

Evaluasi Pengendalian Risiko pada Pengujian *Remotely Operated Vehicle* (ROV) dengan Metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP)

Chandra Putra, Nurul Ilmi, Taufiq Rahman

Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi Batam, Batam

Penulis Korespondensi: nurul@iteba.ac.id

Abstract

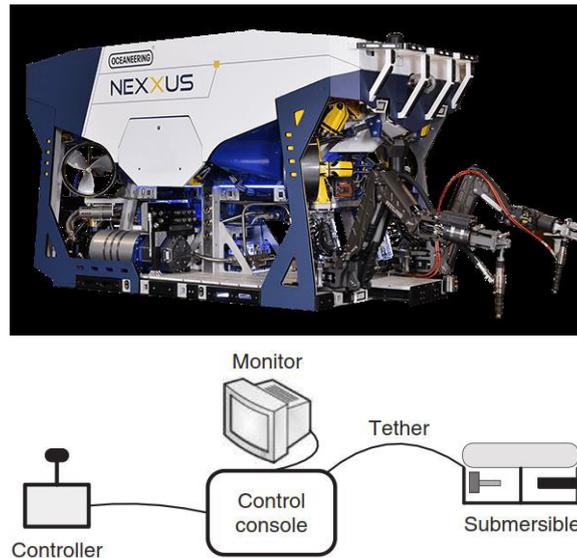
Remotely Operated Vehicle (ROV) merupakan teknologi bawah air untuk pekerjaan seperti investigasi, pengendalian dan pemeliharaan infrastruktur yang tidak dapat dijangkau oleh manusia. Industri minyak dan gas lepas pantai menggunakan ROV untuk pengerjaan pengeboran dan layanan konstruksi bawah laut. *Oceaneering Internasional Incorporated* dengan fokus utama pada industri minyak dan gas dituntut untuk memastikan ROV yang dikirim ke bawah laut berfungsi dengan baik dan sesuai standar yang telah ditetapkan oleh pengguna jasa. Pada pengujian ROV teridentifikasi pengujian ROV dengan tingkat risiko rendah hingga ekstrim. Penelitian ini menggunakan Metode HAZOP untuk mempelajari pengujian ROV dari aspek operasional kemudian melakukan identifikasi bahaya dan mengkategorikan bahaya berdasarkan hazard wheel. Melalui metode ini juga dapat menentukan tingkat risiko serta memberikan rekomendasi pengendalian risiko berbasis hirarki kontrol. Hasil penelitian ini diketahui persamaan kategori bahaya berbasis hazard wheel dengan pengujian saat ini dan data insiden hingga kecelakaan kerja selama 5 tahun terakhir dengan kategori bahaya gravity yang paling mendominasi. Berdasarkan penilaian risiko pada pengujian ROV, didapati pekerjaan dengan risiko sedang memiliki presentase 28 persen, risiko tinggi 25 persen, risiko rendah 25 persen dan ekstrim 22 persen. Rekomendasi pengendalian risiko agar dapat diterapkan untuk mengurangi potensi bahaya.

Kata kunci: *Remotely Operated Vehicle*, Hazop, Pengendalian risiko

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi bawah laut telah mendorong studi lautan yang semakin komprehensif dan eksplorasi ke kedalaman lautan yang sebelumnya masih di luar jangkauan manusia. Industri perminyakan dan gas serta energi terbarukan menggunakan teknologi bawah air untuk pengamatan, kontrol, dan pemeliharaan infrastruktur di lokasi yang tidak terjangkau bagi ilmuwan kelautan. Aktivitas-aktivitas tersebut semakin banyak menggunakan robot yang dioperasikan dari jarak jauh atau biasa disebut *Remotely Operated Vehicle* (ROV) [1]. Christ dan Wernli Sr [2] mendefinisikan bahwa secara sederhana ROV adalah kamera yang dipasang di selungkup kedap air, dengan pendorong untuk bermanuver, dipasang pada kabel ke permukaan tempat sinyal video ditransmisikan. ROV dikendalikan melalui personil atau sistem jarak jauh dan terhubung dengan stasiun pangkalan atau kapal oleh *umbilical* yang memasok daya dan konektivitas sinyal data. ROV dikategorikan ke dalam kendaraan kelas inspeksi dan kelas intervensi [3]. Kelas intervensi biasanya memiliki massa yang besar (200 kg–5.000 kg) dan dapat beroperasi di perairan yang sangat dalam (hingga 6.000 m) tetapi memerlukan biaya yang tinggi.

Pengujian ROV dilakukan untuk memastikan bahwa ROV dapat beroperasi dengan baik dan telah teruji sesuai dengan kriteria misi yang akan dilakukan nantinya pada saat operasi. Pengujian ROV akan dilakukan secara bertahap, dari pengujian pada komponennya hingga pengujian dengan *function test* secara keseluruhan. Adapun pengujian ROV yaitu menguji kualitas *fiber optic* yang ada pada ROV menggunakan OTDR (*Optical Domain Reflecto Meter*), menguji kesehatan tether ROV dengan melakukan *Insulation Test*, menguji kesehatan *umbilical* ROV dengan melakukan *Insulation Test*, dan melakukan *High Voltage Test* pada *Electric motor* ROV. Gambar 1 merupakan ROV dan komponen sistem dasar ROV:



Gambar 1. ROV dan komponen sistem dasar ROV

Industri ROV membutuhkan standar dan prosedur keselamatan yang relevan untuk diterapkan di industri intervensi bawah laut yang berkembang pesat, dimana tingkat toleransi risiko kendaraan dan persyaratan keselamatan terkait ditentukan oleh misi ROV [4]. Oleh karena itu, penilaian berbasis risiko diperlukan untuk memastikan kepercayaan dalam penggunaan ROV untuk operasi tertentu. Selain itu pengujian ROV yang dilakukan sebelum operasi yang sebenarnya di perairan juga menjadi kunci penting dalam memastikan bahwa setiap fungsi yang ada pada ROV tersebut telah berjalan dengan baik. Meskipun teknologi ROV telah banyak digunakan namun untuk saat ini referensi penilaian keselamatan pada pengujian ROV salah satunya memiliki tingkat ketidakpastian yang tinggi karena tidak cukupnya pelaporan data kecelakaan dan kegagalan yang telah menjadi perhatian utama untuk pendukung keputusan terkait risiko.

Pengujian ROV terdiri dari beberapa tahap pekerjaan dengan kompleksitas yang tinggi dan tingkat bahaya yang tergolong dari *low* hingga *high hazard*. Oceaneering pada laporan *safety bulletins* melaporkan terdapat 29 insiden dan kecelakaan kerja yang berhubungan dengan divisi ROV sepanjang tahun 2018 hingga kuartal IV 2022. Tingkat bahaya pada pekerjaan yang berhubungan dengan ROV mengharuskan personil mempertimbangkan proses pemasangan ROV, lokasi, struktur *deck*, daya kelistrikan, dan aspek keselamatan pengoperasian termasuk pengujiannya [2]. Gambar 2 merupakan data insiden divisi ROV yang menunjukkan angka kecelakaan tertinggi pada tahun 2020 serta angka kecelakaan terendah terjadi pada tahun 2018 dan 2022.



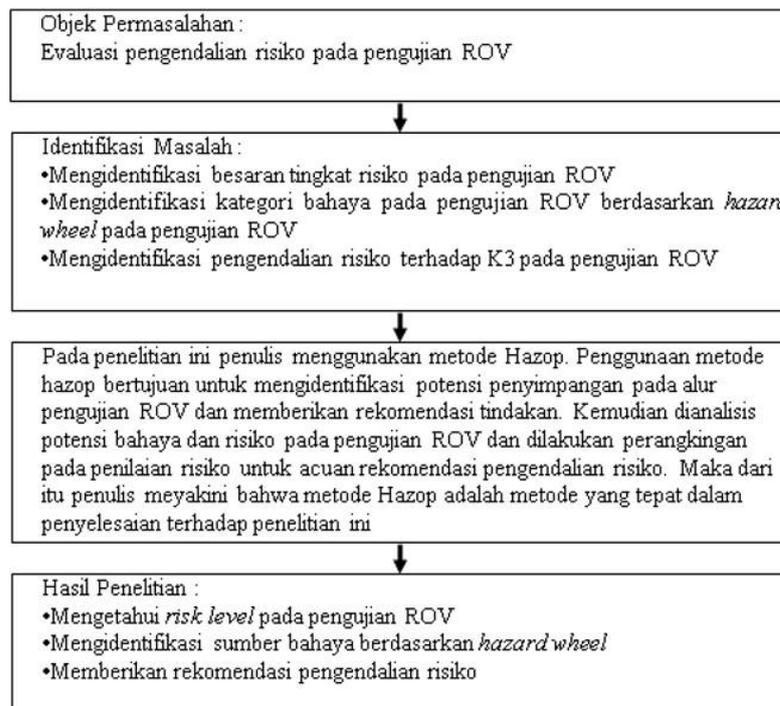
Gambar 2. Data insiden divisi ROV

Oleh karena itu penilaian dan pengendalian berbasis risiko diperlukan untuk memastikan kepercayaan dalam pengoperasian ROV. Metode yang digunakan adalah metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP). *Hazard and Operability* (HAZOP) adalah studi pemeriksaan terstruktur dan sistematis dari proses atau operasi yang direncanakan atau yang sudah ada untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi masalah yang mungkin

menimbulkan risiko bagi personel atau peralatan, atau mencegah operasi yang efisien [5]. Metodologi HAZOP dianggap sebagai salah satu metodologi yang paling efektif untuk analisis risiko dan dikembangkan secara fundamental untuk menyediakan proses reguler dengan pengurangan risiko yang bertujuan untuk menjamin keselamatan kegiatan dan pengoperasian unit produksi [6]. Terdapat penelitian yang menggunakan HAZOP untuk studi bahaya dan pengoperasian lapangan eksplorasi gas di Pakistan. Hasilnya diketahui dari 14 risiko yang diidentifikasi terdapat 1 risiko yang tidak dapat diterima, 3 risiko tidak diinginkan, kemudian sisa yang lain dapat diterima dengan kontrol. Hasil studi juga mengungkapkan penyimpangan yang terjadi pada pipa aliran gas masuk yang menyebabkan pembangkit mati dan meningkatkan waktu henti produksi [7].

2. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan adalah menggunakan penelitian deskriptif. Penelitian ini menggambarkan sejumlah data yang kemudian dianalisis dan dibandingkan berdasarkan kenyataan yang sedang berlangsung. Selanjutnya dari data yang telah dianalisis akan dibuat pemecahan masalah yang ada. Penelitian ini menggunakan metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP). Objek penelitian adalah proses pengujian pada ROV di bawah laut. Adapun kerangka pemikiran pada penelitian ini dijelaskan pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Kerangka pemikiran penelitian

2.1 Identifikasi Potensi Bahaya

Identifikasi potensi bahaya yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan mengamati langsung proses pengujian ROV. Pada saat observasi lapangan penulis mencatat setiap potensi kecelakaan kerja pada setiap langkah pada pengujian ROV. Adapun hasil observasi lapangan dituangkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Identifikasi potensi bahaya pada pengujian ROV

Pengujian	Dokumentasi	Potensi Bahaya
Pengujian kualitas <i>fiber optic</i> pada ROV menggunakan OTDR		<ul style="list-style-type: none"> • Kerusakan mata hingga kebutaan akibat <i>laser</i> dari OTDR • OTDR terjatuh saat dioperasikan dan mengenai bagian tubuh • <i>Operator</i> terjatuh dari ketinggian • Tersengat listrik diakibatkan oleh kelalaian <i>operator</i>
Pengujian Kesehatan <i>tether</i> ROV dengan <i>insulation test</i>		<ul style="list-style-type: none"> • Tersayat tang potong ataupun kabel • <i>Operator</i> terjatuh dari ketinggian • Tersengat listrik <i>insulation tester</i>
Pengujian Kesehatan <i>umbilical</i> ROV dengan <i>insulation test</i>		<ul style="list-style-type: none"> • Tersayat tang potong ataupun kabel • <i>Operator</i> terjatuh dari ketinggian • Tersengat listrik <i>insulation tester</i>
Pelaksanaan <i>high voltage test</i> pada motor listrik ROV		<ul style="list-style-type: none"> • Kebisingan dari <i>pump</i> yang sedang beroperasi • Kebocoran pada aliran hidrolik ROV bertekanan tinggi
Pelaksanaan <i>Fire up</i> ROV dan pemberian <i>command</i> pada <i>thrusters</i> ROV serta pelaksanaan visual inspeksi pada alur hidrolik ROV untuk memastikan tidak adanya kebocoran.		<ul style="list-style-type: none"> • Kebisingan dari <i>pump</i> yang sedang beroperasi • Kebocoran pada aliran hidrolik ROV • Tersengat listrik
Pelaksanaan uji fungsi (<i>function test</i>) pada <i>manipulators</i> untuk memastikan mekanikal dan hidrolik <i>manipulator</i> dalam kondisi baik.		<ul style="list-style-type: none"> • Kebisingan dari <i>pump</i> yang sedang beroperasi • Kebocoran pada aliran hidrolik ROV • Tersengat listrik

<p>Pelaksanaan uji fungsi pada <i>sensor sensor</i> ROV untuk memastikan <i>sensor</i> tersebut dalam kondisi operasional.</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Tersengat listrik • Letupan yang menciderai tangan atau anggota tubuh lainnya
<p>Pelaksanaan <i>Wet Test</i> pada ROV dengan uji selam minimal 12 jam (standar <i>Oceaneering</i>) untuk memastikan tidak ada kendalanya ROV saat beroperasi di dalam air</p>		<ul style="list-style-type: none"> • ROV terjatuh pada saat pengangkatan dari <i>deck</i> ke <i>wet test tank</i> • Tersengat listrik • Aliran hidrolik bocor • Cuaca panas ekstrim

2.2 Data Insiden dan Kecelakaan Kerja Berdasarkan *Hazard Wheel*

Hazard wheel merupakan alat yang digunakan untuk mengidentifikasi 10 sumber energi dan mengendalikan bahaya yang terkait dengan setiap bentuk energi [8]. Menurut Stantec Inc., tahun 2020, *hazard wheel* terdiri dari:

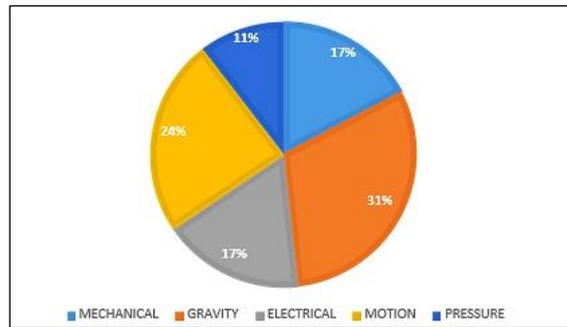
1. *Gravity* yaitu gaya yang menarik massa benda ke arah bumi. Contoh dari *Gravity* adalah benda jatuh, struktur runtuh, terpeleset, dan tersandung
2. *Mechanical* yaitu rotasi, getaran, atau gerakan peralatan, mesin, bahan, atau alat. Contoh dari *Mechanical* adalah peralatan berputar (puli, poros penggerak), perkakas perkusi (pemutus *paving*), perkakas tangan bertenaga, pegas tekan, sabuk penggerak, konveyor, dan *motor*.
3. *Motion* yaitu perubahan posisi benda atau zat. Contoh dari *motion* adalah kendaraan (mobil, truk, segala medan, amfibi, perahu, mobil salju, sepeda, transit, peralatan bergerak, trailer), pekerja dan orang lain (mengangkat, mendorong, menarik, membawa, penggunaan perkakas tangan dan listrik, posisi tubuh, berjalan), air mengalir, cabang-cabang pohon bermunculan
4. *Sound* yaitu suara yang tidak diinginkan atau mengganggu pendengaran. Contoh dari *sound* adalah peralatan stasioner atau bergerak, dampak kebisingan, pelepasan tekanan tinggi, dampak kebisingan pada komunikasi.
5. *Pressure* yaitu gaya per satuan luas yang diberikan oleh gas, cair, atau padat. Contoh dari *pressure* adalah perpipaan dan perpipaan bertekanan, silinder terkompresi (pemadam api, gas kalibrasi, propana), jalur kontrol, bejana, tangki, selang, peralatan pneumatik dan hidrolik.
6. *Radiation* yaitu pelepasan radiasi pengion, termasuk alfa, beta, dan radiasi gamma. Contoh dari *radiation* adalah pengelasan, bahan radioaktif alami, sinar-x, densometer nuklir, *laser*, gelombang mikro, *ultraviolet*, limbah dan sumber radioaktif.
7. *Temperature* yaitu suhu benda atau lingkungan (panas atau dingin). Contoh dari *thermal* adalah: nyala api terbuka, sumber pengapian listrik (termasuk telepondan gesekan), permukaan panas atau dingin, cairan atau gas, kondisi cuaca termasuk tingkat kelembapan, angin, matahari, salju, dan es.
8. *Biological* yaitu organisme hidup yang menimbulkan bahaya kesehatan, keselamatan, atau keamanan. Contoh dari *biological* adalah hewan, bakteri, virus, serangga, patogen yang ditularkan melalui darah (jarum), tanaman beracun dan berbahaya, air yang terkontaminasi, perilaku manusia (pengunjukrasa, warga yang penasaran, penonton)
9. *Chemical* yaitu paparan bahan kimia atau reaksi kimia di lingkungan atau tempat kerja. Contoh dari *chemical* adalah uap yang mudah terbakar, zat reaktif, karsinogen atau senyawa beracun lainnya, korosif, piroforik, mudah terbakar, atmosfer kekurangan oksigen, asap, debu, gas alami.
10. *Electrical* yaitu paparan dan aliran muatan atau arus listrik. Contoh dari *electrical* adalah saluran listrik dan komunikasi, muatan statis, petir, peralatan berenergi, kabel, baterai, pemutus sirkuit gangguan tanah (GFCI), kabel dan colokan, tingkat pencahayaan, alat berinsulasi ganda di lingkungan basah

Adapun data insiden dan kecelakaan kerja yang terjadi selama 5 tahun terakhir (2018 – 2022) dijelaskan dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data Insiden dan Kecelakaan ROV

No	Waktu Insiden & Kecelakaan Kerja	Insiden & Kecelakaan Kerja	Kategori
1	05 April 2022	Tali terputus dan menyebabkan <i>shackle</i> terlepas dengan <i>funnel guide</i> sejauh 3-4 feet ke arah teknisi	Gravity
2	13 Februari 2022	Penggunaan peralatan kerja yang tidak sesuai mengakibatkan tangan teknisi tersayat saat melakukan pengupasan jaket kabel	Mechanical
3	8 Februari 2022	<i>Socket sling</i> berbobot 10 kg terjatuh didekat <i>surveyor</i> dari ketinggian 9.75 m saat dilakukan sebuah pengangkatan	Gravity
4	11 Januari 2022	<i>Umbilical</i> yang terlalu kendur telah mengakibatkan <i>umbilical</i> terlempar keluar dari <i>traction winch</i> dan <i>umbilical</i> pun terputus	Mechanical
5	18 November 2021	Tidak terdapat tangga setelah pintu <i>emergency exit</i> pada sebuah <i>port cabin</i> yang memiliki ketinggian di atas 3 meter dari tanah	Gravity
6	28 September 2021	<i>Beacon</i> dan <i>clump weight</i> (Pemberat) mengalami <i>swing</i> dan menghantam <i>cage</i> yang mengakibatkan <i>clump weight</i> jatuh Kelaut	Gravity
7	1 Juli 2021	<i>Stub rail pin</i> terjatuh dari ketinggian 2 meter dan terpelanting	Gravity
8	4 Juni 2021	Teknisi mengalami jari terjepit hingga retak pada jari tengah dan jari manisnya disaat pengoperasian <i>Launch and Recovery ROV</i>	Mechanical
9	15 Maret 2021	Seorang teknisi terjatuh dari ketinggian 3 m saat melakukan <i>dismantle scaffolding</i>	Motion
10	14 Januari 2021	Seorang teknisi cidera karena posisi yang tidak ergonomis saat melakukan reterminasi <i>bullet ROV</i>	Motion
11	04 November 2020	<i>A-Frame</i> terpisah dan jatuh ke dock saat melakukan <i>load test</i> 19,500 lbs	Gravity
12	03 November 2020	Seorang <i>3rd party vendor</i> memanjat tanpa APD seperti <i>body harness</i> ke atas kontainer dengan tinggi 2.5 m untuk mengencangkan terpal yang kendur	Motion
13	17 Oktober 2020	<i>Hose</i> hidrolik <i>3rd party</i> tidak di inspeksi sebelum dilakukan pengujian pada <i>shear ramBOP</i> dengan <i>pressure</i> 3000 psi	Pressure
14	01 September 2020	<i>Running tool</i> terjatuh dari 370m ke <i>seabed</i> dekat dengan <i>subsea asset</i>	Gravity
15	29 Juli 2020	<i>Bullet ROV</i> berbobot 35 kg terjatuh sejauh 30 cm	Gravity
16	15 Juli 2020	Sebuah kabel 480V AC tidak terhubung dan terekspos di PDU (<i>Panel Distribution Unit</i>)	Electrical
17	07 Juli 2020	Tangan teknisi tersayat pisau pemotong kabel	Motion
18	09 Juni 2020	Pintu <i>container</i> aluminium yang berisikan <i>tools</i> terjatuh saat dibuka karena engsel yang patah dari <i>welding</i> nya	Mechanical
19	16 Januari 2020	Kabel listrik terekspos pada <i>explosion-proof box</i> yang mengakibatkan terjadinya percikan	Electrical
20	28 November 2019	Kabel <i>power</i> terhubung pada <i>breaker</i> di <i>junction box</i> dengan tegangan 690V AC dengan ujung kabel terekspos tanpa jaket atau pengaman	Electrical
21	11 Agustus 2019	Pemasangan <i>breaker</i> dengan <i>rating ampere</i> yang salah sehingga <i>system</i> tetap <i>down</i>	Electrical
22	26 Juni 2019	<i>Tubing</i> hidrolik ROV 1" terlepas saat dilakukan pengujian di <i>deck</i>	Pressure
23	08 April 2019	Jari terjepit saat melakukan pemindahan APU	Motion
24	11 Maret 2019	Baut <i>shackle sling</i> pecah dan terbang mengenai kaca jendela hingga pecah disaat melakukan pengangkatan E-ROV <i>Garage</i>	Mechanical
25	25 Januari 2019	<i>Tubing</i> hidrolik ROV 1" terlepas saat dilakukan pengujian di <i>deck</i>	Pressure
26	22 Desember 2018	Jari telunjuk teknisi di amputasi dikarenakan terjepit saat melakukan pemindahan motor ROV dengan bobot 181 kg.	Motion
27	28 November 2018	Teknisi terserut saat melakukan <i>troubleshooting</i> di <i>Panel Distribution Unit</i>	Electrical
28	07 November 2018	Teknisi terluka jarinya saat mencuci gelas karena pecahan gelas pada bagian bawah	Motion
29	09 Maret 2018	Teknisi tersandung kabel <i>headset</i> yang terletak di jalan	Motion

Semua insiden dan kecelakaan diatas jika dikelompokkan berdasarkan kategori *hazard wheel*, dapat dilihat pada gambar 4 bahwa kategori *gravity* memiliki insiden dan kecelakaan ROV tertinggi serta kategori memiliki insiden dan kecelakaan ROV terendah



Gambar 4. Kategori *hazard wheel* dari insiden dan kecelakaan ROV

2.3 Wawancara

Wawancara dilakukan pada penelitian ini guna untuk mendapatkan informasi perangkingan risiko seperti *likelihood* dan *consequences* pada tiap proses pengujian. Adapun wawancara dilakukan kepada HSE Manager APAC (Asia Pacific Region=Hasil wawancara dari pertanyaan hingga jawaban serta dokumentasi saat wawancara.

3. HASIL DAN ANALISA

Identifikasi dan pengendalian risiko pada pengujian ROV menggunakan metode HAZOP. Adapun tahapan yang dilakukan dengan metode HAZOP ialah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi urutan proses kerja
2. Mengobservasi dan mengidentifikasi bahaya dan risiko
3. Mendeskripsikan potensi bahaya dan risiko
4. Melakukan penilaian risiko dengan menilai *likelihood* dan *consequences*
5. Melakukan penilaian *risk level* pada *risk matrix* dari HAZOP *worksheet* yang didapat
6. Melakukan analisis dan tindakan pengamanan pada penyimpangan yang ada

3.1 Lembar Kerja HAZOP pada Pengujian ROV

Pada Tabel 3 dibawah ini digambarkan lembar kerja menggunakan HAZOP untuk setiap aktivitas pada pengujian ROV yaitu aktivitas ke 1 sampai aktivitas ke 8.

Tabel 3. Lembar Kerja HAZOP

Aktivitas ke-1: Pengujian kualitas <i>fiber optic</i> pada ROV menggunakan <i>Optical Domain Reflecto Meter</i> (OTDR)						
Komponen	Kata Panduan	Deviasi	Penyebab	Konsekuensi	Pengamanan	Tindakan
<i>Fiber Optic</i>	<i>No</i>	<i>No Communication/link</i>	- <i>Fiber</i> optik terputus	Tidak terjalin komunikasi 2 arah (<i>Transmit dan Receive</i>)	-Menggunakan <i>sensing alarm</i> untuk deteksi kegagalan sistem	-Uji <i>fiber</i> secara berkala dengan OTDR guna untuk tindakan <i>preventive</i> -Reterminasi kembali <i>fiber</i> optik
	<i>Unstable</i>	<i>Unstable Communication (Intermitten)</i>	Konektor <i>fiber</i> kotor atau kendur	Sinyal putus nyambung (<i>Intermitten</i>)	Menggunakan <i>sensing alarm</i> untuk deteksi kegagalan sistem	-Uji <i>fiber</i> secara berkala dengan OTDR guna untuk tindakan <i>preventive</i> -Periksa <i>coupling</i> konektor <i>fiber</i> dan bersihkan konektor
Aktivitas ke-2: Pengujian kesehatan tether ROV dengan melakukan <i>Insulation Test</i>						
Komponen	Kata Panduan	Deviasi	Penyebab	Konsekuensi	Pengamanan	Tindakan
<i>Tether</i>	<i>No</i>	<i>No Power</i>	<i>Low insulation</i> pada <i>tether</i>	Resistan kabel <i>power</i> rendah sehingga ada potensi <i>short</i> antar fase maupun fase ke <i>ground/body</i>	Memastikan <i>enclosure box</i> <i>properly sealed off</i> supaya <i>weatherproof</i> dan pasang silica gel untuk menjaga tingkat kelembapan	Uji <i>tether</i> dengan megger sebelum dipasangkan ke ROV
	<i>No</i>	<i>No Pressure</i>	Fase terbalik	ROV tidak dapat dioperasikan karena pemasangan kabel fasanya terbalik	Pemasangan <i>sensing alarm (Ground Fault Indicator)</i> guna mengetahui <i>anomaly</i> pada <i>system</i> kelistrikan ROV	Melakukan verifikasi pada pemasangan fase

	<i>Low</i>	<i>Low Insulation</i>	-Usia <i>tether</i> -Beban berlebihan(<i>High Ampere</i>)	- <i>Motor tripping</i> -Akan merusak komponen lainnya jika dioperasikan	Pemasangan <i>GroundFault Indicator</i>	Melakukan <i>tracing</i> terhadap area <i>low resistance</i> guna untuk mengambil tindakan
Aktivitas ke-3: Pengujian kesehatan <i>umbilical</i> ROV dengan melakukan <i>Insulation Test</i>						
Komponen	Kata Panduan	Deviasi	Penyebab	Konsekuensi	Pengamanan	Tindakan
<i>Umbilical</i>	<i>No</i>	<i>No Power</i>	- <i>Low insulation</i> pada <i>umbilical</i>	Resistan kabel <i>power</i> rendah sehingga ada potensi <i>short</i> antar fase maupun fase ke <i>ground/body</i>	Memastikan <i>enclosure box</i> <i>properly sealed off</i> supaya <i>weatherproof</i> dan pasang <i>silica gel</i> untuk menjaga tingkat kelembapan	Uji <i>umbilical</i> dengan megger sebelum dipasangkan ke ROV
	<i>No</i>	<i>No Pressure</i>	Fase terbalik	-ROV tidak dapat dioperasikan karena tidak adanya <i>power</i>	Pemasangan <i>sensing alarm (Ground Fault Indicator)</i> guna mengetahui <i>anomaly</i> pada system kelistrikan ROV	Melakukan verifikasi pemasangan kabel fase ROV motor
	<i>Low</i>	<i>Low Insulation</i>	-Usia <i>umbilical</i> -Beban berlebihan(<i>High Ampere</i>)	- <i>Motor tripping</i> -Akan merusak komponen lainnya jika dioperasikan	Pemasangan <i>GroundFault Indicator</i>	Melakukan <i>tracing</i> terhadap area <i>low resistance</i> guna untuk mengambil tindakan
Aktivitas ke-4: Pelaksanaan <i>High Voltage Test</i> pada <i>Electric motor</i> ROV						
Komponen	Kata Panduan	Deviasi	Penyebab	Konsekuensi	Pengamanan	Tindakan
<i>Electric Motor</i>	<i>No</i>	<i>Power</i>	<i>Low insulation</i> pada motor	Resistan rendah ada potensi <i>short</i> antara kabel fasa ataupun <i>ground/body</i>	Menggunakan <i>sensing alarm</i> seperti <i>Ground Fault</i> untuk mendeteksi <i>anomaly</i> pada ROV	Melakukan <i>high voltage test</i> sebelum pemasangan pada ROV
			Komponen motor terbakar	Motor tidak dapat beroperasi	Menggunakan <i>sensing alarm</i> seperti <i>Ground Fault</i> untuk mendeteksi <i>anomaly</i> pada ROV	Melakukan <i>high voltage test</i> sebelum pemasangan pada ROV
	<i>Low</i>	<i>Low Insulation</i>	Ada <i>short</i> antara fasa-fasa atau fasa-body	<i>Motor tripping</i>	Pasang <i>GroundFault Indicator Sensing</i>	Melakukan <i>high voltage test</i> sebelum dioperasikan
	<i>High</i>	<i>High Ampere</i>	-Adanya komponen yang terblokir -Kelebihan beban	-Motor terbakar -Motor cepat panas	Sesuaikan beban motor dengan spesifikasi manufaktur	-Periksa jalur motor dan pastikan tidak ada penyumbatan -Jangan melebihi beban kerja

Aktivitas ke-5: Pelaksanaan <i>Fire up</i> ROV dan pemberian <i>command</i> pada <i>thrusters</i> ROV serta pelaksanaan visual inspeksi pada alur hidrolik ROV untuk memastikan tidak adanya kebocoran						
Komponen	Kata Panduan	Deviasi	Penyebab	Konsekuensi	Pengamanan	Tindakan
<i>ROV Thrusters</i>	<i>No</i>	<i>No Function</i>	Configurasi <i>wiring thruster</i> Salah	<i>Thruster</i> tidak beroperasi dengan normal	Verifikasi konfigurasi <i>wiring</i> berdasarkan <i>drawing</i>	Refigurasi <i>wiring/</i> standardisasi
			PCB Pengontrol <i>thruster</i> rusak	<i>Thruster</i> tidak beroperasi dengan normal	Melakukan <i>periodic maintenance</i>	Menggantikan PCB pengontrol <i>thruster</i> dengan yang baru
			Motor <i>thruster</i> rusak	<i>Thruster</i> tidak beroperasi	Melakukan <i>maintenance</i> secara berkala -Melakukan <i>function test</i> sebelum digunakan	Ganti motor <i>thruster</i> dengan yang sudah lolos inspeksi/test
	<i>No</i>	<i>No Flow</i>	<i>Hydraulic circuit</i> Tersumbat	<i>Thruster</i> tidak beroperasi	<i>Inspection regular maintenance</i>	<i>Dismantle circuit hydraulic</i> dan <i>tracing clogging point</i>
	<i>Less</i>	<i>Less Pressure</i>	Kebocoran pada motor <i>thruster</i>	- <i>Thruster</i> tidak kuat -Fluida hidrolik bocor	<i>Visual Inspection</i>	<i>Dismantle thruster</i> dan <i>replace seal-ring</i>

			<i>Pressure relief valve</i> belum Diadjust	<i>Output Pressure</i> minim	<i>Inspection</i>	Melakukan <i>adjustment</i> pada PRV untuk menaikkan <i>Pressure</i>
	<i>High</i>	<i>High Pressure</i>	PRV <i>adjust</i> terlalu tinggi	- <i>Seal thruster</i> jebol	<i>Adjust Pressure</i> dan di kunci	<i>Readjust Pressure</i>

Aktivitas ke-6: Pelaksanaan uji fungsi (*function test*) pada *manipulators* untuk memastikan mekanikal dan hidrolis *manipulator* dalam kondisi baik

Komponen	Kata Panduan	Deviasi	Penyebab	Konsekuensi	Pengamanan	Tindakan
<i>Manipulator</i>	<i>No</i>	<i>No Function</i>	Pemasangan <i>hose</i> hidrolis pada <i>port</i> yang tidak Tepat	<i>Manipulator</i> tidak beroperasi sesuai dengan <i>command</i> yang diberikan	Melakukan pemasangan <i>hose</i> berdasarkan <i>drawing</i>	Swap <i>hoses</i> ke <i>port</i> lainnya
	<i>Less</i>	<i>Less Pressure</i>	Kebocoran/PRV set Kerendahan	Oli hidrolis <i>bursting</i>	<i>Visual Inspection</i>	Melakukan pergantian komponen yang bocor
	<i>High</i>	<i>High Pressure</i>	PRV set ketinggian	<i>Cylinder manipulator</i> jebol - <i>Hose low Pressure</i> rating jebol	Melakukan pengecekan terhadap <i>Pressure manipulator</i> sebelum dioperasikan armnya	<i>Readjust</i> PRV
	<i>No</i>	<i>No Flow</i>	<i>Flow Control Valve</i> dalam posisi Tertutup	<i>Manipulator</i> tidak dapat beroperasi	Melakukan pengecekan terhadap FVC	Membuka katup FCV

Aktivitas ke-7: Pelaksanaan uji fungsi pada *sensor sensor ROV* untuk memastikan *sensor* tersebut dalam kondisi operasional

Komponen	Kata Panduan	Deviasi	Penyebab	Konsekuensi	Pengamanan	Tindakan
<i>Sensor ROV</i>	<i>No</i>	<i>No Power</i>	<i>Wiring power</i> terputus/ tidak terhubung	<i>Sensor</i> tidak bisa hidup	Verifikasi konfigurasi <i>wiring</i>	Memasang kembali <i>wiring</i> yang terputus atau tidak terhubung
			<i>Fuse Blown</i>	<i>Sensor</i> tidak hidup	Verifikasi kualitas <i>fuse</i> dan pasang sesuai <i>rating</i> -nya	Menggantikan <i>fuse</i> dengan yang baru
	<i>No</i>	<i>No Communication</i>	<i>Comms RS 232, RS 422, RS 485</i> tidak terhubung/ <i>miswiring</i>	<i>Sensor</i> ada <i>power</i> tapi tidak ada <i>link/comms</i> antara ROV ke <i>Console</i>	Verifikasi konfigurasi <i>wiring</i>	Memasang <i>wiring</i> sesuai <i>drawing</i>

Aktivitas ke-8: Pelaksanaan *Wet Test* pada ROV dengan uji selam minimal 12 jam (standar *Oceaneering*) untuk memastikan tidak ada kendalanya ROV saat beroperasi di dalam air

Komponen	Kata Panduan	Deviasi	Penyebab	Konsekuensi	Pengamanan	Tindakan
<i>Wet Test ROV</i>	<i>No</i>	<i>No Power</i>	<i>Incoming power</i> tidak terhubung	ROV tidak hidup	Verifikasi kabel <i>power</i> pasang dengan benar	Menghubungkan <i>incoming power</i>
			<i>Cable power</i> Terbakar	ROV tidak hidup	Memastikan <i>rating cable power</i> sudah sesuai sebelum dipasangkan	Menggantikan <i>cable power</i> yang terbakar
	<i>No</i>	<i>No Flow</i>	<i>Hydraulic pump</i> rusak	Tidak ada aliran fluida yang memompa <i>circuit</i> ROV	Verifikasi kualitas <i>pump</i> dan melakukan <i>bench test</i>	Menggantikan <i>pump</i> rusak dengan yang lain
	<i>High</i>	<i>High Ampere</i>	<i>Cable conductor</i> ada masalah	<i>Excess ROV current loads</i>	Menguji kabel <i>conductor</i> sebelum memasangnya	<i>Tracing</i> kabel <i>conductor</i> yang bermasalah dan digantikan

			<i>Hydraulic circuit blockage</i>	<i>Excess ROV current loads</i>	Memastikan <i>hydraulic circuit</i> seperti <i>filters, plumbing, valves</i> , dalam kondisi baik dan tidak kotor/dibersihkan	<i>Tracing hydraulic circuit to locate the blockage</i>
--	--	--	-----------------------------------	---------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------

3.2 Penilaian Risiko dan Kategori Bahaya pada Pengujian ROV

Penilaian risiko dan kategori bahaya pada pengujian ROV diperoleh dari hasil wawancara dengan HSE Manager APAC. Penilaian risiko dan kategori bahaya tersebut juga telah mendapatkan *review* serta validasi dari pihak HSE sehingga penilaian tersebut akurat dan dapat dipertanggungjawabkan dari sisi K3. Adapun penilaian risiko dapat dijelaskan pada Tabel 4 dan dibedakan menjadi risiko rendah, risiko sedang, risiko tinggi serta ekstrim.

Tabel 4. Penilaian Risiko dan Kategori Bahaya pada Pengujian ROV

Penilaian Risiko dan Kategori Bahaya pada Pengujian ROV								
No	Identifikasi Bahaya			Analisis Risiko				
	Pengujian	Sumber Bahaya	Risiko	L	C	S (LXC)	Risk Level	Kategori Bahaya
1	Pengujian kualitas <i>fiber optic</i> pada ROV menggunakan <i>Optical Domain Reflecto Meter (OTDR)</i>	<i>Laser OTDR</i> yang terekspos langsung padamata <i>operator</i>	Kerusakan mata hingga kebutaan akibat <i>laser</i> dari OTDR	1	4	4	Risiko Tinggi	<i>Radiation</i>
		Serpihan <i>fiber optic</i> yang pecah	Serpihan <i>fiber</i> yang pecah akan sulit dilihat kasat matadan apabila mengenai kulit berpotensi masuk ke pori- pori dan merusak internal kulit	2	4	8	Risiko Tinggi	<i>Motion</i>
		Sumber <i>power</i> ROV belum di LOTO (<i>Lockedout- Tagged out</i>)	Tersengat listrik dengan tegangan 2300VAC- 3000VAC (<i>Fatality</i>) diakibatkan oleh kelalaian <i>operator</i>	2	5	10	Ekstrim	<i>Electrical</i>
		OTDR dioperasikan di ketinggian (<i>Termination Cage</i>)	OTDR terjatuh mengenai personil yang bertugas	1	2	2	Risiko Rendah	<i>Gravity</i>
		Teknisi bekerja diketinggian tanpa mengenakan APD yang tepat seperti <i>body harness</i>	Teknisi terjatuh dari atas <i>Cage (Fatality)</i>	3	4	12	Ekstrim	<i>Gravity</i>
2	Pengujian kesehatan tether ROV dengan melakukan <i>Insulation Test</i>	<i>Output</i> tegangan <i>insulation tester</i>	Tersengat listrik <i>insulation tester</i>	2	2	4	Risiko Rendah	<i>Electrical</i>
		Tidak mengenakan APD seperti <i>Cut-Resistant Glove</i>	Tersayat tang potong ataupun kabel konduktor	3	2	6	Risiko Sedang	<i>Motion</i>
		Sumber <i>power</i> ROV tidak di LOTO	Tersengat <i>power</i> ROV hingga 3000 VAC	2	5	10	Ekstrim	<i>Electrical</i>
		Teknisi melakukan <i>insulation tester</i> di atas <i>Cage</i> (Ketinggian 2.5m)	Teknisi terjatuh dari ketinggian <i>Cage</i>	1	4	4	Risiko Tinggi	<i>Gravity</i>
		<i>Insulation Tester</i> dioperasikan di ketinggian	<i>Insulation Tester</i> terjatuh mengenai personil yang bertugas	1	2	2	Risiko Rendah	<i>Gravity</i>
		Teknisi melakukan pekerjaan diketinggian tanpa mengenakan APD yang tepat seperti <i>body harness</i>	Teknisi terjatuh dari atas <i>Cage (Fatality)</i>	3	3	9	Risiko Tinggi	<i>Gravity</i>
3	Pengujian kesehatan <i>umbilical</i> ROV dengan melakukan <i>Insulation Test</i>	<i>Output</i> tegangan <i>insulation tester</i>	Tersengat listrik <i>insulation tester</i>	2	2	4	Risiko Rendah	<i>Electrical</i>
		Tidak mengenakan APD seperti <i>Cut-Resistant Glove</i>	Tersayat tang potong ataupun kabel konduktor	3	2	6	Risiko Sedang	<i>Motion</i>
		Sumber <i>power</i> ROV tidak di LOTO	Tersengat <i>power</i> ROV hingga 3000 VAC	2	5	10	Ekstrim	<i>Electrical</i>
		Teknisi melakukan <i>insulation tester</i> di atas <i>Cage</i> (Ketinggian 2.5m)	Teknisi terjatuh dari ketinggian <i>Cage</i>	1	3	3	Risiko Sedang	<i>Gravity</i>
		<i>Insulation Tester</i> dioperasikan di ketinggian	<i>Insulation Tester</i> terjatuh mengenai personil yang	1	2	2	Risiko Rendah	<i>Gravity</i>

			bertugas					
		Teknisi melakukan pekerjaan ditinggikan tanpa mengenakan APD yang tepat seperti <i>body harness</i>	Teknisi terjatuh dari atas <i>Cage (Fatality)</i>	2	3	6	Risiko Sedang	Gravity
4	Pelaksanaan <i>High Voltage Test</i> pada <i>Electricmotor ROV</i>	<i>Output</i> tegangan <i>High Voltage Box</i> hingga 3000VAC	Tersengat listrik	2	5	10	Ekstrim	Electrical
Penilaian Risiko dan Ketgori Bahaya pada Pengujian ROV								
No	Identifikasi Bahaya			Analisis Risiko				
	Pengujian	Sumber Bahaya	Risiko	L	C	S (LXC)	Risk Level	Kategori Bahaya
		Kebisingan dari <i>pump ROV</i> yang sedang beroperasi	Kebisingan secara continuous yang menyebabkan gangguan pendengaran	3	2	6	Risiko Sedang	Sound
		Kebocoran aliran hidrolikdengan tekanan tinggi hingga 3000 psi	Penetrasi dari kebocoran hidrolik bertekanan tinggi yang mengenai kulit hingga menyebabkan amputasi	3	3	9	Risiko Tinggi	Pressure
5	Pelaksanaan <i>Fire up ROV</i> dan pemberian <i>command</i> pada <i>thrusters ROV</i> serta pelaksanaan visual inspeksi pada alur hidrolik ROV untuk memastikan tidak adanya kebocoran.	Kebisingan dari <i>pump ROV</i> yang sedang beroperasi	Kebisingan yang menyebabkan gangguan pendengaran	3	2	6	Risiko Sedang	Sound
		Kebocoran aliran hidrolikdengan tekanan tinggi hingga 3000 psi	Penetrasi dari kebocoran hidrolik bertekanan tinggi yang mengenai kulit hingga menyebabkan amputasi	3	3	9	Risiko Tinggi	Pressure
		<i>Output</i> tegangan tinggi pada system ROV	Tersengat listrik	2	5	10	Ekstrim	Electrical
		Objek yang bertebaran saatrunning <i>thruster</i>	<i>Loose</i> objek bertebaranmengenai tubuh	2	2	4	Risiko Rendah	Motion
6	Pelaksanaan uji fungsi (<i>function test</i>) pada <i>manipulators</i> untuk memastikan mekanikdan hidrolik <i>manipulator</i> dalam kondisi baik.	Kebisingan dari <i>pump ROV</i> yang sedang beroperasi	Kebisingan yang menyebabkan gangguan pendengaran	3	2	6	Risiko Sedang	Sound
		Kebocoran aliran hidrolikdengan tekanan tinggi hingga 3000 psi	Penetrasi dari kebocoran hidrolik bertekanan tinggi yang mengenai kulit hingga menyebabkan amputasi	3	3	9	Risiko Tinggi	Pressure
		Tegangan tinggi hingga3000 VAC	Tersengat listrik	2	5	10	Ekstrim	Electrical
		<i>Manipulator</i> yang sedangberoperasi	<i>Manipulator</i> menghantam objek sekitar baik orang maupun <i>property</i>	2	2	4	Risiko Rendah	Mechanical
		Baut pada mounting <i>manipulator</i> kendur	<i>Manipulator</i> terjatuh karena baut kendur mengenai orang	1	2	2	Risiko Rendah	Gravity
7	Pelaksanaan uji fungsi pada <i>sensor sensor ROV</i> untuk memastikan <i>sensor</i> tersebut dalam kondisi operasional.	Tegangan tinggi pada ROV hingga 3000 VAC	Tersengat listrik	1	5	5	Risiko Tinggi	Electrical
		Personil bekerja ditinggian	Teknisi terjatuh darikinggian	2	3	6	Risiko Sedang	Gravity
		Kesalahan pemasangan pada <i>wiring</i>	Letupan mengenai personil	2	2	4	Risiko Rendah	Electrical
8	Pelaksanaan <i>Wet Test</i> pada ROV dengan uji selam minimal 12 jam (standar <i>Oceaneering</i>) untuk	Pengangkatan ROV menggunakan <i>gantrycrane</i>	ROV terjatuh pada saat pengangkatan dari deck ke <i>wet test tank</i>	1	3	3	Risiko Sedang	Gravity
		Kebocoran arus listrik bertegangan hingga 3000 VAC	Tersengat listrik	2	5	10	Ekstrim	Electrical

memastikan tidak ada kendalanya ROV saat beroperasi di dalam air	Kebocoran aliran hidrolik dengan tekanan tinggi hingga 3000 psi	Penetrasi dari kebocoran hidrolik bertekanan tinggi yang mengenai kulit hingga menyebabkan amputasi	3	3	9	Risiko Tinggi	Pressure
	Cuaca panas ekstrim	Heat Stress/ Heat Stroke	3	2	6	Risiko Sedang	Temperature

Penilaian risiko dan kategori bahaya pada pengujian ROV diperoleh dari hasil wawancara dengan HSE Manager APAC serta telah direview dan divalidasi. Berdasarkan hasil pengolahan data, didapatkan penilaian risiko pada masing-masing aktivitas pengujian ROV berdasarkan *risk level* dengan jumlah tertinggi hingga terendah ialah sebagai berikut:

- Risiko sedang dengan jumlah 10, meliputi aktivitas yang berhubungan dengan pergerakan benda, bekerja di ketinggian, suara/ bunyi dan temperatur.
- Risiko tinggi dengan jumlah 9, meliputi aktivitas yang berhubungan dengan radiasi seperti *laser* OTDR, bekerja di ketinggian, kelistrikan, tekanan tinggi hidrolik serta pergerakan benda.
- Risiko rendah dengan jumlah 9, meliputi aktivitas yang berhubungan dengan kelistrikan, benda terjatuh, mekanikal serta pergerakan benda.
- Ekstrim dengan jumlah 8, meliputi aktivitas yang berhubungan dengan kelistrikan dan bekerja di ketinggian.

3.3 Analisis Pengendalian Risiko pada Pengujian ROV

Pengendalian risiko dilakukan berdasarkan hirarki control seperti Eliminasi, Substitusi, Rekayasa, Adminitrasi dan APD. Pengendalian risiko sifatnya untuk mengendalikan potensi bahaya yang telah teridentifikasi sebelumnya agar potensi tersebut dapat diminimalisir eksposurnya terhadap personil maupun asset. Pada pengujian kualitas *fiber optic* menggunakan OTDR, menggunakan hirarki substitusi dengan penggantian menggunakan tangga lipat untuk pekerjaan diketinggian Hirarki administrasi yaitu dengan diberikannya pelatihan, JSEA, *Permit to Work*, SOP, dan *Sign Board*. Sedangkan hirarki APD yaitu dengan penggunaan *safety glass*, *safety boot*, *safetygloves*, *body harness*, *coverall*, dan *tools lanyard*.

4. KESIMPULAN

Penilaian risiko pada masing-masing aktivitas pengujian ROV menunjukkan bahwa secara keseluruhan kegiatan pengujian ROV memiliki risiko sedang dengan persentase 28%. Selanjutnya untuk *risk level* rendah, tinggi dan ekstrim masing-masing memiliki persentase 25%, 25% dan 22%. Berdasarkan kategori bahaya pada pengujian ROV didapatkan persentase kategori bahaya tertinggi adalah *gravity* yang artinya kategori bahaya tersebut memiliki potensi kejadian lebih tinggi dibanding kategori yang lain. Kategori bahaya *gravity* melingkupi bekerja pada ketinggian, benda terjatuh dari ketinggian dan lain-lain. Adapun Pengendalian risiko pada pengujian ROV menggunakan *hierarchy control* yang melingkupi APD, *administrative control*, *engineering control* dan *substitution*. Eliminasi tidak diterapkan pada pengendalian risiko karena tidak terdapat aspek/kegiatan yang dapat dieliminasi sehubungan dengan kelancaran operasional perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. L. McLean *et al.*, "Enhancing the Scientific Value of Industry Remotely Operated Vehicles (ROVs) in Our Oceans," *Frontiers in Marine Science*, vol. 7, no. April, 2020, doi: 10.3389/fmars.2020.00220.
- [2] R. D. Christ and R. L. Wernli, *The ROV Manual*, vol. 1, no. 1. 2007.
- [3] R. Capocci, G. Dooly, E. Omerđić, J. Coleman, T. Newe, and D. Toal, "Inspection-class remotely operated vehicles-a review," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 5, no. 1, 2017, doi: 10.3390/jmse5010013.
- [4] N. Vedachalam, R. Ramesh, V. B. N. Jyothi, G. A. Ramadass, and M. A. Atmanand, "An approach to operational risk modeling and estimation of safety levels for deep water work class remotely operated vehicle—A case study with reference to ROSUB 6000," *Journal of Ocean Engineering and Science*, vol. 1, no. 2, pp. 109–118, 2016, doi: 10.1016/j.joes.2016.03.005.
- [5] M. Rausand, "Risk Assessment - Theory, Methods and Applications. Statistics in Practice," *Marine Biotoxins. FAO Food and Nutrition Paper 80*, no. L, pp. 219–278, 2011.
- [6] A. de J. Penelas and J. C. M. Pires, "Hazop analysis in terms of safety operations processes for oil production units: A case study," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 21, 2021, doi: 10.3390/app112110210.
- [7] S. Ishteyaque and S. Jabeen, "Hazard and Operability Study of Gas Exploration Field Located in Pakistan," vol. 51, no. 2, pp. 189–194, 2019.

- [8] I. Stantec, "Energy Wheel Field Guide : Incident prevention for critical risk activities," pp. 1–40.