

b) Sifat Kimia Non-logam

Sifat-sifat kimia yang dimiliki unsur nonlogam antara lain:

1. Jika dilihat dari konfigurasi elektronnya, unsur-unsur nonlogam cenderung menangkap elektron karena memiliki energi ionisasi yang besar untuk membentuk anion. Contohnya, Cl^- , O^{2-} , N^{3-}
2. Umumnya unsur nonlogam memiliki titik leleh dan titik didih yang relatif rendah jika dibandingkan dengan unsur logam.
3. Nonlogam memiliki 4 sampai 8 elektron dalam kulit terluar dari atom atomnya.
4. Nonlogam yang bereaksi dengan logam akan membentuk garam.
non logam + logam garam
5. Kebanyakan non logam oksida yang larut dalam air akan bereaksi membentuk asam. Contohnya:
non logam oksida + air asam
 $\text{CO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 (\text{aq})$
6. Nonlogam dapat bereaksi dengan basa membentuk garam dan air.
non logam oksida + basa garam + air
 $\text{CO}_2 (\text{g}) + 2\text{NaOH} (\text{aq}) \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 (\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}$

7.4 Penggolongan Material Non Logam

Menurut Cahyo Kuncoro(2013:23-25), Material non logam dapat dibedakan menjadi beberapa golongan, yaitu:

1. Keramik

Material keramik merupakan material yang terbentuk dari hasil senyawa (compound) antara satu atau lebih unsur-unsur logam (termasuk Si dan Ge) dengan satu atau lebih unsur-unsur non logam. material jenis keramik semakin banyak digunakan, mulai berbagai abrasive, pahat potong, batu tahan api, kaca, dan lain-lain, bahkan teknologi roket dan penerbangan luar angkasa sangat memerlukan keramik.



Gambar 10.2 Keramik

Sumber : Leon, A. (2017). Material Non Logam.

Contoh keramik : silikon oksida, aluminium oksida, kalsium oksida, magnesium oksida, kalium oksida dan natrium oksida

- Sifat fisis dari Keramik adalah

- a) Keramik memiliki daya konduktivitas yang rendah dan cenderung berperan sebagai insulator. Sifat konduktivitas rendah didapat pada banyak keramik seperti SiO_2 disebabkan ikatan yang dibentuk adalah ikatan kovalen non-polar yang memiliki skala elektrolit rendah dibanding dengan ikatan kovalen polar dan ion.
- b) Titik didih keramik cukup tinggi, sebesar 600°C - 4000°C . Titik didih yang tinggi dari keramik disebabkan adanya ikatan kovalen raksasa dari unsur silikon yang memiliki sifat mirip dengan karbon yang memungkinkan silikon untuk melakukan ikatan kimia dengan banyak unsur karena memiliki empat lengan atom.
- Sifat Kimia dari keramik adalah ,
 - a) Dalam kondisi normal, keramik sangat sulit untuk mengalami korosi. Keberadaan silikon sebagai major element dalam keramik memang dapat dikategorikan sebagai logam, akan tetapi elektron valensi yang cukup banyak menjadi penghalang bagi oksidator untuk bertukar posisi dengan elektron pada silikon. Akan tetapi, korosi pada keramik dapat terjadi apabila terdapat unsur logam seperti natrium, aluminium, dan seng karena memiliki potensial oksidasi yang tinggi.
 - b) Keramik dapat larut jika bereaksi dengan larutan elektrolit sangat kuat seperti HCl dan $\text{Mg}(\text{OH})_2$

2. Plastik (Polimer)

Plastik merupakan bahan yang sangat penting dalam dunia permesinan dan industry modern. Plastik adalah bahan sintetis berasal dari minyak mineral, gas alam, atau dibuat dari bahan asal batu bara, batu kapur, udara, air dan juga dari binatang dan tumbuh-tumbuhan. Pengolahannya dapat dikerjakan pada proses panas dan tekanan.

Sifat-sifat plastik pada umumnya adalah sebagai berikut:

- a) Tahan korosi oleh atmosfer ataupun oleh beberapa zat kimia.
- b) Berat jenisnya cukup rendah, sebagian dapat mengapung dalam air.
- c) Cukup ulet dan kuat, tetapi kekuatannya dibawah logam.
- d) Bahan termoplastik mulai melunak pada suhu yang rendah, sedikit mempunyai wujud yang menarik dan dapat diberi warna, ada yang transparan. Sifat mekanik dari plastic adalah tidak mudah pecah dan rapuh. Beberapa bahan plastic koefisien gesekan sangat rendah sehingga sering digunakan sebagai bantalan kering.

Keburukan-keburukan dari plastik adalah sebagai berikut :

- a) Kecenderungan memuai yaitu menjadi lebih panjang dengan adanya beban.
- b) Suhu diatas 200 C sifatnya menjadi kurang baik.

c) Terjadi perubahan polimer selama pemakaian yang kemungkinan sekali karena aksi dari sinar ultraviolet.

3. Komposit

Komposit merupakan material hasil kombinasi dari dua material atau lebih, yang sifatnya sangat berbeda dengan sifat masing-masing material asalnya. Komposit selain dibuat dari hasil rekayasa manusia, juga dapat terjadi secara alamiah, misalnya kayu, yang terdiri dari serat selulosa yang berada dalam matriks lignin. Komposit saat ini banyak dipakai dalam konstruksi pesawat terbang, karena mempunyai sifat ringan, kuat dan non magnetik. Komposit buatan manusia biasanya merupakan gabungan antara material serat yang kuat seperti serat kaca, karbon atau boron yang digabungkan dalam matriks resin seperti epoxy atau polimer. Kelebihan komposit adalah sifatnya yang dapat diatur. Salah satu cara pengaturan sifat pada material komposit adalah dengan mengubah arah orientasi, susunan, dan sudut material penyusunnya

7.5 Korosi Pada Material Non Logam

Korosi pada material non logam terjadi ketika bahan tersebut mengalami reaksi kimia yang merusak struktur atau sifatnya akibat paparan lingkungan yang korosif. Beberapa faktor yang mempengaruhi korosi pada bahan non logam meliputi paparan lingkungan yang mengandung zat korosif, seperti asam, alkali, atau bahan kimia berbahaya, serta sifat-sifat bahan non logam itu sendiri seperti kekuatan, kekerasan, dan porositas.

7.6 Perbedaan Korosi Pada Material logam dan Non-Logam

Perbedaan antara korosi pada logam dan bahan nonlogam dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Reaksi kimia yang terlibat:

Corrosion pada logam umumnya melibatkan reaksi oksidasi dan reduksi. Sedangkan korosi pada bahan nonlogam melibatkan perubahan struktur atau sifat bahan akibat reaksi kimia dengan lingkungan korosif.

- Faktor yang mempengaruhi korosi:

Faktor-faktor yang mempengaruhi corrosion pada logam dan bahan non logam dapat berbeda. Tergantung pada sifat-sifat material tersebut dan lingkungan korosif yang mereka hadapi. Misalnya, logam cenderung lebih rentan terhadap korosi oleh kelembaban dan oksigen, sementara bahan nonlogam mungkin lebih rentan terhadap korosi kimia oleh zat korosif dalam lingkungan.

- Mekanisme korosi yang terjadi:

Meskipun corrosion pada logam dan bahan nonlogam melibatkan reaksi kimia. Mekanisme dan cara korosi terjadi dapat berbeda karena perbedaan struktur dan sifat material tersebut. Misalnya, logam umumnya mengalami oksidasi dan pembentukan lapisan korosi, sedangkan bahan nonlogam mungkin mengalami perubahan struktural yang lebih kompleks.

7.7 Penyebab dan Dampak Korosi Material Non-Logam

1. Penyebab Korosi pada Material Non-Logam

- Paparan Lingkungan Paparan lingkungan seperti kelembaban, suhu ekstrem, radiasi UV, dan zat kimia dapat menyebabkan korosi pada material non-logam. Misalnya, paparan air atau kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan korosi pada beberapa jenis keramik dan komposit.
- Reaksi Kimia Reaksi kimia antara material non-logam dan zat kimia tertentu juga dapat menyebabkan korosi. Misalnya, polimer dapat mengalami korosi akibat reaksi dengan asam atau basa yang kuat.
- Mikroorganisme Mikroorganisme seperti bakteri atau jamur juga dapat menyebabkan korosi pada material non-logam melalui proses biokimia.

2. Dampak Korosi Material Non-Logam

- Penurunan kinerja bahan nonlogam: Korosi dapat menyebabkan penurunan kekuatan, elastisitas, atau ketahanan terhadap tekanan atau suhu ekstrem pada bahan nonlogam.
- Kerusakan estetika: Korosi dapat merusak tampilan visual bahan nonlogam, mengurangi keindahan atau nilai estetika, terutama pada bahan non logam yang digunakan untuk tujuan dekoratif.

7.8 Korosi Pada Material Keramik Lantai

Korosi pada material keramik lantai dapat terjadi karena berbagai faktor, termasuk paparan air, bahan kimia, dan tekanan mekanis. Proses korosi ini dapat merusak integritas struktural dan estetika lantai keramik. Berikut adalah penjelasan mengenai proses korosi pada material keramik lantai:

1. Paparan Air

merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan korosi pada material keramik lantai. Air dapat meresap ke dalam struktur mikro material keramik dan menyebabkan perubahan kimia yang mengakibatkan retakan, pengelupasan, atau perubahan warna pada permukaan lantai.

2. Bahan Kimia

Kontak dengan bahan kimia seperti deterjen, pembersih berbahan asam, atau larutan kimia lainnya juga dapat memicu proses korosi pada material keramik lantai. Reaksi antara bahan kimia tersebut dengan komponen material keramik dapat menyebabkan degradasi struktural dan perubahan fisik pada permukaan lantai.

3. Tekanan Mekanis

Selain itu, tekanan mekanis seperti gesekan konstan dari benda-benda berat atau gesekan akibat penggunaan yang intensif juga dapat menyebabkan abrasi dan korosi pada material keramik lantai. Hal ini dapat mengakibatkan penipisan atau pengikisan permukaan lantai seiring waktu.

Upaya Pencegahan Untuk mencegah proses korosi pada material keramik lantai, beberapa langkah pencegahan dapat dilakukan, antara lain:

1. Menggunakan bahan pelapis atau sealant untuk melindungi permukaan lantai dari paparan air dan bahan kimia.

2. Memastikan penggunaan pembersih yang sesuai dan menghindari penggunaan bahan kimia yang keras.
3. Mengurangi tekanan mekanis dengan menggunakan alas kaki atau perlengkapan pelindung lainnya.

Dengan memperhatikan faktor-faktor di atas dan menerapkan langkah-langkah pencegahan yang tepat, proses korosi pada material keramik lantai dapat diminimalkan sehingga keawetan dan estetika lantai tetap terjaga.

7.9 Korosi Material Plastik/Polimer

Material polimer memiliki aplikasi yang luas; oleh karena itu, ada banyak faktor yang dapat menyebabkan korosi pada material ini. Masa pakai bahan polimer tidak dapat diramalkan secara akurat dalam atmosfer korosif tertentu, sehingga perlu dipahami dengan jelas komposisi dan mekanisme reaksi bahan polimer.

Karena bahan polimer tidak mengalami laju korosi yang spesifik, bahan ini biasanya sepenuhnya tahan korosi terhadap korosi tertentu (dalam rentang suhu tertentu), atau memburuk dengan cepat. Mereka diserang oleh proses kimia atau oleh solvasi. Solvasi menyebabkan pembengkakan, pelunakan, dan kegagalan tertinggi bahan polimer. Oleh karena itu, sangat penting untuk memahami kompleksitas korosi pada bahan polimer.

Bahan polimer biasanya berupa plastik, tetapi juga termasuk elastomer. Berdasarkan jaringan ikatan silangnya, bahan polimer diklasifikasikan sebagai:

- Termoplastik, yang tidak mengandung ikatan silang. Bahan ini melunak saat dipanaskan dan berulang kali dibentuk ulang.
- Termoset, yang memiliki ikatan silang yang padat. Bahan ini melunak dengan lembut dan pada akhirnya terdegradasi saat dipanaskan.
- Elastomer (juga dikenal sebagai karet), yang merupakan jaringan ikatan silang lembut yang berubah bentuk dengan kekuatan sedang.

A. Klasifikasi Korosi Bahan Polimer

Menurut mekanisme serangannya, korosi bahan polimer sering diklasifikasikan sebagai berikut:

- Disintegrasi atau degradasi yang bersifat fisik karena penyerapan, perembesan, aksi pelarut, atau berbagai factor
- Oksidasi, di mana pun ikatan kimia diserang
- Hidrolisis, di mana pun ikatan ester diserang
- Radiasi
- Degradasi termal yang melibatkan depolimerisasi dan mungkin repolimerisasi
- Dehidrasi (agak jarang terjadi)
- Kombinasi dari hal-hal di atas

Hasil dari serangan tersebut dapat berupa pelunakan, hangus, menggila, delaminasi, penggetasan, perubahan warna, pelarutan atau pembengkakan.

Korosi komposit matriks polimer juga dipengaruhi oleh dua faktor yang berbeda: sifat laminasi dan, dalam kasus resin thermosetting, proses pengawetan. Pengawetan yang tidak tepat atau buruk dapat berdampak buruk pada ketahanan korosi, sedangkan waktu dan prosedur pengawetan yang benar biasanya dapat meningkatkan ketahanan korosi

B. Radiation

Bahan polimer dalam aplikasi luar ruangan terpapar pada cuaca ekstrem yang mungkin sangat merusak bahan. Elemen cuaca yang paling berbahaya, paparan radiasi ultraviolet (UV), akan menyebabkan penggetasan, pemudaran, keretakan permukaan, dan pengapuran. Ketika bahan polimer terpapar sinar matahari langsung selama beberapa tahun, biasanya bahan tersebut menunjukkan ketahanan benturan yang buruk, berkurangnya kinerja mekanis secara keseluruhan, dan perubahan penampilan. Karena radiasi ultraviolet pasti disaring oleh banyak udara, cuaca buruk, polusi dan faktor lainnya, kuantitas dan spektrum paparan radiasi ultraviolet alami sangat bervariasi. Karena matahari lebih rendah di langit selama bulan-bulan musim dingin, sinar matahari disaring melalui atmosfer yang lebih besar. Hal ini menciptakan dua variasi penting antara sinar matahari musim panas dan musim dingin. Selama bulan-bulan musim dingin, banyak cahaya dengan panjang gelombang pendek yang merusak disaring. Akibatnya, bahan yang sensitif terhadap radiasi ultraviolet di bawah

320 nm hanya akan terdegradasi sedikit, jika ada, selama bulan-bulan musim dingin.

Degradasi fotokimia disebabkan oleh foton atau ikatan kimia yang memecah cahaya. Untuk setiap jenis gaya tarik-menarik, ada ambang batas panjang gelombang sinar matahari yang penting dengan energi yang cukup untuk menyebabkan reaksi. Cahaya dengan panjang gelombang yang lebih pendek dari ambang batas akan memutuskan ikatan, sementara panjang gelombang yang lebih panjang tidak dapat mematahkan ikatan tersebut. Oleh karena itu, pemutusan pasokan cahaya dengan panjang gelombang yang pendek menjadi sangat penting. Jika polimer tertentu hanya sensitif terhadap sinar radiasi ultraviolet di bawah 290 nm (titik batas sinar matahari), maka polimer tersebut tidak akan mengalami kerusakan kimiawi di luar ruangan.

Kemampuan untuk menahan pelapukan bervariasi dengan jenis polimer dan di antara tingkatan resin tertentu. Beberapa kelas resin dapat diperoleh dengan aditif penyerap UV untuk meningkatkan ketahanan terhadap cuaca. Namun, nilai yang lebih tinggi dari resin biasanya menunjukkan ketahanan terhadap cuaca yang lebih tinggi daripada nilai berat molekul yang lebih rendah dengan aditif yang sebanding. Selain itu, beberapa warna cenderung lebih tahan terhadap cuaca dibandingkan warna lainnya.

Pipa PVC (Polyvinyl Chloride) adalah salah satu jenis pipa yang umum digunakan dalam sistem perpipaan untuk air minum, limbah, dan berbagai aplikasi industri lainnya.

Namun, seperti halnya material lainnya, pipa PVC juga rentan terhadap korosi. Korosi pada material pipa PVC dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk lingkungan kimia, suhu, tekanan, dan sifat-sifat material itu sendiri.

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Korosi pada Pipa PVC

1. Lingkungan Kimia: Paparan terhadap zat kimia tertentu dapat menyebabkan korosi pada pipa PVC. Misalnya, paparan terhadap asam kuat atau basa dapat merusak material PVC dan menyebabkan korosi.
2. Suhu: Suhu ekstrem juga dapat mempengaruhi kestabilan material PVC. Suhu yang sangat tinggi atau sangat rendah dapat mempercepat degradasi material dan memicu korosi.
3. Tekanan: Tekanan dalam sistem perpipaan juga dapat memainkan peran dalam korosi pipa PVC. Tekanan yang tinggi atau fluktuasi tekanan yang ekstrim dapat mempengaruhi integritas material dan menyebabkan kerentanan terhadap korosi.
4. Sifat Material: Sifat-sifat intrinsik dari material PVC itu sendiri juga dapat mempengaruhi tingkat korosinya. Sebagai contoh, kualitas material, ketebalan dinding pipa, dan proses manufaktur semuanya dapat berkontribusi terhadap kecenderungan korosi.

Untuk mencegah korosi pada pipa PVC, langkah-langkah pencegahan yang tepat harus diambil:

1. Pemilihan Material yang Tepat: Memastikan bahwa material pipa PVC yang digunakan sesuai dengan

lingkungan operasionalnya sangat penting untuk mencegah korosi.

2. Pelapisan Pelindung: Dalam beberapa kasus, penerapan pelapisan pelindung pada pipa PVC dapat membantu melindungi material dari paparan zat kimia agresif.
3. Perawatan Rutin: Melakukan perawatan rutin dan inspeksi terhadap sistem perpipaan untuk mendeteksi dini tanda-tanda korosi sangat penting untuk mencegah kerusakan lebih lanjut.
4. Pengendalian Lingkungan: Mengontrol lingkungan di sekitar sistem perpipaan untuk mengurangi paparan terhadap zat kimia atau suhu ekstrem juga merupakan langkah pencegahan yang penting.

7.10 Korosi Pada Material Kayu

Korosi pada kayu, juga dikenal sebagai pembusukan kayu, adalah proses kerusakan kayu akibat interaksi dengan lingkungan yang menyebabkan degradasi struktural dan fungsional kayu. Proses korosi pada kayu dapat disebabkan oleh berbagai faktor termasuk kelembaban, serangga penghancur kayu, jamur, dan bakteri. Dalam konteks ini, akan dibahas penyebab korosi pada kayu, dampaknya, serta cara mengatasi masalah korosi pada kayu.

Penyebab Korosi Pada Kayu :

1. Kelembaban: Kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan pembusukan kayu karena memungkinkan pertumbuhan jamur dan bakteri yang merusak kayu.

2. Serangga Penghancur Kayu: Serangga seperti rayap dan kutu kayu dapat merusak kayu dengan cara mengunyah atau membuat terowongan di dalamnya.
3. Jamur dan Bakteri: Jamur dan bakteri tertentu dapat mengurai komponen kimia dalam kayu, menyebabkan pembusukan.

Dampak Korosi Pada Kayu :

1. Kekurangan Kekuatan: Korosi pada kayu dapat menyebabkan kehilangan kekuatan struktural, yang berpotensi membahayakan keamanan bangunan atau konstruksi yang menggunakan kayu.
2. Kerusakan Estetika: Pembusukan kayu juga dapat merusak penampilan estetika dari bahan tersebut.
3. Kerusakan Fungsional: Korosi pada kayu juga dapat mengurangi kemampuan fungsional dari bahan tersebut, misalnya kemampuan isolasi termal atau akustik.

Cara Mengatasi Korosi Pada Kayu :

1. Penggunaan Bahan Perlindungan Kayu: Penggunaan bahan perlindungan seperti cat atau lapisan pelindung khusus dapat membantu melindungi kayu dari korosi.
2. Pengendalian Kelembaban: Memastikan lingkungan sekitar kayu tetap kering dapat membantu mencegah pertumbuhan jamur dan bakteri.
3. Penggunaan Bahan Anti Serangga: Penggunaan bahan kimia anti serangga atau perlindungan

mekanis seperti jaring serangga dapat membantu melindungi kayu dari serangan serangga penghancur.

BAB 8

Korosi Pada Infrastruktur Transportasi

8.1 Pendahuluan

Korosi merupakan salah satu masalah yang selalu dihadapi dalam pemeliharaan infrastruktur transportasi di seluruh dunia. Korosi terjadi ketika logam teroksidasi akibat reaksi kimia dengan lingkungan sekitarnya, seperti air, udara, atau tanah. Pada infrastruktur transportasi, korosi dapat menyebabkan kerusakan struktural yang serius pada jembatan, rel kereta api, kendaraan, dan infrastruktur lainnya. Dampaknya tidak hanya pada kerugian ekonomi akibat perbaikan dan penggantian yang diperlukan, tetapi juga dapat berdampak pada keselamatan orang banyak jika tidak ditangani dengan baik.

Faktor-faktor seperti kelembaban udara, pH tanah, kadar garam, dan suhu lingkungan memainkan peran penting dalam mempercepat proses korosi pada infrastruktur transportasi. Selain itu, desain yang tidak memperhatikan aspek tahan korosi dan penggunaan material yang rentan terhadap korosi juga dapat meningkatkan risiko terjadinya kerusakan akibat korosi.

Oleh karena itu, edukasi yang baik tentang faktor-faktor yang mempengaruhi korosi dan penerapan teknik-teknik pencegahan yang tepat sangat penting dalam menjaga keberlangsungan infrastruktur transportasi.

Studi kasus korosi pada infrastruktur transportasi, seperti jembatan yang rusak akibat korosi pada struktur baja atau rel kereta api yang terkikis akibat reaksi dengan bahan kimia, menjadi bukti nyata akan urgensi penanganan korosi. Dengan memahami kasus-kasus ini, kita dapat belajar dari kesalahan masa lalu dan mengembangkan strategi yang lebih efektif dalam melindungi infrastruktur transportasi dari ancaman korosi.

8.2 Dampak Korosi

Korosi merupakan proses atau reaksi elektrokimia yang bersifat alamiah dan berlangsung spontan, oleh karena itu korosi tidak dapat dicegah atau dihentikan sama sekali. Korosi hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga memperlambat proses kerusakannya. Korosi merupakan fenomena yang umum terjadi pada infrastruktur transportasi seperti jembatan, rel kereta api, kendaraan, dan infrastruktur lainnya. Dampak korosi pada berbagai infrastruktur dapat mencakup berbagai sektor kehidupan sehari-hari. Berikut adalah beberapa contoh dampak korosi pada infrastruktur transportasi sebagai berikut :

1. Korosi pada jembatan

Sebagian besar bangunan prasarana sipil menggunakan tulangan beton untuk memperkuat konstruksi betonnya misalnya pada jembatan. Beton bertulang telah digunakan sebagai struktur utama maupun struktur pelengkap hampir di setiap bangunan sipil di beberapa negara. Dewasa ini sering terlihat pada

proyek bangunan sipil yang komponennya beton bertulang, namun terdapat kelemahan pada penggunaan baja tulangan yaitu baja tulangannya banyak mengalami korosi akibat pengaruh dari lingkungan. Korosi terjadi akibat adanya unsur kimia di lingkungan asam. Unsur-unsur kimia yang mempunyai sifat korosif diantaranya sulfat, klorida dan nitrat. Banyak lahan di wilayah Indonesia berupa rawa. Air rawa umumnya mempunyai kadar asam tinggi dan mengandung unsur sulfat, klorida dan nitrat yang melebihi kondisi normal air tanah.

Contohnya pada permukaan baja jembatan jika tidak dibersihkan secara memadai sebelum pengecatan, lapisan pelindung dapat rusak sebelum waktunya. Baja tersebut kemudian akan mengalami korosi, seperti karat yang terlihat di bagian bawah jembatan ini. Jika jembatan tidak direhabilitasi, korosi pada akhirnya akan membahayakan integritas strukturalnya (Shuang-Ling Chong, 2004).



Gambar 8.1 Permukaan Baja Jembatan

Sumber : <https://highways.dot.gov/public-roads/sepemberoctober-2004/preventing-corrosion-steel-briges>

2. Korosi pada rel kereta api

Komponen rel kereta api sebagian besar tersusun oleh baja, yaitu logam paduan. Logam besi sebagai unsur dasar dengan beberapa elemen lainnya termasuk karbon. Korosi adalah penurunan kualitas dari peralatan logam. Sehingga sangat jelas akan sangat merugikan. Rel adalah landasan jalan kereta api atau sejenisnya, bila pada rel kereta api mengalami korosi maka akan membahayakan keselamatan banyak orang. Karena tidak sedikit orang yang masih menggunakan kereta transportasi (Jago merah, 2013)

Akibat terjadinya korosi maka akan berdampak buruk pada kinerja kereta dan juga sistem arus listrik. Korosi pada kereta api juga memicu terjadinya kecelakaan sehingga menimbulkan biaya tambahan untuk perbaikan. Korosi juga mengakibatkan pemborosan sumber daya alam, pada dasarnya proses korosi juga dapat didefinisikan sebagai proses kembalinya logam teknis ke bentuk asalnya di alam. Bentuk asal mula logam di alam adalah senyawa-senyawa mineral yang abadi di perut bumi. Pada umumnya senyawa-senyawa mineral logam tersebut merupakan ikatan kimia antar A unsur logam dengan unsur halogen. Dengan adanya proses korosi pada struktur bangunan di tempat-tempat yang tersebar di seluruh dunia, mengakibatkan sumber daya mineral semula yang berbentuk logam teknis telah berubah menjadi produk korosi yang tidak dapat didaur ulang untuk dijadikan contoh logam teknis kembali. Korosi dapat menurunkan nilai estetika suatu mineral. Hal ini

karena korosi dapat merusak lapisan bahan permukaan (Jago merah, 2013)

3. Korosi pada kendaraan

Kendaraan telah menjadi bagian integral dalam kehidupan modern, memfasilitasi mobilitas dan efisiensi yang tak tergantikan. Namun, dibalik kepraktisannya, eksposur terus-menerus terhadap kondisi lingkungan yang beragam dapat berdampak merugikan pada kendaraan kita. Salah satu ancaman utama yang bisa menghancurkan tampilan dan integritas struktural kendaraan ialah korosi. Fenomena kimia ini dapat merusak material logam dan mengurangi masa pakai kendaraan mengakibatkan kerugian finansial dan keselamatan. Korosi pada kendaraan terutama terjadi akibat reaksi antara logam dan lingkungannya menghasilkan senyawa-senyawa tidak diinginkan seperti karat. Karat bukan hanya merusak estetika kendaraan, tetapi juga dapat menggerogoti komponen penting kendaraan. Untuk melawan ancaman korosi ini, penting bagi pemilik kendaraan untuk memahami dan menerapkan langkah-langkah pencegahan yang tepat. Berbagai faktor seperti kelembaban, suhu ekstrem, garam jalan dan paparan bahan kimia dapat mempercepat korosi pada kendaraan. Oleh karena itu, langkah-langkah proaktif seperti perawatan rutin, pelapisan anti karat, penggunaan perlindungan berbasis silikon dan mencuci kendaraan secara teratur menjadi bagian integral dari strategi pencegahan (Dwi Imas Syafitri, 2023).

8.3 Studi Kasus Korosi Pada Infrastruktur Transportasi

Saat ini jika ditentukan, pemeriksa pelapisan menggunakan salah satu dari tiga alat uji komersial untuk mengevaluasi kadar klorida secara kuantitatif. Secara umum, alat yang digunakan adalah tes usap, tes tempel dan tes lengan (Shuang-Ling Chong, 2004).

Menurut DOT Negara Bagian dan inspektur jembatan, ketiga pengujian menunjukkan hasil yang tidak konsisten dan sangat bervariasi. Ketidakkonsistenan ini mungkin disebabkan oleh perbedaan efisiensi ekstraksi dan sensitivitas deteksi dalam pengujian, serta variabilitas operator (Shuang-Ling Chong, 2004).

Oleh karena itu, peneliti FHWA menyelidiki variabilitas dan keterbatasan metode pengujian untuk menentukan teknik yang dapat digunakan untuk memperoleh hasil pengujian konsentrasi klorida yang andal dan akurat (Shuang-Ling Chong, 2004).

Para penelitian menganalisis panel baja dalam posisi vertikal. Empat tingkat konsentrasi klorida yang berbeda, berkisar antara 3 hingga 30 mikrogram per sentimeter persegi (mg/cm^2), diterapkan pada panel untuk menentukan apakah konsentrasi klorida mempengaruhi validitas hasil. Aturan praktis dalam industri ini adalah setelah peledakan, jembatan harus dicat dalam waktu 4 jam. Oleh karena itu, para peneliti melakukan pengujian dalam tiga kondisi yang termasuk dalam jangka waktu ini: dalam waktu 1 menit setelah panel didoping (yaitu, terkontaminasi secara artifisial dengan klorida), setelah panel didoping pada suhu panas tinggi dan kelembaban sedang selama 4 jam dan setelah penuaan didoping. Panel pada panas tinggi dan kelembaban tinggi selama 4 jam (Shuang-Ling Chong, 2004).

Detektor untuk uji usap, tempel dan selongsong masing-masing adalah strip pendeteksi ion, empat botol cairan berbeda, cairan asam atau air deionisasi, para penelitian melakukan tes tambahan untuk menentukan cairan mana yang paling banyak memperoleh klorida. Karena para penelitian menemukan bahwa cairan asam mengekstraksi lebih banyak klorida dari pada air deionisasi, cairan asam digunakan dalam uji tempel (Shuang-Ling Chong, 2004).

Secara keseluruhan, para penelitian mengevaluasi setiap perangkat dalam 12 kondisi berbeda (4 konsentrasi klorida dan 3 kondisi penuaan) untuk menentukan bagaimana konsentrasi klorida dan penuaan mempengaruhi keakuratan pengujian. Setiap pengujian dilakukan tiga kali oleh tiga operator berbeda di Laboratorium Cat dan korosi di Pusat Penelitian Jalan Raya Turnerfairbank (TFHRC) FHWA di McLean, VA (Shuang-Ling Chong, 2004).

Pada lingkungan laut, korosi terjadi lebih cepat akibat difusi klorida pada baja tulangan jembatan. Di mana difusi klorida akan semakin meningkat ketika beton yang melindungi baja rusak sehingga baja tulangan terekspos dan terpapar ion klorida. Dari penelitian Agus Purwanto dijelaskan bahwa larutan garam NaCl dapat menyebabkan korosi pada baja tulangan karena larutan tersebut mampu mempercepat proses korosi. Karena baja tulangan merupakan logam yang mudah terkorosi, maka jika konsentrasi larutan NaCl tersebut tinggi maka semakin besar pula laju korosinya. Hal ini juga berlaku untuk baja tulangan yang terkorosi asam sulfat, garam sulfat dan asam lainnya (W. Wibowo and P.Gunawan, 2007).

Pada lingkungan sungai, kecepatan korosi yang terjadi bergantung pada kandungan sungai. Sungai yang mengandung

klorida atau sulfat serta memiliki pH dan salinitas tinggi akan mengalami korosi lebih cepat (N. Iskandar, S. Nugroho, and I.Krisna, Rotasi, 2020). Seperti halnya dengan lingkungan laut, ion klorida/sulfat akan berdifusi ke baja tulangan dan terjadi korosi. Dalam hal terjadinya korosi, yang membedakan antara lingkungan sungai dan laut adalah kadar dari kandungan klorida atau sulfat serta tingkat pH dan salinitas di lingkungan tersebut (Kurniasari, Anita Putri dan Yasmina Amalia, 2022).

Seperti yang telah dijelaskan, banyak studi eksperimental telah dikhususkan untuk penilaian korosi pada jembatan dengan bagian jembatan yang terkorosi secara umum berbahan baja. Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada jembatan di Shenzhen, India, serta jembatan hutan wisata kawasan konservasi hutan mangrove Bekantan Kota Tarakan, korosi yang terjadi pada jembatan-jembatan tersebut disebabkan oleh terkontakannya jembatan dengan air laut. Apabila dibandingkan dengan kerusakan akibat korosi yang terjadi lingkungan sungai seperti yang terjadi pada jembatan yang berada di sungai pulau Nias dan jembatan kereta api yang berkontak dengan limbah toilet di beberapa jembatan kereta api di Jawa Barat, kerusakan akibat korosi berlangsung lebih cepat dan lebih parah pada lingkungan laut. Hal ini diakibatkan oleh adanya kandungan klorida pada air laut (Kurniasari, Anita Putri dan Yasmina Amalia, 2022).

Tiga dari lima jembatan kereta api mengalami kerusakan dimana dua diantaranya mengalami ledutan melampaui batas yang dipersyaratkan. Kerusakan yang terjadi diantaranya adalah perkaratan pada flange dari grinder, grinder tengah, serta perkaratan pada flange hingga tembus. Untuk jembatan di Pulau Nias terdapat kerusakan pada ikatan angin bawah di-mana

korosi menyebabkan kekuatan batang berkurang dan menyebabkan perubahan bentuk. Korosi menyebabkan berkurangnya diameter tulangan (Kurniasari, Anita Putri dan Yasmina Amalia, 2022).

Untuk jembatan hutan wisata kawasan konservasi hutan mangrove Bekantan Kota Tarakan, terdapat pengurangan mutu tulangan beton sebesar 10% sampai dengan 25% akibat korosi sehingga menurunkan umur layanan. Selain itu akibat media korosi dari jembatan ini berupa air laut, perubahan tulangan beton menjadi karat menyebabkan penambahan volume yang menyebabkan ekspansi beton dan keretakan. Dalam waktu 12 tahun terdapat peningkatan prediksi kegagalan sebesar 5,3%.

Pada jembatan di Shenzhen, China tercatat bahwa rasio kehilangan massa dari sengkang yang diuji adalah antara 11,87% dan 35,01%. Ketika rasio kehilangan massa sengkang terkorosi lebih besar dari 19,46% (20,28% dari persamaan linier), kekuatan luluh nominal lebih rendah dari nilai karakteristik. Ketika rasio kehilangan massa lebih besar dari 19,46% (26,13% dari persamaan linier), kekuatan luluh nominal lebih rendah dari nilai desain, menunjukkan bahwa sengkang terkorosi tidak memenuhi syarat oleh kode desain. Ketika rasio kehilangan massa sengkang terkorosi lebih besar dari 11,87% (10,38% dari persamaan linier), kekuatan ultimit nominal lebih rendah dari nilai karakteristik (Kurniasari, Anita Putri dan Yasmina Amalia, 2022).

Untuk jembatan di pesisir India, terdapat kerusakan ringan hingga kerusakan total di beberapa bagian jembatan yang mana disebabkan oleh klorida. Hal ini membuktikan bahwa kondisi lingkungan laut mempercepat dan menghasilkan kerusakan

korosi yang cukup parah bila dibandingkan dengan lingkungan sungai dan jembatan kereta yang tercemar limbah toilet.

Material yang mutakhir memiliki ketangguhan yang baik, ringan, mudah dibentuk dan tentu saja tahan terhadap kondisi lingkungan bahkan pada tingkatan ekstrem sekalipun. Salah satu contoh ketahanan terhadap kondisi lingkungan adalah ketahanan terhadap korosi. Material yang digunakan untuk struktur dan otomotif harus tahan terhadap korosi agar dapat terus beroperasi pada jangka waktu yang relatif lama sebelum akhirnya mengalami kegagalan.

Topik tentang korosi yang terjadi pada otomotif inilah yang dibawa oleh Dr. Daisuke Mizuno, salah satu periset di JFE Steel Jepang. Beliau hadir di ITB-JFE Steel Joint Seminar yang diadakan pada Kamis (16/03/17). Bertempat di Ruang Seminar Labtek II FTMD ini mengusung tema “Advanced Technology Related to Automotive Steel Sheets”. Pada sisinya, Dr. Daisuke Mizuno menjelaskan jenis korosi yang umum pada otomotif hingga cara proteksinya. Pada kendaraan yang telah beroperasi dalam rentang waktu tertentu, ada kemungkinan untuk terjadi korosi, baik yang ringan hingga yang parah. Jenis korosi yang kerap terjadi adalah cosmetic corrosion dan perforation corrosion. Cosmetic corrosion, seperti namanya, adalah jenis korosi yang terjadi di bawah lapisan cat kendaraan, utamanya di daerah yang mengalami goresan atau deformasi dalam bentuk apapun. Korosi jenis ini sudah tidak terlalu sering terjadi di dunia modern karena teknik pengecatan kendaraan yang sudah semakin mutakhir seperti pengecatan dengan pemberian muatan listrik ke cat dan permukaan kendaraan sehingga cat akan melekat dengan kuat dan merata di permukaan kendaraan. Perforation corrosion adalah jenis korosi yang terjadi di bagian

yang bercelah atau menumpuk misalnya di bawah kap mesin atau di ujung-ujung bagian dalam pintu kendaraan. Baik cosmetic maupun perforation corrosion sangat dipengaruhi oleh ketebalan coating yang diberikan pada permukaan tersebut. Di belahan dunia yang mengalami musim salju, korosi juga bisa disebabkan oleh pelelehan es yang mengandung garam. Berdasarkan studi terhadap berbagai kasus korosi yang terjadi pada kendaraan, lima besar bagian mobil yang paling sering mengalami korosi adalah ujung dan bawah kap mesin, ujung bagasi, wheelhouse, side shills dan bagian ujung bawah pintu (Pahlevi, Gilang Audi, 2017).

Diantara berbagai metode proteksi terhadap korosi pada otomotif, yang sering digunakan adalah metode hot dip galvanizing dan electro-galvanizing. Metode hot dip galvanizing dilakukan dengan cara steel strip dicelupkan secara kontinu ke dalam bak yang berisi lelehan seng. Metode ini banyak digunakan karena tergolong murah dan memiliki coating yang lebih tebal. Metode electro-galvanizing dilakukan dengan cara elektrolisis Zn-Fe ataupun Zn-Ni. Metode ini membutuhkan biaya yang lebih besar karena penggunaan daya listrik dalam proses pelapisan.

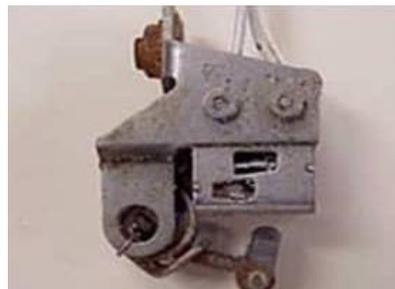
Metode hot dip galvanizing dikembangkan secara lebih lanjut menjadi proses galvanized. Pada proses ini, besi yang telah melalui proses hot dip diberi perlakuan annealing. Pada tahap ini, konten Fe pada coating berkisar antara 7-15 wt%. Keunggulan galvanized adalah produktivitas baik dan memiliki keseimbangan dalam performa. Metode galvanized banyak digunakan oleh produsen besi Jepang karena permintaan mayoritas produsen otomotif yang ada di negara tersebut. Sementara metode hot dip galvanizing lebih banyak digunakan

oleh negara-negara Eropa dan Amerika. Perbedaan ini dikarenakan permintaan produsen mobil di negara-negara terkait memiliki spesifikasi yang berbeda. Jepang mengutamakan paint adhesion yang lebih baik sehingga memilih produk galvanized (Pahlevi, Gilang Audi, 2017).

Komponen listrik, kabel dan korosi arus nyasar merupakan masalah nyata dalam sistem kereta api berlistrik dan Sistem Light Rail Transit. Korosi arus liar terjadi pada titik di mana arus meninggalkan konektor, membawa ion besi yang menjadi bermuatan positif ketika kehilangan satu atau lebih elektron. Kerusakannya tidak terlihat namun dampaknya bisa besar. Salju dan hujan yang bercampur dengan garam jalan membuat semua komponen kelistrikan dan komponen mekanis yang memiliki toleransi ketat seperti bantalan, aktuator, sambungan maskapai penerbangan, dan jumper kawin tegangan tinggi di kereta api dan truk mengalami kondisi ekstrem. Kegagalan salah satu komponen ini menimbulkan potensi bahaya bagi peralatan dan penumpang. Dalam studi kasus ini menggunakan super CORR A berikut contoh di bawah ini :



Kiri



Kanan

Sumber : enviro tech europa, 2023

- Kiri : Saklar Kontrol berkarat parah yang tidak dirawat: Listrik mati setelah semprotan garam selama 100 jam.
- Kanan: Saklar dirawat dengan *Super [CORR A](#)* . Kegagalan listrik setelah semprotan garam selama 1400 jam.

Foto-foto tersebut menunjukkan bagaimana Super CORR A melumasi dan melindungi sakelar di lingkungan yang paling tidak bersahabat. Pengujian yang ditampilkan dilakukan dalam kondisi terkendali dalam semprotan garam panas yang mempercepat hasil, detail pengujian selengkapnya di sini. Jelas bahwa penggunaan Super CORR A dalam prosedur pemeliharaan rutin dapat menghasilkan penghematan finansial dalam mengurangi biaya pemeliharaan dan penggantian dan yang lebih penting adalah keselamatan yang lebih baik.

Super CORR A melumasi dan melindungi sakelar di lingkungan paling tidak bersahabat yang mungkin dialami dalam industri transportasi. Tak tertandingi dalam mencegah kerusakan dan kontaminasi pada semua permukaan peralatan elektronik dan listrik serta komponen bergerak yang memiliki toleransi ketat terhadap mekanik. Dirancang untuk melindungi dan melumasi konektor, terminasi dan ikatan listrik serta ground, relay, fitting, papan sirkuit, komputer, dari kelembaban, korosi umum dan fretting, listrik statis permukaan, corona, dan masalah migrasi elektro lainnya. Area penerapan lainnya mencakup Panel Kontrol Utama Penumpang, soket lampu interior dan eksterior, serta permukaan logam yang terbuka. Hilangkan kegagalan dini pada komponen yang disebabkan oleh kelembaban, korosi umum atau korosi yang mengganggu. Keandalan meningkat, interval perawatan

ditingkatkan, biaya berkurang dan produsen dapat menghemat biaya pemeliharaan dan perbaikan.

Super CORR A mencegah kerusakan korosif pada elektronik dan permukaan logam lainnya yang disebabkan oleh paparan kelembaban air tawar dan air asin. Super CORR A telah melalui Pengujian Gas Aliran Campuran Kelas III yang ekstensif dan terbukti juga melindungi logam dari kerusakan korosif yang disebabkan oleh Sulfur dioksida (SO₂), Nitrogen dioksida (NO₂), Hidrogen Sulfida (H₂S), Ammonia (NH₃), dan Gas berbasis klorin (CL12). SuperCORR-A juga akan melindungi perangkat elektronik dari dekomposisi termal yang sangat korosif akibat produk sistem pencegah kebakaran HFC-227ea, Hidrogen Fluorida (HF). Lapisan film ultra-tipis Super CORR A tidak hanya akan mencegah kontak dengan uap air, namun juga akan menggantikan kelembaban yang sudah ada. Super CORR A bersifat hidrofobik yaitu menolak air dan membentuk segel kedap udara yang mencegah kerusakan pada permukaan elektronik dan logam lainnya akibat paparan gas asam seperti Sulfur dioksida (SO₂), Nitrogen dioksida (NO₂), Hidrogen Sulfida (H₂S), Ammonia (NH₃), gas berbasis Klorin (CL12), dan dekomposisi termal produk sampingan HFC-227ea yang digunakan dalam sistem pencegah kebakaran, Hidrogen Fluorida (HF).

8.4 Penutup

Korosi merupakan salah satu masalah yang selalu dihadapi dalam pemeliharaan infrastruktur transportasi di seluruh dunia. Korosi terjadi ketika logam teroksidasi akibat reaksi kimia dengan lingkungan sekitarnya, seperti air, udara, atau tanah. Pada infrastruktur transportasi, korosi dapat menyebabkan kerusakan struktural yang serius pada jembatan,

rel kereta api, kendaraan, dan infrastruktur lainnya. Dampaknya tidak hanya pada kerugian ekonomi akibat perbaikan dan penggantian yang diperlukan, tetapi juga dapat berdampak pada keselamatan orang banyak jika tidak ditangani dengan baik.

Korosi merupakan proses atau reaksi elektrokimia yang bersifat alamiah dan berlangsung spontan, oleh karena itu korosi tidak dapat dicegah atau dihentikan sama sekali. Korosi merupakan fenomena yang umum terjadi pada infrastruktur transportasi seperti jembatan, rel kereta api, kendaraan, dan infrastruktur lainnya. Dampak korosi pada berbagai infrastruktur dapat mencakup berbagai sektor kehidupan sehari-hari. Contohnya pada permukaan baja jembatan jika tidak dibersihkan secara memadai sebelum pengecatan, lapisan pelindung dapat rusak sebelum waktunya. Baja tersebut kemudian akan mengalami korosi, seperti karat yang terlihat di bagian bawah jembatan ini. Jika jembatan tidak direhabilitasi, korosi pada akhirnya akan membahayakan integritas strukturalnya.

Akibat terjadinya korosi maka akan berdampak buruk pada kinerja kereta dan juga sistem arus listrik. Korosi pada kereta api juga memicu terjadinya kecelakaan sehingga menimbulkan biaya tambahan untuk perbaikan. Korosi juga mengakibatkan pemborosan sumber daya alam, pada dasarnya proses korosi juga dapat didefinisikan sebagai proses kembalinya logam teknis ke bentuk asalnya di alam. Bentuk asal mula logam di alam adalah senyawa-senyawa mineral yang abadi di perut bumi.

Korosi pada kendaraan terutama terjadi akibat reaksi antara logam dan lingkungannya menghasilkan senyawa-senyawa tidak diinginkan seperti karat. Karat bukan hanya

merusak estetika kendaraan, tetapi juga dapat menggerogoti komponen penting kendaraan. Berbagai faktor seperti kelembaban, suhu ekstrem, garam jalan dan paparan bahan kimia dapat mempercepat korosi pada kendaraan. Oleh karena itu, langkah-langkah proaktif seperti perawatan rutin, pelapisan anti karat, penggunaan perlindungan berbasis silikon dan mencuci kendaraan secara teratur menjadi bagian integral dari strategi pencegahan.

Seperi yang telah dijelaskan, banyak studi eksperimental telah dikhususkan untuk penilaian korosi pada jembatan dengan bagian jembatan yang terkorosi secara umum berbahan baja. Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada jembatan di Shenzhen, India, serta jembatan hutan wisata kawasan konservasi hutan mangrove Bekantan Kota Tarakan, korosi yang terjadi pada jembatan-jembatan tersebut disebabkan oleh terkontakannya jembatan dengan air laut. Hal ini diakibatkan oleh adanya kandungan klorida pada air laut.

Pada kendaraan yang telah beroperasi dalam rentang waktu tertentu, ada kemungkinan untuk terjadi korosi, baik yang ringan hingga yang parah. Jenis korosi yang kerap terjadi adalah cosmetic corrosion dan perforation corrosion. Cosmetic corrosion, seperti namanya, adalah jenis korosi yang terjadi di bawah lapisan cat kendaraan, utamanya di daerah yang mengalami goresan atau deformasi dalam bentuk apapun.

Komponen listrik, kabel dan korosi arus nyasar merupakan masalah nyata dalam sistem kereta api berlistrik dan Sistem Light Rail Transit. Korosi arus liar terjadi pada titik di mana arus meninggalkan konektor, membawa ion besi yang menjadi bermuatan positif ketika kehilangan satu atau lebih elektron.

Edukasi dan Pelatihan Tenaga Kerja

9.1 Pendahuluan

Edukasi dan Pelatihan memiliki peranan yang penting dalam kehidupan. Menurut Suliha (2002). proses mengetahui sesuatu dari tidak tahu menjadi tahu disebut juga edukasi. Edukasi dan Pelatihan bertujuan selain untuk menambah pengetahuan, juga untuk mengembangkan sikap dan kepribadian dan sikap kita agar tidak berperilaku buruk dan memiliki adab yang baik. Edukasi banyak macamnya, formal dan tidak formal. Edukasi formal umumnya dilakukan di lingkungan Kerja dan biasanya memiliki sejumlah aturan untuk ditaati. Edukasi tidak formal dilakukan diluar Pekerjaan seperti di keluarga dan lingkungan sekitar.

Edukasi dan Pelatihan kecelakaan kerja sangat dibutuhkan didunia pekerjaan karena akan mempelajari kecelakaan kerja yang bisa saja mengakibatkan adanya efek kerugian sebarangpun jumlahnya di dunia pekerjaan. Oleh karena itu sedapat mungkin kecelakaan kerja harus dicegah, apabila memungkinkan dapat dihilangkan, atau setidaknya dikurangi dampaknya.

Bahwa keselamatan dan kesehatan kerja merupakan suatu pemikiran dan upaya untuk menjamin keutuhan dan kesempurnaan baik jasmani maupun rohani. Kurangnya menerapkan K3 pada setiap kerja maka akan menimbulkan kecelakaan kerja.

Pengetahuan mengenai sifat korosif (corrosives) diperlukan, terjadinya korosi pada konstruksi dapat disebabkan oleh beberapa hal, seperti kondisi lingkungan kerja yang bersifat asam, kontaminasi logam dengan air atau udara dengan kelembaban tinggi, dan lain-lain. Terdapat beberapa solusi edukasi untuk mencegah terjadi korosi pada logam atau sering disebut juga sebagai anti-corrosion. Anti-corrosion adalah usaha perlindungan pada permukaan logam dari terjadinya korosi dalam lingkungan yang memiliki tingkat kemungkinan korosi yang tinggi (high risk corrosion).

9.2 Pengenalan Korosi terhadap konstruksi

Korosi adalah kerusakan atau kehancuran material akibat adanya reaksi kimia di sekitar lingkungannya. Secara umum, korosi dibedakan menjadi korosi basah dan korosi kering. Korosi disebabkan adanya faktor kimia fisika, metalurgi, elektrokimia dan termodinamika. Korosi dapat digolongkan menjadi delapan, yaitu korosi umum, korosi galvanik, korosi celah, korosi sumur, korosi batas butir, korosi selektif, korosi erosi, dan korosi tegangan.

Dalam bahasa sehari-hari, korosi disebut perkaratan. Contoh korosi yang paling lazim adalah perkaratan besi. Pada peristiwa korosi, logam mengalami oksidasi, sedangkan oksigen (udara) mengalami reduksi. Karat logam umumnya adalah berupa oksida atau karbonat. Rumus kimia karat besi adalah $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, suatu zat padat yang berwarna coklat-merah.

Korosi dapat juga diartikan sebagai serangan yang merusak logam karena logam bereaksi secara kimia atau elektrokimia dengan lingkungan. korosi metode pencegahan dengan cara memberi lapisan pelindung pada permukaan bangunan baik dari beton, baja, atau besi. Tujuannya untuk menghalangi kontak langsung antara air laut, udara terbuka, cairan kimia, atau kondisi lain dari permukaan bangunan. Dengan berkurangnya kontak langsung tadi, korosi atau karat, abrasi, dan kerusakan lain dapat dicegah atau dikendalikan. Dalam konstruksi, korosi harus dipertimbangkan karena proses ini berlangsung lambat, tidak dapat dihentikan, dan proses memperbaikinya rumit serta mahal.



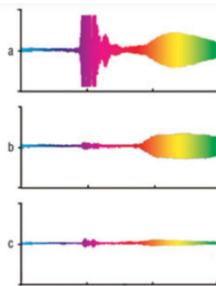
Gambar 9.1 Contoh benda yang mengalami korosi (Maulia Indriana, Juli 2022)

9.3 Dampak Korosi pada Struktur Konstruksi

Korosi pada bangunan adalah reaksi ilmiah elektrokimia yang memengaruhi struktur bangunan terutama yang berada di pesisir pantai. Korosi menjadi titik awal rusaknya beton dan memendekkan usia konstruksi. Walaupun proses ini tidak dapat dihentikan, namun dapat dikendalikan melalui metode yang disebut proteksi korosi.

a. Teknik deteksi dini Korosi terhadap konstruksi

Untuk memeriksa korosi tersembunyi, sumber energi pendeteksi harus mampu menembus material di mana korosi tersembunyi. 1 Jika sumber yang sesuai dipilih, maka sinyal yang dikembalikan akan berisi evaluasi keseluruhan material, termasuk geometri fisik komponen atau sistem, yang mungkin menunjukkan integritas strukturalnya dan adanya korosi yang tersembunyi. Dengan demikian, tantangan teknis yang melekat adalah memilih sumber energi interogasi yang paling tepat dan memulihkan sinyal yang mengidentifikasi adanya korosi. Memulihkan data korosi yang diinginkan adalah masalah inversi matematis. Tergantung pada sumber energi yang digunakan, karakteristik bahan dan korosi yang tersembunyi dalam sistem struktur, solusi yang tepat untuk masalah inversi mungkin tidak dapat dilakukan. Oleh karena itu, analisis data dan pemrosesan informasi, seperti penggunaan jaringan saraf, telah menjadi faktor kunci dalam mengembangkan teknik NDE untuk korosi tersembunyi.



Gambar 2. Bentuk Gelombang untuk Struktur Tiga Lapis, Aluminium-Perekat-Aluminium, (a) Daerah Tidak Terkorosi, (b) Daerah Terkorosi di Bagian Bawah, (c) Daerah Terkorosi di Bagian Atas (Dicetak ulang dengan izin dari 2000 American Institute of Physics .)

(Buku H.Thomas Yolken,AMMTIAC)

b. Penanganan Korosi dan Perbaikan Struktur

Penanganan korosi dan perbaikan struktur adalah proses yang penting untuk mempertahankan integritas dan keamanan infrastruktur yang terpengaruh oleh korosi. Berikut adalah langkah-langkah umum yang terlibat dalam penanganan korosi dan perbaikan struktur:

1. **Pemeriksaan Rutin:** Melakukan pemeriksaan rutin terhadap infrastruktur yang rentan terhadap korosi, seperti pipa, bangunan, atau peralatan, untuk mengidentifikasi tanda-tanda awal korosi dan mengevaluasi tingkat kerusakan.
2. **Evaluasi Kerusakan:** Mengkaji tingkat kerusakan yang disebabkan oleh korosi, baik secara visual maupun dengan menggunakan teknik pengujian yang sesuai, seperti pengukuran ketebalan, tes non-destruktif, atau analisis kimia.
3. **Perencanaan Perbaikan:** Merencanakan strategi perbaikan yang tepat berdasarkan evaluasi kerusakan, termasuk pemilihan material yang cocok, teknik perbaikan yang sesuai, dan jadwal perbaikan yang meminimalkan gangguan operasional.
4. **Pembersihan dan Persiapan Permukaan:** Membersihkan permukaan yang terkena korosi dari kotoran, karat, atau lapisan pelindung yang sudah rusak untuk mempersiapkan permukaan untuk proses perbaikan.
5. **Perbaikan Struktural:** Melakukan perbaikan struktural yang diperlukan, seperti penggantian bagian yang rusak, perbaikan las, atau pengelasan

ulang untuk memperkuat integritas struktur yang terpengaruh oleh korosi.

6. Pelapisan Pelindung: Menerapkan lapisan pelindung baru atau memperbaharui pelapisan pelindung yang ada untuk melindungi permukaan dari korosi di masa depan. Ini dapat meliputi penggunaan cat anti-korosi, pelapis epoksi, atau pelapisan galvanis.
7. Pemantauan dan Perawatan Berkala: Melakukan pemantauan berkala terhadap struktur yang telah diperbaiki untuk memastikan bahwa korosi tidak muncul kembali atau tidak berkembang lebih lanjut. Selain itu, melaksanakan perawatan rutin yang diperlukan untuk menjaga keamanan dan keandalan struktur.
8. Pelatihan Tenaga Kerja: Memberikan pelatihan kepada tenaga kerja tentang tanda-tanda korosi, teknik penanganan, dan prosedur perbaikan yang aman untuk memastikan bahwa proses penanganan korosi dan perbaikan struktur dilakukan dengan benar dan efisien.



Gambar 9.2 Pengecekan/penanganan terjadinya korosi (PT.Hesa Laras Cemerlang,2013)

Dengan melaksanakan langkah-langkah ini secara sistematis, perusahaan atau pemilik infrastruktur dapat menjaga keamanan, keandalan, dan umur panjang infrastruktur mereka serta mengurangi risiko kecelakaan atau kegagalan yang disebabkan oleh korosi.

c. Penerapan Tenaga Kerja tentang Korosi

Penerapan tenaga kerja tentang korosi penting untuk meningkatkan pemahaman mereka tentang masalah korosi, dampaknya terhadap berbagai industri, serta cara-cara untuk mencegah dan mengatasi korosi. Berikut adalah beberapa poin yang dapat dijelaskan dalam edukasi dan pelatihan tentang korosi:

1. Pengenalan tentang Korosi: Menjelaskan apa itu korosi, termasuk definisi, proses terjadinya, dan jenis-jenis korosi yang umum terjadi. Ini akan membantu tenaga kerja memahami esensi masalah korosi dan mengenali tanda-tanda korosi pada infrastruktur atau peralatan.
2. Dampak Korosi: Menyoroti dampak negatif yang dapat disebabkan oleh korosi, baik secara ekonomi maupun dari sudut pandang keselamatan. Ini mencakup kerugian finansial akibat kerusakan infrastruktur, risiko kecelakaan, dan bahaya kesehatan yang dapat timbul dari korosi.
3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Korosi: Mendiskusikan faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan dan tingkat korosi, termasuk lingkungan, sifat material, dan kondisi operasional. Pengetahuan tentang faktor-faktor ini penting untuk merencanakan strategi pencegahan yang efektif.

4. Metode Pencegahan Korosi: Memperkenalkan berbagai metode pencegahan korosi, seperti pelapisan, penggunaan pelindung katodik, kontrol lingkungan, dan pemilihan material yang tahan korosi. Edukasi ini akan membantu tenaga kerja memahami langkah-langkah yang dapat diambil untuk mengurangi risiko korosi.
5. Teknik Pengujian dan Pemantauan Korosi: Memperkenalkan teknik pengujian dan pemantauan korosi yang umum digunakan, seperti pengujian elektrokimia, pengukuran ketebalan pelapisan, dan inspeksi visual. Ini akan membekali tenaga kerja dengan keterampilan yang diperlukan untuk mendeteksi dan mengevaluasi korosi secara efektif.
6. Tindakan Darurat dan Perawatan: Memberikan panduan tentang tindakan darurat yang harus diambil dalam kasus korosi yang parah, serta perawatan rutin yang dapat dilakukan untuk mencegah korosi dan memperpanjang umur infrastruktur atau peralatan.

Melalui edukasi dan pelatihan yang komprehensif tentang korosi, tenaga kerja dapat menjadi lebih sadar akan pentingnya menjaga integritas infrastruktur dan peralatan dari ancaman korosi. Hal ini dapat membantu mengurangi risiko kerusakan, meningkatkan efisiensi operasional, dan memastikan keselamatan bagi semua pihak yang terlibat.

9.4 Keselamatan dan Kesehatan Kerja

a. Risiko Kesehatan dan Keselamatan Kerja yang terkait dengan Korosi



Gambar 9.3 Simbol piktogram (Canadian center for occupational health and safety,2017)

Simbol dalam piktogram menunjukkan sebuah wadah yang meneteskan cairan ke sepotong logam dan wadah lain yang meneteskan cairan ke tangan. Simbol ini menunjukkan bahwa produk berbahaya dengan piktogram ini bisa merusak atau menghancurkan logam, menyebabkan kerusakan permanen pada kulit (misalnya luka bakar, lecet, jaringan parut), dan/atau menghasilkan kerusakan jaringan pada mata atau kehilangan penglihatan yang tidak dapat disembuhkan atau tidak dapat disembuhkan sepenuhnya dalam waktu 21 hari. Produk berbahaya dengan piktogram ini dapat digunakan dengan aman jika praktik penyimpanan dan penanganan yang benar diikuti.

produk yang memiliki piktogram korosi? Kata-kata sinyal dan pernyataan bahaya WHMIS 2015 untuk kelas dan kategori bahaya yang ditetapkan pada piktogram ini adalah:

Tabel 1 Kelas dan kategori korosi (Canadian center for occupational health and safety,2017)

Kelas dan Kategori Bahaya	Kata Sinyal	Pernyataan Bahaya
Korosif terhadap Logam – Kategori 1	Peringatan	Mungkin bersifat korosif terhadap logam
Korosi Kulit – Kategori 1 (1A, 1B, 1C)	Bahaya	Menyebabkan luka bakar kulit yang parah dan kerusakan mata
Kerusakan Mata Serius – Kategori 1	Bahaya	Menyebabkan kerusakan mata yang serius

Produk yang bersifat korosif terhadap logam dapat menyebabkan wadahnya menjadi lemah, yang pada akhirnya menyebabkan bocor atau roboh, sehingga kandungan berbahaya tersebut tumpah ke tempat kerja. Produk-produk ini juga dapat merusak peralatan logam dan komponen bangunan yang dapat menyebabkan keruntuhan struktural dan cedera. Produk yang bersifat korosif terhadap kulit dan/atau mata juga dapat bersifat korosif terhadap saluran pernapasan jika terhirup. Dampaknya bisa berupa iritasi dan luka bakar pada hidung, tenggorokan, dan paru-paru.

Dalam beberapa kasus, bisa terjadi edema paru, penumpukan cairan di paru-paru yang bisa berakibat fatal. Menelan bahan korosif dapat menyebabkan luka bakar pada mulut, tenggorokan, dan perut. Beberapa produk korosif, baik cair maupun padat, menghasilkan panas dalam jumlah besar bila dicampur dengan air.

Misalnya segelas air yang dimasukkan ke dalam ember berisi asam sulfat pekat langsung diubah menjadi uap yang akan mengeluarkan seluruh isi ember ke udara.

b. Peraturan K3 yang diterapkan pada konstruksi terkait dalam pengendalian Korosi

K3 Konstruksi di Indonesia diatur oleh berbagai peraturan dan pedoman, baik dari pemerintah pusat maupun pemerintah daerah.

1. UU No. 1 Tahun 1970 Undang-undang ini merupakan landasan hukum utama yang mengatur tentang keselamatan kerja di Indonesia, termasuk di bidang konstruksi.
2. UU No. 2 Tahun 2017 Undang-undang ini menegaskan pentingnya penerapan K3 dalam jasa konstruksi.

Semua pihak terlibat di proyek konstruksi harus mematuhi aturan K3 konstruksi demi melindungi keselamatan dan kesehatan pekerja. PP No. 50 Tahun 2012 Peraturan ini mengatur tentang bagaimana perusahaan diharuskan untuk menerapkan SMK3 dalam operasional mereka. Standar Nasional Indonesia (SNI) mengenai Keselamatan dan Kesehatan Kerja SNI adalah standar teknis yang ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional.

Ada berbagai SNI yang mengatur tentang K3, termasuk SNI tentang peralatan pelindung diri, SNI tentang prosedur kerja aman, dan lain-lain. Peraturan Pemerintah Pekerjaan Umum Nomor 9 Tahun 2008 Peraturan ini menetapkan kewajiban bagi pengguna (pemberi tugas atau pemilik proyek) untuk mengimplementasikan SMK3 dalam proyek pekerjaan umum.

Perencanaan K3 Ini melibatkan identifikasi potensi bahaya dan risiko di tempat kerja, dan merencanakan tindakan pengendalian yang sesuai. Pengendalian Operasional Ini melibatkan implementasi tindakan pengendalian yang telah direncanakan. Ini bisa melibatkan pengendalian bahaya fisik, pengendalian bahaya kimia, pengendalian bahaya biologis, dan lain-lain. Pemeriksaan dan Evaluasi Kinerja K3 Ini melibatkan pengecekan rutin untuk memastikan bahwa tindakan pengendalian efektif, dan melakukan evaluasi terhadap kinerja K3 secara keseluruhan. Tinjauan Ulang Kinerja K3 Ini adalah proses evaluasi terhadap kinerja K3 secara periodik.

Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan dan membuat rencana perbaikan. Tinjauan ini harus melibatkan manajemen puncak dan diharuskan dilakukan setidaknya sekali dalam setahun.

c. Implementasi K3 dalam proyek konstruksi

K3 Konstruksi atau Keselamatan dan Kesehatan Kerja di bidang konstruksi adalah sebuah sistem yang terintegrasi dan diatur oleh peraturan perundangan yang bertujuan untuk menjaga dan melindungi pekerja konstruksi dari risiko bahaya di tempat kerja. Tujuannya adalah mencegah kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja, serta menciptakan lingkungan kerja yang kondusif, aman, dan sehat. Dalam konteks konstruksi, K3 tidak hanya berlaku bagi pekerja langsung, tetapi juga berlaku bagi semua individu yang berada dalam lingkungan konstruksi, termasuk pengawas, manajer proyek, dan

bahkan pengunjung atau individu yang berada di dekat area konstruksi.



Gambar 9.4 Penggunaan APD implementasi K3 (Setral Kalibrasi Industri,2021)

9.5 Pentingnya Penerapan SMK3 Pada Konstruksi

Berdasarkan Moekijat (2004), Program keselamatan dan Kesehatan kerja (K3) dilaksanakan karena tiga faktor penting, yaitu :

1. Berdasarkan perikemanusiaan. Pertama -tama para manajer akan mengadakan pencegahan kecelakaan kerja atas dasar perikemanusiaan yang sesungguhnya. Mereka melakukan demikian untuk mengurangi sebanyak-banyaknya rasa sakit dari pekerjaan yang diderita luka serta efek terhadap keluarga.
2. Berdasarkan Undang-Undang. Ada juga alasan mengadakan program keselamatan dan Kesehatan kerja berdasarkan Undang -undang , bagi Sebagian mereka yang melanggarnya akan dijatuhi hukuman denda.

3. Berdasarkan Alasan ekonomi untuk sadar keselamatan kerja karena biaya kecelakaan dampaknya sangat besar bagi perusahaan.

a. Prinsip-Prinsip SMK3

Prinsip- prinsip yang harus dijalankan dalam suatu perusahaan/ instansi pemerintah dalam menerapkan Kesehatan dan Keselamatan Kerja adalah sebagai berikut:

1. Adanya APD di tempat kerja
2. Adanya buku petunjuk penggunaan alat atau isyarat bahaya
3. Adanya peraturan pembagian tugas dan tanggung jawab
4. Adanya tempat kerja yang aman sesuai standar SSLK (syarat-syarat lingkungan kerja) antara lain tempat kerja steril dari debu, kotoran, asap rokok, uap gas, radiasi, getaran mesin dan peralatan, kebisingan, tempat kerja aman dari arus listrik, lampu penerangan memadai, ventilasi dan sirkulasi udara seimbang.
5. Adanya penunjang Kesehatan jasmani dan rohani di tempat kerja
6. Adanya sarana dan prasarana lengkap ditempat kerja
7. Adanya kesadaran dalam menjaga keselamatan dan Kesehatan kerja
- h. Adanya Pendidikan dan pelatihan tentang kesadaran K3.

b. Tujuan penerapan SMK3 pada Konstruksi

K3 adalah suatu bentuk perlindungan bagi kesehatan dan keselamatan kerja para tenaga kerja, serta bagi sumber-sumber produksi perusahaan. Adapun tujuan dari K3 adalah sebagai berikut:

1. Melindungi keselamatan tenaga kerja dalam melakukan pekerjaannya sehingga bisa meningkatkan kesejahteraan hidup dan produktivitas nasional
2. Mencapai kesejahteraan fisik, mental, dan sosial pada semua pekerjaan, promosi, dan pemeliharaan tingkat tertinggi
3. Menjamin keselamatan dari setiap orang lain yang berada di tempat kerja
4. Memberikan jaminan keselamatan dan kesehatan kerja baik secara fisik, sosial, dan psikologis bagi tenaga kerja
5. Membuat tenaga kerja lebih berhati-hati dalam mempergunakan perlengkapan dan peralatan kerja
6. Memelihara keamanan semua hasil produksi
Menjamin pemeliharaan dan peningkatan kesehatan gizi pegawai
7. Meningkatkan kegairahan, keserasian kerja, dan partisipasi kerja
8. Menghindari gangguan kesehatan yang disebabkan oleh lingkungan atas kondisi kerja
9. Memberikan rasa aman bagi tenaga kerja dan supaya terlindungi dalam bekerja

c. Manfaat K3 Terhadap Karyawan dan Perusahaan

1. Supervisor bertanggung jawab langsung atas keselamatan dan kesehatan karyawan dan pekerja lain yang mereka pimpin atau awasi.
2. Karyawan diberikan pelatihan mengenai K3. Tujuan K3 ini agar mereka memahami risiko dan bahaya yang terkait dengan pekerjaan mereka, serta cara menghindari kecelakaan dan cedera kerja.
3. Perusahaan membuat program K3 secara tertulis dan jelas, yang mencakup semua aspek dari keselamatan dan kesehatan kerja. Program ini harus mencakup tujuan K3, sasaran, dan strategi yang jelas dan terukur.

9.6 Penutup

Edukasi dan pelatihan penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) dalam mengantisipasi terjadinya korosi adalah langkah penting untuk memastikan lingkungan kerja yang aman dan sehat serta mencegah potensi bahaya yang disebabkan oleh korosi. Berikut adalah beberapa hal yang dapat disertakan dalam edukasi dan pelatihan tersebut:

1. Pengenalan SMK3: Menjelaskan konsep dasar SMK3, tujuan utamanya, serta manfaatnya bagi perusahaan dan tenaga kerja. Edukasi ini dapat mencakup pemahaman tentang pentingnya menerapkan pendekatan proaktif dalam mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengendalikan risiko keselamatan dan kesehatan kerja, termasuk risiko yang terkait dengan korosi.
2. Identifikasi Bahaya Korosi: Melatih tenaga kerja untuk mengidentifikasi potensi bahaya korosi di tempat kerja, baik dalam bentuk infrastruktur yang terkena dampak

korosi maupun bahan kimia yang dapat menyebabkan korosi. Hal ini meliputi pengenalan tanda-tanda awal korosi, seperti perubahan warna atau tekstur, serta lokasi yang rentan terhadap korosi.

3. **Penilaian Risiko Korosi:** Mengajarkan tenaga kerja untuk melakukan penilaian risiko korosi, termasuk mengevaluasi potensi dampak korosi terhadap keselamatan dan kesehatan kerja, serta faktor-faktor yang mempengaruhi keparahan korosi seperti kondisi lingkungan, sifat material, dan kondisi operasional.
4. **Pencegahan Korosi:** Menyampaikan informasi tentang langkah-langkah pencegahan korosi yang dapat diterapkan di tempat kerja sesuai dengan prinsip-prinsip SMK3. Ini meliputi penggunaan bahan atau pelapis yang tahan korosi, pengaturan lingkungan kerja yang sesuai, dan pelaksanaan perawatan rutin untuk mencegah terjadinya korosi.
5. **Tindakan Darurat:** Memberikan pelatihan tentang tindakan darurat yang harus diambil dalam kasus korosi yang parah, termasuk prosedur evakuasi, pemadaman, atau isolasi area yang terkena dampak korosi untuk mencegah bahaya lebih lanjut bagi tenaga kerja dan lingkungan sekitar.
2. **6.Pemantauan dan Evaluasi:** Membekali tenaga kerja dengan keterampilan untuk melakukan pemantauan dan evaluasi terhadap langkah-langkah pencegahan korosi yang telah diterapkan, serta mengidentifikasi dan melaporkan perubahan atau masalah yang memerlukan tindakan korektif lebih lanjut.

3. 7. Dengan memberikan edukasi dan pelatihan tentang penerapan SMK3 untuk mengantisipasi terjadinya korosi, tenaga kerja dapat menjadi lebih siap dan terlatih dalam menghadapi potensi bahaya korosi di tempat kerja, serta berkontribusi dalam menciptakan lingkungan kerja yang aman dan sehat bagi semua.

BAB 10

Integrasi Data dan Analitika:

10.1 Pendahuluan

Integrasi data dan analitika memiliki peran yang sangat penting dalam upaya memahami dan mengatasi masalah korosi pada material bangunan. (Husbani & Novrianti, 2022) Korosi merupakan proses degradasi material yang disebabkan oleh berbagai faktor, seperti lingkungan, bahan kimia, suhu, dan kelembaban. Dalam konteks ini, integrasi data memungkinkan pengumpulan informasi dari berbagai sumber, seperti sensor yang terpasang di bangunan, data cuaca, dan data lingkungan, untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi korosi.

Selain itu, analitika data memungkinkan pengolahan data yang kompleks untuk mengidentifikasi pola dan tren terkait korosi. Dengan menerapkan teknik analitika yang tepat, seperti machine learning atau analisis statistik, kita dapat memprediksi potensi kerusakan pada material bangunan akibat korosi (Yenila, Marfalino, & Defit, 2023). Hal ini memungkinkan kita untuk mengambil tindakan pencegahan yang tepat waktu, seperti perawatan atau penggantian material yang rentan terhadap korosi.

Integrasi data dan analitika juga memungkinkan pengembangan strategi pemeliharaan yang lebih efisien dan efektif. Dengan memahami kondisi lingkungan dan material bangunan secara holistik, kita dapat merancang program pemeliharaan yang lebih terarah dan berkelanjutan, sehingga dapat mengurangi biaya perawatan dan memperpanjang umur material bangunan.

10.2 Manfaat Integrasi Data dan Analitika

Integrasi data adalah upaya untuk menggabungkan informasi dari berbagai sumber yang berbeda menjadi satu tampilan yang terpadu bagi pengguna. Pendekatan ini sangat membantu dalam menggabungkan beragam tipe data, dengan memperhatikan pertumbuhannya, volume, dan format yang beragam. Integrasi data bertujuan untuk mengatasi tantangan tersebut dengan menggunakan berbagai metode akses yang konsisten. Beberapa manfaat integrasi data antara lain meningkatkan efisiensi dan penggunaan manajemen data, serta meningkatkan kualitas dan integritas data. Analitik data merupakan proses mengubah data mentah menjadi wawasan yang dapat dijadikan dasar tindakan. Ini melibatkan berbagai alat, teknologi, dan proses untuk menemukan tren dan memecahkan masalah dengan menggunakan data. (Amazon Web Service, 2023).

10.3 Integrasi Data dalam Konteks Pemeliharaan Korosi

Material yang mengalami korosi akan mengalami penurunan kualitas sifat fisik dan mekaniknya, serta mengurangi umur logam. Korosi temperatur tinggi adalah proses degradasi material yang disebabkan oleh interaksi dengan atmosfer pada suhu tinggi. (Mukhammad Fatkhullah, Oktober 2020).

Korosi melibatkan penghilangan oksida logam, sulfida logam, dan hasil reaksi lainnya. Proses korosi ini didasari oleh reaksi elektrokimia, yang cenderung terjadi di lingkungan yang lembab dan pada suhu yang relatif rendah. Korosi elektrokimia melibatkan mekanisme di mana terjadi reaksi oksidasi (anodik) dan reduksi (katodik). (Mukhammad Fatkhullah, Oktober 2020).

Reaksi oksidasi merupakan proses di mana elektron dilepaskan dan menghasilkan ion positif. Logam yang mengalami reaksi ini dikenal sebagai anoda. (Mukhammad Fatkhullah, Oktober 2020). Proses korosi terjadi jika empat komponen dasar terpenuhi, yaitu:

- a. Anoda, bagian logam yang berfungsi sebagai elektroda di mana terjadi reaksi anodik, yaitu reaksi yang menghasilkan elektron.
- b. Katoda, elektroda di mana terjadi reaksi katodik yang mengkonsumsi elektron hasil dari reaksi anodik.
- c. Penghantar listrik, kontak listrik antara katoda dan anoda yang memungkinkan arus sel korosi mengalir.
- d. Elektrolit, media yang dapat menghantarkan arus listrik seperti air atau tanah.

Teknologi perlindungan logam yang ada saat ini menawarkan solusi yang lebih efektif dalam melawan korosi, karena biaya dan metode yang digunakan dapat disesuaikan dengan kondisi dan kebutuhan tertentu. Dalam metode pengendalian korosi dibedakan ke dalam 5 (lima) kategori, yaitu sebagai berikut (Mukhammad Fatkhullah, Oktober 2020) :

- a. Desain

Usaha penanggulangan korosi sebaiknya sudah dilakukan sejak tahapan desain proses. Ahli-ahli korosi sebaiknya ikut dilibatkan dalam desain proses dari sejak

pemilihan proses, penentuan kondisi-kondisi prosesnya, penentuan bahan- bahan konstruksi, pemilihan lay-out, saat konstruksi sampai tahap start-upnya. Di antara cara-cara penanggulangan korosi dari segi desain yang sering digunakan adalah:

1. Isolasi alat dari lingkungan korosif
2. Mencegah hadir/terbentuknya elektrolit
3. Jaminan lancarnya aliran fluida
4. mencegah korosi erosi/abrasi akibat kecepatan aliran
5. Mencegah terbentuknya sel galvanik

b. Pemilihan Material

Bahan konstruksi harus dipilih yang tahan korosi. Apalagi jika lingkungannya korosif. Ketahanan korosi masing-masing bahan tidak sama pada berbagai macam lingkungan. Mungkin sesuatu bahan sangat tahan korosi dibanding bahan-bahan lain pada lingkungan tertentu. Di antara bahan-bahan konstruksi yang paling sering digunakan adalah :

1. Besi
2. Aluminium
3. Timah hitam
4. Tembaga
5. Nikel
6. Timah putih
7. Titanium
8. Seng

c. Perlakuan Lingkungan

Upaya perlakuan lingkungan ini sangat penting dalam penanggulangan korosi di industri. Lingkungan yang korosif diupayakan menjadi tidak atau kurang

korosif (Mukhammad Fatkhullah, Oktober 2020). Ada dua macam cara perlakuan lingkungan yaitu :

1. Pengubahan media/elektrolit.

Misalnya penurunan suhu, penurunan kecepatan alir, penghilangan oksigen atau oksidator, pengubahan konsentrasi

2. Penggunaan inhibitor.

Inhibitor adalah suatu bahan kimia yang jika ditambahkan dalam jumlah yang kecil saja kepada lingkungan media yang korosif, akan menurunkan kecepatan korosi. Inhibitor bekerja menghambat laju korosi.

3. Pelapisan

Metode pelapisan atau coating adalah suatu upaya mengendalikan korosi dengan menerapkan suatu lapisan pada permukaan logam besi. Misalnya dengan pengecatan atau penyepuhan logam. Penyepuhan besi biasanya menggunakan logam krom atau timah. Kedua logam ini dapat membentuk lapisan oksida yang tahan terhadap lapisan film permukaan dari oksida logam hasil oksidasi yang tahan terhadap korosi lebih lanjut. Logam seng juga digunakan untuk melapisi besi (galvaniser), tetapi seng tidak membentuk lapisan oksida seperti pada krom dan timah, melainkan berkarbon demi besi. Ada dua macam cara pelapisan, yaitu :

- a) Pelapisan dengan bahan logam. Pada pelapisan dengan bahan logam, dapat digunakan bahan-bahan logam yang lebih inert maupun yang kurang inert sebagai bahan pelapis. Pemakaian kedua macam

bahan tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing.

b) Pelapisan dengan bahan non logam. Yaitu dengan pelapis berbahan dasar organik seperti cat polimer dan pelapis berbahan dasar anorganik.

d. Proteksi Katodik

Proteksi katodik adalah suatu teknik untuk melindungi korosi pada suatu logam. Terjadinya aliran elektron dari anoda ke katoda pada struktur baja didalam elektrolit harus ditahan menggunakan aliran arus listrik dari anoda lain (Mukhammad Fatkhullah, Oktober 2020).

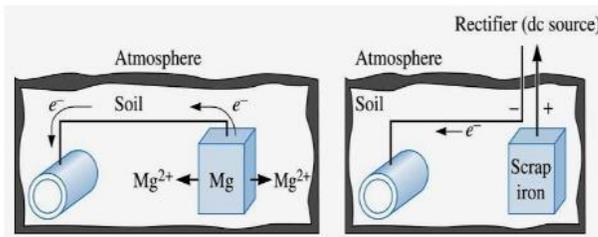
Anoda reaktif dihubungkan dengan logam yang diproteksi, arus listrik dialirkan ke permukaan logam yang diproteksi melalui elektrolit (Mukhammad Fatkhullah, Oktober 2020).

Faktor yang mempengaruhi proses proteksi katodik yaitu :

- Luas permukaan yang akan diproteksi, semakin luas permukaan semakin banyak anoda yang digunakan.
- Beda potensial listrik antara anoda dan katoda, semakin besar perbedaan maka semakin besar arus proteksi dari anoda ke katoda.
- Logam dan ukuran anoda, semakin kecil tahanan anoda berarti semakin sedikit penggunaan logam anoda. Semakin kecil ukuran logam anoda semakin besar tahanan anoda berarti semakin banyak penggunaan anoda.

Untuk sistem-sistem yang terbenam dalam air atau didalam tanah. Sistem perlindungan seperti ini telah berhasil mengendalikan proses korosi untuk kapal-kapal laut, struktur pinggir pantai, instalasi pipa dan tangki bawah tanah atau laut. Cara Pemberian arus searah dalam sistem proteksi katodik ada dua cara seperti ditunjukkan pada gambar :

1. Menerapkan anoda korban (sacrificial anode)
2. Menerapkan arus tandingan (impressed current)



Gambar 10.1 Sistem Proteksi Katodik

(Mukhammad Fatkhullah, Oktober 2020)

10.4 Analitika Data untuk Manajemen Risiko Korosi

Sistem Manajemen Korosi (CMS) adalah serangkaian proses dan prosedur terdokumentasi yang diperlukan untuk perencanaan, pelaksanaan, dan peningkatan berkelanjutan kemampuan dalam mengelola ancaman korosi pada aset dan sistem aset yang ada dan yang akan datang (Nace International Impact,2016).

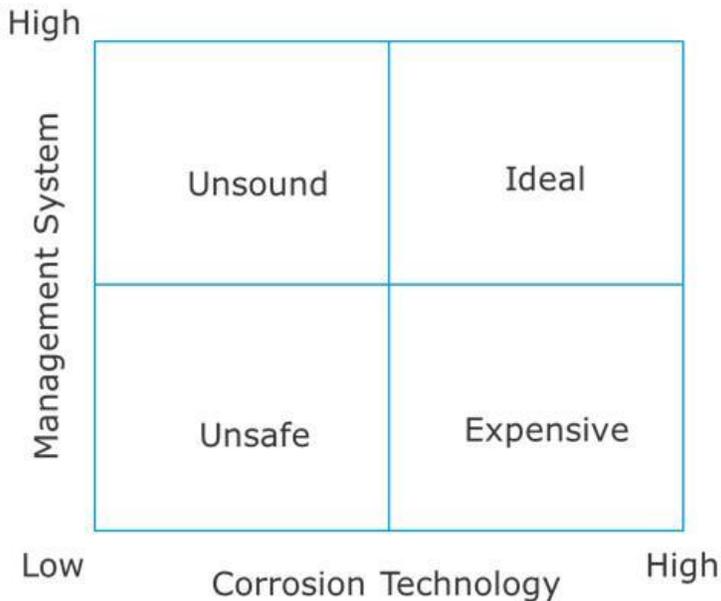
Mengelola ancaman korosi memerlukan pertimbangan terhadap kemungkinan dan konsekuensi dari peristiwa korosi. Konsekuensi atau dampak korosi dianggap sebagai potensi atau kerugian moneter aktual yang terkait dengan keselamatan, lingkungan, atau integritas aset. Nilai ini biasanya dapat diukur ketika mempertimbangkan hilangnya pendapatan, biaya perbaikan, dan biaya pembersihan, sebagaimana berlaku. Aspek

lain dari dampak korosi mencakup kerusakan suatu aset sampai pada titik di mana aset tersebut tidak lagi sesuai dengan tujuannya (misalnya, hilangnya produksi di masa depan).

Secara umum, ancaman korosi harus dikurangi sampai pada titik di mana pengeluaran sumber daya seimbang dengan manfaat yang diperoleh. Salah satu akibat dari hal ini adalah analisis finansial mungkin menyimpulkan bahwa tindakan mitigasi korosi yang baik secara teknis tidak dapat dibenarkan. Untuk menentukan tepat tidaknya suatu investasi pengelolaan korosi dapat dibandingkan dengan potensi akibat korosi melalui analisis return on investment (ROI). ROI adalah manfaat (atau pengembalian) suatu investasi dibagi biayanya. Untuk manajemen korosi, biayanya mungkin mencakup biaya inspeksi dan pemeliharaan lainnya dan manfaat ROI tidak selalu diukur dalam keuntungan finansial, namun dalam penghindaran biaya keselamatan atau integritas. Beberapa risiko sulit untuk diuangkan termasuk reputasi dan kerugian sosial. ROI untuk manajemen korosi dapat dikaitkan dengan konsep manajemen risiko As Low As Reasonably Practicable (ALARP) (Nace International Impact,2016).

Salah satu cara untuk memvisualisasikan manfaat menggabungkan aktivitas khusus teknologi korosi dengan elemen sistem manajemen adalah melalui matriks dua-dua yang ditunjukkan pada Gambar 3-1. Dengan teknologi korosi yang buruk dan sistem manajemen yang lemah, korosi tidak dapat dikendalikan atau dikelola (yaitu tidak aman). Dengan teknologi korosi yang baik, korosi dapat dikendalikan namun tidak dioptimalkan (yaitu mahal). Sistem pengelolaan yang matang tanpa teknologi korosi yang baik tidak akan efektif (yaitu tidak baik). Menggabungkan sistem pengelolaan yang matang dengan

teknologi korosi yang baik adalah hal yang ideal karena menghasilkan pengelolaan aset yang mudah terurai secara efektif dan efisien.



Gambar 10.2. Matriks dua-dua yang menggambarkan manfaat menggabungkan teknologi korosi yang baik dengan sistem manajemen yang matang (*Nace International Impact,2016*).

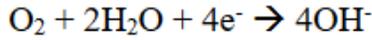
10.5 Model Prediktif untuk Deteksi Dini Korosi

Masalah korosi merupakan salah satu pertimbangan biaya pemeliharaan dalam proses produksi industri minyak dan gas bumi, petrokimia dan geothermal. Salah satu metode mitigasi korosi adalah proses pelapisan polimer atau cat. Walaupun struktur dilapisi oleh cat, proses korosi terjadi karena preparasi permukaan yang tidak benar. Proses deteksi dini korosi di bawah lapisan cat bisa salah satu kandidat untuk mengurangi kerusakan lebih lanjut. Material senyawa cerdas adalah phenolphthalein (PP) diperlukan sebagai indikator terjadinya korosi. Konsentrasi

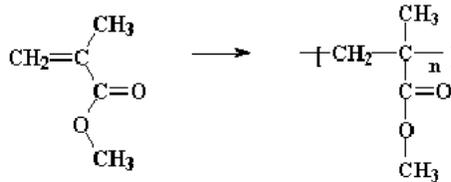
senyawa PP divariasikan dengan sebesar 0,01% ; 0,1 % dan 1% yang ditambahkan ke lapisan berbasis akrilik. Pengujian performa lapisan cat melalui pengujian kabut garam (ASTM B117-97) selama 240 jam. Metode visualisasi secara makro dilakukan untuk melihat kerusakan cat. Performa senyawa PP pada cat dengan konsentrasi 0,01% dan 1% memberikan indikasi bercak warna jingga di waktu ekspos 24 jam. Reaksi oksidasi dan reduksi (elektrokimia) berlangsung pada daerah antar muka lapisan cat dan substrat baja melalui visualisasi warna jingga (Gadang Priyotomo, Oktober 2020).

Korosi pada lapisan cat yang diaplikasikan pada material baja terjadi karena unsur persiapan permukaan substrat baja yang tidak bersih dan lembab saat proses pengecatan. Sehingga batas antara lapisan cat dan baja mengalami reaksi elektrokimia lokal sehingga terjadi korosi. Reaksi reduksi dapat menyebabkan peningkatan nilai pH secara lokal karena keberadaan ion hidroksil (OH^-) berlimpah dibandingkan reaksi anodik sehingga senyawa material cerdas dalam lapisan cat berkerja saat peningkatan nilai pH di daerah katodik (Gadang Priyotomo, Oktober 2020).

Reaksi korosi material merupakan reaksi elektrokimia dimana reaksi sinergis terjadi antara oksidasi (anoda) dan reduksi (katoda). Dua reaksi yang saling bersinergis ini dalam sel elektrokimia dapat diidentifikasi melalui fungsi dari senyawa material cerdas. Reaksi pada daerah katodik merupakan reaksi reduksi oksigen (O_2) dan air (H_2O) dimana akan menghasilkan produk ion hidroksil (OH^-). Reaksi ini hanya bisa berlangsung jika lingkungan netral atau cenderung basa (Gadang Priyotomo, Oktober 2020). Reaksi elektrokimia di daerah katodik terlihat pada reaksi dibawah ini :



Cat berbasis akrilik merupakan cat kering cepat dimana pengikatnya merupakan senyawa polimer gugus akrilik . Umumnya, cat berbasis akrilik ini dapat larut dalam media air (water borne acrylic) namun cat ini bersifat tahan air saat kering di udara terbuka.



Gambar 10.3 Polimerisasi metil metaakrilat menjadi poly(metil metaakrilat) (Gadang Priyotomo, Oktober 2020).

10.6 Penutup

Dengan teknologi korosi yang buruk dan sistem manajemen yang lemah, korosi tidak dapat dikendalikan atau dikelola (yaitu tidak aman). Dengan teknologi korosi yang baik, korosi dapat dikendalikan namun tidak dioptimalkan (yaitu mahal). Sistem pengelolaan yang matang tanpa teknologi korosi yang baik tidak akan efektif (yaitu tidak baik). Menggabungkan sistem pengelolaan yang matang dengan teknologi korosi yang baik adalah hal yang ideal karena menghasilkan pengelolaan aset yang mudah terurai secara efektif dan efisien (Nace International Impact,2016).

DAFTAR PUSTAKA

- Allen Carlile , masuk Teknik Pemantauan Korosi, 2008
- Anggono, J., dan S. Tjitro. 2000. Studi Perbandingan Kinerja Anoda Korban Paduan Aluminium dengan Paduan Seng dalam Lingkungan Air Laut. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen
- Anonim (2016), *Pemeliharaan, Manajemen, Desain dan Kinerja Siklus Hidup*, Volume 12
- Ariyanto, Arief Subakti. 2022. Korosi pada Baja Tulangan dan Pencegahannya (Studi Kasus Gedung Ruko Yos Sudarso Square Semarang). Jurnal ISSN: 2614 3097 (online) Halaman 3036-3041 Volume 6 Nomor 1. Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang.
- Bawoke Mekuye, Birhanu Abera. 2023. Nanomaterials: Tinjauan sintesis, klasifikasi, karakterisasi, dan aplikasi.
- BMKG (2020), *Buku Saku Klimatologi*, Jakarta
- Cantrell A. 2002. "Steel Rebar Reinforcement Corrosion in Concrete Bridge Design", Corrosion and Surface Treatment of Materials, Material Science Engineering Department Undergraduate, University of Washington
- Crawford , Kenneth C. 2022. Perspective Chapter: Bridge Deterioration and Failures. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.109927>
- Departemen Pekerjaan Umum. 2010. Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Gantung untuk Pejalan Kaki.
- Djarwanto, B., & Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan Jl Gunung Batu

No, P. (n.d.). SIFAT PENGKARATAN LIMA JENIS KAYU YANG DISIMPAN DI TEMPAT TERBUKA TERHADAP BESI () Corrosion Properties on Five Wood Species in an Open Site to Iron.

dropshiper. (2023, June 23). Korosi pada Logam dan Bahan Nonlogam: Perbedaan dan Dampaknya. Dropshiper. <https://dropshiper.co.id/korosi-pada-logam-dan-bahan-nonlogam-perbedaan-dan-dampaknya/>

Dwi Imas Syafitri, 2023

Elok Fidiani, Ph.D. 2024, Mengenal Lebih Dekat Dunia Nano di Era Nano Teknologi. Media Universitas Katolik Parahyangan.

enviro tech europa, 2023

Ervianto, Wulfram I., "Pengelolaan Proyek Konstruksi Yang "Green"", academia.edu, 1 Des 201

Fadly, E. 2010. Perbandingan Efisiensi Anoda Aluminium Pada Lingkungan Air Laut dan Pasir Laut. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

Fahira F, 2007, Korosi Pada Beton Bertulang dan Pencegahannya, SMARTek, jurnal untad Anggun, Agiel, 2014, Artikel Perkaratan Logam Besi, diambil dari : [http : // anggunagiell.blogspot.com/2014/04/artikel-perkaratan-pada-logam-besi.html](http://anggunagiell.blogspot.com/2014/04/artikel-perkaratan-pada-logam-besi.html)

Geonhee Cho, Yoonsu Park, Yun-Kun Hong & Don-Hyung Ha. 2019. Ion exchange: an advanced synthetic method for complex nanoparticles. *Nano Convergence* 6, 17 (2019). <https://doi.org/10.1186/s40580-019-0187-0>.

Gianto. (n.d.). Sifat Logam dan Non-Logam. <http://www.chem-is-try.org/tabel-periodik/>

Gunaatmaja, A. (2011). Korosi pada Baja Karbon Rendah dengan Penambahan Ekstrak Ubi Ungu sebagai Inhibitor Organik di Lingkungan NaCl 3, 5%.

Gunaltun. 2005. Effect of Acetic Acid, pH and MEG on the CO₂ Top of the Line Corrosion. OnePetro.

Hermawan, Hendra. 2019. "Pengantar proteksi katodik." INA-Rxiv. doi:10.31227/osf.io/mxky6. 4/11

[Hostd.biz.id](http://hostd.biz.id) 5 April 2023

<http://rethinkingprosperity.org/a-short-history-of-sustainable-development/> (17/11/2016).

<https://andrianik17.wordpress.com/2018/11/12/proteksi-katodik/>

<https://arcon.id/proteksi-korosi-pada-bangunan/#:~:text=Korosi%20pada%20bangunan%20adalah%20reaksi,metode%20yang%20disebut%20proteksi%20korosi.>

https://artsandculture.google.com/entity/m01s_5?hl=

<https://blogs.ampp.org/corrosion-management-for-asset-integrity>

https://elib.unikom.ac.id/files/disk1/600/jbptunikompp-gdl-cecepwilia-29984-10-unikom_c-i.pdf

<https://greenchem.co.id/id/news/kerugian-yang-ditimbulkan-korosi>

<https://hesa.co.id/cara-uji-korosi-tulangan-beton-dengan-metode-half-cell-potential/>

<https://highways.dot.gov/public-roads/sepemberoctober-2004/preventing-corrosion-steel-briges>

[2264-6c8d-0568-7b6f23326d11&psq=beton+tekstil&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cucnVhbmctc2lwaWwuY29tLzIwMTgvMDgvaW5vdmFzaS1iZXRvbi10ZWtzdGlsLmh0bWw&ntb=1](https://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/howto/corrosion.html)

<https://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/howto/corrosion.html>

<https://www.earth.com/news/steel-corrosion-is-a-major-contributor-to-climate-change/>

<https://www.ekrut.com/media/kesehatan-dan-keselamatan-kerja>

<https://www.forbes.com/sites/lauriewinkless/2022/08/04/crumbling-away-how-climate-change-could-accelerate-corrosion/?sh=374426782fc8>

<https://www.giatecscientific.com/education/how-to-assess-corrosion-in-concrete-with-an-ndt-method/>

<https://www.icorr.org/how-does-cathodic-protection-work/>

https://www.inspeksi.co.id/proteksi-katodik-adalah-jenis-keuntungan-dan-kekurangan/#google_vignette

<https://www.liputan6.com/hot/read/4203183/8-cara-mencegah-korosi-ketahui-penyebabnya?page=4>

<https://www.machinerylubrication.com/Read/1363/detect-corrossion-oil>

<https://www.matcor.com/resources/cathodic-protection-systems/>

<https://www.sentrakalibrasiindustri.com/kriteria-alat-pelindung-diri-apd-yang-baik/>

<https://www.sydney.edu.au/news-opinion/news/2019/11/27/how-climate-change-impacts-infrastructure--experts-explain.html>

<https://www.zenius.net/blog/apa-itu-korosi>

Husbani, A., & Novrianti. (2022). Analisis Pengaruh Kelembaban Terhadap Laju Korosi Menggunakan Rimpang Jahe Merah Sebagai Penghambat Laju Korosi . c.2022.vol 4(2).10712 Journal of Research and Education Chemistry (JREC), 104-119.

Jago merah, 2013

Jai Prakash, Junghyun Cho, Yogendra Kumar Mishra. 2022 Bahan nano TiO₂ fotokatalitik sebagai agen antimikroba dan antivirus yang potensial: Cakupan untuk menghalangi penyebaran SARS-COV-2. Jurnal PMC: 8685168 (online). National Library of medicine

Katarzyna Wykpis, Magdalena Popczyk, Antoni Budniok, 2011. Electrolytic deposition and corrosion resistance of Zn-Ni coatings obtained from sulphate-chloride bath. Bulletin of Materials Science.

Kehr, A. (2017, December 24). The Corrosion of Polymeric Materials. CORROSION PEDIA. <https://www.corrosionpedia.com/the-corrosion-of-polymeric-materials/2/1548>

Kuncoro, C. (2013). Teknik Dasar Pengerjaan Non--Logam. www.vedcmalang.com

Kurniasari, Anita Putri dan Yasmina Amalia, 2022

Leon, A. (2017). Material Non Logam.

Liebold, F.; Wagner, F.; Giese, J.; Grzesiak, S.; de Sousa, C.; Beckmann, B.; Pahn, M.; Marx, S.; Curbach, M.; Maas, H.-

G. Analisis kerusakan dan kontrol kualitas balok beton bertulang karbon berdasarkan uji computed tomography in situ. *Bangunan*

Mangi, Respa Rose. (2017). “.Perancangan Struktur Kabel Pada Jembatan Gantung”. Bandar Lampung. Universitas Lampung.

Menga, Antonia. 2022. Corrosion-induced damages and failures of post tensioned bridges: A literature review. Department of Structural Engineering, NTNU, Materialteknisk, 3-42, Gløshaugen, Richard Birkelands vei1a, 7034, Trondheim, Norway. DOI: 10.1002/suco.202200297

N. Iskandar, S. Nugroho, and I. Krisna, *Rotasi* 22, 266 (2020)

NASUTION, Muslih. KAJIAN TENTANG HUBUNGAN DERET VOLTA DAN KOROSI SERTA PENGGUNAANNYA DALAM KEHIDUPAN SEHARI

Nuryadin, Bebeh Wahid. 20020. Pengantar Fisika Nanomaterial: Teori dan Aplikasi. Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati

P. Zhang, W. Tan, X. Zhang, J. Chen, J. Yuan, J. Deng. 2021. Padang rumput. *Kimia*. <https://doi.org/10.2174/9789815036817121010009>

Pahlevi, Gilang Audi, 2017

Panda, 2012, Jenis-jenis Korosi dan Cara Pencegahannya, (<http://pandapoo-panda.blogspot.com/2012/04/jenis-jenis-korosi-dan-cara.html>, diakses pada tanggal 08 Februari 2024, pukul 22.30).

[Penggunaan material ramah lingkungan untuk mengurangi dampak korosi terhadap lingkungan. - Search \(bing.com\)](#)

Prasetyo, samsu. (2018). Sifat Korosi Zat Ekstraktif Kayu Ulin (Eusideroxylon zwageri Teijsm. & Binn.) terhadap Besi

dan Baja. Semantic Scholar.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Sifat-Korosi-Zat-Ekstraktif-Kayu-Ulin-zwageri-%26-dan-Prasetyo/e432e95a150bfa4a9311709d1dcf07ccd0c6f5bb>

PT. Wijaya Karya Industri & Konstruksi – PT. Bukaka Teknik Utama, Tbk,KSO. (2018). DOC.NO. WIK-P0-B.46-CAL-PU-0006. Jakarta.

Purnawan Gunawan & Wibowo. 2007. Pengaruh Korosi Baja Tulangan Terhadap Kuat Geser Balok Beton Bertulang. Media Teknik Sipil. Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Putra, Iriansyah, 2010, Metode Kehilangan Berat, (<http://irianpoo.blogspot.com/2010/01/laju-korosi.html>, diakses pada tanggal 08 Februari 2024, pukul 22.13).

Roberge, Pierre R. 1999. Handbook of Corrosion Engineering. Mc Graw-Hill Book Company. New York

Robert J. Evans Jr., PE (AFCEC) dan Lean-Miguel San Pedro (NAVFAC) dan Thomas Tehada, PE (NAVFAC) untuk Direktur, Kebijakan & Pengawasan Korosi (DCPO), (DASD) [Kesiapan Materiel

S. Bhramantya Panji. Universitas Negeri Semarang, 2016

S. Khan, MK Hossain. 2022. Komposit Polimer Berbasis Nanopartikel. Woodhead, London)

Setyaningsih, Heri. 2010. “Identifikasi faktor-faktor penyebab terjadinya sisa material untuk proyek konstruksi gedung (studi kasus di kota palu)”. Skripsi, Universitas Tadulako, Palu.

Shuang-Ling Chong, 2004

Star Group. 2024. Komposit multi-layer aluminium foil. <https://id.star-newmaterial.com/info/what-is-the-new-eco-friendly-thermal-insulatio-75368624.html>

- Suryanto, Intan. 2005. Analisa dan Evaluasi Sisa Material Konstruksi : Sumber Penyebab, Kuantitas dan Biaya, (<http://puslit.petra.ac.id/journals/civil>, diakses 06 Juni 2010).
- Susanne Kirmse, Alexander, Kahnt, Frank Scladitz, Manfred Curbach. Keuntungan ekologis dan ekonomis dari beton bertulang karbon – Menggunakan C³ result house CUBE terutama rantai nilai BOX sebagai contoh. 07 Mei 2022
- Tim Neutrino ITS. 2023. Cegah Korosi, Mahasiswa ITS Gagas Pemanfaatan Material Komposit. <https://www.its.ac.id/news/2022/12/30/cegah-korosi-mahasiswa-its-gagas-pemanfaatan-material-komposit/>
- U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. 2006. Design and Construction of Driven Pile Foundations, Reference Manual – Volume I, National Highway Institute
- W. Wibowo and P. Gunawan, *Media Tek. Sipil 7*, pp. 21 (2007)
- William d. Callister, Jr., Rethwisch, David G., 2018. Materials Science and Engineering. Department of Metallurgical Engineering, The University of Iowa. Haboken, New Jersey : ISBN 9781119405436
- XF Zhang, ZG Liu, W. Shen, S. Gurunathan. 2016. Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches. *Int. J.Mol. Sains*. <https://doi.org/10.3390/ijms1709153429>. H. S.
- Yenila, F., Marfalino, H., & Defit, S. (2023). Model Analisis Machine Learning dengan Pendekatan Deep Learning dalam Penentuan Kolektabilitas. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 403-414.

Yesa Kristiandono¹, Suharyatma² Analisis Pengaruh Pencampuran Serat Karbon Terhadap Kekuatan Beton dalam Menahan Beban Desak, Beban Tarik dan Beban Lentur 03 September 2022

Zaki Ahmad , di Prinsip Teknik Korosi dan Pengendalian Korosi, 2006

Zenius Untuk Guru. (2022, February 10). Perubahan Pada Benda – Pelapukan, Perkaratan, Pembusukan. Zenius. <https://www.zenius.net/blog/perubahan-pada-benda>

BIOGRAFI



Dr. Sri Gusty, S.T., M.T., lahir di Kota Watampone, Bone, Sulawesi Selatan, pada tanggal 8 Agustus 1985. Menyelesaikan kuliah pada Universitas Muslim Indonesia (UMI) Makassar dan mendapat gelar Sarjana Teknik, pada tahun 2008. Kemudian melanjutkan Program Magister pada Universitas Hasanuddin (Unhas) dan menyandang gelar Magister Teknik, pada tahun 2010. Lulus pada tahun 2018 dari Universitas Hasanuddin Program Doktor Teknik Sipil.

Pada tahun 2010, bergabung menjadi Dosen Universitas Fajar (Unifa), Makassar. Sekira lima tahun kemudian, tepatnya pada tanggal 15 Januari 2015 diamanahkan sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, yang dijabat sampai dengan tahun 2019. Selanjutnya, mulai tanggal 2 Januari 2019 hingga 2023, mengemban tanggung jawab sebagai Ketua Program Magister Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan Fakultas Pascasarjana Universitas Fajar (Unifa). Kemudian, sejak 3 April 2023, disertai amanah baru sebagai Wakil Dekan Fakultas Pascasarjana Universitas Fajar (Unifa).

Aktivitas menulis buku dimulai sejak tahun 2019 dan telah tercatat beberapa buku yang ditulis, di antaranya berjudul "Campur Panas Hambar Dingin Aspal Berongga", "Pengantar Korosi Material", "Belajar Mandiri (Pembelajaran Daring di Tengah Pandemi Covid-19)", "Manajemen Kinerja dan Budaya Organisasi (Suatu Tindakan

Teoritis)", dan "Aplikasi Teknologi Informasi (Konsep dan Penerapan)".



MUHAMMAD ASRIADI, ST, Lahir di Kosali pada tanggal 17 Januari 1999. Menyelesaikan S1 Jurusan Teknik Sipil di Universitas Fajar Makassar Pada tahun 2021. Aktivitas saat ini adalah sedang melanjutkan Pascasarjana di kampus Universitas Fajar Makassar. Dan sedang bekerja di PT. Surveyor Indonesia Cabang Makassar sebagai Supervisor Sipil.



Muhammad Idrus ST,. Lahir di Jabal Kubis pada tanggal 23 Maret tahun 1998. Menyelesaikan studi S1 jurusan Teknik sipil UNIFA tahun 2020 dan sekarang tercatat sebagai mahasiswa S2 MRIL di UNIFA. Aktivitas saat ini sebagai konsultan pengawas sebagai material teknisi di PT.Antariksa Globalindo.



Iswady, ST. Lahir di Palopo pada tanggal 17 Mei 1986. Menyelesaikan pendidikan S1 di Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Andi Djemma Palopo pada tahun 2011. Aktif berjangka sebagai tenaga ahli pada perusahaan yang bergerak di bidang jasa konsultasi perencanaan dan pengawasan konstruksi. Saat ini saya sedang

melanjutkan Studi Magister Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan di Universitas Fajar Makassar.



Muslika, ST, Lahir di Babana, pada tanggal 20 Oktober 1998. Menyelesaikan S1 Jurusan Teknik Sipil di Universitas Fajar tahun 2020. Aktivitas saat ini adalah sedang melanjutkan studi pascasarjana di kampus Universitas Fajar Makassar. Dan sedang bekerja di salah satu instansi di Sulawesi Barat Kab. Mamuju Tengah sebagai Staf di kantor Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan ruang Bidang Cipta Karya.



Lilis Irjayanti Yoom, SP. Lahir di Timika pada tanggal 05 September 1992. Menyelesaikan S1 di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang tahun 2018. Saat ini saya bekerja di salah satu instansi di Kab. Mimika, Papua Tengah sebagai Admin dan Penanggung Jawab Operasional (PJO). Aktivitas saya selain bekerja saya sedang melanjutkan Studi Magister Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan di Universitas Fajar Makassar.



Agus Prabowo K, Lahir di Ujung Pandang, pada tanggal 17 Agustus 1996. Menyelesaikan S1 Jurusan Teknik Sipil Universitas Fajar tahun 2020, yang Sedang Melanjutkan Pendidikan S2 Program Magister di Jurusan Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan Pasca Sarjana Universitas Fajar tahun 2022, Aktivitas saat ini bekerja sebagai konsultan di sebuah Perusahaan yang bergerak pada bidang jasa konsultasi badan usaha konstruksi.



A. SRI BINTANG MAHARANI, ST. Lahir di Kota Makassar pada tanggal 13 Agustus 2000. Menyelesaikan S1 Jurusan Teknik Sipil di Universitas Fajar tahun 2022. Aktivitas saat ini adalah sedang melanjutkan studi pascasarjana di kampus Universitas Fajar Makassar. Pernah bekerja di proyek jalan (IJD) di Kota Masamba sebagai Konsultan pengawas di bagian material teknisi.



Widia Anggraeni Sunusi, ST, Lahir di Timika, pada tanggal 23 Mei 2000. Menyelesaikan S1 Jurusan Teknik Elektro di Universitas Fajar tahun 2022. Aktivitas saat ini adalah sedang melanjutkan studi pascasarjana di kampus Universitas Fajar Makassar. Dan sedang bekerja di salah satu instansi di Papua Kab.Mimika Pekerjaan Sebagai Admin.



Fatmeriany, Lahir di Barru, pada tanggal 18 Agustus 1984. Menyelesaikan S1 Jurusan Teknik Sipil UMI tahun 2009. Aktivitas saat ini adalah sebagai Konsultan Sarana dan Prasarana, Direktris CV. Husainiyah Consultant.



MUTIARA MENTARI PUTRI, ST, Lahir di Toraja pada tanggal 12 Januari 2001. Merupakan lulusan S1 Teknik Sipil Universitas Fajar. Saat ini melanjutkan pendidikan di Pascasarjana di kampus Universitas Fajar Makassar, dan sedang bekerja di salah satu perusahaan kontraktor di Makassar.

SINOPSIS

KOROSI, ATAU PENGARATAN, ADALAH KERUSAKAN MATERIAL AKIBAT REAKSI ELEKTROKIMIA DENGAN LINGKUNGANNYA. PROSES INI SECARA PERLAHAN-LAHAN "MERUSAK" MATERIAL, TERUTAMA LOGAM, DAN DAPAT MENYEBABKAN HILANGNYA KEKUATAN, ESTETIKA, DAN FUNGSI SECARA KESELURUHAN. INFRASTRUKTUR PENTING SEPerti JEMBATAN, PIPA, DAN BANGUNAN, SERTA PERALATAN INDUSTRI SEPerti MESIN, KAPAL, DAN PESAWAT TERBANG, SEMUANYA RENTAN TERHADAP KERUSAKAN AKIBAT KOROSI. BIAYA AKIBAT KOROSI SANGATLAH BESAR, MENCAPI TRILIUNAN RUPIAH SETIAP TAHUNNYA SECARA GLOBAL. SELAIN KERUGIAN FINANSIAL, KOROSI JUGA DAPAT MENIMBULKAN BAHAYA KESELAMATAN, SEPerti RUNTUHNYA JEMBATAN ATAU KEGAGALAN FUNGSI BANGUNAN

UNTUNGNYA, ADA BERBAGAI STRATEGI YANG DAPAT DITERAPKAN UNTUK MELINDUNGI MATERIAL DARI KOROSI. PENCEGAHAN ADALAH LANGKAH AWAL YANG PENTING. PEMILIHAN MATERIAL YANG TEPAT DAN TAHAN KOROSI UNTUK LINGKUNGAN TERTENTU MERUPAKAN LANGKAH KRUSIAL. SELAIN ITU, TEKNIK DESAIN YANG BAIK, SEPerti MENGHINDARI GENANGAN AIR DAN MEMASTIKAN DRAINASE YANG BAIK, DAPAT MEMBANTU MEMPERLAMBAT LAJU KOROSI. PELAPISAN PERMUKAAN MATERIAL DENGAN CAT ANTI-KOROSI, LAPISAN EPOKSI, ATAU PELAPIS TAHAN KOROSI LAINNYA JUGA MERUPAKAN METODE PERLINDUNGAN YANG EFEKTIF. DALAM KASUS TERTENTU, PENGGUNAAN INHIBITOR KOROSI YANG DITAMBAHKAN KE LINGKUNGAN DAPAT MEMPERLAMBAT LAJU REAKSI ELEKTROKIMIA. DENGAN MEMAHAMI MEKANISME KOROSI DAN MENERAPKAN STRATEGI PERLINDUNGAN YANG TEPAT, KITA DAPAT MEMPERPANJANG UMUR MATERIAL, MENINGKATKAN KEAMANAN INFRASTRUKTUR DAN INDUSTRI, SERTA MENGURANGI KERUGIAN EKONOMI DAN LINGKUNGAN