

Proses Verifikasi Berdasarkan Performance Standard Untuk Sistem Tambat (*Mooring System*) Pada Jangkar

Harun Indra Kusuma¹, Andi Rahadiyan Wijaya²,

^{1,3} Program Studi Magister Teknik Industri Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No 2 Yogyakarta Indonesia

¹harunindrakusuma@gmail.com

Abstrak— Dalam rangka mengurangi tingkat risiko kecelakaan kerja di industri minyak dan gas diperlukan suatu studi dan penambahan barrier, pada *element* yang kritis, yang disebut dengan *safety critical element*(SCE. Elemen kritis keselamatan/*safety critical element* (SCE) merupakan metode yang digunakan untuk memastikan kinerja sistem pelindung berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Proses membuat suatu *safety critical element*(SCE) dengan menentukan apa saja element yang kritis. Identifikasi SCE didapat dengan mekanisme penilaian terhadap beberapa aspek yang berpengaruh terhadap tingkat kritis elemen Sistem Tambat (*Mooring System*). Tingkat kritis elemen disusun dari peran elemen terhadap keselamatan, konsekuensi jika terjadi kegagalan, dan ketersediaan elemen cadangan. Standar kinerja/*performance standard* (PS) digunakan menilai kinerja SCE dengan menggunakan kriteria yang ada dalam kode dan standar yang berlaku. Pembuatan performance standard sangatlah penting didalam SCE, agar dapat menjadi *indicator/parameter* yang mengukur sehingga kesesuaian dan keefektifan studi SCE ini bisa dijamin dan diverifikasi. Skema verifikasi memastikan kriteria dalam PS sudah dilaksanakan atau sudah tersedia. Skema verifikasi yang dikembangkan menggunakan pendekatan *asset integrity management system* (AIMS) dan *life extension*. Pendekatan ini memberikan rekomendasi kepada pihak operator dalam memilih *assurance task* dan aktivitas verifikasi berdasarkan tujuan pengembangan SCE dan sesuai dengan kebijakan perusahaan. Sistem Tambat (*Mooring System*) merupakan sistem untuk mengamankan kapal ke terminal. Penambatan diartikan mengolah gerak kapal sedemikian rupa untuk menyandarkan kapal ke dermaga sehingga kapal terbatas pergerakannya. Sistem Tambat (*Mooring System*) diperlukan untuk memberikan stabilitas seperti itu terhadap dinamika kapal, sambil memastikan perjalanan yang diizinkan, dengan begitu banyak ketergantungan struktur terapan pada Sistem Tambat ada baiknya untuk memahami keakuratan tingkat tinggi kinerja setiap komponen sistem dan respons global dari Sistem Tambat tersebut. Sistem Tambat (*Mooring System*) terbagi menjadi dua bagian yaitu Component, dan Configuration. Dari Sistem Tambat bagian Component terbagi menjadi empat bagian yaitu jangkar (*Anchor*), pelampung (*Buoys*), *lines*, dan *hardware*. SCE yang akan dibahas adalah Sistem Tambat (*Mooring System*) pada jangkar, alasan dipilihnya Sistem Tambat pada jangkar karena selain jangkar berfungsi untuk mengamankan tambatan dari pondasi tetap di dasar laut. Pada penelitian – penelitian belum ada yang membahas mengenai Safety Critical Element (SCE) pada jangkar dari mulai menentukan Major Accident Hazard dari jangkar sampai dengan proses verifikasi.

Kata kunci— Sistem Tambat, Bagian Dari Sistem Tambat, Standard Kinerja, Skema Verifikasi, dan Elemen Kritis Keselamatan

Abstract— In order to reduce the level of risk of work accidents in the oil and gas industry, a study and addition of barriers to a critical element called the safety critical element (SCE) is needed. The safety critical element (SCE) is a method used to ensure performance. the protection system runs as expected The process of making a safety critical element (SCE) by determining what elements are critical SCE identification is obtained by an assessment mechanism for several aspects that affect the critical level of the elements of the Mooring System. compiled from the role of elements on safety, consequences in case of failure, and availability of spare elements Performance standard (PS) is used to assess the performance of SCE by using the criteria contained in the code and applicable standards. Making performance standards is very important in SCE, so that it can be used as indicators / parameters to measure so that the suitability and effectiveness of this SCE study can be guaranteed and verified. The verification scheme ensures that the criteria in the PS have been implemented or are readily available. The verification scheme developed uses an asset integrity management system (AIMS) approach and life extensions. This approach provides recommendations to operators in selecting assurance tasks and verification activities based on the SCE development objectives and in accordance with company policies. The Mooring System is a system for securing ships to the terminal. Mooring is defined as processing the ship's motion in such a way as to anchor the ship to the dock so that the ship's movement is limited. The Mooring System is necessary to provide such stability to ship dynamics, while ensuring allowable travel, with so much dependence on the floating structure of the Mooring System it is worthwhile to understand the high accuracy of the performance of each component of the system and the global response of the Mooring System. The Mooring System is divided into two parts, namely Component and Configuration. From the Mooring System, the Component section is divided into four parts, namely anchors, buoys, lines, and hardware. The SCE to be discussed is the Mooring System at the anchor, the reason for choosing the mooring system at the anchor is because in addition to the anchor it functions to secure the mooring of the fixed foundation on the seabed. In studies, no one has discussed the Safety Critical Element (SCE) on the anchor, starting from determining the Major Accident Hazard from the anchor to the verification process.

Keywords— Mooring System, Type for Mooring System, Performance Standard, Verification Scheme, Safety Critical Element

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri minyak dan gas ialah industri yang mengolah fluida, baik cair dan gas. Sifat dari fluida ini ialah mudah terbakar dan beracun, yang menjadikan industri ini menjadi industri dengan risiko yang tinggi. Risiko merupakan kombinasi antara *likelihood* (kemungkinan sebuah *event* terjadi) dengan konsekuensi yang dihadapi jika *event* terjadi [1]. Oleh karena itu, perusahaan yang memiliki tingkat risiko yang tinggi, umumnya memerlukan suatu departemen/bagian yang memiliki fungsi untuk menilai dan mengelola risiko dengan cara mengurangi *likelihood* dan/atau menurunkan konsekuensi. Industri minyak dan gas mengelola aset harus dengan sangat hati-hati untuk mencegah kejadian kecelakaan besar yang dapat terjadi sewaktu-waktu. Risiko pada industri minyak dan gas dapat dikategorikan menjadi beberapa tingkatan. Kategori umumnya berdasarkan kerugian yang terjadi. Tingkat tertinggi disebut *extreme high risk*, yaitu berupa kecelakaan besar (*major accident*) yang menyebabkan kerugian materiil, nyawa, atau lingkungan dalam lingkup yang sangat besar, dan dapat menyebabkan industri ditutup secara permanen (*abandoned*), atau jangka waktu yang sangat lama. *High risk* berupa risiko yang menimbulkan kerugian besar. *Medium, low* dan *negligible* merupakan tingkatan risiko selanjutnya yang memiliki dampak lebih rendah.

Major accident hazard (MAH) merupakan suatu bahaya yang dapat menyebabkan kecelakaan besar (*major accident*). Kegagalan dan kecelakaan merupakan hal yang dihindari dalam industri minyak dan gas [2]. Sistem Tambat (*Mooring System*) merupakan sistem untuk mengamankan kapal ke terminal. Penambatan diartikan mengolah gerak kapal sedemikian rupa untuk menyandarkan kapal ke dermaga sehingga kapal terbatas pergerakannya [3]. *Safety Critical Element* (SCE) yang akan dibahas adalah Sistem Tambat (*Mooring System*) pada jangkar, alasan dipilihnya Sistem Tambat pada jangkar karena selain jangkar berfungsi untuk mengamankan tambatan dari pondasi tetap di dasar laut [3]

B. Tinjauan Pustaka

Menurunnya risiko pada industri minyak dan gas harus menggunakan metodologi yang efektif dan sesuai dengan prinsip ALARP dan dilakukan secara bertahap [4]. Mulai dari mengidentifikasi semua risiko yang dilakukan dengan menerbitkan MAH (*major accident hazard*), QRA (*quantitative risk assessment*), Hazid/hazop (*hazard operability*) dan beberapa penilaian terhadap risiko yang lain. SCE harus didasarkan pada sistem penilaian formal yang praktis dan kredibel, dalam mengembangkan skema verifikasi SCE dengan metodologi yang lengkap, elemen yang kritis diberikan nomor yang sudah terstandar sehingga memudahkan peneliti selanjutnya untuk mengetahui elemen kritis mana yang akan dilakukan verifikasi, dan Penomoran yang dilakukan berdasarkan tingkat risiko dari masing masing elemen. [5]. SCE meliputi berbagai struktur, peralatan, sistem, subsistem, atau komponen yang mana jika mengalami kegagalan akan berkontribusi sebagai penyebab dasar *Major Accident Event* yang dianggap penting untuk keselamatan dan keutuhan suatu bangunan, *Performance Standard* adalah suatu ketentuan terhadap setiap SCE yang dinyatakan secara kualitatif atau kuantitatif sebagai syarat performansinya [6]

Mooring System diperlukan untuk memberikan stabilitas seperti itu terhadap dinamika kapal yang mengkompensasi gangguan yang bervariasi [7]. *Life Extension* dari Sistem Tambat memiliki tujuan utama yaitu layanan berkelanjutan melalui Manajemen Integritas, salah satu faktor yang mendorong dalam perpanjangan hidup (*Life Extension*) yaitu dengan cara meningkatkan produksi dan meminimalkan biaya yang dikeluarkan [8]

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui bahaya kecelakaan besar yang terjadi
2. Mengetahui bahwa Sistem Tambat (*Mooring System*) pada komponen jangkar dapat dikategorikan sebagai *Safety Critical Element* (SCE)
3. Memastikan bahwa Sistem Tambat (*Mooring System*) pada komponen jangkar sudah sesuai dengan kaidah *Safety Critical Element* (SCE) yang efektif.
4. Dapat memastikan bahwa Sistem Tambat (*Mooring System*) pada komponen jangkar bekerja sesuai dengan *code* dan *standard*
5. Dapat membuat skema verifikasi pada Sistem Tambat (*Mooring System*) pada komponen jangkar yang sesuai dengan kaidah *Safety Critical Element* (SCE)

II. METODE

A. Objek Penelitian

Objek dari penelitian ini adalah Sistem Tambat (*Mooring System pada jangkar*).

B. Langkah – langkah Penelitian

Beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk menyelesaikan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Rincian tahapan disajikan sebagai berikut:

1) Identifikasi Masalah

Langkah awal yang harus peneliti lakukan adalah mengidentifikasi masalah yang terjadi di Sistem Tambat (*Mooring System*) pada komponen jangkar dan bagaimana cara menyelesaikan masalah yang terjadi Sistem Tambat (*Mooring System*) pada komponen jangkar.

2) Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk menentukan parameter yang diperlukan dalam melakukan proses penelitian dengan menggunakan SCE.

3) Pengumpulan Data

Penelitian ini mengembangkan PS, kriteria dan skema verifikasinya berdasarkan kode dan standar yang sesuai dengan sistem pada komponen jangkar. Data penelitian yang dikumpulkan berupa data perusahaan, data kajian studi terdahulu, dan standar yang berlaku pada perusahaan serta wawancara terhadap ahli.

4) Identifikasi Sistem

Pada tahapan ini ada beberapa langkah dalam mengurai sistem tambat pada kompenen jangkar, yaitu:

- Pengidentifikasian MAH dan risiko pada proses pengilangan minyak dan gas.
- Penentuan elemen/peralatan yang dikategorikan sebagai SCE
- Perhitungan sistem tambat pada komponen jangkar berdasarkan nilai kritis
- Pemilihan kriteria sistem tambat pada jangkar sesuai dengan kode dan standar yang berlaku

5) Penyusunan Kriteria Performance Standard (PS)

PS disusun berdasarkan kriteria Sistem Tambat pada komponen jangkar yang benar, dengan menggunakan parameter FARSI. Kriteria fungsi didapat dari kegunaan Sistem Tambat pada komponen jangkar baik secara umum maupun secara *safety*, keefektifan. SCE dimulai dengan melakukan identifikasi risiko dari MAH *register* kemudian melakukan proses menghitung tingkat *criticality* dari setiap aset yang diteliti. Selanjutnya membuat PS berisi tentang kemampuan dari suatu sistem yang terdiri dari beberapa kategori, 1. Fungsi, 2. Keandalan/ketersediaan, 3. *Survivability*, 4. Interaksi dan sistem yang mempengaruhi

6) *Pengembangan Skema Verifikasi Safety Critical Element (SCE)*

Skema verifikasi Sistem Tambat pada Jangkar dikembangkan dari kriteria PS. Kriteria PS dijawab dan dipenuhi dalam bentuk rencana dan tindakan yang memastikan Perlindungan korosi berjalan dengan baik. Skema verifikasi SCE terdiri dari 2 bagian, yaitu *assurance task* dan aktivitas verifikasi.

7) *Verifikasi Terhadap Skema yang Dibangun*

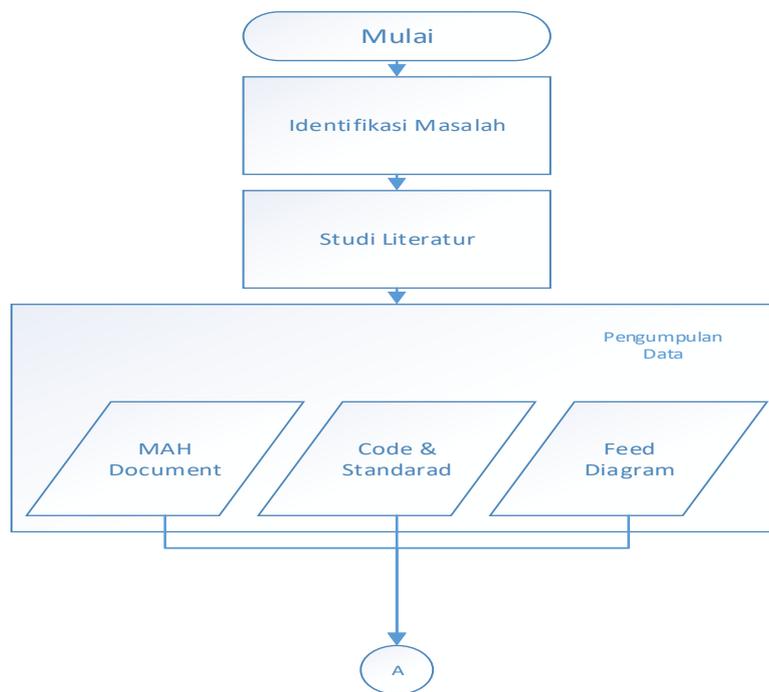
Proses verifikasi dilakukan untuk menilai dan menguji WVS/skema verifikasi SCE.

8) *Remediasi*

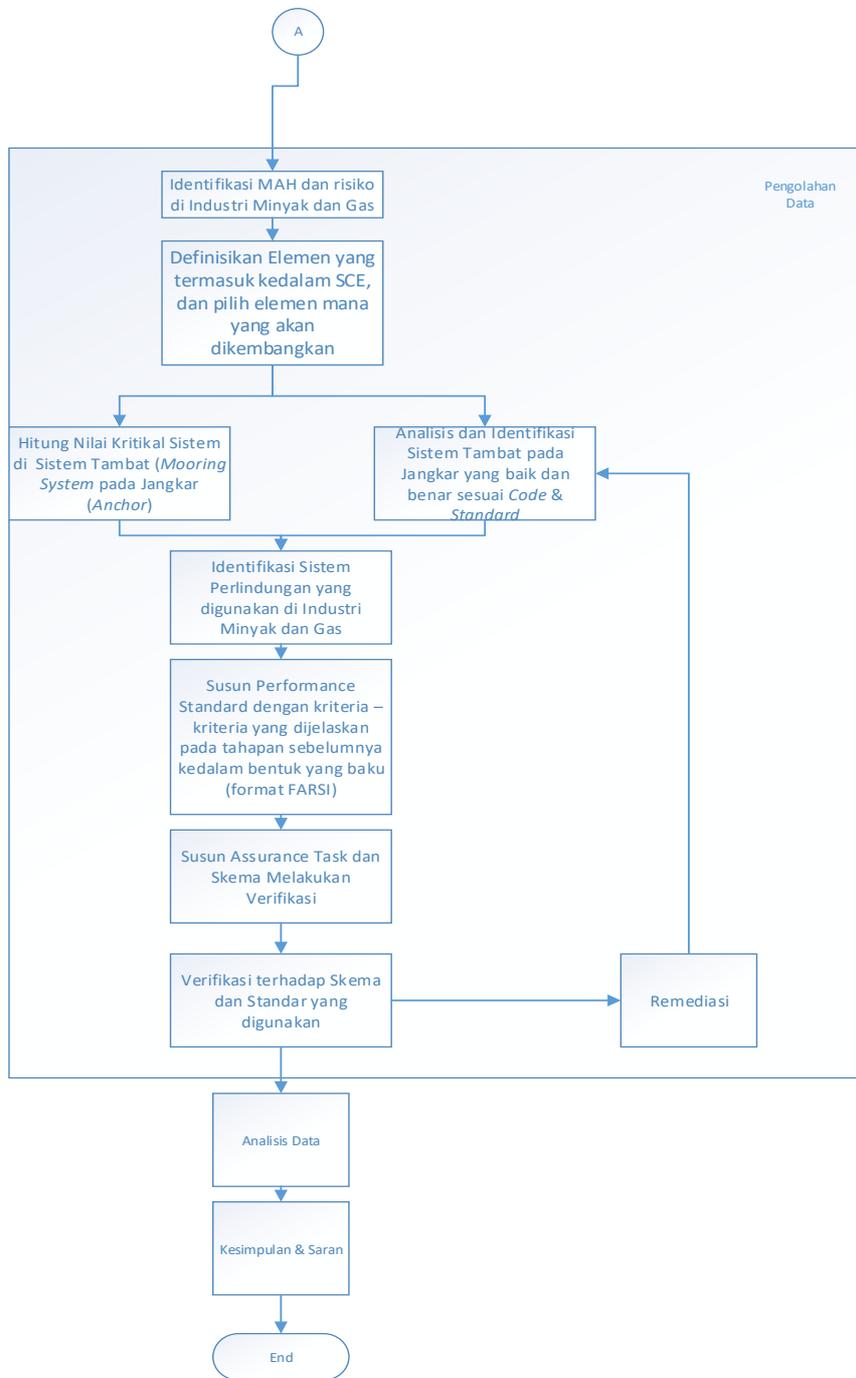
Remediasi digunakan untuk menjembatani skema yang sudah dibuat dengan pengetahuan dari operator.

9) *Analisis Skema Verifikasi*

Skema verifikasi di analisis dengan menggunakan kriteria *Acceptance*. Kriteria *acceptance* merupakan bagian dari parameter yang digunakan dalam menilai skema yang dikembangkan, yaitu *life extension* dan *AIMS acceptance*. Diagram Alur Penelitian atau *flow chart* Penelitian yang dilaksanakan terdapat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Flowchart Penelitian



Gambar 2. Flowchart Penelitian Lanjutan

III. HASIL

A. *Major Accident Hazard (MAH)*

MAH merupakan bagian dari proses yang perlu dikendalikan. Pada Sistem Tambat terdapat kegiatan yang tergolong sebagai *Major Accident* (Kecelakaan Besar) yaitu peralatan peanahan yang rusak pada sistem tambat . Pada Sistem Tambat akibat dari kecelakaan besar (*major accident*) terdiri dari 11 akibat dari bahaya kecelakaan besar yang terjadi pada Sistem Tambat (*Mooring System*). Adapun akibat dari bahaya kecelakaan besar pada sistem tambat dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1 Akibat dari Bahaya Kecelakaan Besar (*Major Accident Hazard*) pada Sistem Tambat (*Mooring System*)

No	Kategori MAH	Jumlah
1	Personnel Injury	18
2	Equipment Damage	17
3	Oil Pollution	5
4	Collision /Allision	13
5	Grounding	12
6	Windlass / Hydraulic motor failure	1
7	Delays / commercial impact	1
8	Transport of unwanted marine organisms	1
9	property damage	1
10	Hydraulic Oil Pollution	1
11	Fire / Explosion if combined with flammable gases	1

B. *Penentuan Sistem Tambat (Mooring System) sebagai SCE*

Tingkat kritis (*criticality*) elemen digunakan sebagai penentu Sistem Tambat (*Mooring System*) sebagai SCE. Perhitungan *criticality* menggunakan 3 variabel (*energy institute, 2019*) yaitu: *functional role* (peran fungsi, manajemen keselamatan), *Consequence of failure* (tingkat keparahan) dan *Redundancy score* (ketersediaan cadangan). Pada Sistem Tambat terdapat 22 kegiatan yang tergolong sebagai bahaya kecelakaan baik tingkat rendah, sedang , dan Tinggi Penjelasan mengenai Nilai Kritis dari kecelakaan Besar (*Major Accident*) dijelaskan pada tabel 2

Tabel 2 Tingkat Kritis Sistem Tambat

No	Hazard	Fungsi (Fn)	Consequence of failure (Cq)	Redundancy (Rn)	Score			SCE criticality score	SCE critical rank
					Fn	Cq	R		
1	Prosedur tidak pada tempatnya / tidak mengikuti prosedur	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
2	Perencanaan yang tidak memadai	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
3	Penahan di pelabuhan yang padat	<i>Prevention</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	4	2	2	16	<i>Medium</i>
4	Peralatan penahan yang rusak	<i>Prevention</i>	<i>Catastropic</i>	<i>No other SCE that duplicates the full functionality of the failed/unavailable SCE</i>	4	3	3	36	<i>High</i>
5	Ketegangan / Kekuatan yang melebihi batas operasional yang aman dari peralatan	<i>Detection</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	3	2	2	12	<i>Medium</i>
6	Operasi mesin kerek yang tidak tepat	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
7	Pemantauan kabel jangkar yang tidak memadai	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
8	Kondisi cuaca laut saat ini buruk	<i>Detection</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	3	2	2	12	<i>Medium</i>
9	Dasar laut berbatu / berbahaya	<i>Detection</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	3	2	2	12	<i>Medium</i>
10	Tidak dapat mengambil jangkar	<i>Emergency respon & Saving life</i>	<i>Moderate</i>	<i>An alternative SCE can provide full functionality of the failed/unavailable SCE</i>	1	1	1	1	<i>Low</i>
11	Menimbang jangkar dalam visibilitas yang berkurang / lalu lintas padat	<i>Prevention</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	4	2	2	16	<i>Medium</i>
12	Tergelincir / Trips / Jatuh	<i>Emergency respon & Saving life</i>	<i>Moderate</i>	<i>An alternative SCE can provide full functionality of the failed/unavailable SCE</i>	1	1	1	1	<i>Low</i>
13	Kotoran / partikel karat / puing-puing terlempar, percikan api / benda tajam	<i>Emergency respon & Saving life</i>	<i>Moderate</i>	<i>An alternative SCE can provide full functionality of the failed/unavailable SCE</i>	1	1	1	1	<i>Low</i>
14	Supervisi komunikasi yang tidak memadai	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
15	Pencahayaan tidak memadai	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
16	Transportasi organisme laut yang tidak diinginkan	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
17	Beban Kerja Tinggi / Kelelahan / Kesalahan Manusia	<i>Detection</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	3	2	2	12	<i>Medium</i>
18	Kegagalan peralatan (pendingin air hidrolik)	<i>Detection</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	3	2	2	12	<i>Medium</i>
19	Kerusakan rem / Pelepasan jangkar yang tidak terkendali	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
20	Percikan api dari gesekan antara kabel / mesin kerek	<i>Detection</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	3	2	2	12	<i>Medium</i>
21	Menarik jangkar	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
22	Jangkar tertahan di posisi penyimpanan	<i>Prevention</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	4	2	2	16	<i>Medium</i>

C. *Performance Standard (PS) Sistem Tambat pada Jangkar*

PS SCE Sistem Tambat (*Mooring System*) dibuat dengan menggunakan parameter FARSI, antara lain:

1) *Functionality*

Terdapat 3 bagian penting *functionality* yaitu kegunaan, kapasitas dan keefektifan Sistem Tambat (*Mooring System*). Selanjutnya untuk Fungsi utama Sistem Tambat (*Mooring System*) pada jangkar diuraikan menjadi empat fungsi turunan. Adapun fungsi turunan Sistem Tambat adalah sebagai berikut:

- Untuk menyediakan struktur jangkar dan alat tambahan dengan kekuatan yang cukup untuk menahan beban maksimum
- Untuk memberikan jaminan integritas tambat lokasi tertentu
- Untuk menyediakan tali tambat yang fleksibel dengan beban kerja yang aman setidaknya sama dengan pembebanan yang dihitung maksimum dalam semua cuaca desain kondisi.
- Untuk menyediakan kaca depan yang mampu memberikan tegangan pada sistem tambat hingga tegangan desain maksimum untuk cuaca buruk

2) *Availability /Reliability*

Kriteria utama yang ada pada bagian *Availability dan reliability* berupa:

- *Availability*
- *Reliability*
- *Integrity*

Pada tahapan ini sistem tambati akan diurai berdasarkan elemen/komponen penyusun utama sistem. Dari elemen komponen tersebut digali *requirement* yang dibutuhkan berkenaan dengan *Availability, Reliability, Integrity*. PS pada parameter *Availability, Reliability* tersusun dari empat komponen utama, yaitu:

- Sistem pondasi tambatan permanen
- *Mechanical, electrical, and hydraulic systems*
- Struktur yang mendukung peralatan penahan, *fairleads* dan *winch*
- *Positioning/ Towing Systems*

Setiap komponen dilengkapi kebutuhan dan persyaratan dari ketiga kriteria *availability, reliability* dan *integrity*.

3) *Survivability*

Kriteria utama dalam *survivability* berupa:

- Korosi
- *Fatigue*
- Adanya Induksi saat ini
- *Rig Founders/ Capsizes* – Cuaca Parah

4) *Interaction*

Pada *interaction*, di tentukan elemen perlindungan atau SCE yang memiliki hubungan dengan sistem tambat (*Mooring System*) pada jangkar. Selanjutnya dalam hubungan tersebut ditentukan alasan, peran dan keterkaitan antara SCE dengan sistem tambat.

D. *Assurance Task*

Assurance Task yang dikembangkan adalah susunan tindakan yang bertujuan untuk menilai dan memastikan sistem tambat berjalan sesuai dengan ketentuan. *Holder / User* melengkapi tindakan yang diperlukan untuk memenuhi kriteria dalam PS Sistem tambat. Parameter dari FARSI dikombinasikan dengan pendekatan AIMS dan *Life Extension*. Pendekatan AIMS menekankan kepada komponen sistem unit pengilangan untuk dapat saling terhubung dengan baik. Kriteria yang perlu dicapai di dalam AIMS

agar dikatakan baik antara lain sesuai dengan *American Buerau of Shipping (ABS) Guidance Notes On Mooring Integrity Management*:

- 1) *System Description of Mooring System*,
- 2) *Assessment of Mooring System*
- 3) *Control Measure of Mooring System*
- 4) *Inspection Plan and Strategy of Mooring System*

Life extension adalah bagian dari proses Mooring Integrity Management (MIM). Fokusnya adalah pada layanan berkelanjutan melalui manajemen integritas. Penilaian kondisi dasar, sesuai dengan Catatan yang harus dilakukan.

E. Skema Verifikasi

Skema verifikasi yang dihasilkan berupa tahapan dalam pengembangan dan verifikasi SCE untuk sistem tambat dengan menggunakan pendekatan AIMS dan *life extension* Kegiatan dan aktivitas skema verifikasi dibentuk dalam format *assurance task*, aktivitas verifikasi (*plan*) dan metode pengambilan sampel.

IV. PEMBAHASAN

A. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengembangan PS dan skema verifikasi SCE, penentuan penggunaan kode dan standar mengacu pada kebutuhan dan persyaratan sistem tambat pada jangkar. Metode dalam *assurance task* seperti *System Description of Mooring System*, *Assessment of Mooring System*, *Control Measure of Mooring System*, dan *Inspection Plan and Strategy of Mooring System*

Assessment of Mooring System mengikuti kebijakan perusahaan. Hasilnya semua alternatif sesuai dengan kriteria yang perusahaan inginkan. Alternatif – alternative tersebut sejalan dengan Standard yang meliputi API RP 2I, API RP 2SK, ISO 19901-7, dan OCIMF-MEG3 2008 yang dilakukan dalam rangka memastikan *assurance task* yang dilakukan telah terpenuhi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian [7], yang menjelaskan tahapan-tahapan SCE yang memastikan perlindungan dapat terpasang sesuai dengan ketentuan. Perbedaan dengan penelitian [7] adalah pada penggunaan pendekatan *life extension* dan melakukan pengembangan SCE untuk tujuan AIMS.

B. Rekomendasi Outcome

Berdasarkan hasil yang didapat, beberapa rekomendasi yang perlu dipertimbangkan, antara lain:

- 1) Proses *update* perlu dilakukan secara terus menerus, mengingat bahwa sistem tambat pada jangkar memiliki perkembangan yang secara signifikan. Pada tahapan ini juga memerlukan kode dan standar yang berlaku.
- 2) Proses perubahan pada spesifikasi harus dipertimbangkan dengan keamanan proses. Serta dokumen perubahan sangat perlu dilengkapi.
- 3) Personel penanggung jawab SCE dan verifikasi perlu dipersiapkan dengan kompetensi tentang proses dan *safety*.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Kecelakaan besar terjadi akibat kombinasi MAH, Kerusakan/kegagalan elemen dan *human error*. Akibat dari Bahaya Kecelakaan Besar maka akan menyebabkan 11 kejadian yaitu *Personnel Injury, Equipment Damage, Oil Pollution, Grounding, Windlass / Hydraulic motor failure, Delays / commercial impact, Transport of unwanted marine organisms, property damage, Hydraulic Oil Pollution*, dan *Fire / Explosion if combined with flammable gases*
- 2) Sistem Tambat pada jangkar merupakan SCE dengan menghitung nilai kritis, data kecelakaan, luas lingkup dan tingkat kerumitan sistem.
- 3) Kriteria PS harus dirancang berdasarkan standar API, ISO, dan OCIMF dan harus dapat diterjemahkan dalam aktivitas yang dapat dipercaya dan memungkinkan diverifikasi.
- 4) *Assurance task* yang dikembangkan menggunakan standar dan kode yang berlaku menjawab kebutuhan yang dikembangkan pada kriteria PS. Pendekatan *life extension* dan *AIMS* dikombinasikan dan disesuaikan dengan arah kebijakan perusahaan.
- 5) Skema verifikasi yang dibuat merupakan tahapan yang memiliki ide dalam penerapan SCE dengan tujuan tertentu. Penambahan kriteria *life extension* dan *AIMS* yang diikuti dengan aktivitas verifikasi. Aktivitas verifikasi berupa *Inspection, monitoring, Re Design*, dan *Maintenace*.

B. Saran

Beberapa saran dari peneliti untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- 1) Penentuan hirarki dari kode, standar dan spesifikasi perlu dimediasi terhadap *Holder*, serta mengevaluasi berdasarkan keadaan yang terjadi pada pengilangan minyak dan gas.
- 2) Kriteria pada PS dapat secara rutin diperbaharui minimal 5 tahun.
- 3) Perlu ditunjuk personel dalam menilai dan mengevaluasi SCE yang memiliki pemahaman dalam regulasi, teknik dan proses.

REFERENSI

- [1]. Sharp. (2018). 'A FRAMEWORK FOR THE MANAGEMENT OF AGEING OF SAFETY CRITICAL ELEMENTS OFFSHORE', pp. 1–13.
- [2]. Pertamina.(2019). 'Major Accident Hazards (MAH) Report.
- [3]. The Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP). (2019). 'Identification of Safety Critical Equipment (SCE). The Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP)', (March).
- [4]. DNV GL. (2014). *Challenging Climates :The Outlook for the oil and gas industry in 2014*. Norway:
- [5]. Yessekeyeva. (2014). 'Performance Standards for Environmentally Critical Elements', (March), pp. 17–19 **Standard:**
- [6]. Tremblay. (2007). 'Risk Based Classification of Offshore Production Systems', *ABS TECHNICAL PAPERS*, pp. 53–59.
- [7]. Duta,R., & Mahdi,M. (2014). *Best Practices in Asset Integrity Management System.International Petroleum Technology Conference*. Doha, Qatar: *International Petroleum Technology Conference*
- [8]. NAM. (2018). *Verification Scheme Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.*

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan YME atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan artikel ini dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

- 1) Orang tua tercinta, Ibu Widiyastuti Sri Wiryanti dan Bapak Djaka Nugraha yang telah banyak mendukung dari segi doa dan materi untuk keberhasilan penulis.
- 2) Bapak Andi Rahadiyan Wijaya, S.T., M.Sc., Lic., Ph.D., selaku pembimbing akademik dan pembimbing tesis.
- 3) Bapak Prof. M.Noer Iman, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- 4) Bapak Muhammad Kusumawan Herliansyah, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Industri, Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
- 5) Bapak Agung Nugroho dan tim *Reliability* yang membantu dan membimbing pengambilan data.
- 6) Kakak Eka, Abid, Sony, Bayu sebagai tim yang menyusun dan mengumpulkan data.
- 7) Segenap Dosen dan Karyawan Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- 8) Orang Tua dan saudara, Sony Thomas S, Soni Febriga S, selaku keluarga yang tidak pernah berhenti mendukung, memberi semangat, dan mendoakan.
- 9) Teman-teman seperjuangan Magister Teknik Industri angkatan 2018 Ganjil (Yudha, Andita, Yunita, Nia, Monika, Miftah, Dian, Dira, Tika, Salsa, Hikmah, Rido, Nevia, Adi) yang membantu selama masa perkuliahan.