

ANALISA KERUSAKAN PIPA *DUCTING SCRUBBING* BERBAHAN CARBON STEEL SS400 DI PABRIK PUPUK NPK-1 PT PUSRI PALEMBANG

CARBON STEEL SS400 FAILURE ANALYSIS OF *DUCTING SCRUBBING* PIPE AT PT PUSRI PALEMBANG FOR NPK-1 PLANT

Pereznasrah^{1,2)*}, Ozkar F. Homzah³⁾

¹⁾PT Pusri Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia.

²⁾Mahasiswa Pendidikan Profesi Insinyur, Universitas Sriwijaya

³⁾Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya

*email corresponding: perez11nasrah@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Diperbaiki:
Revised
29/04/2023

Diterima:
Accepted
21/05/2023

Publikasi Online:
Online-Published
25/05/2023

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis kerusakan pada line ducting scrubbing sistem unit di pabrik NPK-1 PT Pusri Palembang dan bertujuan untuk menentukan penyebab utama kegagalan dan mengidentifikasi solusi perbaikan yang tepat. Penyebab utama kegagalan ini disimpulkan sebagai penurunan kekuatan ducting line akibat korosi pada sisi dalam pipa ducting yang terbuat dari carbon steel SS400. Dalam penelitian ini, dilakukan kajian terhadap design awal material ducting, pemeriksaan ketebalan pipa ducting yang rusak, serta pemeriksaan visual. Hasilnya menunjukkan pengurangan ketebalan dinding pipa rata-rata hingga 70% akibat korosi. Kekuatan ducting dipengaruhi beban tetap yang ditumpangkan pada pipa ducting dan daya dukung oleh perpipaan, namun korosi pada permukaan sisi dalam pipa yang bersentuhan langsung dengan debu proses korosif dan higroskopis menyebabkan penurunan kekuatan dinding ducting terhadap beban aksial dan lateral. Kegagalan pada pipa ducting ini berdampak pada kerugian dan unschedule shutdown proses produksi, meningkatkan biaya perbaikan, dan meningkatkan risiko kecelakaan kerja. Tindakan perbaikan yang direkomendasikan adalah penggunaan bahan pipa ducting yang tahan terhadap korosi, seperti stainless steel grade SS304. Selain itu, disarankan juga melakukan pemantauan kondisi pipa secara berkala, pembersihan debu proses secara teratur pada sisi dalam pipa ducting, dan pengendalian laju aliran debu pada sistem scrubbing. Langkah-langkah ini diharapkan dapat mengurangi risiko korosi untuk menjaga kekuatan ducting, sehingga meminimalisir kegagalan sistem dan menjaga kehandalan operasional pabrik pupuk NPK.

Kata Kunci : Analisis kegagalan, Pupuk NPK, Sistem scrubbing, Baja Karbon, Analisa Root Cause

ABSTRACT

The purpose of this research was to discover the various reasons of failures and appropriate repair options for the line ducting cleaning unit system at PT Pusri Palembang's NPK-1 production facility. The main cause of the failures was determined to be a deterioration of the ducting line material caused by corrosion on the inner side of the ducting pipe composed of SS400 carbon steel. We made investigation including an analysis of the thickness of the damaged ducting pipe, as well as a visual check. The investigation showed that the corrosion caused an average drop in pipe wall thickness of up to 70%, according to the findings. The fixed load superimposed on the ducting pipe and the carrying capacity of the piping affect ducting strength, but corrosion on the inner surface of the pipe, caused by direct contact with corrosive and hygroscopic process dust, reduces ducting wall strength against axial and lateral loads. Failure of this ducting pipe caused losses and unscheduled shutdowns of production process, and increased the repair costs also could increase the risk of human accidents. The suggestion as this investigation results is to upgrade the ducting pipe materials to the more corrosion-resistant materials, such as stainless-steel grade SS304.

©2023 The Authors. Published by
AUSTENIT (Indexed in SINTA)

doi:

<http://doi.org/10.5281/zenodo.7955419>

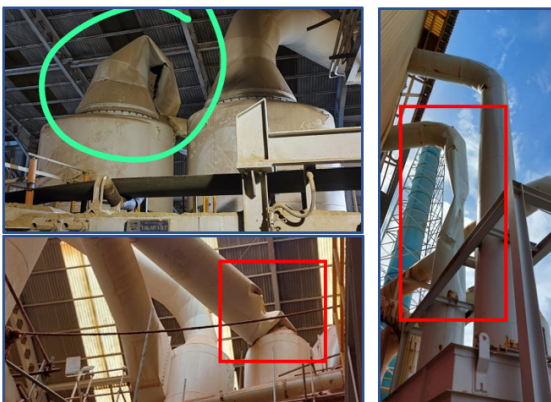
Other suggestion should be taken is also regularly to inspect the ducting cleanness for the internal of ducting and control the dust flow rate through the scrubbing system. As conclusion, the suggestions given are to mitigate the risk of corrosion impact by maintaining ducting strength within the minimizing ducting system failures and ensuring the NPK plant's operation reliability.

Keywords: Failure analysis, NPK Fertilizer, Scrubbing system, Carbon Steel, Root Cause Analysis

1 PENDAHULUAN

Di kompleks industri PT Pusri Palembang terdapat beberapa jenis pabrik pupuk salah satunya pabrik yang memproduksi pupuk jenis NPK *Fusion*. Pabrik NPK-1 PT Pusri atau NPK *Fusion-1* resmi beroperasi sejak tahun 2016. Pabrik ini memiliki kapasitas desain sebesar 100.000 ton per tahun. Pabrik NPK *Fusion* dibangun sebagai diversifikasi usaha produk pupuk majemuk. Pupuk NPK sendiri merupakan pupuk majemuk yang mengandung unsur hara Nitrogen (N), Phosphate (P) dan Kalium (K) yang dibutuhkan tanaman dan berfungsi untuk meningkatkan hasil pertanian maupun perkebunan. Penggunaan pupuk NPK ini sejalan dengan program Pemerintah dalam pemupukan berimbang yang menggunakan pupuk majemuk spesifik komoditi dan spesifik lokasi sehingga lebih efisien, tepat guna dan ramah. (Pusri, 2023).

Dalam proses produksi pupuk NPK pabrik NPK-1 memiliki *scrubbing* sistem unit yang memiliki fungsi penting untuk meminimalisir *losses* produk dan untuk memproses gas buang sehingga dapat memenuhi standar emisi. Pada bulan Februari 2023, terjadi kegagalan pada *line ducting* 1N-D212 (*Cooler Cyclone*) to 1N-D214 (*Cooler Pool Scrubber*). Kegagalan yang terjadi berupa seperti *shell buckling*. Terlihat seperti Gambar 1.



Gambar 1. Kerusakan *ducting scrubber* NPK-1

Akibat dari kegagalan pada pipa *ducting* ini udara proses tidak dapat mengalir sehingga proses *dedusting* pada *cooler* terhenti. Kegagalan terjadi pada 2 area, yaitu di atas *cooler cyclone* dan di atas *cooler pool scrubber*. Kegagalan ini mengakibatkan

pabrik NPK-1 mengalami *shutdown* selama kurang lebih 12 hari dan mengakibatkan kerugian yang tidak sedikit bagi perusahaan.

Korosi merupakan bahaya nasional yang nyata dengan tingkat kerugiannya lebih besar dari segala bencana alam yang pernah dialami. Permasalahan korosi di Indonesia perlu mendapat perhatian yang sangat serius mengingat dua pertiga wilayah nusantara terdiri dari lautan dan terletak pada daerah tropis dengan curahan hujan yang tinggi. (Affandi et al., 2020).

Manajemen Korosi memainkan peran penting pada *life cycle* suatu aset. Program pengendalian dan pemantauan korosi yang tidak efektif dapat mempengaruhi tingginya biaya perbaikan karena korosi (Prihatiningsih, 2022).

2. BAHAN DAN METODA

Bahan dan acuan yang dipakai dalam menganalisa kerusakan pipa *ducting scrubbing* sistem unit terdiri atas desain awal peralatan, standar-standar Internasional yang berkaitan dengan Analisa Kerusakan serta peralatan kerja yang mendukung proses pengambilan data dan pemeriksaan kondisi *line ducting* yang rusak.

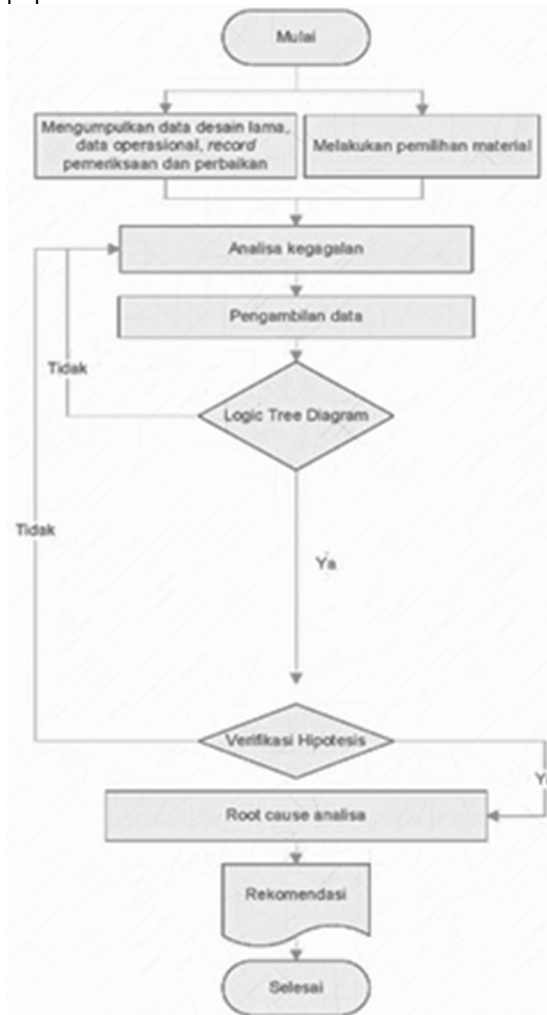
2.1 Metode Penelitian

Diagram kerja Analisa Kerusakan pipa *ducting scrubbing* dapat diilustrasikan pada gambar 2.

2.1.1 Standar ASME Sec V

ASME Sec V, merupakan bagian dari Kode yang dikeluarkan oleh *American Society of Mechanical Engineers*, yang terkait dengan pemeriksaan tanpa merusak atau *Non-Destructive Examination (NDE)* yang berisi metode untuk mendeteksi ketidaksempurnaan permukaan dan internal pada material, las, bagian fabrikasi, dan komponen. Metode ini termasuk pemeriksaan radiografi, pemeriksaan ultrasonik, pemeriksaan cairan penetran, pemeriksaan partikel magnetic, pemeriksaan arus eddy, pemeriksaan visual, pemeriksaan kebocoran, dan pemeriksaan akustik emisi. (American Society of Mechanical Engineers, 2019). Standar ini sangat penting dalam industri manufaktur dan konstruksi, terutama di bidang

pembuatan dan perawatan peralatan yang membutuhkan keamanan tinggi termasuk di industri pupuk.



Gambar 2. Diagram alir Analisa Kerusakan

Dalam pemeriksaan ini dipakai metode pemeriksaan visual langsung, yang dilakukan saat akses cukup untuk menempatkan mata dalam jarak 24 inci (600 mm) ke permukaan yang akan diperiksa dan pada sudut tidak kurang dari 30 derajat ke permukaan yang akan diperiksa. Cermin dan alat bantu seperti lensa pembesar digunakan untuk membantu pemeriksaan dan penerangan (cahaya putih alami atau tambahan) untuk bagian tertentu diperlukan dengan intensitas cahaya minimum pada permukaan/tempat pemeriksaan harus 100 footcandle (1000 lux) (American Society of Mechanical Engineers, 2019).

2.1.2 Standar NACE

NACE adalah standar dari *National Association of Corrosion Engineers* untuk industry pengendalian korosi dan perlindungan dampak buruk korosi. NACE *International* adalah organisasi profesional nirlaba untuk industri pengendalian

korosi dengan misi untuk melindungi orang, aset dan lingkungan dari dampak buruk korosi. Fokus utama kegiatan anggota NACE meliputi :

- Perlindungan katodik
- Pelapisan untuk industry
- Inspeksi
- Pengujian korosi
- Pemilihan material untuk ketahanan kimia tertentu.

(Standar NACE dan AMPP, 2023)

Korosi, yang secara umum didefinisikan sebagai kerusakan material (biasanya logam) atau sifat-sifatnya karena reaksi dengan lingkungannya. (Saviour et al., 2022). Terdapat beberapa standar NACE yang terkait dengan korosi internal pada pipa yang menjadi acuan dalam melakukan kajian permasalahan korosi akibat gas debu pupuk NPK. Salah satunya adalah : NACE SP0110-2010 "*Internal Corrosion Direct Assessment Methodology for Pipelines Carrying Normally Dry Natural Gas*" yang isinya mencakup metodologi *Wet gas internal corrosion direct assessment* (WG-ICDA) atau Penilaian langsung korosi internal akibat gas basah.

Metodologi WG-ICDA adalah proses terstruktur yang menggabungkan preassessment, inspeksi tidak langsung, detail pemeriksaan, dan pascapenilaian untuk mengevaluasi pengaruh menyeluruh pada pipa yang dapat diperkirakan seperti korosi internal. Secara khusus, tujuan WG-ICDA adalah untuk mengidentifikasi lokasi dengan kemungkinan terbesar korosi internal, dan faktor-faktor yang mempengaruhinya seperti kadar air, rezim aliran, penahanan cairan, kecepatan aliran, perubahan suhu, dan perubahan tekanan. (National Association of Corrosion Engineers, 2010).

2.2 Spesifikasi peralatan

Berdasarkan design awal pabrik diketahui bahwa material pipa *ducting* yang digunakan pada line pipa *ducting scrubbing* sistem di pabrik NPK-1 adalah jenis carbon steel grade SS400 yang dalam bentuk lembaran yang melalui proses rol untuk dibentuk menjadi bulat seperti pipa. Plate rol merupakan istilah ini mengacu pada unit pelat yang digulung dari lempengan atau langsung dari ingot. Menurut (American Standard Testing and Material, 2007) dengan spesifikasi design material dan ketebalan sesuai Tabel 1

Tabel 1. Spesifikasi material *ducting*

Spesifikasi Ducting for Line 1N-D212 (Cooler Cyclone) to 1N-D214 (Cooler Pool Scrubber)		
Nama Bagian	Material	Catatan
Line Ducting	SS400	6 mm Thickness
Elbow	SS400	6 mm Thickness

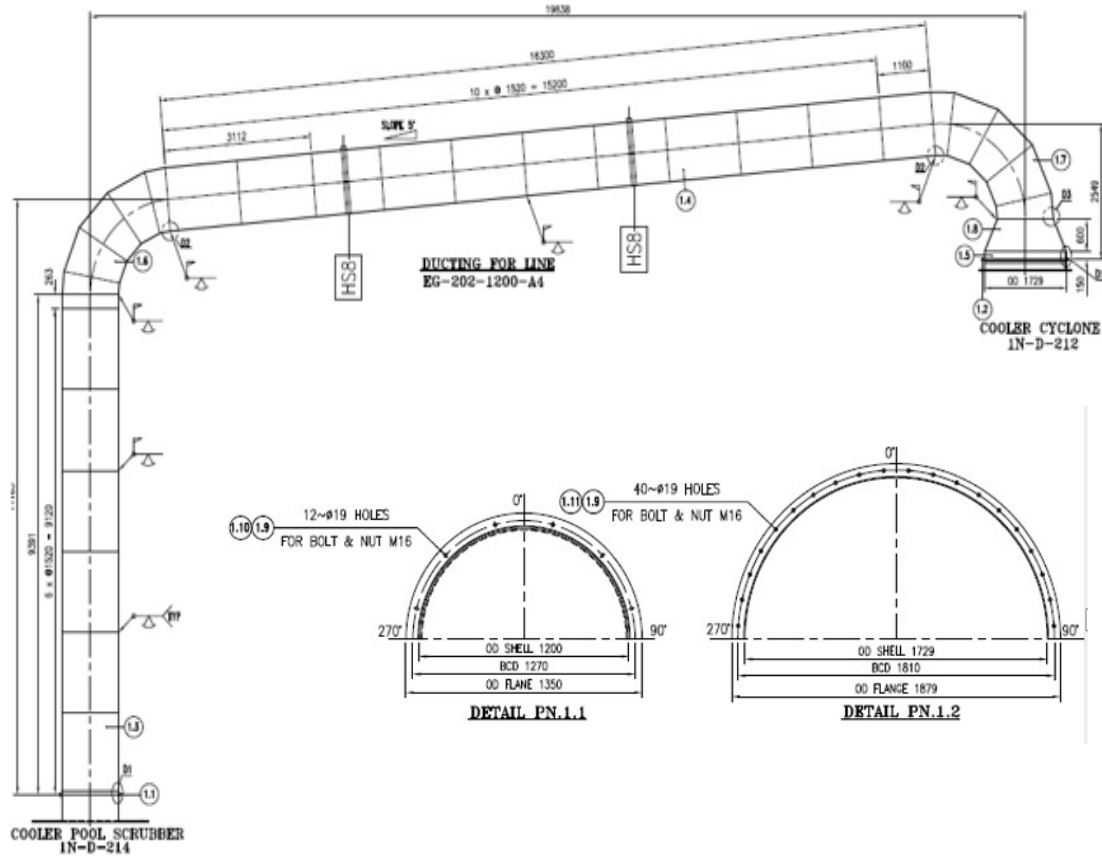
Komposisi material sesuai standar ASTM A 36 ditampilkan pada sesuai Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Baja SS400

Product	Shape	Plate
Thickness, in (mm)	All	To ¾ inch (20)
Carbon, max %	0.26	0.25
Manganese, %
Phosphorus, max %	0.04	0.04

Sulfur, max %	0.05	0.05
Silicon, max %	0.40	0.40
Copper, min% when copper steel is specified	0.20	0.20

(American Standard Testing and Material, 2007)



Gambar 3. Line Ducting Scrubbing Unit

2.3 Kondisi Operasional Sistem Scrubbing

Berdasarkan jenis produk dan bahan baku penyusun pupuk NPK yang dihasilkan oleh pabrik NPK-1 adalah jenis pupuk dengan formula NPK (16-16-16) dengan *material balance* operasional pada sistem *scrubbing* sesuai Tabel 3.

Tabel 3. Material balance outlet cooler cyclone NPK (16-16-16)

Material balance outlet cooler cyclone NPK (16-16-16)	
Air	99,76 %wt
NPK Product	0,23 %wt
Water	0,001 %
Temperature (°C)	48
Pressure (kg/cm ² g)	ATM

2.4 Gambar Line Ducting

Dari gambar design pabrik NPK-1 diperoleh gambar *line ducting* yang mengalami kegagalan sesuai yang ditampilkan pada Gambar 3.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk melakukan Analisa Kerusakan dilakukan pengumpulan data berdasarkan hasil pemeriksaan lapangan.

3.1 Hasil Pemeriksaan Lapangan

Pemeriksaan lapangan yang dilakukan meliputi pemeriksaan visual kondisi *line ducting* yang rusak dan pemeriksaan ketebalan dinding pipa *ducting* yang tersisa.

3.1.1 Pemeriksaan Visual

Mengacu kepada standar *American Society for Nondestructive Testing*. Pemeriksaan visual adalah salah satu teknik pengujian tanpa merusak yang umum digunakan dalam industri untuk memeriksa keadaan permukaan atau bagian dalam suatu benda tanpa merusak atau merusak benda itu sendiri.

Berdasarkan standar ASNT SNTC-TC-1A, Pemeriksaan visual melibatkan pengamatan langsung oleh seseorang yang berkualifikasi dan mampu menunjukkan keterampilan, menunjukkan pengetahuan, pelatihan terdokumentasi dan pengalaman terdokumentasi (*American Society for Nondestructive Testing*, 2020).

Syarat kualifikasi diperlukan bagi personel untuk melakukan tugas tertentu dengan benar untuk mencari tanda-tanda kecacatan pada permukaan atau dalam bahan. Pemeriksaan visual dapat dilakukan menggunakan mata telanjang atau dengan bantuan alat seperti kaca pembesar atau mikroskop.

Pemeriksaan visual biasanya dilakukan sebagai tahap pertama dalam pengujian tanpa merusak untuk menentukan apakah ada kecacatan atau kerusakan yang mungkin perlu diperbaiki. (*American Society of Mechanical Engineers*, 2019). Adapun hasil pemeriksaan visual terlihat pada Gambar 4 berikut :



Gambar 4. Kegagalan bagian atas *Cooler Cyclone* dan bagian atas *Cooler Pool Scrubber*



Gambar 5. Penumpukan material pada sisi dalam pipa *ducting*

Dari gambar 4. terlihat jelas kondisi pipa *ducting* yang terdeformasi tidak merata dan berbentuk *buckling* dan pada gambar 5. terlihat kondisi adanya tumpukan material debu yang sudah mengeras dan membentuk lapisan yang melapisi semua permukaan *internal pipa ducting*.

3.1.2 Pemeriksaan Ketebalan

Pemeriksaan ketebalan dinding *ducting* yang rusak dilakukan menggunakan metode NDT atau *Non-Destructive Testing*, dimana proses pemeriksaan ketebalan material dilakukan tanpa merusak atau mengubah sifat material itu sendiri. Metode ini digunakan untuk memastikan bahwa ketebalan material dalam batas yang aman dan sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Metode NDT untuk pemeriksaan ketebalan plate melibatkan penggunaan alat sederhana berupa sigmat ataupun peralatan khusus atau dapat juga memakai peralatan yang memanfaatkan gelombang seperti ultrasonik, radiografi, atau *magnetic particle inspection*. Semua peralatan kerja yang dipakai harus terverifikasi dari fungsi dan terkalibrasi.



Gambar 6. Pengukuran ketebalan dinding *ducting*

Berdasarkan hasil pengukuran korosi pada bagian *elbow* mengalami korosi dan keropos secara merata pada sekeliling permukaan. ketebalan *elbow* sudah berkurang sekitar 75% dari tebal desain adalah 6 mm (Pusri, 2016). Kondisi saat mengalami kerusakan dengan ketebalan elbow berkisar antara 0,8 mm - 1,1 mm. Pada beberapa

bagian *elbow* bahkan sudah banyak berlubang sedang untuk hasil pengukuran korosi pada bagian *line ducting* korosi terjadi tidak secara merata namun penipisan lebih banyak terjadi pada bagian bawah *line ducting* sesuai tabel 4 dan tabel 5, mengilustrasikan hasil pemeriksaan kondisi pipa *ducting scrubbing* yang mengalami kerusakan. Kondisi kerusakan berdasarkan Rencana Kerja dan Syarat Proyek NPK -1 (Pusri, 2016).

Tabel 4. Hasil pemeriksaan ketebalan *ducting*

No	Lokasi	Ketebalan	Kondisi
1	Area 0°	1.3 mm	Korosi
2	Area 90°	1 mm	Korosi
3	Area 180°	0,9 mm	Berlubang
4	Area 270°	1.2	Korosi

Catatan = 0° arah atas, 90°= arah utara

Tabel 5. Hasil pemeriksaan ketebalan *elbow*

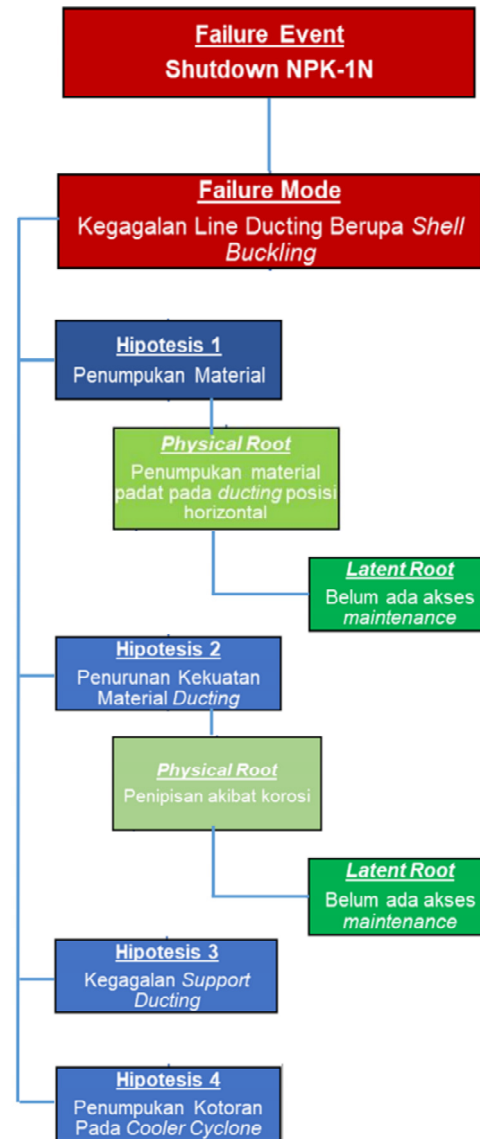
No	Lokasi	Ketebalan	Kondisi
1	Area Elbow 0°	1.2 mm	Korosi
2	Area Elbow 90°	1 mm	Korosi
3	Area Elbow 180°	0,8 mm	Berlubang
4	Area Elbow 270°	1.1	Korosi

Catatan = 0° arah utara (pengukuran horizontal)

Salah satu atau beberapa dari unsur-unsur paduan seperti mangan, molly, nikel dibu buhkan untuk memberikan sifat-sifat khusus dari baja tersebut. Hasil Penelitian (Romli, 2013) hasil pengujian komposisi, menurut standar JIS didapat 9,04 % Nikel, 70,23 % Ferrous, 1,97 % Mangan, 18,74% Crom, stainless steel yang diuji termasuk ke dalam tipe SUS 304.

3.2 Pemeriksaan Kerusakan

Dari hasil pemeriksaan, dilakukan analisis untuk mencari akar penyebab permasalahan menggunakan *logic tree diagram*. Adapun *logic tree diagram* kegagalan *line ducting cooler cyclone - cooler pool scrubber* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Logic Tree Diagram Kegagalan Line Ducting Cooler Cyclone - Cooler Pool Scrubber

Selanjutnya dilakukan verifikasi hipotesis untuk menguji kebenaran perkiraan penyebab kegagalan pipa *ducting* berdasarkan data dan hasil pemeriksaan yang telah dilakukan sesuai tabel 6.

Tabel 6. Verifikasi hipotesis

No	Hipotesis	Verifikasi	Hasil	CR
1	Material Load	Visual Check	√ Ditemukan penumpukan material padatan pada hampir seluruh line ducting posisi horizontal. dengan	5

			kuantitas yang cukup banyak, sehingga menjadi beban tambahan pada <i>line ducting</i> dan kegagalan <i>ducting (shell buckling)</i> .	
2	Penurunan Kekuatan Material <i>ducting</i>	<i>Visual Check Thickness</i>	<ul style="list-style-type: none"> √ Terjadi penipisan dinding <i>line ducting</i> sebagai akibat dari proses korosi material dengan lingkungan korosif. √ Kombinasi penumpukan material padatan dan penurunan kekuatan <i>line ducting</i> akibat korosi menyebabkan terjadinya kegagalan <i>support ducting</i> dan kegagalan <i>ducting (shell buckling)</i>. 	5
3	Kegagalan <i>Support Ducting</i>	<i>Visual Check</i>	√Kerusakan <i>support ducting</i> adalah akibat adanya penumpukan material dan korosi di atas <i>Support</i> pada <i>ducting</i> didisain untuk menahan gaya normal dari <i>ducting</i> .	1
4	<i>Fly Ash</i> Load produk pada <i>Cooler Cyclone</i>	<i>Visual Check</i>	√ <i>Cooler cyclone</i> dipastikan telah dibersihkan sehari sebelum kejadian.	1

*) **CR = Confidence Rating (0–5):**

(0): Tanpa keraguan, hipotesis tidak benar (salah)
 Kurang dari (3) (<3) : Kemungkinan kecil terjadi dan diperkirakan tidak akan terjadi pada saat ini;
 3 atau lebih : Hipotesis terjadi dan meneruskan Logic Tree; (5): 100 % Hipotesis pasti benar.

Setelah dilakukan verifikasi hipotesis, dilakukan analisis untuk mencari akar permasalahan terhadap hipotesis yang benar. Adapun Penentuan Akar permasalahan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Akar permasalahan kerusakan

Physical Root	1. Terjadinya penumpukan material padat pada <i>ducting</i> sisi horizontal. 2. Adanya penipisan dinding <i>ducting</i> akibat korosi.
Latent Root	Tidak adanya akses <i>maintenance</i> untuk keperluan pemeriksaan dan pembersihan pada <i>line ducting</i>

3.3 Hasil Investigasi

Untuk mencegah terjadinya kegagalan serupa dikemudian hari berikut disampaikan beberapa *action plan*:

- a. Segera lakukan modifikasi pada *line ducting* di pabrik NPK-1 yaitu dengan membuat akses *maintenance* untuk keperluan pemeriksaan dan pembersihan rutin (*manhole dan platform walkway*). Lebih lanjut, lakukan pengecatan pada bagian *ducting* yang sudah mengalami penipisan sebagai upaya jangka pendek selama masa tunggu *upgrading*.
- b. Lakukan *daily patrol* secara teratur pada seluruh peralatan pabrik NPK. Catat dan laporkan bila ada anomali pada operasional maupun peralatan untuk segera dilakukan tindakan korektif.
- c. Lakukan pemeriksaan dan pembersihan terencana pada *line ducting* minimal satu kali dalam setahun terutama pada bagian *line* yang berpotensi terjadi korosi dan penumpukan debu produk.
- d. Pada saat ada kesempatan agar melakukan penggantian dan *upgrade* material *fan casing* 1N-C201, 1N-C202 dan *line ducting* dari carbon steel (SS400) menjadi stainless steel 304SS. *Line ducting* yang baru tetap harus memiliki akses *maintenance*.

4. KESIMPULAN

Dari data dan analisis, dapat disimpulkan bahwa kombinasi dari beberapa faktor menjadi penyebab terjadinya kegagalan pada *line ducting* 1N-D212 (*Cooler Cyclone*) to 1N-D214 (*Cooler Pool Scrubber*) pabrik NPK-1 pada Februari 2023. Faktor tersebut berupa terjadinya kombinasi penurunan kekuatan *line ducting* akibat korosi dan

penumpukan material padatan yang mengakibatkan terjadinya kegagalan *ducting* (*shell buckling*) dan kegagalan *support ducting* dan tidak adanya akses untuk kebutuhan maintenance menyebabkan tidak bisa dilakukannya aktivitas pemeliharaan untuk keperluan pemeriksaan maupun pembersihan rutin.

DAFTAR PUSTAKA

- Saviour. A. Umoren., M. M. Solomon., & V. S. Saji, (2022). Polymeric Materials in Corrosion Inhibition Fundamentals and Applications. American Society for Nondestructive Testing. (2020). SNT-TC-1A Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing. ASNT American Society for Metals International, (1997), Handbook of Corrosion Data.
- Prihatiningsih, Yanni. (2022). Lean Approach to Improve Corrosion Management Performance Case Study in Floating Production Unit (FPU) (<https://repository.its.ac.id/95706/>)
- Affandi., Iqbal Tanjung., & S. Fonna. (2020). Investigasi Laju Korosi Atmosferik Baja Karbon Rendah Profil Segiempat Di Kawasan Industri Medan. (<https://jurnal.wastukencana.ac.id/index.php/teknologika/article/view/31/>)
- S. H. Affandi., Arya Rudi., & S. Fonna. (2019). Analisa Korosi Atmosferik Pada Baja Karbon Rendah Profil Strip dan Tulangan Di Kawasan Industri. (<http://prosiding.bkstm.org/prosiding/2019/RM17.pdf>)
- M. Fajar Sidiq., Soebyakto., & M. Agus Shidiq, (2014). Pengaruh Inhibitor Terhadap Laju Korosi Internal Pipa. Jurusan Teknik mesin, Fakultas Teknik Universitas Pancasakti, Tegal. (<http://e-journal.upstegal.ac.id/index.php/eng/article/view/371>)
- Romli, R. (2013). Analisa Sifat Mekanis Pengaruh Proses Pengelasan Baja Tahan Karat. *AUSTENIT*, 5(1). doi :<https://doi.org/10.5281/zenodo.4546254>
- Pusri. (2023) Tentang Kami NPK Fusion., (<https://www.pusri.co.id/id/about/profile>), diakses 19 April 2023.
- Standar NACE dan AMPP. (2023) Tentang standar nace dan ampp untuk pengendalian korosi. (<https://standarku.com/standar-nace-dan-ampp-untuk-pengendalian-korosi/>), diakses 19 April 2023.
- Pusri (2016), Rencana Kerja dan Syarat Proyek NPK -1 (Unpublished manuscript).
- American Society of Mechanical Engineers. (2010). ASME B31.3 Process Piping. American National Standards Institute.
- American Society of Mechanical Engineers. (2019). Boiler and Pressure Vessel Code, Section V: Nondestructive Examination. American National Standards Institute.
- American Standard Testing and Material. (2007). A 36/A 36M Standard Specification for Carbon Structure Steel. American National Standards Institute.
- American Standard Testing and Material. (2007). ASTM A 6/A 6M Standard Specification for Rolled Structure Carbon Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling. American National Standards Institute.
- National Association of Corrosion Engineers. (2010). SP0110. Internal Corrosion Direct Assessment Methodology for Piping lines Carrying Normally Dry Natural Gas. NACE International.
- National Association of Corrosion Engineers. (2016, March 1). International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study. NACE International.
- M. G. Fontana and N. D. Greene, Corrosion Engineering. McGraw-hill, 1983.