

## Analisis Baku Mutu Commissioning Well Head Platform Berpedoman Pada Standar QRA, CMPT Dan ASME Dengan Mempertimbangkan QASA

Hamdani<sup>1)</sup>, Lukmandono<sup>2)</sup>

Teknik Industri, Magister Teknik Industri, Institut Adhi Tama Surabaya<sup>1,2</sup>

Email: hamdanidan78@gmail.com

### Abstract

The research presents an analysis of quality standards in the wellhead platform commissioning process with reference to the QRA, CMPT, and ASME standards, taking into account the application of QASA quality criteria. The research explores system reliability measurement, comprehensive risk evaluation, and regulatory compliance as an integral part of this process, focusing on system reliability measurement, risk evaluation, and causes of corrosion rate on WHP X-01 at PT X. The results provide deep insights into the effectiveness of these methods in ensuring system safety and performance. The results provide deep insight into the effectiveness of this method in ensuring the safety and performance of newly commissioned wellhead platform systems. The results of this study found that the level of conformity of the WHP X-02 engineering design with the CMPT standard QRA is 97%, the achievement of the feasibility of the WHP X-02 engineering design with a major fire event from the results of the FERA study has been feasible to approve due to several elements that have been achieved, while for the EERA time scale the WHP X-100 engineering design was achieved 16 minutes, faster than the CMPT standard recommendation, which is 30 minutes. The conclusion of the analysis of corrosion acceleration samples on WHP-02 pipes through the analysis method of Macro and micro visual inspection, chemical analysis, topographic analysis and XDR analysis can be concluded that corrosion in the pipe is more caused by microbiology. This study underlines the importance of proper management of commissioning and maintenance procedures to avoid this kind of problem.

### Abstrak

Studi ini menyajikan analisis baku mutu dalam proses komisioning platform wellhead dengan merujuk pada standar QRA, CMPT, dan ASME, dengan mempertimbangkan penerapan kriteria kualitas QASA. Penelitian ini mengeksplorasi pengukuran keandalan sistem, evaluasi risiko komprehensif, dan kepatuhan terhadap regulasi sebagai bagian integral dari proses ini. dengan fokus pada pengukuran keandalan sistem, evaluasi risiko, dan penyebab laju korosi pada WHP X-01 di PT X. Hasilnya memberikan wawasan mendalam tentang efektivitas metode ini dalam memastikan keamanan dan kinerja sistem wellhead platform yang baru dikomisioningkan. Hasil dari penelitian ini diketahui tingkat kesesuaian desain engineering WHP X-02 dengan QRA standar CMPT adalah sebesar 97%., pencapaian kelayakan desain engineering WHP X-02 dengan peristiwa kebakaran besar dari hasil studi FERA telah layak untuk disetujui karena beberapa elemen yang sudah tercapai, sedangkan untuk skala waktu EERA desain engineering WHP X-100 tercapai 16 menit, lebih cepat dari rekomendasi standar CMPT, yaitu 30 menit. Adapun Kesimpulan dari Analisa sample akselerasi korosi pada pipa WHP-02 melalui metode analisis pemeriksaan visual Macro dan micro, analisis kimia, analisis topografi serta XDR analisis dapat di simpulkan korosi pada pipa lebih di sebabkan oleh mikrobiologi. Studi ini menggaris bawahi pentingnya pengelolaan procedure commissioning dan pemeliharaan yang tepat untuk menghindari masalah semacam ini

### Article History

Submitted: 15 Juli 2024

Accepted: 20 Juli 2024

Published: 21 Juli 2024

### Key Words

Quality, Commissioning, Corrosion, Centre of marine and petroleum, Engineering, Wellhead Platform (WHP)

### Sejarah Artikel

Submitted: 15 Juli 2024

Accepted: 20 Juli 2024

Published: 21 Juli 2024

### Kata Kunci

Quality, Commissioning, Korosi, Centre of marine and petroleum, Engineering, Wellhead Platform (WHP)

## PENDAHULUAN

Dunia industri perminyakan (MIGAS) adalah industri yang berbisnis untuk mengangkat cadangan minyak dan gas (hidrokarbon) yang ada di bawah bumi menuju ke permukaan. Kegiatan industri migas digolongkan dalam dua kegiatan inti (core business) yaitu kegiatan usaha hulu dan kegiatan usaha hilir atau sering juga disebut sebagai bisnis hulu dan bisnis hilir. Kegiatan usaha hulu terbagi menjadi dua, antara lain adalah kegiatan eksplorasi yang bertujuan memperoleh informasi mengenai kondisi geologi untuk menemukan dan memperoleh perkiraan cadangan migas di wilayah kerja yang ditentukan, sedangkan kegiatan eksploitasi merupakan rangkaian kegiatan yang bertujuan untuk menghasilkan minyak dan gas bumi dari wilayah kerja yang ditentukan, yang terdiri atas pengeboran dan penyelesaian sumur, pembangunan sarana pengangkutan, penyimpanan dan pengolahan untuk pemisahan dan pemurnian minyak dan gas bumi di lapangan serta kegiatan lain yang mendukungnya, seperti pengembangan teknologi, pemboran pengembangan, dan pemeliharaan. Kegiatan usaha hilir adalah kegiatan yang berintikan atau bertumpu pada kegiatan usaha Pengolahan (Refinery), Pengangkutan, Penyimpanan dan/atau Niaga''(UU Nomor 22, 2001)''.

Perbedaan Kegiatan eksplorasi dan eksploitasi migas memiliki tingkat resiko yang tinggi terhadap pekerja yang bekerja di fasilitas tersebut, terlebih khususnya pada pekerjaan eksplorasi dan eksploitasi migas di anjungan lepas pantai. Ancaman terjadinya kebocoran gas dan minyak dapat memicu terjadinya kejadian berbahaya, seperti kebakaran dan bahkan ledakan. Dalam kurun waktu terakhir, semenjak terjadinya tragedi ''(Piper Alpha – North Sea, Aberdeen, Scotlandia – 6 Juli 1988)'' merupakan sejarah kejadian kebakaran dan ledakan besar di dunia industri minyak dan gas lepas pantai yang mengakibatkan 167 korban jiwa, para Peneliti keselamatan serta Insinyur dari

berbagai negara melakukan penelitian dan melakukan pengembangan teknologi dalam upaya pencegahan kejadian kebakaran dan ledakan yang dikhususkan untuk keselamatan anjungan lepas pantai. Selain itu, peraturan, standar, pedoman dan panduan keselamatan anjungan lepas pantai juga ditetapkan dan juga diperbaharui oleh Pemerintah negara-negara, para praktisi keselamatan dan para perusahaan produsen migas guna meminimalisasi risiko terjadinya kejadian serupa.

Pada Tahun 1999, John R Spouge dari Det Norske Veritas (DNV) Technica melalui Center for Marine and Petroleum Technology (CMPT) yang didukung oleh beberapa perusahaan dari berbagai negara, antara lain: Amoco (UK) Exploration Company, Chevron UK Ltd, Exxon Production Research Company, The Health and Safety Executive, Minerals Management Service (USA), Mobil Technology Company, National Energy Board (Canada), dan Norwegian Petroleum Directorate, menyusun suatu panduan untuk penilaian risiko secara kuantitatif khusus instalasi lepas pantai dari kejadian kecelakaan besar, yaitu ''Quantitative Risk Assessment for Offshore Installation''. Peraturan-peraturan migas dari beberapa negara produsen migas menjadi referensi didalam panduan ini, salah satunya adalah peraturan migas Indonesia, yaitu PP No. 17 Tahun 1974; mengenai Pengawasan Pelaksanaan Eksplorasi Dan Eksploitasi Minyak Dan Gas Bumi Di Daerah Lepas Pantai. yaitu Service Platform (terletak di atas Main Deck) dan Boat Landing Platform (terletak di bawah Mezzanine Deck) ''(Abdul L,2018 dan Sutari,2018)''.

''Quantitative Risk Assessment for Offshore Installation; CMPT- 1999'' digunakan para Insinyur keselamatan dibidang migas sebagai panduan untuk mengkaji dan menilai secara kuantitatif risiko-risiko keselamatan anjungan dari bahaya-bahaya besar, seperti: risiko kebakaran dan ledakan hidrokarbon (process

fire and explosion), risiko dan dampak dikarenakan tabrakan kapal/vessel (ship collision/ship impact), serta risiko kejatuhan objek dari kegiatan pengangkatan (dropped object), atau biasa disebut sebagai kejadian kecelakaan besar / Major Accident Event (MAE).

Sedangkan ASME atau kepanjangan ASME (American Society of Mechanical Engineers) adalah organisasi yang sangat penting dalam industri teknik dan manufaktur. ASME berfokus pada meningkatkan kinerja teknik dan manufaktur di seluruh dunia. Mereka menciptakan standar teknis yang membantu insinyur dan profesional industri dalam menciptakan produk yang berkualitas tinggi. Dengan begitu banyak nya standar bagian ASME maka penulis hanya berfokus pada standar ASME SEC VIII yang mengatur tentang persyaratan-persyaratan umum dalam proses desain pressure vessel, desain komponen-komponen, pemilihan material, proses fabrikasi, examination and testing.

PT X adalah salah satu perusahaan yang bergerak di sektor minyak dan gas bumi yang beroperasi pada kegiatan usaha hulu. Dalam rangka mengembangkan produksinya dan penambah pasokan produksi minyak dan gas bumi Nasional, PT X merencanakan eksploitasi dengan membangun anjungan lepas pantai WHP X-02 pada sumur minyak di koordinat yang telah ditentukan. Studi konseptual WHP X-02 dilakukan pada Tahun 2021 oleh PT X yang menyimpulkan bahwa opsi pengembangan optimal adalah opsi wellhead platform (WHP) dengan fasilitas minimum yang terhubung melalui pipa berdiameter 24" sepanjang 300 m yang kemudian disalurkan ke Process Platform WHP X-02 adalah anjungan migas lepas pantai yang tidak memiliki akomodasi atau disebut Normally Unmanned Installation (NUI). WHP X-02 dikunjungi setiap hari untuk kegiatan pemeriksaan perawatan (maintenance), dengan total pengunjung yang diperbolehkan (manning level) adalah dua puluh orang. WHP X-02 didesain memiliki empat kaki penahan (quadro platform) dan

memiliki empat geladak (deck), yaitu Main deck, Access Deck, Mezzanine Deck dan Top Deck. Namun, WHP X-02 dilengkapi juga dengan dua geladak tambahan yaitu Spider Platform (terletak di bawah Mezzanine Deck) dan Boat Landing Platform (terletak dibawah Spider Deck).

Perencanaan pembangunan WHP X-02 dilakukan melalui beberapa tahapan studi *engineering*, antara lain *Conceptual Design*, *Basic Engineering Design* atau istilah lainnya yang dikenal sebagai *Front End Engineering Design* (FEED), kemudian desain *engineering* secara terperinci atau *Detailed Engineering Design* (DED) sebagai tahapan *engineering* akhir. Pada setiap tahapan perencanaan pembangunan, aspek keselamatan dari desain *engineering* WHP X-02 menjadi satu pilihan yang mutlak sebagai upaya kelangsungan operasional bisnis Perusahaan dan menjaga reputasi Perusahaan dikancah Nasional maupun Internasional serta upaya perlindungan kepada pekerja, aset dan lingkungan.

Berbagai studi analisis dan penilaian risiko (*risk assessment*) secara kuantitatif, kualitatif dan semi-kuantitatif dilakukan di tahapan perencanaan pembangunan / *Engineering Phase* agar WHP X-02 dapat beroperasi pada tingkat risiko keselamatan yang serendah mungkin dan praktis tanpa memerlukan investasi yang berlebih; *As Low As Reasonably and Practicable* (ALARP). Studi keselamatan utama menitikberatkan pada risiko kejadian kecelakaan besar / *Major Accident Event* (MAE) yang salah satunya adalah analisis risiko kebakaran dan ledakan / *Fire and Explosion Risk Analysis* (FERA).

Dan juga Corrosion allowance dengan mempertimbangkan adanya agen korosi yang tercampur dengan fluid seperti air, oksigen, karbon, dan hydrogen sulfida (H<sub>2</sub>S), maka ketebalan pipaditambahkan sebagai komponensasinya. Pada praktek industry, usaha pencegahan korosi lebih di utamakan dibandingkan dengan penambahan ketebalan pipa yang akan meningkatkan biaya dan beban pipa. Selain itu ada nya kontaminan tertentu seperti karbon dioksida dan hydrogen

sulfida akan lebih mendorong terjadinya localized corrosion seperti pitting (sumuran) yang akan menyebabkan penambahan ketebalan tidak banyak berarti. Walau begitu nilai penambahan ketebalan dinding untuk corrosion allowance tidak dapat dilupakan begitu saja, dan harus diperhatikan untuk meningkatkan nilai Safety Factor.

## METODE

Penelitian ini dimulai dengan mengidentifikasi masalah sistem Keselamatan dan piping pada PT. X. pengamatan secara langsung kondisi mengenai permasalahan yang terjadi dan melakukan pengumpulan data-data yang dibutuhkan sesuai dengan objek penelitian. Khususnya pada aktifitas pemeliharaan dan pelaksanaan keselamatan perusahaan.

Penelitian dengan *mengobservasi*, *interview* pada pihak terkait, dan pengumpulan data-data dari perusahaan yang berhubungan dengan tujuan penelitian.

Data dan informasi yang diperoleh antara lain untuk sistem pemeliharaan antara lain:

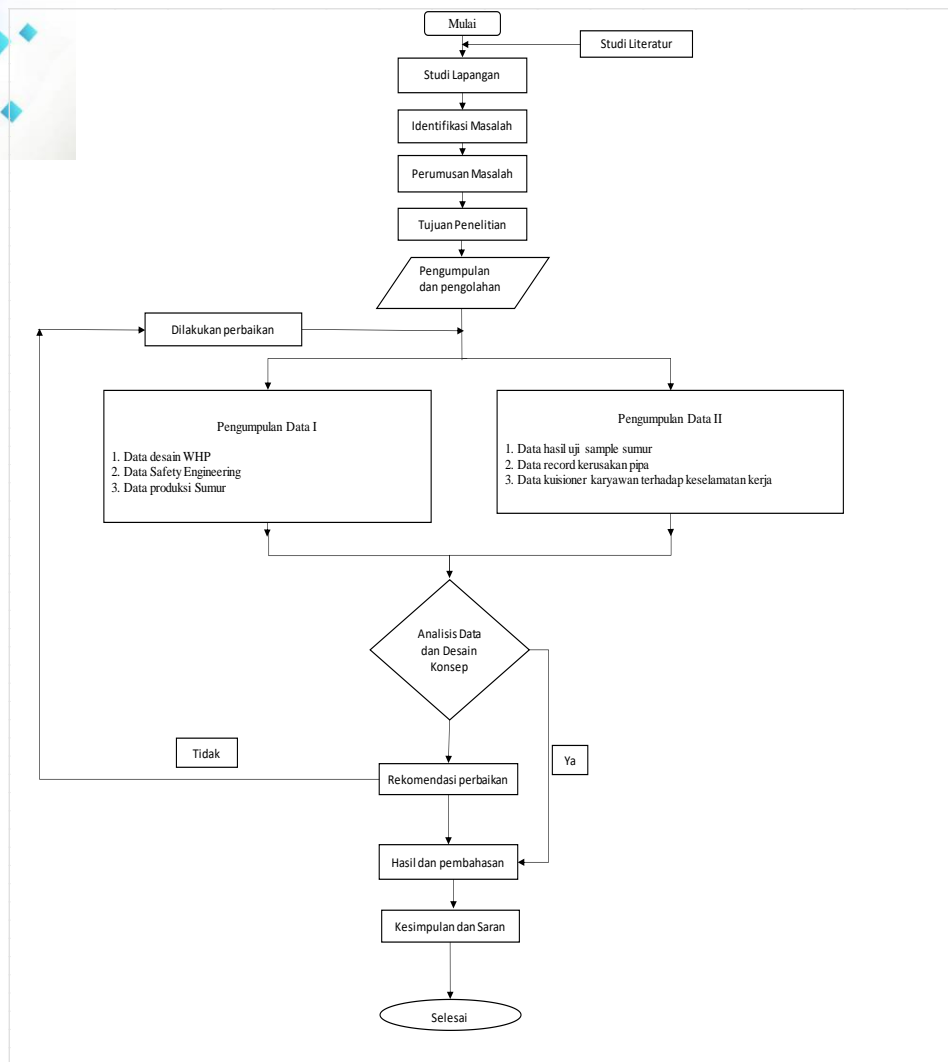
- Gambaran umum perusahaan
- Diagram alir secara umum proses produksi dan pengolahan limbah cair
- Data spesifikasi WHP-02
- Data downtime WHP-02
- Data terencana dan tak terencana maintenance

- Data Safety Plan
- Sample Kualitas Product
- Data equipment run time
- Proses pemeliharaan WHP-02
- Hasil uji tingkat laju korosi pada piping WHP-02
- Kuisisioner terhadap hubungan Karyawan

Data-data yang telah terkumpul dilanjutkan dengan mengolah dan menganalisis, Adapun tahapannya sebagai berikut:

- Penentuan Safety Plan / CMPT dari metode yang digunakan disesuaikan dengan penilaian dari perusahaan.
- Pembobotan yang digunakan yaitu Quantitative Risk Assessment (QRA) baik itu data dari kuisisioner maupun dari data-data lainnya.
- System ASME (American Standard of Mechanical engineering) digunakan untuk dijadikan matrik-matrik standar berdasarkan standar yang ditetapkan.
- Evaluasi kualitas product dan laju korosi pada pipa untuk mengetahui pencapaian perusahaan dan diperlukannya perbaikan dimasa mendatang.

Berikut adalah diagram alir penelitian ini.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data yang telah dikumpulkan selanjutnya di olah menggunakan metode-metode yang sudah di jelaskan dibab sebelumnya, sehingga untuk kedepannya dapat membari masukan perbaikan terkait dengan hasil analisis permasalahan.

### Hasil Kesesuaian Desain Engineering WHP X-02 dengan QRA standar CMPT

Hasil kesesuaian desain *engineering* WHP X-02 dengan QRA standar CMPT adalah seperti pada tabel berikut:  
Gambar 2 Data WHP X-02 dengan QRA standar CMPT

No	QRA CMPT	Desan <i>Engineering</i> WHP X-02	Tingkat Pemenuhan	
			Sesuai	Tidak Sesuai
<b>A. Alarm dan Komunikasi (<i>Alarm and Communication</i>)</b>				
1	Tersedianya pendeteksi api dan gas, dan sistem alarm	Tersedia <i>personal gas detector</i>	100%	0%
2	Tersedianya <i>Muster Alarm</i>	Tersedia <i>Manual Call Point (MAC)</i> yang menginisiasi <i>pneumatic fog horn</i>	100%	0%
3	Apakah sarana alarm bersifat <i>fireproof</i>	Ya, semua sarana menggunakan sarana <i>Frieproof</i> dan Ex	100%	0%

No	QRA CMPT	Desain Engineering WHP X-02	Tingkat Pemenuhan	
			Sesuai	Tidak Sesuai
4	Tersedianya Public Address and General Alarm (PAGA)	Tersedia <i>Manual Call Point</i> (MAC) yang menginisiasi ESD, fog horn dan	100%	0%
5	Tersedianya alarm untuk memberitahukan Control Room	Tersedia <i>Manual Call Point</i> (MAC) yang menginisiasi ESD, fog horn dan mengirimkan alarm ke MP X-02	100%	0%
6	Tersedianya alat komunikasi untuk memberitahukan ke pihak internal	Tersedia <i>personal UHF handheld radio</i>	100%	0%
7	Tersedianya alat komunikasi untuk memberitahukan ke pihak eksternal	Tersedia <i>Manual Call Point</i> (MAC) untuk mengirim komunikasi data ke CPP X-02, EPIRB, dan SART	100%	0%
<b>B. Penyelamatan Diri (Escape)</b>				
8	Tersedia <i>escape route</i> dengan lebar yang memadai	<i>Escape route</i> tersedia di semua <i>deck</i> . <i>Escape route</i> utama memiliki lebar minimal 1 meter dan headroom clearance 2,1 meter. <i>Escape route</i> sekunder memiliki lebar minimal 0,8 meter dan headroom clearance 2,1 meter.	100%	0%
9	Tersedia <i>escape route</i> pada dua sisi berlawanan	<i>Escape route</i> tersedia pada tiap sisi <i>Platform</i>	100%	0%
10	<i>Escape route</i> tidak memiliki penghalang atau gangguan	<i>Piping arrangement</i> melalui bagian bawah <i>deck</i>	100%	0%
11	<i>Escape route</i> memiliki tanda arah menuju <i>Muster Point</i>	Tersedia tanda panah yang memandu ke <i>Muster Point</i>	100%	0%
12	<i>Escape route</i> dapat terlihat	Untuk <i>plated deck</i> , ditandai dengan cat warna kuning. Untuk <i>grated deck</i> , ditandai dengan tanda panah	100%	0%
<b>C. Evakuasi / Pengungsian (Evacuation)</b>				
13	<i>Muster Point</i> memiliki luasan yang mencukupi untuk semua pekerja	<i>Muster Point</i> memiliki luas 40 m <sup>2</sup>	100%	0%
14	<i>Muster Point</i> terbebas dari risiko kebakaran dan penyebaran gas	<i>Muster Point</i> terletak di <i>Back Blast wall</i> dan tidak ada fasilitas proses hidrokarbon.	100%	0%
15	<i>Muster Point</i> terlihat dengan jelas	<i>Muster point</i> dilengkapi dengan tanda " <i>muster point</i> ".	100%	0%
16	<i>Muster Point</i> difasilitasi dengan peralatan komunikasi	Tersedia <i>personal UHF handheld radio</i>	100%	0%
17	Tersedia alternatif <i>Muster Point</i>	Alternatif <i>Muster Point</i> di <i>platform</i> lain yaitu X-01	0%	100%

18	Alternatif <i>Muster Point</i> memiliki luasan yang mencukupi untuk semua pekerja	Alternatif <i>Muster Point</i> memiliki luas 40 m <sup>2</sup>	100%	0%
19	Alternatif <i>Muster Point</i> terbebas dari risiko kebakaran, radiasi panas, dan penyebaran gas	Mater <i>point</i> terproteksi di balik <i>fire wall / blast wall Mezzanine deck</i>	100%	0%
20	Alternatif <i>Muster Point</i> terlihat dengan jelas	Alternatif <i>Muster point</i> dilengkapi dengan tanda " <i>Life Raft Station</i> ".	100%	0%
21	Alternatif <i>Muster Point</i> difasilitasi dengan peralatan komunikasi	Tersedia <i>personal UHF handheld radio</i>	100%	0%
22	Memiliki setidaknya dua metode evakuasi beserta sarananya	Evakuasi utama menggunakan kapal kru Evakuasi sekunder menggunakan <i>liferaft</i>	100%	0%
23	Sarana evakuasi sesuai dengan standar IMO atau SOLAS	<i>Liferaft</i> sesuai dengan SOLAS LSA Chapter III by resolution MSC	100%	0%
24	Jumlah dan kapasitas sarana evakuasi mencukupi untuk mengevakuasi seluruh pekerja	Kapal kru memiliki kapasitas 24 orang <i>Liferaft</i> memiliki kapasitas 20 orang	100%	0%
25	Lokasi sarana evakuasi sekunder terbebas dari kebakaran, radiasi panas, dan penyebaran gas	<i>Muster Point</i> terletak di <i>Back Blast wall</i> dan tidak ada fasilitas proses hidrokarbon.	100%	0%
26	Sarana evakuasi sekunder dilengkapi dengan sarana pendukung untuk turun ke laut	Sarana pendukung sekunder utama menggunakan <i>personal descent device</i>	100%	0%
27	Sarana evakuasi sekunder mudah terlihat	Sarana sekunder pada area terbuka dan tidak terhalang peralatan proses	100%	0%
28	Sarana evakuasi sekunder memiliki metode / cara penggunaan	Cara penggunaan tersedia	100%	0%
<b>D. Penyelamatan Korban (Rescue)</b>				
29	Tersedia sarana <i>rescue</i>	Sarana <i>rescue</i> menggunakan kapal kru yang dilengkapi <i>rescue boat</i>	100%	0%
30	Tersedia peralatan komunikasi	Tersedia VHF <i>marine radio</i> dan <i>radar beacon</i>	100%	0%
<b>Tingkat Kesesuaian</b>			<b>97%</b>	<b>3%</b>

Tabel diatas menggambarkan bahwa desain engineering WHP X-02 telah memenuhi kesesuaian dengan standar CMPT sebesar 97%, namun masih terdapat ketidaksesuaian sebesar 3%. Sebagai upaya mencegah terjadinya korban akibat peristiwa kebakaran besar dan ledakan, adanya ketidaksesuaian dapat menjadi faktor pendorong terjadinya korban jiwa.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa, desain engineering WHP X-02 perlu dilakukan perbaikan-perbaikan. Perbaikan desain harus dilakukan pada deck sesuai dengan ketentuan

CMPT mengenai Alternative master point dan sarana nya.

### Hasil Analisis Laju Korosi

Berdasarkan latar belakang informasi yang diterima dari klien (perusahaan minyak Utara) dan dengan hasil komprehensif yang diperoleh dari serangkaian pengujian dan inspeksi yang dilakukan dalam investigasi metalurgi ini, maka dapat dilakukan pembahasan sebagai berikut:

Pemeriksaan visual pada permukaan bagian dalam dengan jelas menunjukkan adanya dinding tembus lubang / perforasi di sisi bawah (6 - 7 O' Clock) dari siku. Perforasi itu terletak lebih dekat ke intrados. Pemeriksaan lebih dekat lebih lanjut mengungkapkan lubang konsentris di sekitar perforasi. Permukaan lubang di sekitar perforasi diamati dengan berlimpah deposit korosi.

Tidak ada anomali yang diamati pada komposisi kimiawi bahan induk siku dan bahan menegaskan ke ASTM A420 Grade WPL6. Pemeriksaan mikro menunjukkan penempelan yang tebal endapan korosi di permukaan lubang dan serangan korosi di bawah endapan. Struktur mikro material induk siku terdiri dari struktur mikro material induk siku terdiri dari struktur ferit dan perlit. Tidak ada tidak ada kelainan yang diamati.

Analisis topografi SEM melengkapi temuan pemeriksaan mikro dan ditampilkan penggabungan lubang kecil. Analisis EDS mengungkapkan keberadaan Fe dan O yang dominan dengan korosif (Cl dan S). Analisis XRD menegaskan keberadaan kalsium yang dominan fase kaya kalsium ( $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) bersama dengan oksihidroksida ( $\text{FeO}(\text{OH}, \text{Cl}), \text{FeO}(\text{OH})$ ). Selain itu, keberadaan NaCl dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dalam jumlah kecil juga teramati

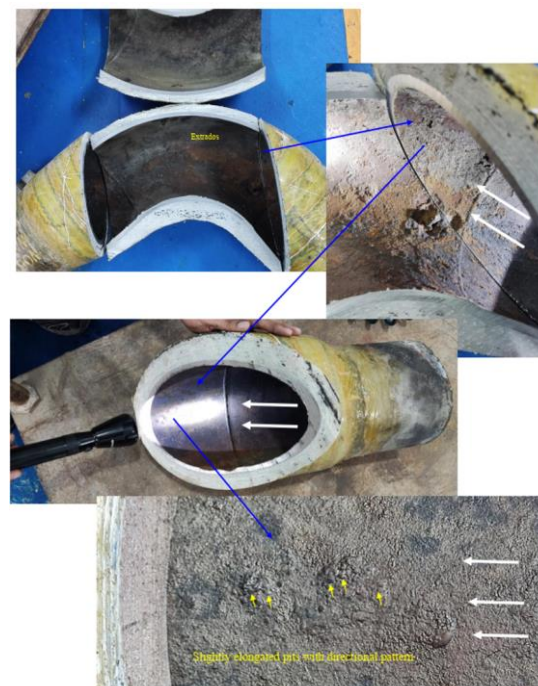
Penting untuk disoroti di sini bahwa sebelumnya lab Element telah melakukan kegagalan investigasi pada spul lain (WHP X-02 Spool) yang merupakan bagian perakitan dari spul siku bocor X-02 saat ini. Dalam laporan rilis sebelumnya direncanakan untuk mempelajari/memeriksa

tanda-tanda kerusakan akibat erosi pada siku bocor subjek.

Selama pemeriksaan visual, tidak ada tanda-tanda kerusakan erosi yang diamati pada kebocoran lokasi. Perforasi terletak lebih dekat ke intrados, lubang korosi yang diamati pada permukaan berlubang sebagian besar bersifat konsentris yaitu, tidak ada lubang memanjang atau pola terarah yang diamati (menunjukkan tidak adanya erosi pengaruh).

Pemeriksaan visual tambahan telah dilakukan pada permukaan bagian dalam ekstrados; lebih dekat pemeriksaan menunjukkan serangan korosi sumuran ringan secara lokal, lubang-lubang itu sedikit memanjang dan menunjukkan pola arah yang berbeda. Lubang yang diamati terletak di bagian dalam permukaan ekstrados dan lubang-lubang ini bisa terjadi karena pelampiasan (benturan) cairan servis selama operasi (lihat gambar di bawah ini untuk lebih jelasnya).

Dari pemeriksaan tambahan ini dapat dipahami bahwa permukaan bagian dalam ekstrados mengalami kerusakan erosi ringan. Permukaan bagian dalam intrados ditemukan bebas dari



Gambar 3: Pengamatan Korosi dari Potongan Pipa WHP X-02

**KESIMPULAN**

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan penelitian yang telah dilakukan antara lain:

- 1) Tingkat pemenuhan kesesuaian desain Engineering WHP X- 02 dengan standar CMPT, yaitu sebanyak 97% memenuhi kesesuaian dan 3% tidak memenuhi kesesuaian.
- 2) Tidak ada anomali yang diamati pada sifat kimia dan metalurgi dari spool Elbow Pipa X-02 bahan. Kumparan pada spool telah mengalami korosi internal dari temuan seperti fitur bertingkat, beberapa lubang, di bawah serangan korosi deposit dan di tidak adanya bukti lain yang bertentangan, laju korosi yang lebih tinggi dari spool dapat dikaitkan dengan MIC. Faktor-faktor lain seperti pH dan korosi (Cl & S) dapat semakin memperburuk laju korosi.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Abdul L, et al (2018); *Basis of Design for WHP X-100*. Jakarta, Indonesia
- ABET (2018); *Definisi design engineering* (Online). Accreditation Board for Engineering and Technology.
- ASME 33rd (2014); *Offshore and Arctic Engineering*. American Society of Mechanical Engineers. USA.
- BBC News UK – Scotland, (2018); *Minute's silence for Piper Alpha's 167 victims* (Online).
- Budi S, et al (2018); *Fire and Explosion Risk Analysis for WHP X-100*. Jakarta, Indonesia.
- BTBRD – BPPT (2017); *Rekayasa Desain, dari Feasibility Study Hingga Pengoperasian* (Online). Balai Teknologi Bahan Bakar dan Rekayasa Desain – Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta, Indonesia
- Charlie M (2018); *Safety Design Philosophy for WHP X-100*, Jakarta, Indonesia
- Edwards Fire and Security Company (2010); *A guide to the language of modern building system design*, 985 Town Center Parkway, Bradenton, Florida.
- Fatmasari (2012); *Perkembangan Ilmu Teknik Sipil*. Surabaya, Indonesia
- Johnny Saldafia, 2009; *The Coding Manual For Qualitative Researchers*.
- John R Spouge (1999); *Quantitative Risk Assessment for Offshore Installation; Center for Marine and Petroleum Technology (CMPT)*.
- Lanang (2018); *Piping General Arrangement – Mezzanine and Intermediate Deck for WHP X-100*, Jakarta, Indonesia
- NPD (1990); *Regulations Concerning Implementation and Use of Risk Analyses in the Petroleum Activities*, Norwegian Petroleum Directorate.
- Quiet Lake Drive, Katy (2017); *Risknology Consultant Safety Assessment: FERA (Fire & Explosion Risk Analysis)*., Texas – US.
- Ridwan Azhari (2018); *Analisis Kesesuaian desain Engineering anjungan migas lepas Pantai WHP X-100 di PT X dengan EERA Standar CMPT*
- Sutari (2018); *Equipment Location Plan – Elevation Looking North for WHP X-100*, Jakarta, Indonesia
- Soehatman Ramli (2010), *Petunjuk Praktis Manajemen Kebakaran (Fire Management)*. Seri Manajemen K3 04, Jakarta – Indonesia, Dian Rakyat.
- Suharsimi Arikunto (2013); *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan*

- Praktis, Jakarta – Indonesia, Rineka Cipta.
- Surya Arief S (2018); *Instrument Schematic Diagram WHCP Hydraulic Power for WHP X-100*, Jakarta, Indonesia.
- TheProjectDefinition*(2016);*Engineering*,(Online).
- UK HSE (1992); *A Guide to the Offshore Installations (Safety Case)Regulations*, 1992a, Health & Safety Executive, HMSO, London*Machine Tools and Manufacture*, 156, 103594.
- Yao, G., He, X., Liu, J., Guo, Z., & Chen, P. (2023). Test study of the bridge cable corrosion protection mechanism based on impressed current cathodic protection. *Lubricants*, 11(1), 30.
- Zhu, D., Feng, X., Xu, X., Yang, Z., Li, W., Yan, S., & Ding, H. (2020). Robotic grinding of complex components: a step towards efficient and intelligent machining—challenges, solutions, and applications. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 65, 101908.