

PENCEGAHAN KOROSI PADA PABRIK KELAPA SAWIT

Fadlin Qisthi Nasution, Muhammad Ansori Nasution, Henny Lydiasari, Arjanggi Nasution, dan Ayu Wulandari

Abstrak - Korosi dapat didefinisikan sebagai berkurangnya logam yang diakibatkan oleh interaksi psikokimia antara logam dan lingkungannya. Korosi juga terjadi di pabrik kelapa sawit yang mengakibatkan kegagalan pada komponen-komponen mesin proses. Beberapa jenis mekanisme korosi yang terjadi di pabrik kelapa sawit di antaranya elektrokimia, kimia, biologi, dan kimia-mekanik. Oleh karena itu, dibutuhkan pencegahan korosi untuk meminimalisir biaya dan kerugian akibat gagalannya komponen akibat korosi. Untuk mencegah terjadinya kegagalan pada pabrik kelapa sawit akibat terjadinya korosi, maka dibutuhkan penanganan dan pencegahan korosi dengan melakukan pemilihan material yang tepat, modifikasi media korosif, pelapisan dan pengecekan berkala. Pengecekan berkala dilakukan dengan menggunakan metode pengujian tidak merusak (*non destructive test*) yang terdiri dari *ultrasonic testing*, *magnetic particle inspection* dan *dye penetrant inspection* untuk memperpanjang umur penggunaan dan menghindari kegagalan komponen akibat korosi.

Kata kunci: kelapa sawit, korosi, pabrik kelapa sawit, pencegahan korosi.

PENDAHULUAN

Berdasarkan ISO 8044, korosi dapat didefinisikan sebagai berkurangnya logam yang diakibatkan oleh interaksi psikokimia antara logam dan lingkungannya (Pedferri & Ormellese, 2018). Pada praktiknya, korosi dapat diartikan sebagai kembalinya logam ke bentuk oksidanya yang paling stabil (Revie, 2011). Proses korosi elektrokimia terdiri dari anoda, katoda, dan larutan air, atau elektrolit yang memiliki ion bermuatan positif dan negatif. Proses korosi menyebabkan larutnya logam ke lingkungan yang mengakibatkan kerusakan bertahap dan kegagalan pada logam.

Secara umum korosi dapat dibagi menjadi dua jenis utama, yaitu korosi internal dan korosi eksternal. Korosi eksternal terjadi karena efek korosif dari suhu tinggi, kelembaban yang tinggi, kadar garam yang tinggi, dan lingkungan yang sangat asam pada lingkungan dimana logam berada (Tiu & Advincula, 2015). Sebaliknya, korosi internal bersumber dari gas atau cairan yang disimpan atau diangkut oleh logam (Raja et al., 2016). Paparan logam secara terus

menerus terhadap cairan dapat menyebabkan jenis korosi ini baik dalam kondisi anaerobik maupun aerobik (Loto, 2017). Air diyakini sebagai cairan paling umum yang bersentuhan dengan logam.

EFEK KOROSI

Pentingnya mempelajari korosi didasari oleh tiga hal. Pertama, secara ekonomi, pencegahan korosi dilakukan untuk mengurangi kerugian material akibat korosi pipa, tangki, komponen logam mesin, dan sebagainya. Hal kedua adalah peningkatan keselamatan peralatan operasi. Korosi dapat menyebabkan gagalannya suatu komponen yang berujung dengan terjadinya kerusakan. Beberapa komponen yang dapat gagal akibat korosi adalah bejana tekan, *boiler*, wadah logam untuk bahan beracun, bilah turbin, *screw press* dan rotor. Ketiga adalah konservasi sumber daya logam; pencegahan korosi secara langsung mencegah pemborosan fabrikasi logam yang dibutuhkan untuk mengganti komponen yang rusak akibat korosi.

Efek korosi yang paling signifikan yang dirasakan oleh dunia adalah efek ekonomi dari korosi tersebut. Secara ekonomi, korosi menyebabkan kerugian yang sangat besar bagi dunia. Javaherdashti (2017) melaporkan biaya pemeliharaan tipikal dari masalah

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Fadlin Qisthi Nasution(✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan 20158, Indonesia

Email: fadlin.qisthi@gmail.com

yang berhubungan dengan korosi untuk negara tertentu bervariasi dari 1-5% dari produk nasional bruto. *NACE Internasional* melakukan studi global tentang biaya korosi dan strategi pencegahan pada tahun 2013, yang digunakan dalam sektor ekonomi Bank Dunia dan data Produk Domestik Bruto (PDB) global untuk mengetahui biaya korosi. Studi ini menunjukkan bahwa perkiraan biaya global korosi adalah sekitar 3,4% dari PDB (Koch, 2017).

Kerugian ekonomi dapat terjadi secara langsung dan tidak langsung. Kerugian langsung adalah biaya penggantian struktur dan mesin yang berkarat atau komponennya, seperti tabung kondensor, *muffler*, pipa, dan atap, termasuk tenaga kerja yang diperlukan. Contoh lain adalah pengecatan ulang struktur di mana pencegahan karat adalah tujuan utamanya dan biaya modal ditambah pemeliharaan jaringan pipa yang dilindungi katodik. Kerugian langsung yang cukup besar diilustrasikan oleh kebutuhan untuk mengganti beberapa juta tangki air panas domestik setiap tahun karena kegagalan oleh korosi atau, demikian pula, kebutuhan untuk mengganti suku cadang mobil yang berkarat. Kerugian langsung termasuk biaya tambahan untuk menggunakan logam dan paduan tahan korosi daripada baja karbon yang memiliki sifat mekanik yang memadai tetapi tidak cukup tahan korosi (Shreir, 2013). Sementara itu, kerugian tidak langsung akibat korosi dapat berupa terhentinya operasi, hilangnya produk, berkurangnya efisiensi, dan *overdesign*.

KOROSI PADA PABRIK KELAPA SAWIT

Produksi minyak kelapa sawit mengalami beberapa jenis korosi hampir pada semua stasiun, di antaranya di stasiun rebusan, pembangkit, area-area yang mengalami tekanan, dan juga pada pengolahan POME yang bersifat asam. Korosi yang terjadi melibatkan beberapa mekanisme yang berbeda-beda, yaitu elektrokimia, kimia, biologi, dan kimia-mekanik yang didiskusikan secara singkat penyebabnya dan area yang terpengaruh untuk menjelaskan efek korosi pada produksi minyak di industri kelapa sawit (Tabel 1).

KEGAGALAN AKIBAT KOROSI PADA PABRIK KELAPA SAWIT

Kegagalan pada pabrik kelapa sawit dapat

menyebabkan kerugian yang besar karena dapat menghentikan proses produksi. Selain itu, juga dibutuhkan tenaga kerja untuk memperbaiki kerusakan dan suku cadang pengganti yang membutuhkan biaya besar. Salah satu kegagalan yang sering terjadi pada pabrik kelapa sawit adalah patahnya poros dari *screw press*. Gagalnya *screw press* dapat terjadinya karena adanya titik awal konsentrasi tegangan yang tercipta akibat adanya korosi sumuran (*pitting corrosion*). Gambar 1 menunjukkan gagalnya poros dari *screw press*.

Secara mikroskopik, Gambar 2 menunjukkan adanya korosi sumuran pada poros yang menjadi *initial crack* pada *screw press*. Dengan adanya tegangan yang dialami oleh poros selama operasi mengakibatkan terjadinya *stress corrosion cracking* (SCC). SCC sangat berbahaya bagi keselamatan pekerja karena kegagalan terjadi secara tiba-tiba dan akibatnya katastropik. SCC juga dapat terjadi di lokasi lain di pabrik kelapa sawit dimana terdapat tegangan ataupun tekanan yang tinggi. Oleh karena itu, kegagalan akibat SCC dapat terjadi di boiler, *steriliser*, dan pipa *superheated steam*.

PENCEGAHAN KOROSI PADA PABRIK KELAPA SAWIT

Kegagalan pada pabrik kelapa sawit juga dapat terjadi akibat mekanisme lain seperti yang telah dijelaskan pada Tabel 1. Oleh karena itu, dibutuhkan pencegahan korosi untuk meminimalisir biaya dan kerugian akibat gagalannya komponen akibat korosi. Untuk mencegah terjadinya kegagalan pada pabrik kelapa sawit akibat terjadinya korosi, maka dibutuhkan penanganan dan pencegahan korosi.

Usaha pencegahan korosi dapat dilakukan dengan cara berikut:

1. Pemilihan material yang tepat
2. Modifikasi media korosif
3. Pelapisan
4. Pengecekan berkala

Pemilihan Material

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa terdapat berbagai jenis korosi yang dapat terjadi pada pabrik kelapa sawit. Oleh karena itu, salah satu cara mencegah terjadinya korosi adalah dengan menggunakan material

yang tepat pada penggunaan tertentu.

Pabrik kelapa sawit menghasilkan produk berupa CPO dan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) sebagai produk sampingan. Kedua substansi ini merupakan zat yang korosif. Oleh karena itu, dibutuhkan material

yang dapat bertahan pada lingkungan tersebut. PVC, *High Density Polyethylene* (HDPE), dan *Stainless steels* (baja tahan karat) merupakan bahan utama yang dapat digunakan untuk mencegah terjadinya korosi.

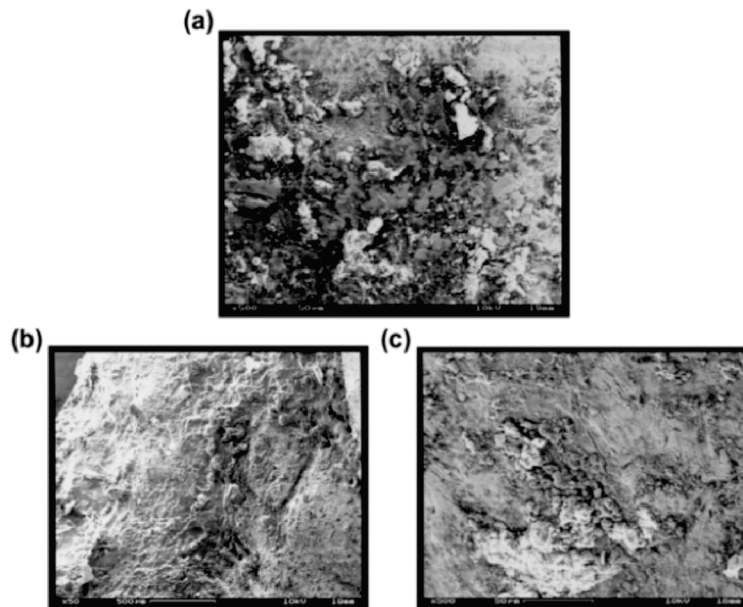
Tabel 1. Jenis-Jenis Korosi Pada Pabrik Kelapa Sawit

Mekanisme Korosi	Jenis Korosi	Penyebab	Material / Area yang terjangkit
Elektrokimia	Korosi Galvanik	Perbedaan pada potensial dari elektroda (dua logam yang berbeda)	Logam dengan potensial yang lebih negatif
	Korosi Celah	Logam dengan celah yang kecil yang mengakibatkan perbedaan konsentrasi oksigen pada celah dan lingkungan	Celah logam
	Korosi Sumuran	Ion Klorida	<i>Stainless Steels, Steriliser, Superheated Pipe</i>
Kimia-mekanik	Kavitasi	Ledakan gelembung gas pada permukaan logam	Pompa, <i>Pipeline</i>
	Erosi	Partikel abrasif	<i>Sludge separator/decanter, Screw Press, pipa</i>
	Erosi-Korosi	Hilangnya lapisan pasif pelindung akibat korosi	Pompa, Katup
	<i>Sulfide Stress Corrosion</i>	dispersi molekul H ₂ ke dalam logam.	<i>Valve trim</i>
	<i>Stress Corrosion Cracking</i>	Lingkungan korosif dan tegangan tarik	<i>Screw Press, Superheated Pipe, Steriliser, Back-Pressure Valve (BPV)</i>
Kimia	Korosi masam (<i>sour corrosion</i>)	H ₂ S pada air	<i>CSTR (continuous, stirred tank reactor), pipeline</i>
Biologi	Korosi Biologi	Asam Organik, CO ₂ dan H ₂ S dari produksi bakteri dan mikroba	Tangki penyimpanan, <i>Clarification tank, Pipa penyalur POME</i>

Sumber : (Mazumder, 2020)



Gambar 1. Poros mesin pengepres kelapa sawit: (a dan b) sampel retakan di daerah alur pasak; (c dan d) sampel retakan di daerah bahu-*fillet*; (e dan f) kondisi permukaan yang buruk dan benjolan di permukaan (Loganathan et al., 2010)

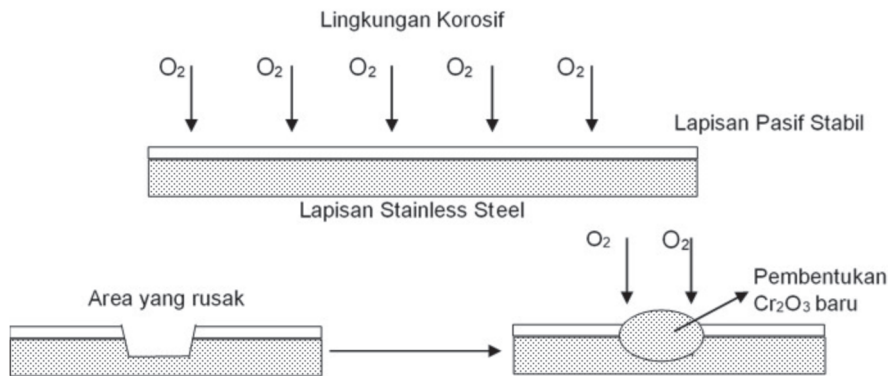


Gambar 2. Fraktografi pada permukaan fraktur (ditunjukkan dengan lingkaran pada Gambar 1): (a) Lokasi A; (b) Lokasi B; (c) Lokasi C (Loganathan et al., 2010)

Baja tahan karat secara tradisional didefinisikan sebagai kelompok baja yang mengandung setidaknya 10,5% Krom (Cr) dan maksimum 1,2% Karbon (C). Kehadiran Cr dalam paduan, ketika bereaksi dengan oksigen dan uap air, akan membentuk lapisan tipis Kromium Oksida (Cr_2O_3) yang protektif, melekat dan koheren di permukaan bahan. Film oksida ini, juga dikenal sebagai lapisan pasif, melindungi permukaan baja tahan karat untuk bereaksi lebih lanjut dengan oksigen, sehingga mencegah terjadinya korosi. Lapisan pelindung ini juga memberi baja tahan karat suatu properti luar biasa yang disebut *self-passivation*. Ketika permukaan rusak, Cr akan keluar dari larutan untuk bereaksi dengan O_2 yang ada di atmosfer untuk membentuk lapisan baru Cr_2O_3 , sehingga memperbaiki lapisan pelindung yang rusak. Gambar berikut

mengilustrasikan *self-passivation* film Cr_2O_3 pada permukaan baja tahan karat (Jessen, 2011; Tupholme, 2017).

Berdasarkan jenisnya, *stainless steel* dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu baja tahan karat feritik (*ferritic stainless steels*), baja tahan karat austenitik (*austenitic stainless steels*), baja tahan karat martensitik (*martensitic stainless steels*), dan baja tahan karat duplex (*duplex stainless steels*). Lazimnya, baja tahan karat yang digunakan pada pabrik kelapa sawit adalah baja tahan karat 304 yang berasal dari golongan austenitik. Baja ini digunakan pada area yang tidak menerima beban tinggi. Oleh karena itu, penggunaan baja 304 dapat digunakan pada *pipeline*, katup, tangki penyimpanan, *clarification tank*, dan CSTR.

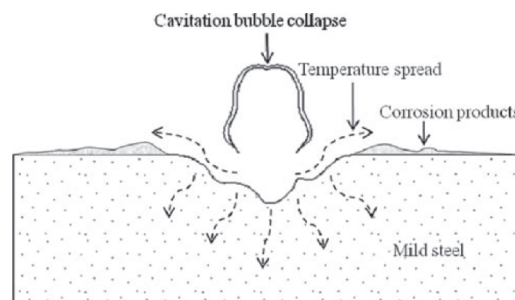


Gambar 3. Proses *Self-Passivation* dari Cr_2O_3 pada Permukaan Stainless Steels

Untuk area yang memiliki potensi korosi sumuran, baja 321 dan 316L dapat digunakan. Akan tetapi, hal ini tidak disarankan karena harganya yang sangat tinggi. Untuk mengatasi korosi sumuran tersebut, penggunaan HDPE dapat digunakan pada area yang tidak menerima beban tinggi.

Modifikasi Media Korosif

Pada korosi-erosi dan erosi yang terjadi pada perpipaan pabrik kelapa sawit, gelembung-gelembung udara dapat dihasilkan akibat aliran fluida yang tidak sempurna yang disebut dengan kavitasi. Oleh karena itu, aliran fluida harus diatur sedemikian rupa untuk menghindari terbentuknya kavitasi.



Gambar 4. Skema korosi akibat kavitasi (Wang et al., 2014)

Agar kavitasi tidak terjadi, *Net Pressure Suction Head Required* (NPSHR) merupakan satuan tekanan yang dibutuhkan pada suatu pompa hisap. *Net Pressure Suction Head Available* (NPSHA) merupakan fungsi dari sistem perpipaan yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$NPSH_A = \left(\frac{p_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} \right) - \frac{p_v}{\rho g} \quad (1)$$

p_i = tekanan absolut pada inlet

V_i = kecepatan rata-rata pada inlet

ρ = densitas fluida

g = percepatan gravitasi

p_v = tekanan uap fluida

Agar kavitasi tidak terbentuk, maka NPSHR harus lebih besar dari NPSHA. Nilai NPSHA berasal dari pompa yang telah ditentukan oleh manufaktur sehingga sistem harus didesain sedemikian rupa agar nilai NPSHR terpenuhi.

Pelapisan

Terdapat beberapa kondisi dimana penggunaan baja 304 atau HDPE tidak dapat dilakukan karena adanya tegangan mekanik yang tinggi dan temperatur kerja yang tinggi. Hal ini menjadikan material yang digunakan harus memiliki kekuatan mekanik yang tinggi dan juga tahan terhadap korosi. Material seperti itu akan memiliki harga yang tinggi sehingga tidak dimungkinkan menggunakan keseluruhan material dari material yang dibutuhkan.

Oleh karena itu, pelapisan dilakukan untuk menghindari kontak langsung antara material logam induk dengan lingkungan yang korosif. Material pelapis harus memiliki ketahanan korosi yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan logam induk. Dengan adanya pelapis, material induk akan terhindar dari korosi dengan tidak meningkatkan biaya terlalu tinggi.

Syarat-syarat utama yang harus dipenuhi material pelapis adalah sebagai berikut (Let, 2000):

1. Tahan terhadap temperatur di antara 50°C hingga 90°C untuk waktu yang lama
2. Resisten terhadap asam lemak bermassa

molekul rendah

3. Aman bagi bahan makanan
4. Memiliki permukaan yang halus untuk mempermudah proses pembersihan
5. Tidak menyerap minyak
6. Mudah untuk diaplikasikan

Pada tangki-tangki yang ada pada pabrik kelapa sawit, tangki penyimpanan, *clarification tank*, dan tangki CSTR, dapat digunakan pelapis epoxy atau phenol untuk melindungi dari korosi. Pada perpipaan, dapat digunakan material *liner* yang terbuat dari epoxy untuk melindungi pipa dari CPO dan POME yang bersifat korosif. Material pelapis (*liner*) juga dapat terbuat dari baja tahan karat dengan spesifikasi tinggi sebagai pelindung untuk *steriliser*. Hal ini memungkinkan untuk menggunakan material dengan *grade* yang tinggi.

Pengecekan Berkala

Pengecekan berkala, atau dapat disebut sebagai *preventive maintenance*, dilakukan pada komponen-komponen yang rentan terhadap serangan korosi agar dapat meminimalisir kemungkinan kegagalan yang terjadi akibat adanya korosi pada komponen-komponen yang menerima beban mekanik. Komponen seperti pipa *superheated steam*, *steriliser*, BPV dan poros *screw press* menerima beban mekanik yang cukup tinggi, sehingga memiliki tendensi terjadinya *stress corrosion cracking* yang berbahaya dan merugikan perusahaan. Terlebih lagi, beberapa komponen seperti BPV dan poros memiliki spesifikasi tertentu sehingga tidak dapat menggunakan baja tahan karat austenitik dan tidak dapat diberi pelapis. Hal ini menjadikan pengecekan berkala menjadi semakin krusial untuk keberlangsungan operasi.

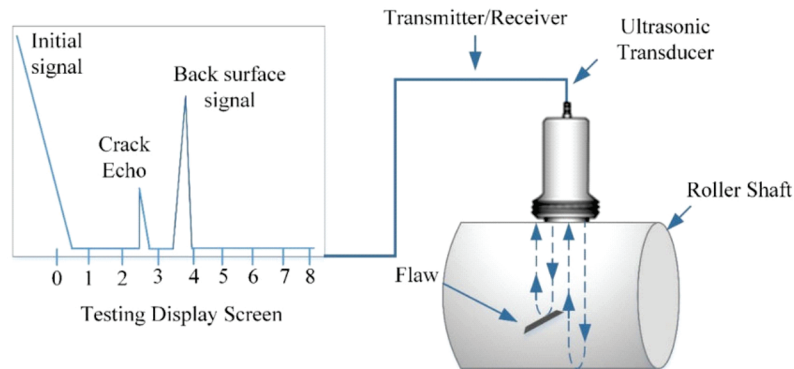
Pengecekan berkala dilakukan dengan menggunakan metode pengujian tidak merusak (*Non Destructive Test*) yang biasa disebut NDT. Terdapat beberapa jenis NDT yang dapat dilakukan untuk pencegahan kegagalan material, yaitu sebagai berikut:

- *Ultrasonic Testing*

Ultrasonic testing adalah metode yang mengkarakterisasi ketebalan atau struktur internal

benda uji melalui penggunaan gelombang suara frekuensi tinggi. Gelombang suara frekuensi tinggi sangat terarah, dan akan bergerak melalui media sampai bertemu dengan batas dengan media lain (seperti udara), di mana titik itu memantulkan

kembali ke sumbernya. Dengan menganalisis pantulan ini, dimungkinkan untuk mengukur ketebalan benda uji, atau menemukan bukti retakan atau kelemahan internal tersembunyi lainnya (Krautkrämer & Krautkrämer, 2013).

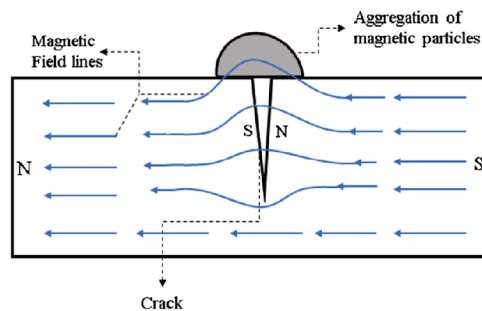


Gambar 5. Prinsip Kerja *Ultrasonic Testing* (Wang et al., 2014)

· *Magnetic Particle Inspection*

Magnetic particle inspection (MPI) adalah proses pengujian NDT untuk mendeteksi diskontinuitas di permukaan dan sub-permukaan untuk bahan feromagnetik seperti besi, nikel, kobalt dan beberapa paduannya. Adanya diskontinuitas permukaan atau sub-permukaan pada material memungkinkan

terjadinya kebocoran fluks magnet. Kebocoran dideteksi dengan penggunaan partikel besi yang tertarik akibat adanya kebocoran fluks (Sacarea et al., 2021). Partikel magnet basah diaplikasikan ke bagian yang diinspeksi. Bagian tersebut kemudian diperiksa di bawah sinar UV untuk menunjukkan adanya retakan di fluktuasi medan magnet (Lovejoy, 2012).

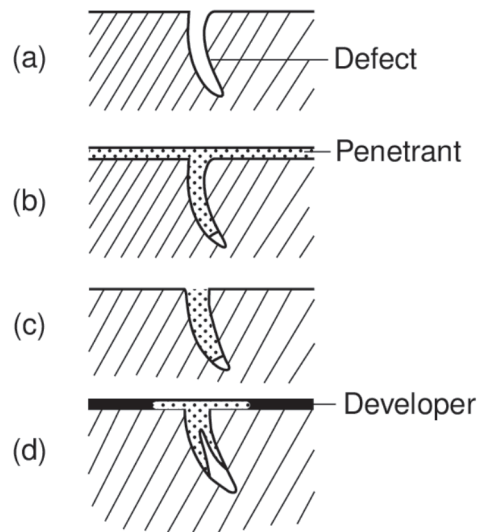


Gambar 6. Prinsip Kerja MPI (Zolfaghari et al., 2018)

· *Dye Penetrant Testing*

Dye penetrant testing (DPT) atau *Liquid penetrant inspection* (LPI) adalah metode pemeriksaan yang diterapkan secara luas dan berbiaya rendah yang digunakan untuk menemukan kerusakan permukaan pada semua bahan yang tidak berpori seperti logam, plastik, atau keramik (Guirong et al., 2015; Lalitha &

Showry, 2015). Metode pengujian dilakukan dengan menggunakan cairan tegangan permukaan rendah sebagai jenis penetran untuk mengidentifikasi retakan pada permukaan suatu benda. Waktu penetrasi dapat berlangsung dari 5 hingga 30 menit dan dapat diidentifikasi di bawah sinar UV (Endramawan & Sifa, 2018).



Gambar 8. Prinsip Kerja dye penetrant (Chung, 2001)

KESIMPULAN

Korosi yang terjadi pada beberapa komponen pabrik kelapa sawit harus dicegah karena dapat menyebabkan kerugian secara ekonomi. Penerapan manajemen *preventive maintenance* yang baik, pemilihan material yang tepat, pengaplikasian pelapis dan pengaturan sistem kontrol yang baik dapat meningkatkan umur pakai dari komponen-komponen yang ada pada pabrik kelapa sawit. Oleh karena itu, *best practice management* harus diterapkan agar dapat menghindari terjadinya korosi. Hal ini patut dilakukan karena dapat mencegah terjadinya kerusakan fatal yang berpotensi untuk menghentikan operasi, menyebabkan kecelakaan, dan merugikan perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chung, D. D. L. (2001). Applied Materials Science. In *Applied Materials Science*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420040975>
- Endramawan, T., & Sifa, A. (2018). Non Destructive Test Dye Penetrant and Ultrasonic on Welding SMAW Butt Joint with Acceptance Criteria ASME Standard. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 306(1), 12122.
- Guirong, X., Xuesong, G., Yuliang, Q., & Yan, G. (2015). Analysis and innovation for penetrant testing for airplane parts. *Procedia Engineering*, 99, 1438–1442.
- Javaherdashti, R. (2017). Nontechnical Mitigation of Corrosion: Corrosion Knowledge Management. In *Microbiologically Influenced Corrosion* (pp. 17–28). Springer.
- Jessen, C. Q. (2011). *STAINLESS STEEL AND CORROSION* by Claus Qvist Jessen. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1097/MAO.0b013e3181b04e18>
- Koch, G. (2017). Cost of corrosion. *Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies*, 3–30.
- Krautkrämer, J., & Krautkrämer, H. (2013). *Ultrasonic testing of materials*. Springer Science & Business Media.
- Lalitha, G., & Showry, K. B. (2015). *Experimental Study on Non Destructive Testing Techniques (NDTT)*. 3(1), 211–216.
- Let, C. C. (2000). Some considerations of tank coatings for quality preservation of palm oil. *Palm Oil Engineering Bulletin*, 1(55), 7–15.
- Loganathan, T. M., Purbolaksono, J., Inayat-Hussain, J. I., Muthaiyah, G., & Wahab, N. (2010). Pitting corrosion of triggering initial fractures of palm oil screw press machine shafts. *Engineering*

- Failure Analysis*, 17(5), 1086–1093.
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2010.01.002>
- Loto, C. A. (2017). Microbiological corrosion: mechanism, control and impact—a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92(9), 4241–4252.
- Lovejoy, M. J. (2012). Magnetic particle inspection: a practical guide. Springer Science & Business Media.
- Mazumder, M. A. J. (2020). Global Impact of Corrosion: Occurrence, Cost and Mitigation. *Global Journal of Engineering Sciences*, 5(4), 0–4.
<https://doi.org/10.33552/GJES.2020.05.000618>
- Pedefferri, P., & Ormellese, M. (2018). *Corrosion science and engineering*. Springer.
- Raja, P. B., Ismail, M., Ghoreishiamiri, S., Mirza, J., Ismail, M. C., Kakooei, S., & Rahim, A. A. (2016). Reviews on Corrosion Inhibitors: A Short View. In *Chemical Engineering Communications* (Vol. 203, Issue 9, pp. 1145–1156). Taylor and Francis Ltd.
<https://doi.org/10.1080/00986445.2016.1172485>
- Revie, R. W. (2011). *Uhlig's corrosion handbook* (Vol. 51). John Wiley & Sons.
- Sacarea, A. I., Oancea, G., & Parv, L. (2021). Magnetic Particle Inspection Optimization Solution within the Frame of NDT 4.0. *Processes*, 9(6), 1067.
- Shreir, L. L. (2013). *Corrosion: corrosion control*. Newnes.
- Tiu, B. D. B., & Advincula, R. C. (2015). Polymeric corrosion inhibitors for the oil and gas industry: Design principles and mechanism. In *Reactive and Functional Polymers* (Vol. 95, pp. 25–45). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2015.08.006>
- Tupholme, S. (2017). Chapter Four. Stainless steels. In *Information Sources in Metallic Materials* (pp. 86–102). KG Saur.
- Wang, Q. Y., Bai, S. L., & Liu, Z. De. (2014). Study on Cavitation Erosion-Corrosion Behavior of Mild Steel under Synergistic Vibration Generated by Ultrasonic Excitation. *Tribology Transactions*, 57(4), 603–612.
<https://doi.org/10.1080/10402004.2014.890264>
- Zolfaghari, A., Zolfaghari, A., & Kolahan, F. (2018). Reliability and sensitivity of magnetic particle nondestructive testing in detecting the surface cracks of welded components. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 33(3), 290–300.
<https://doi.org/10.1080/10589759.2018.1428322>

