

Lab Bahasa Universitas Panca Marga

Buku Monograf total 27 Juni.docx

 Check - No Repository 19

 Check

 Asesores

Document Details

Submission ID

trn:oid:::1:3288782942

Submission Date

Jul 1, 2025, 7:57 PM GMT-5

Download Date

Jul 1, 2025, 8:03 PM GMT-5

File Name

Buku_Monograf_total_27_Juni.docx

File Size

1.1 MB

152 Pages

21,451 Words

142,628 Characters

9% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
 - Quoted Text
-

Top Sources

- 8%  Internet sources
 - 4%  Publications
 - 2%  Submitted works (Student Papers)
-

Top Sources

- 8% Internet sources
- 4% Publications
- 2% Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	www.coursehero.com	<1%
2	Internet	tekniksipil.id	<1%
3	Internet	diklatkerja.com	<1%
4	Internet	es.scribd.com	<1%
5	Internet	www.scribd.com	<1%
6	Internet	safetysignindonesia.id	<1%
7	Internet	synergysolusi.com	<1%
8	Internet	nbgreat.en.made-in-china.com	<1%
9	Internet	www.gardenweb.com	<1%
10	Internet	adoc.pub	<1%
11	Internet	pt.scribd.com	<1%

12	Publication	Lisa Febyola, Asnia Zainuddin, Febriana Muchtar. "Analisis Implementasi Keselam...	<1%
13	Publication	Febria Surjaman. "Evaluasi Implementasi Protokol K3 terhadap Keselamatan dan ...	<1%
14	Publication	Hugo Nainggolan, Hendra Hendra. "EVALUASI PENERAPAN SISTEM MANAJEMEN K...	<1%
15	Student papers	Universitas Jambi	<1%
16	Student papers	itera	<1%
17	Internet	repositori.stiamak.ac.id	<1%
18	Internet	repository.poltekpar-nhi.ac.id	<1%
19	Internet	digilib.iainptk.ac.id	<1%
20	Internet	redasamudera.id	<1%
21	Internet	www.rrcap.ait.ac.th	<1%
22	Publication	Eska Stefani, Artita Devi Maharani, Epsilandri Sepryarini. "Sosialisasi Keselamata...	<1%
23	Internet	elpandari.blogspot.com	<1%
24	Internet	pdfcoffee.com	<1%
25	Internet	emyarivianay.blogspot.com	<1%

26	Internet	journal.universitaspahlawan.ac.id	<1%
27	Internet	physics.ui.ac.id	<1%
28	Internet	docplayer.info	<1%
29	Internet	millarosd.blogspot.com	<1%
30	Student papers	Universitas Gadjah Mada	<1%
31	Internet	aakk.polteknaker.ac.id	<1%
32	Internet	journal.ppns.ac.id	<1%
33	Internet	rikaprabawati.blogspot.com	<1%
34	Internet	www.usc.edu.au	<1%
35	Student papers	Universitas Brawijaya	<1%
36	Internet	dspace.vut.cz	<1%
37	Internet	mediapurnapolri.net	<1%
38	Internet	www.diklatkerja.com	<1%
39	Student papers	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg	<1%

40	Internet	id.scribd.com	<1%
41	Publication	Ferry Rakhman Yulianto. "IDENTIFIKASI BAHAYA KECELAKAAN KERJA DI PT.TOSHI...	<1%
42	Student papers	Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang	<1%
43	Student papers	Universitas Islam Indonesia	<1%
44	Internet	indonesiasafetycenter.org	<1%
45	Internet	repository.ustjogja.ac.id	<1%
46	Internet	money.kompas.com	<1%
47	Internet	www.repository.trisakti.ac.id	<1%
48	Internet	www.slideshare.net	<1%
49	Internet	help.notifyvisitors.com	<1%
50	Internet	jurnal.um-tapsel.ac.id	<1%
51	Internet	merdekacoppergold.com	<1%
52	Internet	repository.uwn.ac.id	<1%
53	Internet	business.blogthinkbig.com	<1%

54	Internet	duniapanel.blogspot.com	<1%
55	Internet	eprints.undip.ac.id	<1%
56	Internet	etheses.iainponorogo.ac.id	<1%
57	Internet	id.cncontrolvalve.com	<1%
58	Internet	journal.umg.ac.id	<1%
59	Publication	Nareshwari Nareshwari, Indriati Paskarini. "IDENTIFIKASI DAN ANALISIS IMPLEM...	<1%
60	Internet	download.garuda.ristekdikti.go.id	<1%
61	Internet	ejournal.uin-suska.ac.id	<1%
62	Internet	lib.unnes.ac.id	<1%
63	Internet	www.antaranews.com	<1%
64	Publication	"Strengthening Occupational Health and Safety (OHS) in Schools to Minimize Risk...	<1%
65	Publication	Achmad Fauzi, Sugiarto Sugiarto, Tatan Sukwika. "MANAJEMEN RISIKO K3 PADA K...	<1%
66	Internet	aditya-nusantara.blogspot.com	<1%
67	Internet	chandaallchannel.blogspot.com	<1%

68	Internet	dinamikaconsulting.com	<1%
69	Internet	dspace.uui.ac.id	<1%
70	Internet	idrusonly.blogspot.com	<1%
71	Internet	keselamatankerja-safetyfirst.blogspot.com	<1%
72	Internet	lipsus.kompas.com	<1%
73	Internet	mafiadoc.com	<1%
74	Internet	ojshafshawaty.ac.id	<1%
75	Internet	repository.poltekbangjayapura.ac.id	<1%
76	Internet	repository.uhamka.ac.id	<1%
77	Internet	safetypurpose.wordpress.com	<1%
78	Internet	tayjuhanafoundation.org	<1%
79	Internet	vdocuments.pub	<1%
80	Internet	victoriainsurance.co.id	<1%
81	Internet	www.indotelko.com	<1%

82	Internet	www.manulife.co.id	<1%
83	Internet	www.megajaya.co.id	<1%
84	Internet	www.raja.co.id	<1%
85	Internet	www.readbag.com	<1%
86	Publication	Bayu Andri Atmoko, I Gede Suparta Budisatria. "Identifikasi Potensi Bahaya, Risik...	<1%
87	Publication	Havis Rizky Ramadhan, Sepriandi Parningotan, Nova Pangastuti. "Analisis Kesela...	<1%
88	Publication	Jesi Yardani, Jamaluddin Akbar, Almira Ulimaz. "ANALISIS TINGKAT KECELAKAAN ...	<1%
89	Publication	Najla Nur Salsabila, Dihartawan Dihartawan, Nazarwin Saputra. "ANALISIS HAZA...	<1%
90	Publication	Rhesti Nurlina Suhanto, Dwianti Westari, Syaeful Ilman. "Edukasi Kualitas Air Min...	<1%
91	Publication	Tanti Olivina Sari. "IDENTIFIKASI HAZARDPADA PEKERJA KONTRAKTOR SIPIL DEN...	<1%
92	Publication	Tito Pranoto, Armada Riyanto, Mathias Jebaru Adon. "HARMONI MANUSIA-AI: PE...	<1%
93	Student papers	Universitas Islam Bandung	<1%
94	Internet	ak3u.com	<1%
95	Internet	arfianbella.wordpress.com	<1%

96	Internet	artikel-contoh-makalahyangbaik.blogspot.com	<1%
97	Internet	auto-advertising.blogspot.com	<1%
98	Internet	beritamadani.co.id	<1%
99	Internet	blogseger.com	<1%
100	Internet	changekonsultan.com	<1%
101	Internet	cms-demo.ssms.co.id	<1%
102	Internet	dokumen.tips	<1%
103	Internet	economy.okezone.com	<1%
104	Internet	edoc.site	<1%
105	Internet	ejurnal.kampusakademik.co.id	<1%
106	Internet	eprints.uad.ac.id	<1%
107	Internet	investor.wikagedung.co.id	<1%
108	Internet	j-innovative.org	<1%
109	Internet	jos.unsoed.ac.id	<1%

110	Internet	journal.aritekin.or.id	<1%
111	Internet	journal.maranatha.edu	<1%
112	Internet	kumpulan.info	<1%
113	Internet	lily.staff.gunadarma.ac.id	<1%
114	Internet	minangsatu.com	<1%
115	Internet	mutuinstitute.com	<1%
116	Internet	pericinata.blogspot.com	<1%
117	Internet	reporter.uki.ac.id	<1%
118	Internet	repository.unja.ac.id	<1%
119	Internet	smua.co.id	<1%
120	Internet	tasikmalayakab.go.id	<1%
121	Internet	www.ejournal.bhamada.ac.id	<1%
122	Internet	www.kaskus.co.id	<1%
123	Internet	www.ptba.co.id	<1%

124	Internet	www.researchgate.net	<1%
125	Internet	www.tribunnews.com	<1%
126	Publication	Makomulamin, Nila Puspita Sari, Alfina Mutiara Sany. "HUBUNGAN ANTARA PPE,...	<1%
127	Internet	publishing-widyagama.ac.id	<1%
128	Internet	123dok.com	<1%
129	Publication	Fitriyani, Zella Engelya Otiva, Veri Wardi. "Analisis Risiko Kesehatan dan Keselam...	<1%
130	Publication	Rangga Firmansyah, Hibarkah Kurnia, Irvan Nugroho, John Kennedy, Ahmat Safi'i...	<1%
131	Publication	Yasyfa Maghfyra, Dewi Ayu Larassati. "Membangun Budaya Kerja Sehat dan Berk...	<1%
132	Internet	ejournal.upbatam.ac.id	<1%
133	Internet	jurnal.uisu.ac.id	<1%

KATA PENGANTAR

19 Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa ta'ala atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga buku monograf yang berjudul **"Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di Tangki Timbun"** 76 dapat diselesaikan dengan baik. Buku monograf ini disusun sebagai upaya untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai penerapan K3 di lingkungan kerja dengan risiko tinggi, khususnya pada tangki timbun yang dikategorikan sebagai ruang terbatas (*confined space*).

42 Keselamatan dan kesehatan kerja merupakan aspek fundamental dalam dunia industri, terutama di sektor yang melibatkan penyimpanan bahan cair dan gas dalam jumlah besar, seperti industri minyak dan gas, petrokimia, serta manufaktur. Berbagai insiden yang pernah terjadi di tangki timbun membuktikan bahwa pemahaman dan penerapan K3 yang tepat sangat diperlukan guna mencegah kecelakaan kerja yang dapat berakibat fatal.

Buku ini membahas berbagai aspek penting, mulai dari identifikasi dan analisis risiko di tangki timbun, penerapan prosedur kerja aman, hingga pemanfaatan teknologi modern dalam meningkatkan keselamatan kerja. Selain itu, berbagai studi kasus dan *best practices* turut disajikan untuk memberikan gambaran nyata mengenai tantangan dan solusi dalam implementasi K3 di tangki timbun.

48 Kami berharap buku ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi para praktisi K3, akademisi, mahasiswa, serta pihak-

pihak yang berkecimpung dalam bidang keselamatan kerja. Semoga dengan adanya buku ini, kesadaran akan pentingnya keselamatan dan kesehatan kerja semakin meningkat, serta mampu menginspirasi perbaikan sistem K3 di berbagai industri.

Kami menyadari bahwa buku ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kami sangat terbuka terhadap saran dan masukan guna perbaikan di masa yang akan datang. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat yang luas dan menjadi bagian dari upaya menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan sehat.

Probolinggo, 24 Mei 2025

Penulis

18

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Manfaat Buku	3
1.3 Ruang Lingkup Pembahasan	4
1.4 Metodologi Penulisan	4
BAB 2 PENGERTIAN DAN KARAKTERISTIK TANGKI TIMBUN ...	6
2.1 Definisi Tangki Timbun	6
2.2 Jenis dan Fungsi Tangki Timbun	8
1. Berdasarkan Bentuknya (Assiddiqi & Suharyadi, 2024)	8
2. Berdasarkan Penutupnya (Muhammad & Novianto, 2025)	9
3. Berdasarkan Tekanan yang Digunakan (Simarmata, 2024)	9
4. Fungsi Tangki Timbun	9
2.3 Karakteristik Lingkungan Kerja di Tangki Timbun	10
1. Ruang Terbatas (<i>Confined Space</i>) (Sulardi & El-Ridho, 2019)	10
2. Paparan Zat Berbahaya (Mardlotillah, 2020)	11

118

3. Risiko Kebakaran dan Ledakan (Ramezanifar dkk., 2023)	11
4. Ventilasi Terbatas	11
5. Suhu dan Kelembaban yang Ekstrem	12
6. Tinggi dan Akses yang Sulit	12
7. Kebisingan dan Getaran	12
8. Risiko Biologis dan Kontaminasi (Madsen dkk., 2021)	13
2.4 Risiko dan Bahaya di Tangki Timbun	13
1. Risiko ruang terbatas (<i>confined space hazards</i>)	13
2. Risiko Paparan Gas Beracun dan Kurangnya Oksigen	14
3. Risiko Kebakaran dan Ledakan	14
4. Risiko Terjatuh dari Ketinggian	15
5. Risiko kelebihan tekanan atau vakum dalam tangki	15
6. Risiko Tumpahan dan Kontaminasi Lingkungan	16
7. Risiko Panas Berlebih dan Heat Stress	16
8. Risiko Kebisingan dan Getaran	16
9. Risiko Biologis	17
10. Risiko Ergonomi dan Keletihan	17
BAB 3 DASAR HUKUM DAN STANDAR K3 DI TANGKI TIMBUN	19
3.1 Dasar Hukum Terkait K3 di Tangki Timbun	19
3.2 Standar Nasional Indonesia (SNI) 13-6934-2002 tentang Tangki Timbun	21

3.3 Standar Internasional yang Berlaku tentang Tangki

Timbun	23
1. OSHA (<i>Occupational Safety and Health Administration</i>)	23
2. NFPA (<i>National Fire Protection Association</i>)	24
3. API (<i>American Petroleum Institute</i>)	25
4. ISO 45001 (Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja)	25

3.4 Tanggung Jawab dan Kewajiban Perusahaan serta

Pekerja	27
1. Tanggung Jawab dan Kewajiban Perusahaan	27
a. Menyediakan Sistem Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang Memadai	28
b. Menyediakan Pelatihan dan Sertifikasi Pekerja.....	28
c. Memastikan Kelengkapan Peralatan Keselamatan.....	28
d. Menjalankan Prosedur Keadaan Darurat.....	29
e. Mematuhi Regulasi dan Standar yang Berlaku	29
2. Tanggung Jawab dan Kewajiban Pekerja	29
a. Mematuhi Prosedur Keselamatan yang Ditetapkan.....	29
b. Mengikuti Pelatihan dan Mengembangkan Kompetensi	30
c. Melaporkan Kondisi Berbahaya atau Insiden ...	30

d. Bekerja dengan Sikap Profesional dan Bertanggung Jawab	31
---	----

BAB 4 IDENTIFIKASI DAN ANALISIS RISIKO K3 DI TANGKI

TIMBUN	33
---------------------	----

4.1 Metode Identifikasi Bahaya (JSA, HIRARC, HAZOP)	35
--	----

4.2 Potensi Risiko dalam Tangki Timbun	40
---	----

4.3 Contoh Kasus Kecelakaan di Tangki Timbun	44
---	----

4.3.1 Cara Meminimalkan Risiko Kecelakaan di Tangki Timbun	45
--	----

BAB 5 PENERAPAN SISTEM K3 DI TANGKI TIMBUN

5.1 Perizinan Masuk (<i>Confined Space Entry Permit</i>)	48
---	----

5.1.1 Tujuan <i>Confined Space Entry Permit</i>	48
---	----

5.1.2 Isi <i>Confined Space Entry Permit</i>	49
--	----

5.1.3 Langkah-langkah Penggunaan <i>Confined Space Entry Permit</i>	50
---	----

5.2 Penggunaan APD dan Alat Keselamatan	51
--	----

5.3 Sistem Ventilasi dan Deteksi Gas	65
---	----

5.3.1 Sistem Ventilasi dalam Tangki Timbun	65
--	----

5.3.2 Sistem Deteksi Gas dalam Tangki Timbun	66
--	----

5.3.3 Alat Deteksi Gas yang digunakan	67
---	----

5.4 Prosedur Keselamatan dalam Ventilasi dan Deteksi

Gas	67
------------------	----

5.5 SOP Darurat dan Evakuasi

5.5.1 Prinsip Dasar Evakuasi Darurat	71
--	----

5.5.2 Beberapa Situasi Yang Memerlukan Evakuasi Darurat	73
---	----

5.5.3 SOP Darurat dan Evakuasi	74
--------------------------------------	----

1. Persiapan Sebelum Darurat	75
2. Langkah-Langkah Evakuasi	75
3. Peralatan yang harus disiapkan untuk darurat.....	77
4. Simulasi dan Latihan Evakuasi	77
BAB 6 TEKNOLOGI DAN INOVASI K3 DI TANGKI TIMBUN.....	79
6.1 Sensor dan Sistem <i>Monitoring Gas</i>.....	81
6.1.1 Jenis Sensor Gas yang Digunakan	82
1. Sensor deteksi gas beracun (<i>toxic gas sensors</i>).....	82
2. Sensor kekurangan oksigen (<i>oxygen deficiency sensors</i>)	82
3. Sensor deteksi gas mudah terbakar (<i>combustible gas sensors</i>).....	83
6.1.2 Sistem <i>Monitoring Gas</i> di Tangki Timbun	84
1. Sistem Pemantauan Gas <i>Portabel</i>	84
2. Sistem pemantauan gas tetap (<i>fixed gas detection systems</i>).....	86
3. Sistem Monitoring Berbasis IoT dan AI.....	87
6.1.3 Manfaat Penggunaan Sensor dan Sistem <i>Monitoring Gas</i>	89
6.2 Penggunaan Robotika dan <i>Drone</i> dalam Inspeksi.....	91
6.2.1 Robotika dalam Inspeksi Tangki Timbun	91
6.2.2 Keuntungan Penggunaan Robot dalam Inspeksi ...	92
6.2.3 Penggunaan <i>Drone</i> dalam Inspeksi Tangki Timbun	93
6.3 Digitalisasi dan IoT dalam Manajemen Keselamatan...	96
6.3.1 Peran Digitalisasi dalam Manajemen Keselamatan.....	96

6.3.2 IoT dalam Manajemen Keselamatan di Tangki Timbun	98
BAB 7 STUDI KASUS DAN BEST PRACTICES	101
7.1 Studi Kasus Kecelakaan di Tangki Timbun	102
7.2 Implementasi K3 yang Berhasil di Industri	113
7.3 Pembelajaran dari Kecelakaan Masa Lalu	117
7.4 Pelatihan Keselamatan Berbasis VR dan AR.....	121
7.4.1 <i>Virtual Reality</i> (VR) dalam Pelatihan Keselamatan.....	121
7.4.2 <i>Augmented Reality</i> (AR) dalam Pelatihan Keselamatan.....	122
BAB 8 PENUTUP	125
8.1 Kesimpulan	125
8.2 Rekomendasi untuk Peningkatan K3	126
a. Peningkatan sistem identifikasi dan manajemen risiko.....	126
b. Peningkatan keamanan operasional.....	126
c. Penerapan teknologi dan inovasi.....	127
d. Peningkatan kompetensi dan kesadaran pekerja.....	127
e. Penguatan regulasi dan pengawasan	128
8.3 Arah Pengembangan K3 di Tangki Timbun ke Depan ...	128
1. Digitalisasi dan automasi untuk keselamatan yang lebih baik	128
2. Peningkatan standarisasi dan regulasi K3 di tangki timbun.....	129

3. Budaya keselamatan berbasis manusia (*Human-Centred Safety Culture*)..... 130

52

DAFTAR PUSTAKA

52

DAFTAR TABEL

28

Tabel 4.1	Metode Identifikasi Bahaya	36
Tabel 4.2	Risiko utama tangki timbun	40
Tabel 5.1	Jenis APD yang sesuai dengan pekerjaan di ruang terbatas	52
Tabel 7.1	Studi kasus kecelakaan di tangki timbun	103
Tabel 7.2	contoh implementasi K3 yang berhasil di Industri	114
Tabel 7.3	Contoh kecelakaan masa lalu di tangki timbun dan pembelajaran	119

31

DAFTAR GAMBAR

8

35

Gambar 2.1	Ilustrasi Tangki Timbun	7
Gambar 5.1	MSA firehawk 2002 NFPA SCBA.....	52
Gambar 5.2	<i>Full face rubber respirator with double filters</i> <i>chemical full face gas mask</i>	52
Gambar 5.3	<i>Safety helmet</i>	53
Gambar 5.4	<i>Safety goggles</i>	53
Gambar 5.5	<i>Face shield</i>	54
Gambar 5.6	Baju kerja tahan api	55
Gambar 5.7	<i>Coverall</i>	56
Gambar 5.8	Sarung tangan berbahan nitril/neoprene	57
Gambar 5.9	Sarung tangan tahan panas	58
Gambar 5.10	<i>Boots</i> dengan sol anti-slip dan anti-listrik.....	58
Gambar 5.11	<i>Ear Plug</i> atau <i>Ear Muff</i>	59
Gambar 5.11	<i>Full Body Harness</i> dengan <i>Lifeline</i>	59
Gambar 5.13	<i>Multi-Gas Detector</i>	60
Gambar 5.14	<i>Exhaust Fan</i> atau <i>Blower</i>	61
Gambar 5.15	Radio HT (<i>Handy Talkie</i>).....	61
Gambar 5.16	Alarm darurat.....	62
Gambar 5.17	<i>Tripod Rescue System</i>	63
Gambar 5.18	Kotak P3K (<i>First Aid Kit</i>)	64

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tangki timbun merupakan fasilitas penting dalam industri minyak dan gas, petrokimia, serta sektor lainnya yang membutuhkan penyimpanan bahan cair dalam jumlah besar. Tangki ini berfungsi sebagai tempat penyimpanan bahan bakar, bahan kimia, atau cairan lainnya sebelum digunakan dalam proses produksi atau distribusi (Estri Kartika dkk., 2022). Namun, meskipun memiliki peran yang vital, tangki timbun juga memiliki risiko keselamatan dan kesehatan kerja (K3) yang sangat tinggi. Lingkungan kerja di tangki timbun dikategorikan sebagai ruang terbatas (*confined space*), yang memiliki potensi bahaya seperti kekurangan oksigen, paparan gas beracun, risiko ledakan, serta kebakaran akibat sifat mudah terbakar dari bahan yang disimpan (Septiningtias dkk., 2023).

Kasus kecelakaan di tangki timbun sering terjadi akibat kurangnya pemahaman dan penerapan prosedur keselamatan yang memadai. Misalnya, kebocoran gas yang tidak terdeteksi dapat menyebabkan keracunan atau ledakan fatal. Selain itu, masuk ke dalam tangki tanpa ventilasi yang memadai dapat menyebabkan hipoksia (*oxygen deficiency*), yang berakibat fatal bagi pekerja. Oleh karena itu, penerapan sistem K3 yang ketat sangat penting untuk memastikan keselamatan pekerja yang bekerja di lingkungan ini.

Di Indonesia, regulasi terkait keselamatan kerja di ruang terbatas telah diatur dalam beberapa peraturan, seperti Undang-

Undang No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja, Permenaker No. 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Ruang Terbatas, serta berbagai standar internasional seperti *OSHA Confined Space Standard* dan *NFPA 30 Flammable and Combustible Liquids Code*. Penerapan peraturan ini bertujuan untuk mencegah kecelakaan kerja dengan memastikan bahwa setiap pekerja yang memasuki tangki timbun telah memahami prosedur keselamatan, menggunakan alat pelindung diri (APD) yang sesuai, serta mengikuti prosedur izin kerja yang ketat.

Dalam praktiknya, masih banyak tantangan dalam implementasi K3 di tangki timbun. Beberapa di antaranya adalah kurangnya kesadaran pekerja terhadap bahaya yang ada, keterbatasan teknologi deteksi gas berbahaya, serta lemahnya pengawasan dalam penerapan prosedur keselamatan (Akano dkk., 2024). Oleh karena itu, perlu adanya upaya berkelanjutan untuk meningkatkan pemahaman dan kepatuhan terhadap standar K3, baik melalui pelatihan, penggunaan teknologi modern, maupun penerapan budaya keselamatan di tempat kerja.

Buku monograf ini disusun untuk memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai aspek K3 di tangki timbun, mulai dari identifikasi risiko, penerapan sistem keselamatan, hingga studi kasus kecelakaan kerja yang dapat menjadi pembelajaran bagi industri. Dengan adanya buku ini, diharapkan para praktisi K3, manajer keselamatan, serta pekerja yang beroperasi di lingkungan tangki timbun dapat meningkatkan kesadaran dan keterampilan dalam mengelola risiko, sehingga mampu menciptakan tempat kerja yang lebih aman dan produktif.

23 Tangki timbun adalah fasilitas penyimpanan yang digunakan dalam berbagai industri, termasuk minyak dan gas, petrokimia, serta bahan kimia lainnya. Tangki ini sering kali dikategorikan sebagai ruang terbatas, yang berarti memiliki risiko tinggi bagi pekerja yang harus masuk atau bekerja di sekitarnya. Risiko utama yang dihadapi mencakup kekurangan oksigen, paparan gas beracun, potensi kebakaran atau ledakan, serta kecelakaan akibat kurangnya ventilasi atau prosedur keselamatan yang tidak memadai (Septiningtias dkk., 2023).

16 Dalam lingkungan kerja yang berisiko tinggi ini, penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) sangat penting untuk memastikan keselamatan pekerja dan mencegah kecelakaan fatal. Berbagai regulasi dan standar K3 telah dikembangkan untuk mengurangi risiko dan meningkatkan keselamatan kerja di dalam dan sekitar tangki timbun.

1.2 Tujuan dan Manfaat Buku

65 Buku monograf ini bertujuan untuk:

- 113 1. Memberikan pemahaman yang mendalam mengenai risiko dan bahaya yang terkait dengan pekerjaan di tangki timbun.
2. Menyajikan panduan penerapan K3 yang sesuai dengan regulasi dan standar yang berlaku.
3. Membantu pekerja dan manajemen dalam mengembangkan prosedur keselamatan yang lebih baik.
4. Meningkatkan kesadaran tentang pentingnya pengendalian risiko dalam lingkungan kerja yang berisiko tinggi.

5. Menyediakan referensi bagi akademisi, praktisi K3, dan pengelola fasilitas industri.

1.3 Ruang Lingkup Pembahasan

Buku ini akan membahas berbagai aspek K3 di tangki timbun, termasuk:

1. Identifikasi dan klasifikasi tangki timbun berdasarkan jenis bahan yang disimpan.
2. Risiko utama dalam bekerja di ruang terbatas dan metode pengendaliannya.
3. Prosedur masuk dan keluar tangki timbun yang aman.
4. Penggunaan alat pelindung diri (APD) yang sesuai.
5. Sistem izin kerja dan langkah-langkah keselamatan sebelum masuk ke ruang terbatas.
6. Simulasi dan studi kasus kecelakaan kerja di tangki timbun.
7. Regulasi dan standar keselamatan kerja yang berlaku di Indonesia dan internasional.

1.4 Metodologi Penulisan

Dalam penyusunan buku ini, metode yang digunakan meliputi:

1. **Studi Literatur** – Menggunakan referensi dari buku, jurnal, regulasi, dan standar K3 terkait.
2. **Analisis Kasus** – Mengkaji studi kasus kecelakaan kerja di tangki timbun untuk memahami faktor penyebab dan langkah mitigasi.
3. **Observasi dan Wawancara** – Mengumpulkan data dari para ahli K3 dan pekerja yang memiliki pengalaman di bidang ini.

4. **Pendekatan Praktis** – Menyajikan prosedur dan rekomendasi yang dapat diterapkan langsung di lapangan.

Buku ini diharapkan dapat menjadi panduan yang komprehensif bagi praktisi K3, pekerja, manajer industri, dan akademisi dalam memahami serta menerapkan sistem keselamatan kerja di tangki timbun.

*****TS*****

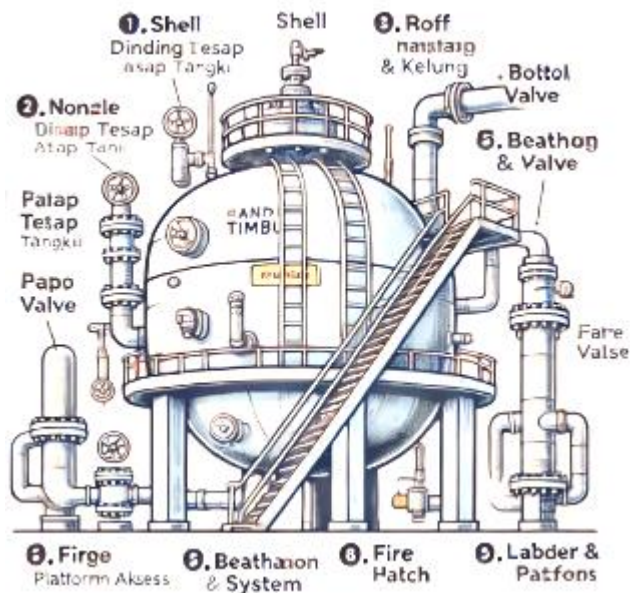
BAB 2

PENGERTIAN DAN KARAKTERISTIK TANGKI TIMBUN

2.1 Definisi Tangki Timbun

Tangki timbun adalah suatu wadah atau struktur penyimpanan berkapasitas besar yang digunakan untuk menampung berbagai jenis cairan, seperti bahan bakar minyak (BBM), bahan kimia, gas cair, dan air dalam jumlah besar sebelum didistribusikan atau diproses lebih lanjut (Silalahi & Tarigan, 2024). Tangki timbun umumnya ditemukan di fasilitas industri seperti kilang minyak, pabrik kimia, depot bahan bakar, dan terminal penyimpanan. Tangki timbun dirancang dengan berbagai material, seperti baja karbon, baja tahan karat, atau, tergantung pada sifat cairan yang disimpan. Desain tangki timbun mempertimbangkan berbagai faktor, termasuk ketahanan terhadap tekanan, suhu, dan korosi.

Dalam operasionalnya, tangki timbun diklasifikasikan berdasarkan struktur dan fungsinya, misalnya tangki timbun bertekanan tinggi, atmosferik, atau tangki dengan sistem *floating roof* (atap terapung) yang digunakan untuk mengurangi penguapan zat berbahaya (Simarmata, 2024). Keberadaan tangki timbun sangat penting dalam rantai distribusi dan penyimpanan bahan cair, tetapi juga memiliki risiko tinggi terkait keselamatan dan kesehatan kerja (K3), terutama karena sifat bahan yang mudah terbakar, beracun, atau bertekanan tinggi. Oleh karena itu, penerapan standar keamanan dan prosedur K3 yang ketat sangat diperlukan dalam operasional tangki timbun.



Gambar 2.1 Ilustrasi Tangki Timbun

Sumber : Gambar ilustrasi di buat dengan bantuan AI

Bagian-Bagian Utama Tangki Timbun

1. *Shell* (dinding tangki) – Struktur utama yang berfungsi sebagai wadah penyimpanan cairan.
2. *Roof* (atap tangki) – Bisa berupa *fixed roof* (atap tetap) atau *floating roof* (atap terapung) yang digunakan untuk mengurangi penguapan.
3. *Bottom* (dasar tangki) – Bagian bawah tangki yang biasanya sedikit melengkung untuk memudahkan drainase dan pembersihan.
4. *Nozzle* (pipa masuk & keluar) – Saluran untuk mengisi dan mengosongkan cairan dalam tangki.
5. *Manhole* (lubang inspeksi) – Digunakan untuk akses masuk bagi pekerja dalam inspeksi dan perawatan.

6. *Breather Valve* (katup pernafasan) – Berfungsi untuk menjaga tekanan dalam tangki agar tidak berlebih atau vakum.
7. *Gauge Hatch* (lubang pengukuran) – Tempat untuk memeriksa ketinggian cairan dalam tangki.
8. *Fire protection system* – Sistem proteksi kebakaran seperti *sprinkler* atau busa pemadam kebakaran.
9. *Ladder & Platform* (tangga & platform akses) – Digunakan untuk akses pekerja ke bagian atas tangki untuk inspeksi atau perawatan.

2.2 Jenis dan Fungsi Tangki Timbun

Tangki timbun adalah struktur penyimpanan yang digunakan untuk menampung cairan dalam jumlah besar, seperti bahan bakar, bahan kimia, minyak, atau air (Silalahi & Tarigan, 2024). Tangki ini biasanya digunakan dalam industri minyak dan gas, petrokimia, farmasi, hingga manufaktur. Berdasarkan konstruksi dan fungsinya, tangki timbun dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu :

1. Berdasarkan Bentuknya (Assiddiqi & Suharyadi, 2024)

- a. Tangki silinder vertikal, bentuk paling umum dengan kapasitas besar. Biasanya digunakan untuk menyimpan minyak mentah, bahan bakar, dan cairan kimia.
- b. Tangki silinder horizontal, digunakan untuk penyimpanan bahan bakar di SPBU atau industri kecil, cocok untuk kapasitas sedang hingga besar.
- c. Tangki kubus atau persegi panjang, digunakan untuk penyimpanan cairan di area terbatas, umumnya ditemukan di industri farmasi atau makanan.

2. Berdasarkan Penutupnya (*Muhammad & Novianto, 2025*)

- a. *Fixed roof tank* (tangki atap tetap), memiliki atap tertutup permanen. Cocok untuk cairan dengan volatilitas rendah, seperti minyak pelumas atau air.
- b. *Floating roof tank* (tangki atap mengambang), atapnya mengambang di atas cairan untuk mengurangi penguapan dan mencegah akumulasi gas berbahaya. Biasanya digunakan untuk bahan bakar, bensin, dan minyak mentah.
- c. *Domed roof tank* (tangki atap kubah), merupakan kombinasi antara tangki atap tetap dan atap mengambang. Biasanya digunakan untuk menyimpan bahan kimia atau gas bertekanan rendah.

3. Berdasarkan Tekanan yang Digunakan (*Simarmata, 2024*)

- a. *Atmospheric tank* (tangki bertekanan atmosfer), dalam hal ini tidak memerlukan tekanan tinggi dalam penyimpanan, biasanya digunakan untuk penyimpanan air, minyak mentah, atau bahan kimia non-reaktif.
- b. *Pressurized tank* (tangki bertekanan tinggi), digunakan untuk menyimpan gas atau cairan mudah menguap seperti LPG dan LNG. Dan dibuat dengan material khusus yang tahan terhadap tekanan tinggi.

4. Fungsi Tangki Timbun

Tangki timbun memiliki berbagai fungsi tergantung pada industri dan jenis cairan yang disimpan, antara lain:

- a. Penyimpanan bahan baku dan produk jadi, dalam hal ini digunakan dalam industri minyak, kimia, dan farmasi untuk menyimpan bahan baku sebelum proses produksi atau produk akhir sebelum distribusi.
- b. Pengaturan persediaan dan distribusi, yaitu menyediakan pasokan yang stabil untuk industri dan mengurangi risiko kelangkaan bahan.
- c. Keamanan dan efisiensi operasional, untuk mengurangi risiko kebocoran dan kontaminasi dengan sistem penyimpanan yang terkontrol.
- d. Mengurangi dampak lingkungan, dengan desain dan sistem pengamanan yang baik, tangki timbun membantu mencegah pencemaran lingkungan akibat kebocoran bahan kimia atau minyak.

2.3 Karakteristik Lingkungan Kerja di Tangki Timbun

Lingkungan kerja di tangki timbun memiliki karakteristik khusus yang perlu diperhatikan untuk menjamin keselamatan dan kesehatan kerja (K3). Berikut adalah beberapa karakteristik utama:

1. Ruang Terbatas (Confined Space) (Sulardi & El-Ridho, 2019)

- a. Tangki timbun sering kali dikategorikan sebagai ruang terbatas karena memiliki akses masuk yang terbatas dan ventilasi yang minim.
- b. Pekerja yang masuk ke dalam tangki berisiko mengalami kekurangan oksigen, paparan gas beracun, dan bahaya kebakaran atau ledakan.

- c. Memerlukan prosedur izin kerja khusus (*Permit to Work/PTW*) dan pemantauan atmosfer sebelum masuk.

2. Paparan Zat Berbahaya (Mardlotillah, 2020)

- a. Cairan yang disimpan dalam tangki sering kali bersifat mudah terbakar, beracun, atau korosif, seperti bensin, LPG, atau bahan kimia industri.
- b. Paparan gas seperti H₂S (Hidrogen Sulfida), CO (Karbon Monoksida), dan VOC (*Volatile Organic Compounds*) dapat menyebabkan gangguan pernapasan atau kehilangan kesadaran.
- c. Diperlukan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) yang sesuai, seperti respirator atau SCBA (*Self-Contained Breathing Apparatus*).

3. Risiko Kebakaran dan Ledakan (Ramezanifar dkk., 2023)

- a. Tangki timbun yang menyimpan bahan mudah terbakar berisiko mengalami kebakaran akibat percikan api, panas berlebih, atau listrik statis.
- b. Perlu adanya sistem *grounding* dan *bonding* untuk mencegah akumulasi listrik statis.
- c. Penggunaan peralatan yang aman terhadap ledakan (*Explosion-Proof Equipment*) sangat dianjurkan.

4. Ventilasi Terbatas

- a. Ventilasi alami di dalam tangki umumnya tidak memadai, sehingga gas beracun dan uap mudah menumpuk.

- b. Dibutuhkan sistem ventilasi tambahan seperti blower atau *exhaust fan* untuk memastikan udara segar masuk dan gas berbahaya keluar.

5. Suhu dan Kelembaban yang Ekstrem

- a. Tangki yang terpapar langsung sinar matahari atau berisi cairan bersuhu tinggi dapat menciptakan lingkungan kerja yang panas dan lembap.
- b. Pekerja berisiko mengalami *heat stress* atau *heat stroke*, sehingga diperlukan istirahat terjadwal dan hidrasi yang cukup.

6. Tinggi dan Akses yang Sulit

- a. Pekerjaan di atas tangki sering kali memerlukan akses tangga, platform, atau *scaffolding*, yang berisiko menyebabkan jatuh dari ketinggian.
- b. Pekerja harus menggunakan sistem *fall protection*, seperti *harness* dan *lifeline*.

7. Kebisingan dan Getaran

- a. Dalam beberapa kasus, operasi tangki timbun melibatkan pompa, kompresor, atau sistem perpipaan bertekanan tinggi yang menghasilkan kebisingan dan getaran berlebih.
- b. Paparan berkepanjangan terhadap kebisingan dapat menyebabkan gangguan pendengaran, sehingga diperlukan *earplug* atau *earmuff*.

8. Risiko Biologis dan Kontaminasi (Madsen dkk., 2021)

- a. Jika tangki digunakan untuk menyimpan air atau bahan organik, dapat terjadi pertumbuhan mikroorganisme berbahaya seperti bakteri atau jamur.
- b. Kontaminasi bahan kimia atau minyak juga dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan pekerja.

Lingkungan kerja di tangki timbun memiliki banyak risiko yang perlu dikelola dengan baik. Oleh karena itu, penerapan prosedur Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3), pemantauan lingkungan, serta pelatihan bagi pekerja menjadi sangat penting untuk mencegah kecelakaan dan menjaga keselamatan di area kerja.

2.4 Risiko dan Bahaya di Tangki Timbun

Tangki timbun memiliki berbagai risiko dan bahaya yang dapat mengancam keselamatan dan kesehatan pekerja. Pemahaman yang baik mengenai potensi bahaya ini sangat penting untuk mencegah kecelakaan kerja dan menjaga lingkungan kerja yang aman. Berikut adalah beberapa risiko utama yang terdapat di tangki timbun:

1. Risiko ruang terbatas (*confined space hazards*)

Tangki timbun sering dikategorikan sebagai ruang terbatas, yang memiliki:

a. Akses masuk terbatas, menyulitkan evakuasi dalam keadaan darurat.	Mitigasi:
--	-----------

b. Ventilasi alami yang buruk, menyebabkan penumpukan gas beracun atau defisiensi oksigen.	Wajib melakukan pengujian atmosfer, ventilasi paksa, dan penggunaan alat pernapasan darurat (SCBA).
c. Risiko sesak napas atau kehilangan kesadaran, akibat paparan gas berbahaya seperti H_2S , CO, atau gas <i>inert</i> .	

2. Risiko Paparan Gas Beracun dan Kurangnya Oksigen

a. Beberapa tangki menyimpan bahan kimia yang dapat mengeluarkan gas beracun, seperti H_2S , CO, atau VOC (<i>Volatile Organic Compounds</i>).	Mitigasi: Gunakan gas <i>detector</i> , lakukan pengujian atmosfer sebelum masuk, dan sediakan sistem ventilasi yang memadai.
b. Defisiensi oksigen dapat terjadi akibat reaksi kimia atau <i>displacement</i> oleh gas lain.	

3. Risiko Kebakaran dan Ledakan

a. Tangki yang menyimpan bahan mudah terbakar, seperti bensin, LPG, atau bahan kimia <i>volatile</i> , sangat rentan terhadap kebakaran dan ledakan.	Mitigasi: Gunakan peralatan anti-ledakan (<i>Explosion-Proof Equipment</i>), sistem
--	--

b. Sumber pemicu bisa berasal dari percikan listrik statis, peralatan yang tidak <i>explosion-proof</i> , atau kebocoran bahan bakar.	<i>grounding</i> dan <i>bonding</i> , serta prosedur <i>Hot Work Permit</i>
---	---

4. Risiko Terjatuh dari Ketinggian

a. Pekerja yang melakukan inspeksi atau perawatan sering kali harus naik ke atas tangki dengan akses terbatas.	Mitigasi: Gunakan <i>safety harness</i> , <i>lifeline</i> , dan akses tangga yang aman.
b. Kurangnya perlindungan terhadap jatuh dapat menyebabkan cedera serius atau fatal.	

5. Risiko kelebihan tekanan atau vakum dalam tangki

a. Perubahan suhu atau reaksi kimia di dalam tangki dapat menyebabkan tekanan berlebih atau vakum, yang berisiko merusak tangki atau menyebabkan kebocoran.	Mitigasi: Pasang katup pengaman tekanan (<i>Pressure Relief Valve</i>) dan lakukan inspeksi berkala pada sistem ventilasi.
b. Ledakan akibat tekanan berlebih bisa terjadi jika sistem ventilasi dan katup pengaman gagal berfungsi.	

6. Risiko Tumpahan dan Kontaminasi Lingkungan

a. Kebocoran atau tumpahan bahan kimia dari tangki dapat menyebabkan pencemaran tanah dan air, serta risiko kesehatan bagi pekerja.	Mitigasi: Gunakan <i>secondary containment (bund wall)</i> , sistem drainase tertutup, dan prosedur penanganan tumpahan (<i>Spill Response Plan</i>).
b. Tumpahan bahan mudah terbakar juga bisa memicu kebakaran dan ledakan.	

7. Risiko Panas Berlebih dan *Heat Stress*

a. Tangki yang terkena sinar matahari langsung atau menyimpan cairan bersuhu tinggi dapat menciptakan lingkungan yang sangat panas di sekitarnya.	Mitigasi: Berikan ventilasi yang baik, jadwal kerja yang sesuai, dan hidrasi yang cukup.
b. Pekerja dapat mengalami <i>heat stress</i> , dehidrasi, atau <i>heat stroke</i> jika bekerja terlalu lama di area panas.	

8. Risiko Kebisingan dan Getaran

a. Pompa, katup, dan sistem perpipaan di sekitar tangki dapat menghasilkan kebisingan tinggi	Mitigasi: Gunakan perlindungan
--	---------------------------------------

dan getaran yang berisiko bagi kesehatan pekerja.	pendengaran (<i>earplug</i> atau <i>earmuff</i>) dan lakukan pemantauan kebisingan secara rutin.
b. Paparan berkepanjangan dapat menyebabkan gangguan pendengaran dan masalah kesehatan lainnya.	

9. Risiko Biologis

a. Tangki yang digunakan untuk menyimpan air atau bahan organik bisa menjadi tempat berkembangnya bakteri, jamur, atau mikroorganisme berbahaya.	Mitigasi: Lakukan pembersihan berkala dan gunakan disinfektan sesuai standar.
b. Pekerja berisiko mengalami infeksi atau reaksi alergi akibat paparan mikroba.	

10. Risiko Ergonomi dan Kelelahan

a. Pekerjaan di dalam tangki sering kali memerlukan posisi tubuh yang tidak nyaman, seperti membungkuk atau merangkak dalam waktu lama.	Mitigasi: Gunakan peralatan kerja yang ergonomis, berikan istirahat terjadwal, dan pastikan
b. Kurangnya pencahayaan dan sirkulasi udara juga bisa menyebabkan kelelahan ekstrem.	

	penerangan cukup di area kerja.
--	---------------------------------

Bekerja di area tangki timbun memiliki banyak risiko yang dapat menyebabkan cedera serius, kecelakaan fatal, atau dampak lingkungan. Oleh karena itu, penerapan prosedur K3, peralatan pelindung, serta sistem pengawasan yang ketat menjadi hal yang wajib dilakukan untuk memastikan keselamatan pekerja.

*****TS*****

BAB 3

DASAR HUKUM DAN STANDAR K3 DI TANGKI TIMBUN

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di tangki timbun merupakan aspek krusial yang harus diperhatikan oleh setiap perusahaan yang mengoperasikan fasilitas ini. Tangki timbun, yang umumnya digunakan untuk menyimpan bahan bakar, bahan kimia, atau cairan industri lainnya, memiliki berbagai risiko yang dapat menyebabkan kecelakaan kerja, kebakaran, ledakan, serta pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, regulasi dan standar K3 yang ketat diterapkan untuk memastikan bahwa operasional tangki timbun berjalan dengan aman dan sesuai prosedur. Di Indonesia, aspek K3 dalam tangki timbun diatur oleh berbagai peraturan perundang-undangan, baik yang bersifat nasional maupun internasional. Regulasi ini mencakup persyaratan keselamatan kerja, perlindungan lingkungan, serta prosedur pengoperasian dan pemeliharaan tangki timbun. Dengan adanya standar yang jelas, perusahaan diharapkan dapat menerapkan kebijakan K3 yang efektif untuk melindungi pekerja, lingkungan, dan aset perusahaan.

3.1 Dasar Hukum Terkait K3 di Tangki Timbun

Dengan memahami regulasi dan standar ini, diharapkan pekerja dan manajemen dapat menerapkan prosedur keselamatan yang lebih efektif untuk mengurangi risiko dan menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman. Beberapa dasar hukum yang

mengatur aspek K3 dalam pengoperasian tangki timbun di Indonesia antara lain:

37 1. **Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja**

Mengatur kewajiban perusahaan dalam menjamin keselamatan pekerja, termasuk di lingkungan kerja tangki timbun.

15 2. **Undang-Undang No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja – Mengatur aspek keselamatan kerja di semua tempat kerja,** termasuk ruang terbatas seperti tangki timbun.

58 3. **Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan**

Menyebutkan pentingnya perlindungan tenaga kerja, termasuk dalam aspek kesehatan dan keselamatan kerja di lingkungan industri.

43 4. **Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. PER.05/MEN/1985 tentang Pesawat Uap dan Bejana Tekan**

Mengatur inspeksi dan perawatan terhadap tangki timbun yang bertekanan agar tetap aman digunakan.

69 5. **Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 5 Tahun 2018 tentang K3 di Ruang Terbatas – Menyediakan pedoman spesifik untuk bekerja di ruang terbatas guna mengurangi risiko kecelakaan kerja.**

21 6. **Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.74/MENLHK/SETJEN/KUM.1/10/2019 tentang Pengendalian dan Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3).**

Mengatur tentang penyimpanan bahan kimia berbahaya di dalam tangki timbun untuk menghindari risiko pencemaran lingkungan.

3.2 Standar Nasional Indonesia (SNI) 13-6934-2002 tentang Tangki Timbun

SNI 13-6934-2002 adalah standar nasional Indonesia yang mengatur tentang desain, konstruksi, pengoperasian, dan pemeliharaan tangki timbun untuk penyimpanan bahan cair, termasuk bahan bakar minyak dan bahan kimia lainnya. Fungsi standar ini adalah :

- Menetapkan persyaratan teknis untuk tangki timbun agar aman, andal, dan efisien.
- Mencegah kebocoran dan kegagalan struktural yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.
- Mengatur prosedur inspeksi dan pemeliharaan untuk memastikan keandalan jangka panjang.
- Menyesuaikan standar tangki timbun dengan kondisi lingkungan dan peraturan di Indonesia.

1. Cakupan Standar SNI 13-6934-2002:

a. Desain dan Konstruksi

- Material yang digunakan harus sesuai dengan jenis cairan yang disimpan.
- Metode fabrikasi dan perakitan tangki timbun.
- Ketahanan terhadap tekanan, korosi, dan faktor lingkungan lainnya.

b. Instalasi dan Pengoperasian

- Persyaratan lokasi dan fondasi tangki timbun.
- Sistem ventilasi dan perlindungan terhadap kebakaran.
- Sistem pemantauan kebocoran dan keamanan operasional.

c. Inspeksi dan Pemeliharaan

- Frekuensi dan metode inspeksi visual maupun pengujian non-destruktif.
- Prosedur perbaikan dan modifikasi tangki jika ditemukan cacat atau kerusakan.
- Standar keamanan bagi pekerja yang melakukan perawatan tangki timbun.

2. Hubungan dengan Standar Internasional:

- a. API 650 dan API 653 → SNI 13-6934-2002 memiliki prinsip serupa dengan standar API dalam desain dan inspeksi tangki baja atmosferik.
- b. NFPA 30 → Mengacu pada prinsip keselamatan kebakaran untuk tangki timbun yang menyimpan bahan mudah terbakar.
- c. ISO 45001 → Standar keselamatan kerja yang dapat diterapkan dalam inspeksi dan pemeliharaan tangki timbun.

SNI 13-6934-2002 adalah standar penting untuk memastikan bahwa tangki timbun di Indonesia memenuhi persyaratan teknis, keselamatan, dan lingkungan. Standar ini juga mendukung

pencegahan risiko kebocoran, ledakan, dan pencemaran, sehingga sangat relevan bagi industri minyak dan gas, kimia, serta sektor lainnya yang menggunakan tangki timbun untuk penyimpanan bahan cair.

3.3 Standar Internasional yang Berlaku tentang Tangki Timbun

Selain regulasi nasional dan standar nasional, terdapat beberapa standar internasional yang menjadi acuan dalam penerapan K3 di tangki timbun, yaitu :

1. **OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*)**

OSHA adalah lembaga di bawah Departemen Tenaga Kerja Amerika Serikat yang menetapkan peraturan keselamatan dan kesehatan kerja, termasuk untuk tangki timbun. **Fungsi OSHA adalah :**

- a. Menetapkan standar keselamatan bagi pekerja yang beroperasi di sekitar tangki timbun.
- b. Mengurangi risiko kebakaran, ledakan, dan paparan bahan kimia berbahaya.
- c. Memberikan pedoman inspeksi, pemeliharaan, dan prosedur darurat di fasilitas penyimpanan.

Series standar dalam OSHA terkait Tangki Timbun meliputi :

- a. **OSHA 1910.106** – Standar untuk cairan yang mudah terbakar dan tangki penyimpanan.
- b. **OSHA 1910.119** – Manajemen keselamatan proses untuk bahan kimia berbahaya.

10

- c. **OSHA 1910.146** – Standar ruang terbatas (*Confined Space*), penting untuk pekerja yang masuk ke dalam tangki timbun.

2. **NFPA (*National Fire Protection Association*)**

NFPA adalah organisasi internasional yang mengembangkan standar untuk pencegahan dan penanggulangan kebakaran, termasuk yang berkaitan dengan tangki timbun. **Fungsi NFPA adalah :**

- a. Memberikan panduan tentang pencegahan dan mitigasi kebakaran serta ledakan pada tangki timbun.
- b. Mengatur desain, instalasi, dan pemeliharaan sistem perlindungan kebakaran.

Series Standar dalam NFPA terkait Tangki Timbun meliputi :

- a. NFPA 30 – Kode untuk cairan yang mudah terbakar dan tangki penyimpanan.
- b. NFPA 11 – Standar sistem busa pemadam kebakaran untuk tangki penyimpanan.
- c. NFPA 70 (NEC) – Standar kelistrikan untuk fasilitas dengan tangki timbun guna mencegah kebakaran akibat percikan listrik.
- d. NFPA 77 – Pencegahan bahaya listrik statis di area penyimpanan bahan mudah terbakar.

3. **API (American Petroleum Institute)**

API adalah organisasi yang mengembangkan standar teknis untuk industri minyak dan gas, termasuk desain, konstruksi, operasi, dan inspeksi tangki timbun. **Fungsi API adalah :**

- a. Menyediakan panduan teknis untuk desain, pengujian, dan pemeliharaan tangki timbun.
- b. Mengatur inspeksi berkala untuk memastikan keselamatan dan keandalan tangki.
- c. Meningkatkan efisiensi operasional dan pencegahan kebocoran atau kegagalan struktural.

Series Standar dalam API terkait Tangki Timbun:

- a. API 650 – Standar untuk desain dan konstruksi tangki timbun baja atmosferik.
- b. API 653 – Standar inspeksi, perbaikan, dan rekonstruksi tangki penyimpanan.
- c. API 2000 – *Venting* (sistem pelepasan tekanan) untuk tangki penyimpanan.
- d. API RP 2350 – Panduan deteksi *overflow* untuk tangki penyimpanan minyak.
- e. API 620 – Standar tangki bertekanan rendah untuk penyimpanan LNG dan gas lainnya.

4. **ISO 45001 (Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja)**

ISO 45001 adalah standar internasional yang mengatur sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (K3) di berbagai

industri, termasuk sektor penyimpanan dan tangki timbun.

Fungsi ISO 45001 adalah :

- a. Meningkatkan keselamatan kerja di lingkungan industri yang menggunakan tangki timbun.
- b. Mengurangi risiko kecelakaan dan cedera kerja.
- c. Memastikan perusahaan memiliki kebijakan keselamatan kerja yang sesuai dengan standar global.

Series Standar ISO 45001 terkait Tangki Timbun meliputi :

- a. **ISO 45001:2018** – Standar utama untuk sistem manajemen K3.
- b. **ISO 14001** – Standar terkait pengelolaan lingkungan untuk fasilitas yang menggunakan tangki penyimpanan.
- c. **ISO 9001** – Standar sistem manajemen mutu untuk memastikan kualitas dalam operasi tangki timbun.

Perbandingan ke empat standar internasional tersebut adalah :

- a. **OSHA** berfokus pada keselamatan pekerja dalam pengoperasian tangki timbun.
- b. **NFPA** mengatur aspek pencegahan dan penanggulangan kebakaran serta ledakan di area penyimpanan bahan berbahaya.
- c. **API** menyediakan panduan teknis terkait desain, inspeksi, dan perawatan tangki timbun dalam industri minyak dan gas.

- d. **ISO 45001** membantu perusahaan mengelola sistem keselamatan dan kesehatan kerja secara sistematis dan berkelanjutan.

Penerapan dasar hukum dan standar K3 dalam pengelolaan tangki timbun sangat penting untuk mencegah risiko kecelakaan kerja serta dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan kepatuhan terhadap regulasi nasional dan internasional, diharapkan setiap fasilitas tangki timbun dapat beroperasi dengan aman dan sesuai dengan prinsip keselamatan yang telah ditetapkan.

3.4 Tanggung Jawab dan Kewajiban Perusahaan serta Pekerja

Pengelolaan tangki timbun yang aman dan sesuai standar memerlukan keterlibatan aktif dari berbagai pihak, terutama perusahaan dan pekerja. Tanggung jawab dan kewajiban masing-masing pihak harus dipahami dengan baik untuk memastikan operasional tangki timbun berjalan tanpa insiden yang membahayakan pekerja, lingkungan, dan aset perusahaan.

1. *Tanggung Jawab dan Kewajiban Perusahaan*

Sebagai pemilik dan pengelola fasilitas tangki timbun, perusahaan memiliki kewajiban utama dalam menjamin keselamatan, kesehatan, dan kesejahteraan pekerja serta keberlanjutan operasionalnya. Berikut adalah beberapa tanggung jawab utama perusahaan:

4

a. **Menyediakan Sistem Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang Memadai**

- Menyusun kebijakan dan prosedur K3 yang sesuai dengan regulasi nasional dan standar internasional.
- Melakukan identifikasi bahaya dan analisis risiko terhadap potensi kecelakaan di tangki timbun.
- Memastikan adanya sistem pemantauan terhadap kondisi tangki dan lingkungan sekitar.

b. **Menyediakan Pelatihan dan Sertifikasi Pekerja**

- Memberikan pelatihan kepada pekerja tentang prosedur kerja aman di tangki timbun, terutama bagi yang bekerja di ruang terbatas (*confined space*).
- Mengadakan sertifikasi khusus untuk operator tangki timbun dan petugas keselamatan.
- Mengembangkan budaya keselamatan dengan pelatihan rutin dan simulasi keadaan darurat.

c. **Memastikan Kelengkapan Peralatan Keselamatan**

- Menyediakan dan memastikan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) seperti helm, sarung tangan tahan bahan kimia, respirator, dan pakaian tahan api.
- Memasang alat deteksi kebocoran gas dan sistem pemadam kebakaran otomatis.
- Melakukan inspeksi dan pemeliharaan berkala terhadap tangki timbun untuk menghindari kegagalan struktural atau kebocoran.

104

d. Menjalankan Prosedur Keadaan Darurat

- Menyusun rencana tanggap darurat jika terjadi kebocoran, kebakaran, atau ledakan.
- Melakukan simulasi keadaan darurat secara berkala untuk memastikan kesiapan tim tanggap darurat.
- Berkoordinasi dengan pihak eksternal seperti pemadam kebakaran dan instansi terkait dalam manajemen krisis.

e. Mematuhi Regulasi dan Standar yang Berlaku

- Mengikuti peraturan pemerintah terkait pengelolaan tangki timbun, seperti UU No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja dan SNI terkait desain dan operasional tangki timbun.
- Melakukan audit keselamatan secara berkala untuk memastikan kepatuhan terhadap standar yang berlaku.
- Menerapkan sistem manajemen lingkungan agar operasional tangki timbun tidak mencemari lingkungan.

2. Tanggung Jawab dan Kewajiban Pekerja

Sebagai pelaksana operasional, pekerja memiliki tanggung jawab penting dalam menjaga keselamatan dirinya sendiri dan rekan kerja di sekitar tangki timbun. Berikut adalah beberapa kewajiban pekerja:

a. Mematuhi Prosedur Keselamatan yang Ditetapkan

- Mengikuti semua SOP (*Standard Operating Procedure*) yang telah ditetapkan oleh perusahaan dalam bekerja di sekitar tangki timbun.

105

- Menggunakan APD yang sesuai dengan risiko pekerjaan yang dilakukan.
- Tidak melakukan tindakan yang dapat menimbulkan bahaya, seperti merokok atau menggunakan alat listrik yang tidak aman di dekat tangki yang menyimpan bahan mudah terbakar.

b. Mengikuti Pelatihan dan Mengembangkan Kompetensi

- Menghadiri pelatihan yang diberikan perusahaan terkait keselamatan kerja di tangki timbun.
- Mengembangkan pemahaman terhadap risiko kerja dan cara mitigasinya.
- Mengetahui dan memahami prosedur evakuasi serta penggunaan alat pemadam kebakaran.

c. Melaporkan Kondisi Berbahaya atau Insiden

- Segera melaporkan adanya kebocoran, bau gas, atau kondisi tidak aman lainnya kepada atasan atau petugas keselamatan.
- Berpartisipasi aktif dalam program pelaporan insiden untuk meningkatkan perbaikan sistem keselamatan.
- Tidak menyembunyikan atau mengabaikan potensi bahaya yang dapat membahayakan diri sendiri dan orang lain.

73

d. Bekerja dengan Sikap Profesional dan Bertanggung Jawab

- Memastikan kondisi tubuh dalam keadaan sehat dan tidak berada di bawah pengaruh alkohol atau obat-obatan saat bekerja.
- Tidak melakukan pekerjaan yang melampaui kapasitas atau keahliannya tanpa pengawasan.
- Mematuhi jam kerja dan sistem *shift* yang ditetapkan untuk menghindari kelelahan yang dapat meningkatkan risiko kecelakaan.

Keberhasilan penerapan K3 dalam pengoperasian tangki timbun sangat bergantung pada sinergi antara perusahaan dan pekerja. Perusahaan harus menyediakan lingkungan kerja yang aman dengan standar keselamatan yang tinggi, sementara pekerja wajib mematuhi prosedur yang telah ditetapkan demi menjaga keselamatan diri dan lingkungan kerja. Dengan tanggung jawab dan kewajiban yang dijalankan secara optimal, risiko kecelakaan kerja dapat diminimalkan, sehingga menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan produktif.

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dalam operasional tangki timbun merupakan aspek yang sangat krusial untuk mencegah kecelakaan kerja, kerusakan lingkungan, serta kerugian ekonomi. Berbagai regulasi dan standar yang telah ditetapkan oleh pemerintah maupun lembaga internasional bertujuan untuk memastikan bahwa setiap tahap dalam pengelolaan tangki timbun, mulai dari desain, konstruksi, operasional, hingga pemeliharaan, dilakukan dengan prosedur yang aman dan sesuai dengan standar teknis yang berlaku.

27

Penerapan dasar hukum seperti Undang-Undang No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja, PP No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen K3, serta berbagai standar nasional dan internasional seperti SNI, API (*American Petroleum Institute*), NFPA (*National Fire Protection Association*), dan OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) menjadi pedoman utama dalam memastikan keselamatan kerja di lingkungan tangki timbun.

39

Namun, kepatuhan terhadap regulasi saja tidak cukup. Keselamatan kerja di tangki timbun harus menjadi budaya yang diterapkan secara konsisten oleh seluruh elemen di tempat kerja, baik oleh perusahaan, pengawas, maupun pekerja. Edukasi, pelatihan berkala, inspeksi rutin, serta perbaikan berkelanjutan harus terus dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh aspek keselamatan dapat berjalan secara efektif.

Dengan penerapan regulasi dan standar yang ketat, serta kerja sama antara pemerintah, perusahaan, dan pekerja, diharapkan operasional tangki timbun dapat berlangsung dengan aman dan efisien. Keselamatan bukan hanya menjadi kewajiban hukum, tetapi juga investasi jangka panjang dalam menciptakan lingkungan kerja yang produktif dan berkelanjutan.

*****TS*****

BAB 4

IDENTIFIKASI DAN ANALISIS RISIKO K3 DI TANGKI TIMBUN

123 Tangki timbun merupakan fasilitas penyimpanan bahan cair atau gas dalam jumlah besar yang banyak digunakan di industri perminyakan, petrokimia, farmasi, hingga industri makanan. Tangki ini memiliki peran strategis dalam rantai distribusi dan produksi, karena digunakan untuk menampung bahan baku maupun produk akhir sebelum diproses lebih lanjut atau dikirim ke konsumen. Namun, operasional tangki timbun juga membawa risiko tinggi yang dapat berdampak pada keselamatan pekerja, lingkungan, dan aset perusahaan. Oleh karena itu, identifikasi serta analisis risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) menjadi langkah yang sangat penting dalam mencegah kecelakaan dan menjaga keberlangsungan operasional.

24 Lingkungan kerja di sekitar tangki timbun memiliki tantangan tersendiri, terutama karena sifat bahan yang disimpan, yang umumnya mudah terbakar, beracun, atau bersifat korosif. Risiko utama yang sering dikaitkan dengan tangki timbun meliputi kebocoran bahan kimia, ledakan akibat uap bahan yang mudah terbakar, paparan gas beracun seperti hidrogen sulfida (H_2S), serta potensi keruntuhan struktur tangki akibat korosi atau beban berlebih (Septiningtias dkk., 2023). Selain itu, karena tangki timbun termasuk dalam kategori ruang terbatas (*confined space*), pekerja yang harus masuk ke dalam tangki untuk keperluan inspeksi, pembersihan, atau

perawatan memiliki risiko tinggi terhadap kekurangan oksigen, paparan gas beracun, hingga kecelakaan akibat terbatasnya akses keluar-masuk.

Dalam praktiknya, analisis risiko K3 di tangki timbun dapat dilakukan menggunakan berbagai metode, seperti *Job Safety Analysis* (JSA), *Hazard Identification, Risk Assessment, and Control* (HIRARC), *Hazard and Operability Study* (HAZOP), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Fault Tree Analysis* (FTA), serta *Bowtie Analysis*. Masing-masing metode memiliki pendekatan tersendiri dalam mengidentifikasi, menilai, dan mengendalikan risiko di tempat kerja. Sebagai contoh, JSA digunakan untuk menganalisis bahaya spesifik dalam suatu tugas kerja tertentu, sementara HAZOP lebih banyak digunakan untuk mengevaluasi penyimpangan proses yang dapat menyebabkan kegagalan sistem.

Selain itu, pendekatan berbasis hierarki pengendalian risiko sangat penting untuk diterapkan. Metode ini menekankan bahwa pengendalian terbaik adalah eliminasi bahaya, diikuti dengan substitusi bahan atau metode yang lebih aman, rekayasa teknis seperti pemasangan sensor gas dan sistem ventilasi, pengendalian administratif melalui pelatihan dan prosedur keselamatan, serta penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) sebagai langkah terakhir dalam perlindungan pekerja (Trismawati dkk., 2025).

Pentingnya identifikasi dan analisis risiko K3 di tangki timbun bukan hanya sekadar pemenuhan regulasi, tetapi juga merupakan investasi bagi perusahaan dalam menjaga keberlangsungan operasionalnya. Insiden seperti kebocoran bahan kimia atau ledakan tidak hanya dapat menyebabkan korban jiwa, tetapi juga dapat

menimbulkan dampak lingkungan yang luas serta kerugian finansial yang sangat besar. Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang risiko yang ada serta penerapan strategi mitigasi yang tepat sangat diperlukan dalam menciptakan lingkungan kerja yang aman dan produktif di sekitar tangki timbun.

Buku ini akan membahas secara komprehensif mengenai berbagai aspek K3 dalam operasional tangki timbun, termasuk identifikasi bahaya, analisis risiko menggunakan berbagai metode, serta strategi pengendalian yang dapat diterapkan untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja. Dengan adanya pemahaman yang lebih baik mengenai risiko yang ada, diharapkan baik perusahaan maupun pekerja dapat lebih siap dalam menghadapi tantangan keselamatan di industri. Dalam tabel berikut ditampilkan perbandingan aplikasi metode identifikasi K3 dalam kasus tangki timbun.

4.1 Metode Identifikasi Bahaya (JSA, HIRARC, HAZOP)

Tangki timbun memiliki berbagai potensi bahaya yang dapat menimbulkan risiko bagi pekerja, lingkungan, dan aset perusahaan. Oleh karena itu, metode identifikasi bahaya sangat diperlukan untuk mengantisipasi dan mengendalikan risiko yang ada. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk identifikasi bahaya dalam tangki timbun adalah *Job Safety Analysis (JSA)*, *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)*, dan *Hazard and Operability Study (HAZOP)*. Berikut adalah penjelasan masing-masing metode dan aplikasinya dalam lingkungan kerja tangki timbun.

Tabel 4.1 Metode Identifikasi Bahaya

No.	Metode	Langkah-langkah	Aplikasi dalam Tangki Timbun
1.	Job Safety Analysis (JSA) JSA adalah metode identifikasi bahaya yang berfokus pada analisis langkah-langkah kerja untuk menemukan potensi bahaya dan menetapkan tindakan pengendalian yang sesuai (Abidin & Mahbubah, 2021).	1. Identifikasi Tugas Kerja: Menentukan pekerjaan spesifik yang akan dianalisis, misalnya, pembersihan tangki timbun. 2. Memecah Tugas ke dalam Langkah-Langkah Kerja: Menguraikan proses kerja menjadi tahapan kecil. 3. Mengidentifikasi Potensi Bahaya di Setiap Langkah: Menganalisis risiko seperti paparan gas beracun, bahaya ledakan, atau kekurangan oksigen. 4. Menentukan Pengendalian Bahaya:	1. Saat pekerja masuk ke dalam ruang terbatas tangki untuk inspeksi atau pembersihan, JSA dapat membantu mengidentifikasi risiko kekurangan oksigen dan paparan gas beracun seperti H₂S. 2. Dapat digunakan untuk mengurangi risiko jatuh saat bekerja di ketinggian, misalnya, saat pekerja melakukan pemeliharaan pada bagian atas tangki timbun.

		Menetapkan langkah mitigasi seperti ventilasi mekanis, penggunaan alat pelindung diri (APD), dan prosedur izin kerja.	
2.	<i>Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)</i> HIRARC adalah metode sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi bahaya, menilai risiko yang terkait, dan mengembangkan langkah-langkah pengendalian untuk mengurangi atau menghilangkan	1. Identifikasi Bahaya: Menentukan potensi bahaya di tempat kerja, seperti kebocoran bahan kimia atau potensi ledakan di dalam tangki timbun. 2. Penilaian Risiko: Mengukur tingkat risiko berdasarkan kemungkinan kejadian dan tingkat keparahan dampaknya. 3. Pengendalian Risiko: Menerapkan langkah mitigasi	1. Dapat digunakan untuk menilai risiko kebakaran dan ledakan akibat uap bahan bakar yang tersimpan di tangki. 2. Berguna dalam menilai potensi kerusakan struktural tangki akibat korosi yang dapat menyebabkan kebocoran bahan kimia berbahaya. 3. Membantu dalam penyusunan prosedur darurat jika terjadi kebocoran atau

	risiko (Ulimaz, 2022).	sesuai dengan hierarki pengendalian risiko (eliminasi, substitusi, rekayasa teknis, administratif, dan APD).	paparan gas beracun.
3.	<i>Hazard and Operability Study (HAZOP)</i> HAZOP adalah metode analisis berbasis tim yang digunakan untuk mengidentifikasi penyimpangan dari operasi normal suatu sistem dan mengevaluasi potensi bahaya yang dapat terjadi akibat penyimpangan tersebut (Haslindah dkk., 2020).	1. Menentukan Sistem atau Proses yang Dikaji: Misalnya, sistem pemompaan bahan bakar dari tangki timbun ke jalur distribusi. 2. Menggunakan Kata Kunci HAZOP: Kata-kata seperti "lebih banyak," "lebih sedikit," "terlalu lambat," "terlalu cepat" digunakan untuk mengidentifikasi penyimpangan. 3. Mengidentifikasi Penyebab dan Konsekuensi: Menganalisis dampak dari	1. Dapat digunakan untuk mengevaluasi risiko akibat kelebihan tekanan dalam tangki yang dapat menyebabkan ledakan. 2. Membantu dalam analisis sistem ventilasi dan pencegahan akumulasi gas mudah terbakar. 3. Menilai kemungkinan kesalahan operasional dalam pengisian dan pengosongan tangki yang dapat

		penyimpangan tersebut, seperti kemungkinan kebocoran atau <i>overflowing</i> yang dapat menyebabkan tumpahan bahan berbahaya. 4. Menentukan Tindakan Pencegahan: Mengembangkan rekomendasi seperti pemasangan sensor tekanan atau pengaturan prosedur <i>shutdown</i> otomatis.	menyebabkan tumpahan bahan kimia.
--	--	---	--

Setiap metode memiliki keunggulan dan penerapan yang spesifik tergantung pada aspek risiko yang ingin dikendalikan.

- a. JSA lebih fokus pada langkah kerja tertentu untuk memastikan pekerja memahami bahaya dan cara mencegahnya.
- b. HIRARC digunakan untuk menilai bahaya secara komprehensif dan menentukan langkah pengendalian yang sesuai.

- c. HAZOP lebih efektif dalam menganalisis penyimpangan proses operasional dan potensi kegagalan sistem.

Dalam industri tangki timbun yang memiliki risiko tinggi, kombinasi dari metode-metode ini sangat dianjurkan untuk memastikan keselamatan pekerja dan mencegah kecelakaan kerja.

4.2 Potensi Risiko dalam Tangki Timbun

Tangki timbun merupakan fasilitas penyimpanan bahan cair atau gas dalam jumlah besar yang sering digunakan dalam industri minyak dan gas, petrokimia, serta manufaktur bahan kimia. Kondisi kerja di dalam dan sekitar tangki timbun memiliki berbagai potensi bahaya yang harus diidentifikasi dan dikendalikan dengan baik. Berikut adalah tiga risiko utama dalam tangki timbun:

Tabel 4.2 Risiko utama tangki timbun

No.	Potensi Risiko	Penyebab	Dampak	Pengendalian Risiko
1.	Ledakan dalam Tangki Timbun	1. Akumulasi uap bahan mudah terbakar di dalam tangki akibat ventilasi yang buruk. 2. Pelepasan statis atau	1. Kerusakan struktural pada tangki dan lingkungan sekitar. 2. Cedera serius atau kematian	1. Pemasangan sistem ventilasi dan deteksi gas untuk mencegah akumulasi uap mudah terbakar. 2. Penggunaan peralatan

		percikan api akibat peralatan yang tidak terlindung dari ledakan. 3. Reaksi kimia yang tidak terkontrol yang dapat menyebabkan pelepasan panas dan tekanan tinggi. 4. <i>Overfilling</i> (pengisian berlebih) yang menyebabkan tumpahan dan pembentukan campuran uap yang mudah terbakar.	bagi pekerja di sekitar lokasi. 3. Kerugian material akibat kebakaran dan ledakan besar.	tahan ledakan (<i>explosion-proof equipment</i>). 3. Implementasi prosedur operasi standar (SOP) yang ketat dalam pengisian dan pengosongan tangki. 4. Pemeriksaan dan pemeliharaan berkala untuk memastikan tidak ada kebocoran atau akumulasi tekanan berlebihan.
--	--	--	--	--

2.	Kekurangan Oksigen dalam Tangki Timbun	1. Penggunaan gas <i>inert</i> (seperti nitrogen) untuk mengurangi risiko kebakaran, yang menggeser oksigen dalam ruang tangki. 2. Proses dekomposisi bahan kimia yang mengonsumsi oksigen di dalam tangki tertutup. 3. Kurangnya ventilasi alami dalam tangki yang sudah lama tertutup atau digunakan	1. Hipoksia (kekurangan oksigen) yang dapat menyebabkan pusing, kehilangan kesadaran, dan kematian mendadak. 2. Gangguan kognitif dan koordinasi tubuh, yang meningkatkan risiko kecelakaan saat bekerja di dalam tangki.	1. Melakukan pengujian atmosfer di dalam tangki sebelum masuk menggunakan alat deteksi oksigen. 2. Menerapkan prosedur izin kerja di ruang terbatas (<i>Confined Space Entry Permit</i>). 3. Menyediakan alat bantu pernapasan bagi pekerja yang masuk ke dalam tangki. 4. Memastikan adanya ventilasi yang cukup atau pemasangan blower udara sebelum dan selama pekerjaan berlangsung.
-----------	---	---	---	--

		untuk penyimpanan bahan kimia tertentu.		
3.	Paparan Zat Berbahaya dalam Tangki Timbun	1. Kebocoran atau sisa zat kimia beracun di dalam tangki yang tidak sepenuhnya dibersihkan. 2. Penguapan bahan kimia berbahaya seperti hidrogen sulfida (H_2S), benzena, atau amonia. 3. Reaksi kimia akibat kontaminasi zat yang	1. Keracunan akut atau kronis, tergantung pada jenis zat yang terpapar. 2. Iritasi pada kulit, mata, dan saluran pernapasan akibat uap bahan kimia. 3. Gangguan kesehatan jangka panjang, termasuk risiko kanker akibat paparan bahan	1. Menggunakan alat pelindung diri (APD) yang sesuai, seperti respirator dan pakaian pelindung kimia. 2. Melakukan pembersihan tangki secara menyeluruh sebelum pekerjaan dilakukan. 3. Memantau konsentrasi zat berbahaya dengan alat deteksi gas sebelum memasuki tangki. 4. Menyediakan prosedur evakuasi dan pertolongan

		tidak kompatibel di dalam tangki.	karsinogenik.	pertama dalam kasus paparan bahan berbahaya.
--	--	-----------------------------------	---------------	--

Tangki timbun memiliki risiko tinggi terhadap ledakan, kekurangan oksigen, dan paparan zat berbahaya. Oleh karena itu, penerapan sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (K3) yang ketat sangat diperlukan. Langkah-langkah seperti inspeksi berkala, penggunaan peralatan pelindung, serta prosedur kerja yang aman harus selalu diterapkan untuk mengurangi potensi kecelakaan di tempat kerja.

4.3 Contoh Kasus Kecelakaan di Tangki Timbun

Contoh kasus ledakan di tangki timbun akibat akumulasi uap mudah terbakar dengan deskripsi kejadian dijelaskan dalam bagian ini. Sebuah tangki timbun di fasilitas penyimpanan minyak mengalami ledakan besar saat dilakukan proses pembersihan tangki. Sebelum kejadian, tangki tersebut digunakan untuk menyimpan bensin. Tim pekerja memasuki tangki untuk membersihkan sisa bahan bakar tanpa menggunakan prosedur izin kerja di ruang terbatas (*Confined Space Entry Permit*) dan tanpa melakukan pengujian atmosfer di dalam tangki. Ketika salah satu pekerja menyalakan alat listrik untuk memulai pembersihan, percikan api yang terjadi akibat hubungan pendek listrik memicu ledakan karena adanya akumulasi uap bensin di dalam tangki. Ledakan ini

mengakibatkan tiga pekerja mengalami luka bakar serius, satu orang meninggal dunia, dan struktur tangki mengalami kerusakan parah. Analisis Penyebab Kecelakaan ada beberapa hal yang dominan seperti dalam ulasan berikut :

1. Kurangnya ventilasi, tangki tidak diuapkan atau diaerasi secara memadai sebelum pekerja masuk, sehingga uap bensin tetap terperangkap di dalamnya.
2. Tidak ada pengujian atmosfer, tidak dilakukan deteksi gas menggunakan alat seperti gas *detector* sebelum pekerja memasuki tangki untuk memastikan tingkat oksigen aman dan tidak ada gas mudah terbakar.
3. Kelalaian dalam prosedur izin kerja, pekerja masuk tanpa mengikuti prosedur *confined space entry permit*, yang seharusnya memastikan bahwa semua risiko telah dikendalikan sebelum pekerjaan dilakukan.
4. Penggunaan peralatan tidak tahan ledakan, alat listrik yang digunakan tidak bersertifikasi *explosion-proof*, sehingga menimbulkan percikan api yang memicu ledakan.

4.3.1 Cara Meminimalkan Risiko Kecelakaan di Tangki Timbun

1. Penerapan izin kerja ruang terbatas (*confined space entry permit*), setiap pekerjaan di dalam tangki timbun harus mendapatkan izin kerja yang memastikan semua prosedur keselamatan telah dipenuhi.
2. Pengujian atmosfer sebelum dan selama pekerjaan, menggunakan gas *detector* untuk mengukur kadar oksigen, gas mudah terbakar, dan gas beracun sebelum pekerja masuk. Jika

terdeteksi gas berbahaya, harus dilakukan ventilasi atau inertisasi terlebih dahulu.

3. Ventilasi yang memadai, menggunakan blower atau *exhaust fan* untuk menggantikan udara di dalam tangki dengan udara segar sebelum dan selama proses pekerjaan.
4. Penggunaan peralatan tahan ledakan, semua alat listrik yang digunakan harus bersertifikat ATEX atau *explosion-proof* agar tidak menimbulkan percikan api di atmosfer yang mudah terbakar.
5. Pelatihan dan simulasi darurat, pekerja harus mendapatkan pelatihan keselamatan kerja di ruang terbatas dan melakukan simulasi prosedur darurat untuk menghadapi kemungkinan kecelakaan.
6. Pengawasan dan inspeksi rutin, supervisor K3 harus memastikan semua langkah keselamatan telah diterapkan sebelum pekerjaan dimulai. Pemeriksaan berkala terhadap peralatan dan kondisi tangki untuk menghindari kebocoran atau akumulasi gas berbahaya.

Kecelakaan di tangki timbun dapat terjadi akibat kelalaian dalam prosedur keselamatan kerja. Dalam kasus ini, kurangnya ventilasi, tidak adanya pengujian atmosfer, serta penggunaan alat yang tidak tahan ledakan menjadi faktor utama yang menyebabkan ledakan. Untuk mencegah kejadian serupa, perlu diterapkan protokol izin kerja, pengujian gas, ventilasi, penggunaan peralatan tahan ledakan, serta pelatihan keselamatan yang ketat.

*****TS*****

BAB 5

PENERAPAN SISTEM K3 DI TANGKI TIMBUN

13 Tangki timbun merupakan fasilitas penting dalam industri minyak, gas, petrokimia, dan berbagai sektor lainnya yang memerlukan penyimpanan bahan dalam jumlah besar. Sebagai bagian dari rantai distribusi dan operasional, tangki timbun berfungsi menyimpan cairan berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia, dan gas cair (Estri Kartika dkk., 2022). Namun, lingkungan kerja di sekitar tangki timbun memiliki risiko tinggi terhadap kecelakaan, termasuk ledakan, kebocoran gas beracun, kebakaran, dan paparan zat berbahaya. Oleh karena itu, penerapan sistem Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) menjadi sangat krusial untuk mencegah insiden yang dapat berdampak pada pekerja, masyarakat sekitar, serta lingkungan.

2 Penerapan sistem K3 di tangki timbun mencakup berbagai aspek, mulai dari identifikasi bahaya, analisis risiko, pengendalian potensi kecelakaan, hingga pelatihan tenaga kerja. Prosedur keselamatan yang ketat harus diterapkan, termasuk penggunaan alat pelindung diri (APD), sistem ventilasi yang memadai, pemantauan kadar gas, serta prosedur masuk ruang terbatas (*confined space entry*). Regulasi yang mengatur keselamatan kerja di tangki timbun juga harus dipatuhi, seperti peraturan perundang-undangan nasional serta standar internasional seperti OSHA, NFPA, dan API.

78 Dengan penerapan sistem K3 yang baik, risiko kecelakaan dapat diminimalkan, produktivitas kerja meningkat, dan keberlanjutan operasional tangki timbun dapat terjamin. Buku ini akan mengupas lebih dalam mengenai strategi dan praktik terbaik dalam penerapan sistem K3 di lingkungan kerja tangki timbun, sehingga dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi para praktisi dan pemangku kepentingan di industri terkait.

94 5.1 Perizinan Masuk (*Confined Space Entry Permit*)

Perizinan masuk ruang terbatas (*confined space entry permit*) adalah dokumen resmi yang harus diperoleh sebelum seseorang memasuki ruang terbatas (*confined space*), seperti tangki timbun, silo, pipa besar, atau ruang tertutup lainnya yang memiliki risiko tinggi (Hasan & Indriyati, 2020). Ruang terbatas memiliki potensi bahaya serius seperti kekurangan oksigen, paparan gas beracun, akumulasi bahan mudah terbakar, serta risiko terperangkap atau tenggelam dalam cairan atau bahan lainnya.

5.1.1 Tujuan *Confined Space Entry Permit*

1. Mengidentifikasi dan mengendalikan bahaya – Dokumen ini membantu memastikan bahwa semua potensi bahaya telah diidentifikasi dan langkah pengendalian yang sesuai telah diterapkan sebelum pekerja masuk.
2. Meningkatkan keselamatan pekerja – Memastikan bahwa hanya pekerja yang terlatih dengan peralatan yang sesuai diperbolehkan masuk ke ruang terbatas.

3. Memastikan kepatuhan regulasi – Perizinan ini membantu organisasi mematuhi peraturan keselamatan kerja, baik dari standar nasional maupun internasional seperti **OSHA** (*Occupational Safety and Health Administration*) atau **NFPA** (*National Fire Protection Association*).
4. Menjamin proses evakuasi yang efektif – Memastikan adanya prosedur darurat dan peralatan penyelamatan yang memadai sebelum pekerja memasuki ruang terbatas.

5.1.2 Isi **Confined Space Entry Permit**

Confined space entry permit adalah dokumen resmi yang harus diperoleh sebelum pekerja memasuki ruang terbatas (*confined space*) untuk memastikan bahwa semua langkah keselamatan telah dipenuhi (Hasan & Indriyati, 2020). Izin ini digunakan untuk mengontrol dan memitigasi risiko yang berpotensi membahayakan pekerja. Karena ruang terbatas memiliki potensi bahaya seperti kekurangan oksigen (asphyxiation), kehadiran gas beracun (H_2S , CO, dll), bahaya ledakan atau kebakaran (Estri Kartika dkk., 2022), potensi terjebak atau tertimbun bahan berbahaya. Dokumen perizinan ini biasanya mencakup (SafetySign, 2023):

1. Identifikasi lokasi ruang terbatas.
2. Tujuan masuk dan aktivitas yang dilakukan di dalamnya.
3. Daftar pekerja yang diizinkan masuk.
4. Hasil pengujian atmosfer (kadar oksigen, gas beracun, gas mudah terbakar).
5. **Peralatan keselamatan yang diperlukan, seperti alat pelindung diri (APD), masker, dan sistem ventilasi.**

6. Penanggung jawab dan pengawas kerja di ruang terbatas.
7. Prosedur komunikasi dan penyelamatan darurat.
8. Masa berlaku izin (umumnya hanya berlaku untuk satu kali masuk).

5.1.3 Langkah-langkah Penggunaan *Confined Space Entry Permit*

1. Identifikasi ruang terbatas, yaitu menentukan apakah area tersebut tergolong *confined space* berdasarkan karakteristiknya.
2. Evaluasi Risiko, yaitu mengukur kadar oksigen, gas beracun, dan gas mudah terbakar menggunakan alat deteksi gas.
3. Pengisian izin oleh supervisor atau penanggung jawab mengisi formulir izin dengan semua informasi terkait keselamatan.
4. Persetujuan dan pengesahan oleh otoritas yang berwenang (*HSE officer* atau *supervisor*) meninjau dan menyetujui izin sebelum pekerjaan dimulai.
5. Pelaksanaan pekerjaan, bahwa pekerja hanya boleh masuk setelah izin diberikan dan semua langkah keselamatan diterapkan.
6. Penutupan izin harus diberlakukan setelah pekerjaan selesai, supervisor memastikan bahwa semua pekerja telah keluar dengan selamat, lalu mencabut izin masuk.

Confined space entry permit adalah bagian penting dari sistem K3 di lingkungan kerja dengan ruang terbatas, termasuk tangki timbun. Tanpa izin ini, risiko kecelakaan yang fatal bisa meningkat drastis. Oleh karena itu, penerapan prosedur izin masuk ruang

terbatas harus dilakukan dengan ketat untuk memastikan keselamatan pekerja dan keberlanjutan operasional perusahaan.

5.2 Penggunaan APD dan Alat Keselamatan

4 Bekerja di dalam tangki timbun memerlukan penggunaan APD dan alat keselamatan khusus untuk melindungi pekerja dari berbagai risiko, seperti kekurangan oksigen, paparan gas beracun, dan kemungkinan ledakan. Pekerjaan di area tangki timbun merupakan salah satu aktivitas yang memiliki tingkat risiko tinggi dalam dunia industri, terutama pada sektor migas, petrokimia, dan kimia. Tangki timbun sering kali dikategorikan sebagai ruang terbatas (*confined space*) yang menyimpan potensi bahaya seperti gas beracun, kekurangan oksigen, ledakan, hingga bahaya jatuh dan terperosok. Dalam situasi seperti ini, penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) dan peralatan keselamatan menjadi garis pertahanan pertama yang sangat penting untuk melindungi pekerja dari kecelakaan kerja yang fatal.

132 4 12 Penggunaan APD bukan sekadar kewajiban administratif, melainkan bagian integral dari budaya keselamatan kerja. Helm, masker respirator, sarung tangan tahan bahan kimia, baju tahan api, tali pengaman, hingga alat deteksi gas, semuanya memiliki peran vital untuk memastikan bahwa setiap aktivitas di dalam dan sekitar tangki timbun dilakukan secara aman dan sesuai standar.

Melalui pemahaman dan penerapan yang tepat terhadap penggunaan APD dan alat keselamatan, kita tidak hanya mematuhi regulasi K3 yang berlaku, tetapi juga menunjukkan komitmen terhadap keselamatan, kesehatan, dan kesejahteraan seluruh

tenaga kerja. Prolog ini membuka jalan untuk mendalami jenis-jenis APD yang sesuai, prosedur pemakaiannya, serta pentingnya inspeksi dan pelatihan sebelum pekerjaan di tangki timbun dimulai.

Tabel 5.1 Jenis APD yang sesuai dengan pekerjaan di ruang terbatas

JENIS APD	MACAM	FUNGSI	GAMBAR
Pelindung Pernapasan	<i>Self-Contained Breathing Apparatus (SCBA)</i>	Digunakan jika ada kemungkinan kekurangan oksigen atau paparan gas beracun	 Gambar 5.1 MSA <i>firehawk</i> 2002 NFPA SCBA (Sumber: https://bunkerfiresafety.com/product/msa-firehawk-2002-4500-nfpa-scba/)
	Respirator dengan Filter Khusus	Digunakan untuk menyaring gas atau partikel berbahaya yang mungkin ada di dalam tangki	 Gambar 5.2 <i>Full face rubber respirator with double filters chemical full face gas mask</i>

JENIS APD	MACAM	FUNGSI	GAMBAR
			(Sumber: https://www.topchinasupplier.com/wholesale/Full-Face-Rubber-Respirator-with-Double-Filters-Chemical-Full-Face-Gas-Mask_528497/)
Pelindung Kepala, Mata, dan Wajah	Helm keselamatan (<i>Safety Helmet</i>)	Melindungi kepala dari benturan atau jatuhan benda keras	 Gambar 5.3 <i>Safety helmet</i> (Sumber: https://tonataindonesia.com/product/safety-helmet-helm-proyek-include-inner-ring-helm-kerja-kuning?srsId=AfmBOooje-hLyzFdqPqRvrOwHIGu9zVgxL_Wnj2QCQ2XnU1BIJkp74-)
	Kacamata pelindung (<i>Safety Goggles</i>)	Mencegah paparan debu, bahan kimia, atau percikan	 Gambar 5.4 <i>Safety goggles</i>

JENIS APD	MACAM	FUNGSI	GAMBAR
		cairan berbahaya	(Sumber : https://www.monotaro.id/p111318337.html?q=Safe+ty+Goggles)
	<i>Face Shield</i>	Diperlukan jika ada risiko percikan bahan kimia atau partikel logam panas	 Gambar 5.5 Face shield (Sumber: https://www.monotaro.id/items/s031896580.html?utm_source=google&utm_medium=pla&utm_campaign=1672206402&utm_content=88187085595&utm_term=readystock_cat_group_1_pricebrand_group_1&gad_source=1&gad_campaignid=1672206402&gbraid=0AAAAADJU9--3R0RgE2SDPcui1J2DWmNY9&gclid=Cj0KCQjw0LDBBhCnARIsAMpYIAqPr-

JENIS APD	MACAM	FUNGSI	GAMBAR
			HptJB- eYp6mIQAP1cQz_l3Ta8Uk Pio5T8jKSWRwyRpQmOKk yEaAstpEALw_wcB)
Pelindung Tubuh	Baju kerja tahan api (<i>Flame- Resistant Clothing</i>)	Digunakan di lingkungan dengan risiko ledakan atau kebakaran	 Gambar 5.6 Baju kerja tahan api (Sumber : https://id.made-in-china.com/co_flameresistant/product_Advanced-Anti-Static-Flame-Resistant-Workwear-Coveralls-for-Industrial-Pros_ysoiiseoyg.html)

JENIS APD	MACAM	FUNGSI	GAMBAR
	<i>Coverall</i> atau pakaian berbahan khusus	Untuk melindungi tubuh dari bahan kimia berbahaya	 Gambar 5.7 <i>Coverall</i> (Sumber : https://www.monotaro.id/items/s028368892.html?utm_source=google&utm_medium=pla&utm_campaign=1672206402&utm_content=88187085595&utm_term=readystock_cat_group_1_pricebrand_group_1&gad_source=1&gad_campaignid=1672206402&gbraid=0AAAAADJU9-8vka0-iKxE3unzdXAGY0nwk&gclid=Cj0KCQjwotDBBhCQARISAG5pinNTBRpfeZsWbIDG)

JENIS APD	MACAM	FUNGSI	GAMBAR
			D7ai0_3XYVPw6RPDCI3m qlxu-lwUhSQdopej- NEaAvHrEALw_wcB)
Sarung Tangan Pelindung	Sarung tangan berbahan nitril/neo- prene	Untuk melindungi tangan dari bahan kimia	 Gambar 5.8 Sarung tangan berbahan nitril/neoprene (Sumber : https://www.monotaro.id/items/s012194957.html?utm_source=google&utm_medium=pla&utm_campaign=1672206402&utm_content=88187085595&utm_term=readystock_cat_group_1_pricebrand_group_1&gad_source=1&gad_campaignid=1672206402&gbraid=0AAAAADJU9-8vka0-iKxE3unzdXAGY0nwk&gclid=Cj0KCQjwotDBBhCQARI)

JENIS APD	MACAM	FUNGSI	GAMBAR
			sAG5pinPNuZnWo6Cg73 WZMAgzkqi- anr1Jrnr9akxGRZvBdXawk XZCM- RXoYaAinrEALw_wcB)
	Sarung tangan tahan panas	Jika bekerja dengan peralatan yang menghasilkan panas tinggi	 Gambar 5.9 Sarung tangan tahan panas (Sumber : https://kalsasafety.com/sarung-tangan-tahan-panas/)
Sepatu Keselamatan	Boots dengan sol anti-slip dan anti-listrik	Mencegah tergelincir dan melindungi dari bahaya listrik	 Gambar 5.10 Boots dengan sol anti-slip dan anti-listrik

JENIS APD	MACAM	FUNGSI	GAMBAR
			(Sumber : https://growrichindo.co.id/product/sepatu-safety-boots-karet-pvc-orange-nsa/)
Pelindung Telinga	<i>Ear Plug</i> atau <i>Ear Muff</i>	Digunakan jika ada kebisingan tinggi di sekitar tangki	 Gambar 5.11 <i>Ear Plug</i> atau <i>Ear Muff</i> (Sumber : https://rri.co.id/kesehatan/1359394/perbedaan-ear-plug-ear-muff)
Tali Keselamatan dan <i>Harness</i>	<i>Full Body Harness</i> dengan <i>Lifeline</i>	Wajib digunakan untuk mencegah jatuh dan memudahkan evakuasi dalam keadaan darurat	 Gambar 5.12 <i>Full Body Harness</i> dengan <i>Lifeline</i> (Sumber : https://www.monotaro.id/items/s030249424.html?utm_source=google&utm_medium=pla&utm_campaign=1672206402&utm_c

JENIS APD	MACAM	FUNGSI	GAMBAR
			ontent=88187085595&utm_term=readystock_cat_group_1_pricebrand_group_1&gad_source=1&gad_campaignid=1672206402&gbraid=0AAAAADJU9-8vka0-iKxE3unzdXAGY0nwk&gclid=Cj0KCQjwotDBBhCQARISAG5pinORMkdql2IBSHvgb_muk6CbPPvCqXorzo-JNwUxe3wBqwegy60h724aAlrKEALw_wcB)

Beberapa APD dan alat keselamatan utama yang wajib digunakan dalam pekerjaan di ruang terbatas seperti tangki timbun disajikan dalam tabel di atas. Selain APD diperlukan juga alat keselamatan tambahan yang disajikan dalam tabel di bawah ini :

JENIS ALAT	MACAM	FUNGSI	GAMBAR
Detektor Gas	<i>Multi-Gas Detector</i>	Untuk mengukur kadar oksigen, gas beracun (H_2S , CO), dan gas mudah terbakar di dalam tangki sebelum dan selama	 Gambar 5.13 <i>Multi-Gas Detector</i>

JENIS ALAT	MACAM	FUNGSI	GAMBAR
		pekerjaan berlangsung	(Sumber : https://www.monotaro.id/p111205398.html?q=multi+gas+detector)
Ventilasi Mekanis	<i>Exhaust Fan</i> atau <i>Blower</i>	Digunakan untuk sirkulasi udara guna menghilangkan gas berbahaya dan menjaga kadar oksigen	 Gambar 5.14 Exhaust Fan atau Blower (Sumber : https://ecatalog.sinarmasland.com/article/teknologi/perbedaan-exhaust-fan-dan-blower)
Peralatan Komunikasi	Radio HT (<i>Handy Talkie</i>)	Memastikan komunikasi antara pekerja di dalam tangki dengan tim pengawas di luar	 Gambar 5.15 Radio HT (<i>Handy Talkie</i>)

JENIS ALAT	MACAM	FUNGSI	GAMBAR
			(Sumber : https://www.monotaro.id/items/s039766021.html?utm_source=google&utm_medium=pla&utm_campaign=1672206402&utm_content=88187085595&utm_term=readystock_cat_group_1_pricebrand_group_1&gad_source=1&gad_campaignid=1672206402&gbr aid=0AAAAADJU9-8vka0-iKxE3unzdXAGY0nwk&gclid=Cj0KCQjwotDBBhCQARIsAG5pinMK5UYRLkKTNLhRFleLJsRnhyM3YHKscYO9RdCLRfBgh08XhP31pPgaAj77EALw_wcB)
	Alarm Darurat	Untuk memberikan sinyal bahaya jika ada keadaan darurat	 Gambar 5.16 Alarm darurat (Sumber : https://www.monotaro.id/items/s013997298.html?utm_s

JENIS ALAT	MACAM	FUNGSI	GAMBAR
			source=google&utm_medium=pla&utm_campaign=1672206402&utm_content=88187085595&utm_term=readystock_cat_group_3_pricebrand_group_2&gad_source=1&gad_campaignid=1672206402&gbr aid=0AAAAADJU9-8vka0-iKxE3unzdXAGY0nwk&gclid=Cj0KCQjwotDBBhCQARIsAG5pinNkL1toS9PFqLKrxwdoqpl2oGiwy2_r9B69iG5Jp-Gyk59xA5DGPQQaAtGpEALw_wcB)
Alat Evakuasi dan Pertolongan Pertama	<i>Tripod Rescue System</i>	Alat untuk mengevakuasi pekerja yang mengalami kondisi darurat di dalam tangki	 Gambar 5.17 <i>Tripod Rescue System</i> (Sumber : https://www.fallprotectionpros.com/products/french-

JENIS ALAT	MACAM	FUNGSI	GAMBAR
			creek-complete-tripod-rescue-system)
	Kotak P3K (<i>First Aid Kit</i>)	Untuk menangani cedera ringan sebelum bantuan medis datang	 Gambar 5.18 Kotak P3K (<i>First Aid Kit</i>) (Sumber : https://www.monotaro.id/s020769864.html)

Penggunaan APD dan alat keselamatan yang sesuai sangat penting dalam pekerjaan di tangki timbun, mengingat tingginya risiko yang ada. Kepatuhan terhadap standar keselamatan dan prosedur kerja di ruang terbatas akan mengurangi kemungkinan kecelakaan serta melindungi nyawa pekerja. Pemeriksaan APD sebelum digunakan, pelatihan bagi pekerja, dan pengawasan yang ketat juga harus diterapkan secara rutin.

5.3 Sistem Ventilasi dan Deteksi Gas

Bekerja di tangki timbun menghadirkan berbagai risiko, terutama yang berkaitan dengan kualitas udara di dalam ruang terbatas. Oleh karena itu, sistem ventilasi dan deteksi gas sangat penting untuk memastikan lingkungan kerja tetap aman dan memenuhi standar K3.

5.3.1 Sistem Ventilasi dalam Tangki Timbun

Ventilasi digunakan untuk mengurangi risiko kekurangan oksigen, menyingkirkan gas berbahaya, serta mengendalikan suhu dan kelembaban (Rini & Batu, 2024) di dalam tangki. Jenis Ventilasi yang digunakan:

- a. Ventilasi alamiah dengan memanfaatkan perbedaan tekanan dan angin di luar ruangan untuk mengalirkan udara segar ke dalam tangki. Kelebihannya tidak memerlukan listrik, lebih murah, dan kekurangan tidak selalu efektif di lingkungan terbatas seperti tangki timbun.
- b. Ventilasi mekanis (*forced ventilation*) yang menggunakan kipas atau blower untuk memompa udara segar ke dalam dan membuang udara tercemar ke luar. Kelebihannya lebih efektif dalam mengontrol kualitas udara, dan kekurangannya membutuhkan daya listrik dan perawatan rutin.
- c. Sistem pengenceran (*dilution ventilation*), dimana udara segar dipompa terus-menerus untuk mengencerkan gas berbahaya hingga di bawah batas aman. Biasanya digunakan saat terdapat risiko paparan gas beracun dalam jumlah kecil.

- d. Sistem ekstraksi (*local exhaust ventilation* - LEV) dengan menggunakan saluran khusus untuk menyedot gas berbahaya langsung dari sumbernya sebelum menyebar ke dalam tangki.

5.3.2 Sistem Deteksi Gas dalam Tangki Timbun

Tangki timbun sering kali mengandung gas beracun atau mudah terbakar yang tidak terdeteksi oleh indra manusia. Oleh karena itu, detektor gas sangat penting dalam sistem keselamatan kerja. Jenis gas berbahaya yang sering ditemukan

- a. Kekurangan Oksigen ($O_2 < 19,5\%$), hal ini terjadi karena oksigen terdesak oleh gas lain seperti nitrogen, karbon dioksida, atau uap bahan kimia (Gumelar dkk., 2021). Sangat berbahaya karena bisa menyebabkan pingsan, sesak napas, hingga kematian mendadak.
- b. Gas beracun (*toxic gases*)
 - Hidrogen sulfida (H_2S) → Bau telur busuk, sangat beracun bahkan pada konsentrasi rendah.
 - Karbon monoksida (CO) → Tidak berbau dan tidak berwarna, tetapi sangat berbahaya karena bisa menyebabkan keracunan dan kematian.
 - Amonia (NH_3), Benzena (C_6H_6), dan uap kimia lainnya → Dapat menyebabkan iritasi, keracunan, atau efek jangka panjang seperti kanker.
- c. Gas Mudah Terbakar (*Flammable Gases*)

71

- Metana (CH_4), Propana (C_3H_8), dan Hidrogen (H_2) adalah gas yang bisa menyebabkan ledakan jika bercampur dengan udara dalam proporsi tertentu.
- Ditentukan dengan LEL (*Lower Explosive Limit*) dan UEL (*Upper Explosive Limit*), yaitu batas bawah dan atas konsentrasi gas yang bisa menyala.

5.3.3 Alat Deteksi Gas yang digunakan

- Fixed gas detector* (detektor gas permanen), dipasang secara tetap di dalam tangki atau di area berisiko tinggi. Memberikan peringatan otomatis jika ada kebocoran gas.
- Portable gas detector* (detektor gas portabel), dibawa oleh pekerja untuk mendeteksi gas sebelum masuk ke dalam tangki, biasanya mampu mendeteksi O_2 , H_2S , CO , dan gas mudah terbakar secara bersamaan.
- Gas sampling tubes*, menggunakan tabung kimia untuk mengukur konsentrasi gas tertentu dalam udara.
- Explosimeter (LEL Meter)*, digunakan untuk mengukur apakah konsentrasi gas mudah terbakar sudah mendekati batas ledakan.

5.4 Prosedur Keselamatan dalam Ventilasi dan Deteksi Gas

Tangki timbun merupakan ruang terbatas yang secara alami memiliki sirkulasi udara yang terbatas. Kondisi ini berpotensi menciptakan atmosfer berbahaya akibat akumulasi gas beracun, uap mudah terbakar, atau kekurangan oksigen. Oleh karena itu, ventilasi

yang memadai dan deteksi gas yang akurat menjadi komponen vital dalam prosedur keselamatan kerja di lingkungan tersebut.

Prosedur ventilasi tidak hanya bertujuan untuk menyediakan udara segar bagi pekerja, tetapi juga untuk mencegah terbentuknya atmosfer eksplosif. Di sisi lain, deteksi gas berfungsi sebagai sistem peringatan dini untuk mengidentifikasi bahaya yang tidak kasatmata sebelum pekerja memasuki atau selama bekerja di dalam tangki.

Sub bab ini akan membahas prinsip-prinsip dasar dan langkah-langkah teknis dalam pelaksanaan ventilasi serta deteksi gas yang sesuai standar keselamatan kerja. Pengetahuan dan penerapan yang tepat terhadap prosedur ini merupakan salah satu kunci utama untuk mencegah kecelakaan serius dan menjamin keselamatan para pekerja di area tangki timbun.

1. Lakukan Pengukuran Sebelum Masuk Tangki
 - a. Gunakan *portable gas detector* untuk memeriksa kadar oksigen, gas beracun, dan gas mudah terbakar.
 - b. Jangan masuk jika ada indikator berbahaya ($O_2 < 19,5\%$ atau gas beracun di atas batas aman).
2. Gunakan Ventilasi yang Sesuai
 - a. Pasang *blower* atau *exhaust fan* untuk menjaga sirkulasi udara di dalam tangki.
 - b. Jika ada gas beracun, gunakan ventilasi mekanis dan jangan hanya mengandalkan ventilasi alami.
3. Monitor Kualitas Udara Secara Berkala

- a. Selama pekerjaan berlangsung, terus lakukan pengukuran gas untuk memastikan kondisi tetap aman.
4. Gunakan APD yang Sesuai
 - a. Jika ada risiko gas beracun atau kekurangan oksigen, gunakan *Self-Contained Breathing Apparatus (SCBA)* atau respirator khusus.
 5. Siapkan Rencana Darurat
 - a. Pastikan ada alarm darurat dan tim penyelamat siaga jika terjadi kondisi berbahaya.
 - b. Gunakan *tripod rescue system* untuk evakuasi pekerja dalam keadaan darurat.

Sistem ventilasi dan deteksi gas sangat penting dalam pekerjaan di tangki timbun, karena lingkungan kerja ini sering menghadirkan risiko kekurangan oksigen, gas beracun, dan gas mudah terbakar. Penggunaan *blower, exhaust fan, fixed & portable gas detector*, serta prosedur keselamatan yang ketat dapat membantu mengurangi bahaya dan memastikan pekerja dapat bekerja dengan aman. Penerapan prosedur keselamatan dalam ventilasi dan deteksi gas bukan sekadar kewajiban formal, melainkan bagian integral dari upaya perlindungan nyawa manusia di lingkungan kerja berisiko tinggi seperti tangki timbun. Dengan pemahaman yang tepat dan kepatuhan terhadap standar yang berlaku, risiko paparan gas berbahaya maupun kekurangan oksigen dapat ditekan secara signifikan.

79

Sebagaimana tertuang dalam SNI 13-6934-2002 dan Permenaker No. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen K3, setiap ruang terbatas wajib memiliki sistem ventilasi memadai dan alat deteksi gas portabel atau tetap untuk menjamin keselamatan pekerja sebelum dan selama proses kerja berlangsung. Demikian pula, standar internasional seperti OSHA 29 CFR 1910.146 dan NFPA 326 menggarisbawahi pentingnya prosedur pengujian atmosfer dan ventilasi berkelanjutan pada ruang terbatas termasuk tangki timbun. Oleh karena itu, setiap pelaku industri wajib menanamkan budaya keselamatan yang mengutamakan pencegahan melalui pengelolaan atmosfer kerja yang aman dan terkendali—karena keselamatan bukanlah pilihan, melainkan kewajiban.

5.5 SOP Darurat dan Evakuasi

62

Dalam lingkungan kerja berisiko tinggi seperti area tangki timbun, potensi bahaya dapat muncul secara tiba-tiba dan dalam berbagai bentuk, mulai dari kebocoran gas beracun, ledakan akibat uap yang mudah terbakar, hingga kecelakaan pekerja di ruang terbatas. Situasi-situasi tersebut menuntut respons cepat, tepat, dan terorganisir agar tidak berkembang menjadi insiden yang lebih fatal. Oleh karena itu, keberadaan *Standard Operating Procedure* (SOP) darurat dan evakuasi menjadi fondasi penting dalam sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (K3). SOP ini tidak hanya menjadi panduan teknis pelaksanaan evakuasi, tetapi juga merupakan wujud kesiapsiagaan organisasi dalam melindungi keselamatan tenaga kerja dan aset industri. Melalui prosedur darurat yang terstruktur, mulai dari deteksi dini, sistem peringatan,

77 jalur evakuasi, hingga penanganan pasca-evakuasi, setiap personel dituntut untuk memahami peran dan tanggung jawabnya dalam menghadapi kondisi abnormal. Penyusunan SOP ini merujuk pada regulasi nasional seperti Permenaker No. PER.04/MEN/1987 tentang P2K3 di tempat kerja, serta standar internasional seperti NFPA 1600 dan ISO 22320:2018, yang menekankan pentingnya sistem manajemen tanggap darurat berbasis risiko. Dengan demikian, keberadaan dan implementasi SOP Darurat dan Evakuasi bukan hanya kewajiban legal, namun menjadi bagian integral dari budaya keselamatan yang holistik di industri tangki timbun. Bekerja di tangki timbun memiliki risiko tinggi terhadap berbagai bahaya, termasuk kekurangan oksigen, paparan gas beracun, kebakaran, dan ledakan. Oleh karena itu, diperlukan *Standard Operating Procedure* (SOP) Darurat dan Evakuasi yang jelas untuk memastikan keselamatan pekerja.

5.5.1 Prinsip Dasar Evakuasi Darurat

5 Evakuasi darurat adalah proses sistematis dan terorganisir untuk memindahkan orang dari lokasi yang berbahaya ke tempat yang aman dalam situasi kritis seperti kebakaran, ledakan, kebocoran gas, atau bencana lainnya (Afifuddin, 2019). Prinsip dasar evakuasi bertujuan untuk meminimalkan risiko cedera dan korban jiwa dengan mempercepat reaksi serta memastikan seluruh personel memahami rute dan prosedur evakuasi yang benar. Prinsip-prinsip dasarnya meliputi:

- a. Keselamatan jiwa adalah prioritas utama, dalam hal ini perlindungan terhadap pekerja, pengunjung, dan semua

individu di lokasi kerja menjadi tujuan utama dalam setiap prosedur evakuasi.

- b. Kesiapsiagaan dan pelatihan, seluruh personel harus mendapatkan pelatihan rutin mengenai prosedur evakuasi, titik kumpul, dan penggunaan alat keselamatan seperti APAR atau alat bantu pernapasan.
- c. Rencana evakuasi yang jelas dan teruji, dalam hal ini rencana evakuasi harus dibuat tertulis, dipetakan (jalur evakuasi), dan diuji melalui simulasi secara berkala.
- d. Komunikasi yang efektif, sistem alarm, instruksi lisan, dan tanda peringatan harus mudah dipahami dan menjangkau semua area kerja dengan cepat.
- e. Tanggung jawab terdistribusi, sebaiknya dalam evakuasi, harus ada petugas atau tim tanggap darurat yang memiliki peran khusus (koordinator evakuasi, pencatat jumlah orang, penolong pertama, dsb.).
- f. Akses dan jalur evakuasi yang aman dan bebas hambatan merupakan jalur keluar darurat harus selalu bebas dari rintangan, dilengkapi penerangan darurat, dan diarahkan menuju titik kumpul aman.
- g. Pencatatan dan evaluasi pasca evakuasi, setelah evakuasi, dilakukan pencatatan kehadiran dan evaluasi efektivitas proses sebagai dasar perbaikan ke depan.

Evakuasi darurat bukan sekadar prosedur, melainkan komitmen terhadap keselamatan setiap individu di lingkungan kerja. Dengan perencanaan yang matang, pelatihan yang rutin, serta

kesadaran kolektif terhadap potensi bahaya, evakuasi dapat dilakukan dengan cepat, aman, dan efektif. Keberhasilan evakuasi bergantung pada kesiapsiagaan semua pihak dan kepatuhan terhadap protokol yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, pemahaman serta implementasi prinsip-prinsip evakuasi darurat harus menjadi bagian tak terpisahkan dari budaya K3 di setiap tempat kerja, termasuk area berisiko tinggi seperti tangki timbun.

5.5.2 Beberapa Situasi Yang Memerlukan Evakuasi Darurat

Dalam lingkungan kerja berisiko tinggi seperti area tangki timbun, evakuasi darurat merupakan langkah kritis yang harus direncanakan dan dilaksanakan secara cepat dan tepat. Tidak semua kondisi dapat diprediksi, dan dalam beberapa situasi, keadaan dapat berubah drastis hanya dalam hitungan detik. Oleh karena itu, penting untuk mengenali berbagai jenis kejadian yang bisa memicu perlunya evakuasi, mulai dari kebocoran gas beracun, kebakaran, ledakan, hingga kegagalan sistem ventilasi atau deteksi gas. Pemahaman terhadap situasi-situasi ini akan membantu tenaga kerja untuk bertindak sigap dan meminimalkan risiko terhadap jiwa dan aset.

- a. Kekurangan oksigen ($O_2 < 19,5\%$), pekerja mulai merasa pusing, sulit bernapas, atau kehilangan kesadaran.
- b. Paparan gas beracun, tercium bau gas yang tidak biasa, alat deteksi gas berbunyi, atau pekerja mengalami gejala keracunan (pusing, mual, sesak napas).
- c. Kebakaran atau ledakan, muncul asap, percikan api, atau suara ledakan kecil dari dalam tangki.

- d. Kegagalan sistem ventilasi, blower atau *exhaust fan* mati, menyebabkan akumulasi gas berbahaya.
- e. Cedera serius atau pekerja tidak sadar, pekerja jatuh, pingsan, atau mengalami luka parah saat bekerja di dalam tangki.

7 Mengenal dan memahami berbagai situasi yang memerlukan evakuasi darurat adalah langkah awal yang penting untuk melindungi keselamatan pekerja dan mencegah kerugian besar. Setiap jenis risiko memerlukan penanganan yang berbeda, dan oleh karena itu, kesiapsiagaan dalam menghadapi situasi darurat harus selalu diperbarui melalui pelatihan berkala. Dengan adanya pemahaman yang baik tentang potensi bahaya serta prosedur yang harus diambil, evakuasi dapat dilakukan dengan cepat dan efektif, memberikan perlindungan maksimal bagi setiap individu yang berada di area berisiko tinggi.

5.5.3 SOP Darurat dan Evakuasi

87 Dalam setiap lingkungan kerja, terutama di fasilitas berisiko tinggi seperti tangki timbun, potensi terjadinya keadaan darurat tidak dapat diabaikan. Keadaan darurat seperti kebakaran, ledakan, kebocoran bahan kimia, atau paparan gas berbahaya dapat terjadi secara tiba-tiba dan menimbulkan dampak besar terhadap keselamatan jiwa dan aset. Oleh karena itu, penerapan *Standard Operating Procedure* (SOP) Darurat dan Evakuasi menjadi sangat penting. SOP ini dirancang sebagai panduan sistematis agar setiap individu mengetahui langkah-langkah tepat yang harus dilakukan

60

saat kondisi darurat terjadi. Prosedur ini tidak hanya menyelamatkan nyawa, tetapi juga menjadi bagian integral dari sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (K3) yang berkelanjutan.

1. Persiapan Sebelum Darurat

a. Pelatihan dan Simulasi

- 1) Semua pekerja harus mengikuti pelatihan tanggap darurat dan evakuasi minimal setiap 6 bulan sekali.
- 2) Lakukan simulasi evakuasi untuk memastikan setiap pekerja mengetahui prosedur yang harus dilakukan.

b. Peralatan Keselamatan Harus Siap

- 1) APAR (Alat Pemadam Api Ringan) harus tersedia di sekitar area kerja.
- 2) *Blower* dan detektor gas harus selalu berfungsi dengan baik.
- 3) *Peralatan evakuasi* seperti *harness*, *tripod rescue system*, dan *SCBA (Self-Contained Breathing Apparatus)* harus siap digunakan.

2. Langkah-Langkah Evakuasi

a. Aktifkan Alarm Darurat

- 1) Jika terdeteksi keadaan darurat, tekan tombol alarm darurat atau berteriak "DARURAT! KELUAR!"
- 2) Supervisor harus segera memberitahu Tim Tanggap Darurat (TTD).

b. Evakuasi Segera dari Dalam Tangki

- 1) Gunakan jalur keluar yang telah ditentukan.
- 2) Jangan panik, bergeraklah dengan cepat tapi teratur.
- 3) Jika oksigen rendah atau gas beracun terdeteksi, gunakan masker oksigen atau SCBA.
- 4) Jika ada api kecil, gunakan APAR dengan teknik PASS (*Pull, Aim, Squeeze, Sweep*).

c. Penyelamatan Pekerja yang Tidak Sadar

- 1) Jangan masuk ke dalam tangki tanpa alat bantu pernapasan (SCBA).
- 2) Gunakan *tripod rescue system* atau tali penyelamat untuk menarik pekerja keluar.
- 3) Jika pekerja masih sadar, beri instruksi dengan jelas agar mereka dapat membantu evakuasi diri sendiri.

d. Berkumpul di *Assembly Point*

- 1) Semua pekerja harus menuju titik kumpul yang telah ditentukan.
- 2) *Supervisor* melakukan *headcount* untuk memastikan tidak ada yang tertinggal.

e. Evaluasi dan Tindakan Lanjutan

- 1) Lakukan pertolongan pertama bagi pekerja yang mengalami cedera atau keracunan gas.
- 2) Jika situasi memburuk, hubungi tim medis atau pemadam Kebakaran segera.

- 3) Setelah situasi terkendali, lakukan investigasi penyebab kejadian dan susun langkah pencegahan agar tidak terulang.

3. Peralatan yang harus disiapkan untuk darurat

- a. Alat Pemadam Api Ringan (APAR).
- b. *Blower* atau *exhaust fan* untuk ventilasi darurat.
- c. *Portable gas detector* untuk memonitor kondisi udara.
- d. SCBA (*Self-Contained Breathing Apparatus*) untuk penyelamatan dalam kondisi gas beracun.
- e. *Tripod rescue system* dan *harness* untuk evakuasi vertikal.
- f. Kotak P3K (Pertolongan Pertama Pada Kecelakaan).

4. Simulasi dan Latihan Evakuasi

- a. Frekuensi latihan: Setiap 6 bulan sekali.
- b. Simulasi harus mencakup:
 - 1) Evakuasi pekerja dalam keadaan sadar.
 - 2) Evakuasi pekerja yang tidak sadar menggunakan *tripod rescue system*.
 - 3) Penanggulangan kebakaran di dalam tangki.
 - 4) Penggunaan SCBA dalam kondisi gas beracun.
- c. Evaluasi pasca latihan: Identifikasi kendala dan perbaiki prosedur jika diperlukan

Penerapan SOP Darurat dan Evakuasi yang baik dan konsisten merupakan kunci utama dalam melindungi keselamatan tenaga kerja serta mencegah eskalasi risiko di area kerja berbahaya seperti

84 tangki timbun. Dengan pemahaman yang menyeluruh, latihan
berkala, dan kesiapsiagaan seluruh personel, perusahaan dapat
meminimalkan dampak dari situasi darurat. Prosedur ini bukan
33 sekadar formalitas, melainkan bagian dari budaya keselamatan yang
wajib dibangun dan dijaga secara berkelanjutan. Standar
internasional dan nasional seperti NFPA 600: *Standard on Facility
Fire Brigades*, ISO 45001:2018 *Occupational Health and Safety
Management Systems*, serta Peraturan Menteri Tenaga Kerja RI No.
PER.04/MEN/1987 tentang Panitia Pembina Keselamatan dan
Kesehatan Kerja (P2K3) memberikan pedoman teknis dan
administratif untuk memastikan bahwa setiap rencana darurat dan
evakuasi dapat diimplementasikan dengan efektif dan efisien. SOP
88 Darurat dan Evakuasi dalam tangki timbun sangat penting untuk
melindungi pekerja dari bahaya yang mengancam nyawa. Dengan
pelatihan rutin, peralatan keselamatan yang memadai, dan prosedur
yang jelas, risiko kecelakaan dapat dikurangi secara signifikan.

*****TS*****

BAB 6

TEKNOLOGI DAN INOVASI K3 DI TANGKI TIMBUN

57 Tangki timbun merupakan infrastruktur penting dalam berbagai industri, termasuk minyak dan gas, petrokimia, farmasi, dan penyimpanan bahan kimia. Namun, lingkungan kerja di dalam dan sekitar tangki timbun memiliki risiko tinggi terhadap kecelakaan kerja, seperti paparan gas beracun, kekurangan oksigen, kebakaran, ledakan, dan kecelakaan fisik lainnya. Oleh karena itu, penerapan teknologi dan inovasi dalam Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) menjadi suatu keharusan untuk meningkatkan perlindungan bagi pekerja. 63 Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi telah membawa berbagai solusi inovatif untuk meningkatkan standar keselamatan di tangki timbun. Beberapa di antaranya adalah: 99

1. Sensor dan deteksi gas otomatis, yaitu sistem deteksi gas modern dengan teknologi IoT (*Internet of Things*) memungkinkan pemantauan *real-time* terhadap kadar oksigen dan keberadaan gas beracun seperti H₂S, CO, dan metana (Susilo & David, 2023). Jika ada perubahan kondisi udara yang berbahaya, sistem akan memberikan peringatan dini kepada pekerja dan manajemen. 90
2. Sistem ventilasi cerdas, yaitu ventilasi yang baik sangat penting dalam tangki timbun. Teknologi ventilasi otomatis yang dikendalikan oleh sensor kualitas udara dapat meningkatkan 38

sirkulasi udara, mengurangi akumulasi gas beracun, dan mempertahankan kadar oksigen dalam batas aman.

3. Robot dan *drone* inspeksi, yaitu inspeksi manual dalam tangki timbun berisiko tinggi. Saat ini, banyak perusahaan menggunakan *drone* atau robot yang dilengkapi dengan kamera termal dan sensor ultrasonik untuk melakukan inspeksi tanpa perlu masuk ke dalam tangki, sehingga mengurangi risiko bagi pekerja.
4. *Wearable safety technology*, yaitu perangkat pintar seperti helm dengan sensor deteksi gas, *smartwatch* pemantau kesehatan pekerja, dan *exoskeleton* untuk mengurangi beban kerja fisik membantu dalam meningkatkan keselamatan serta mengurangi cedera akibat kelelahan atau paparan bahan berbahaya.
5. Sistem komunikasi dan evakuasi darurat berbasis AI, yaitu teknologi kecerdasan buatan (AI) digunakan untuk memprediksi potensi bahaya berdasarkan data historis dan kondisi saat ini. Selain itu, sistem komunikasi berbasis AI dapat memberikan instruksi evakuasi otomatis dan memandu pekerja keluar dari zona berbahaya dengan lebih cepat dan efisien.

Inovasi dan penerapan teknologi K3 di tangki timbun tidak hanya meningkatkan keselamatan kerja, tetapi juga berdampak pada efisiensi operasional, penurunan angka kecelakaan kerja, dan kepatuhan terhadap regulasi industri. Oleh karena itu, investasi dalam teknologi keselamatan harus menjadi prioritas bagi

perusahaan yang mengelola fasilitas tangki timbun. Seiring dengan kemajuan teknologi, tantangan berikutnya adalah bagaimana mengintegrasikan sistem-sistem ini dalam operasional sehari-hari, melatih pekerja agar dapat memanfaatkan teknologi dengan baik, serta memastikan bahwa inovasi yang diterapkan benar-benar efektif dalam mencegah kecelakaan kerja.

6.1 Sensor dan Sistem *Monitoring Gas*

Tangki timbun sering kali digunakan untuk menyimpan cairan atau gas yang dapat berbahaya bagi pekerja jika terhirup atau mengalami kebocoran. Oleh karena itu, penggunaan **sensor dan sistem *monitoring gas*** sangat penting untuk mendeteksi keberadaan gas beracun, mudah terbakar, atau kekurangan oksigen di dalam tangki. Dalam lingkungan kerja yang berisiko tinggi seperti pada tangki timbun, keberadaan gas beracun, mudah terbakar, atau kekurangan oksigen menjadi ancaman serius bagi keselamatan dan kesehatan kerja (Lestari & Basuki, 2023). Oleh karena itu, sistem pemantauan gas yang handal bukan hanya menjadi pelengkap, melainkan komponen vital dalam strategi keselamatan. Sensor gas dan sistem *monitoring* modern dirancang untuk mendeteksi kehadiran gas-gas berbahaya secara real-time, memberikan peringatan dini kepada pekerja, serta mendukung pengambilan keputusan cepat dalam situasi darurat. Bagian ini membahas berbagai jenis sensor gas, prinsip kerjanya, serta bagaimana sistem *monitoring* ini diterapkan secara efektif untuk meminimalkan risiko kecelakaan kerja di ruang terbatas seperti tangki timbun.

6.1.1 Jenis Sensor Gas yang Digunakan

Beberapa jenis sensor yang digunakan dalam sistem *monitoring* gas di tangki timbun antara lain:

1. Sensor deteksi gas beracun (*toxic gas sensors*)

Sensor ini digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas berbahaya yang dapat menyebabkan keracunan atau bahkan kematian jika terhirup dalam jumlah besar (Saxena & Shukla, 2023). Beberapa contoh gas beracun yang sering dipantau:

- a. Hidrogen Sulfida (H_2S), merupakan gas beracun yang berbau seperti telur busuk dan dapat menyebabkan kematian dalam konsentrasi tinggi.
- b. Karbon Monoksida (CO), merupakan gas tidak berwarna dan tidak berbau yang dapat menyebabkan pusing, mual, hingga kehilangan kesadaran.
- c. Amonia (NH_3) yang digunakan dalam beberapa proses industri dan berpotensi menyebabkan iritasi pernapasan.

2. Sensor kekurangan oksigen (*oxygen deficiency sensors*)

Tangki timbun dengan ventilasi buruk dapat mengalami penurunan kadar oksigen. Sensor ini digunakan untuk mendeteksi jika kadar O_2 turun di bawah 19,5%, yang merupakan ambang batas aman bagi pekerja (Wijayanto dkk., 2024). Dalam dunia industri, khususnya pada pekerjaan yang melibatkan ruang terbatas seperti tangki timbun, keberadaan oksigen yang cukup sangatlah krusial untuk keselamatan pekerja. Penurunan kadar oksigen dapat terjadi akibat reaksi kimia, perpindahan gas, atau keberadaan gas-gas *inert* yang

menggantikan oksigen dalam udara (Gumelar dkk., 2021). Kondisi ini dapat menyebabkan pusing, kehilangan kesadaran, bahkan kematian tanpa disadari. Oleh karena itu, penggunaan sensor kekurangan oksigen menjadi komponen vital dalam sistem keselamatan kerja. Alat ini dirancang untuk memberikan peringatan dini ketika kadar oksigen turun di bawah batas aman, sehingga memungkinkan tindakan pencegahan segera dilakukan sebelum risiko membahayakan nyawa pekerja.

3. Sensor deteksi gas mudah terbakar (*combustible gas sensors*)

Gas seperti metana (CH_4), propana, dan bensin dapat terbakar jika konsentrasinya mencapai level tertentu. Sensor ini digunakan untuk mendeteksi potensi kebakaran atau ledakan dengan mengukur *Lower Explosive Limit* (LEL) suatu gas di udara (Valencia dkk., 2022). Di lingkungan kerja yang melibatkan bahan kimia atau hidrokarbon, seperti pada tangki timbun, risiko kebakaran dan ledakan akibat akumulasi gas mudah terbakar menjadi salah satu perhatian utama dalam aspek keselamatan kerja. Banyak gas yang tidak berwarna dan tidak berbau sehingga keberadaannya sulit terdeteksi tanpa alat bantu. Oleh karena itu, pemasangan sensor deteksi gas mudah terbakar menjadi langkah krusial untuk mencegah kecelakaan fatal. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi konsentrasi gas di udara dan memberikan peringatan jika kadar tersebut mendekati atau melebihi batas bawah ledakan (LEL). Dengan sistem deteksi dini yang andal, pekerja memiliki

cukup waktu untuk mengambil tindakan pengamanan sebelum bahaya terjadi.

6.1.2 Sistem *Monitoring* Gas di Tangki Timbun

Tangki timbun merupakan fasilitas penyimpanan bahan kimia, minyak, atau gas yang memiliki potensi bahaya tinggi, terutama terkait akumulasi gas beracun, gas mudah terbakar, dan kekurangan oksigen. Dalam ruang terbatas seperti ini, sistem *monitoring* gas menjadi komponen vital untuk menjamin keselamatan kerja. Sistem ini terdiri dari sensor-sensor gas yang terintegrasi dengan perangkat pemantauan yang mampu mendeteksi konsentrasi gas secara real-time. Tujuannya adalah untuk memberikan peringatan dini terhadap kondisi berbahaya sehingga tindakan pencegahan atau evakuasi dapat segera dilakukan. Penggunaan sistem *monitoring* gas yang tepat tidak hanya mematuhi regulasi K3, tetapi juga merupakan bagian dari strategi keselamatan proaktif dalam pengelolaan risiko di area tangki timbun.

1. Sistem Pemantauan Gas *Portabel*

Sistem pemantauan gas portabel adalah perangkat deteksi yang dapat dibawa langsung oleh pekerja atau tim keselamatan untuk mendeteksi keberadaan gas berbahaya di dalam tangki timbun (Al-Okby dkk., 2021). Perangkat ini sangat penting karena tangki timbun termasuk ruang terbatas (*confined space*), di mana kondisi atmosfer dapat berubah secara tiba-tiba dan menimbulkan risiko serius, seperti

keracunan gas, kekurangan oksigen, atau ledakan. Fungsi utama dari sensor ini adalah :

- a. Mendeteksi konsentrasi gas berbahaya: Termasuk gas beracun seperti H_2S , CO , serta gas mudah terbakar seperti metana.
- b. Memonitor kadar oksigen: Untuk memastikan lingkungan kerja memiliki kadar O_2 yang aman (umumnya $>19.5\%$ dan $<23.5\%$).
- c. Memberikan peringatan dini: Melalui alarm suara, cahaya, atau getaran jika kadar gas melebihi batas aman.
- d. Mobilitas tinggi: Dapat dibawa ke berbagai titik dalam tangki untuk pemantauan lokasi spesifik.

Kelebihan sensor ini fleksibel dan cepat digunakan sebelum dan selama pekerjaan, ideal untuk inspeksi awal dan saat masuk pertama ke dalam tangki, biasanya dilengkapi dengan *data logger* dan dapat dikalibrasi secara berkala (Liang dkk., 2023). Contoh perangkatnya antara lain *multigas detector* (4-in-1 atau 5-in-1), *detector H_2S portable*, *O_2 analyzer handheld*. Biasanya berupa detektor gas genggam atau yang dikenakan di tubuh pekerja. Alat ini juga mudah dibawa ke dalam tangki untuk mendeteksi kondisi atmosfer secara real-time dan digunakan sebelum pekerja memasuki ruang terbatas (*confined space entry*).

2. Sistem pemantauan gas tetap (*fixed gas detection systems*)

Sistem pemantauan gas tetap adalah sistem deteksi gas yang dipasang secara permanen di lokasi tertentu di sekitar atau di dalam tangki timbun. Sistem ini dirancang untuk memantau secara terus-menerus kondisi atmosfer dan memberikan peringatan dini jika terdapat konsentrasi gas berbahaya atau tidak normal (Martirosyan & Ilyushin, 2022), terutama dalam pengoperasian jangka panjang. Fungsi utama alat ini adalah :

- a. *Monitoring 24/7* untuk memastikan lingkungan kerja tetap aman dengan pemantauan gas secara kontinu, tanpa tergantung pada kehadiran operator.
- b. Deteksi gas berbahaya yaitu mengidentifikasi keberadaan gas mudah terbakar (seperti metana, propana), gas beracun (H_2S , CO), serta kadar oksigen rendah/tinggi.
- c. Koneksi dengan sistem alarm dan otomatisasi yang dapat diintegrasikan dengan sirene, lampu peringatan, sistem ventilasi otomatis, dan panel kontrol pusat.
- d. Pemetaan area berisiko tinggi yaitu sensor dipasang di area-area rawan akumulasi gas untuk memberikan cakupan yang luas dan akurat.

Komponen Sistem Tetap:

- a. Sensor Gas (Transmitter): Alat pendeteksi yang mengirimkan sinyal jika terjadi anomali.
- b. *Controller* (Panel Pusat): Mengolah data dari sensor dan mengaktifkan alarm.

- c. Alarm dan Indikator Visual/Auditori: Memberi peringatan kepada personel lapangan.
- d. Integrasi dengan PLC/SCADA: Untuk otomasi dan dokumentasi sistem keselamatan.

Kelebihan dari alat ini adalah akurasi tinggi dan konsisten, meningkatkan keselamatan dalam operasi rutin, minim intervensi manual, relevan untuk tangki timbun yang beroperasi 24 jam. Contoh penerapan di area *manway*, katup ventilasi, jalur pipa bahan bakar, dan ruang kontrol dan tangki penyimpanan minyak, bahan kimia, atau gas cair. Alat ini dipasang secara permanen di sekitar tangki untuk pemantauan terus-menerus, terhubung dengan alarm suara dan visual untuk memberikan peringatan dini jika terdapat kebocoran gas atau kondisi tidak aman (Martirosyan & Ilyushin, 2022). Alat ini dapat dikombinasikan dengan sistem ventilasi otomatis untuk mengatasi peningkatan konsentrasi gas berbahaya.

3. Sistem *Monitoring* Berbasis IoT dan AI

Dalam perkembangan teknologi industri modern, kebutuhan akan sistem keselamatan kerja yang lebih akurat, cepat, dan responsif menjadi semakin penting, khususnya pada area berisiko tinggi seperti tangki timbun. Sistem pemantauan tradisional yang bersifat manual dan reaktif kini tidak lagi memadai untuk menghadapi tantangan kompleks yang muncul akibat potensi kebocoran gas berbahaya dan kondisi ruang terbatas. Oleh karena itu, penerapan teknologi *Internet of*

Things (IoT) dan *Artificial Intelligence* (AI) menjadi solusi yang menjanjikan (Al-Okby dkk., 2021). Dengan kemampuan integrasi, pemrosesan data *real-time*, serta analisis prediktif, sistem berbasis IoT dan AI memungkinkan deteksi dini terhadap potensi bahaya serta memberikan peringatan otomatis sebelum kondisi darurat terjadi. Subbab ini akan membahas secara menyeluruh konsep, komponen, dan manfaat dari sistem *monitoring* berbasis IoT dan AI dalam mendukung keselamatan kerja di lingkungan tangki timbun.

Dalam era industri 4.0, pengawasan keselamatan kerja di area berisiko tinggi seperti tangki timbun kini dapat dilakukan secara lebih efisien, *real-time*, dan inteligens melalui sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *Artificial Intelligence* (AI).

IoT (Internet of Things): Teknologi yang menghubungkan perangkat fisik seperti sensor gas, kamera, dan alarm ke jaringan internet untuk mengirimkan data secara langsung dan terus-menerus (Mouha, 2021). *Internet of Things* (IoT) memungkinkan sensor gas terhubung ke sistem pusat dan mengirim data secara *real-time*. AI (*Artificial Intelligence*): Sistem kecerdasan buatan yang mampu menganalisis data dari sensor, mendeteksi anomali, dan memprediksi potensi bahaya secara otomatis (Mukhopadhyay dkk., 2021). Kecerdasan buatan (AI) digunakan untuk menganalisis pola kebocoran gas dan memberikan peringatan dini sebelum kondisi menjadi berbahaya.

Penerapan sistem monitoring berbasis IoT dan AI dalam pengawasan kondisi gas di tangki timbun merupakan langkah maju dalam meningkatkan keselamatan kerja secara proaktif. Dengan kemampuan untuk memantau secara *real-time*, menganalisis pola data, serta memberikan peringatan dini, teknologi ini mampu mengurangi risiko kecelakaan kerja secara signifikan. Selain itu, integrasi IoT dan AI membuka peluang untuk pengelolaan K3 yang lebih efisien dan terukur. Ke depan, adopsi teknologi cerdas ini menjadi kebutuhan esensial dalam menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan berkelanjutan di sektor industri berisiko tinggi.

6.1.3 Manfaat Penggunaan Sensor dan Sistem *Monitoring Gas*

Dalam lingkungan kerja yang memiliki potensi paparan gas berbahaya, seperti di tangki timbun, keberadaan sistem *monitoring* gas menjadi komponen vital dalam upaya pencegahan kecelakaan kerja. Sensor dan sistem *monitoring* gas memungkinkan deteksi dini terhadap konsentrasi gas beracun, gas mudah terbakar, atau kekurangan oksigen yang dapat mengancam keselamatan pekerja. Dengan pemantauan yang akurat dan berkelanjutan, sistem ini mendukung pengambilan keputusan cepat dan tepat untuk evakuasi maupun tindakan mitigasi. Oleh karena itu, pemanfaatan teknologi sensor modern menjadi salah satu langkah strategis dalam memperkuat budaya keselamatan dan mencegah insiden yang dapat berakibat fatal. Manfaat penggunaan sensor dan sistem *monitoring* gas yaitu :

- a. Deteksi dini bahaya, sensor gas memungkinkan pendeteksian gas beracun, mudah terbakar, atau kekurangan oksigen secara *real-time* sebelum mencapai ambang bahaya.
- b. Meningkatkan keselamatan pekerja, memberikan perlindungan langsung terhadap risiko inhalasi gas berbahaya yang bisa menyebabkan keracunan atau kehilangan kesadaran.
- c. Mendukung pengambilan keputusan cepat, alarm otomatis dari sistem *monitoring* membantu tim K3 mengambil tindakan cepat seperti evakuasi atau ventilasi darurat.
- d. Mengurangi risiko ledakan dan kebakaran, deteksi gas mudah terbakar pada konsentrasi rendah menghindari akumulasi yang bisa memicu ledakan.
- e. Memenuhi standar dan regulasi K3, penggunaan alat ini merupakan bagian dari kepatuhan terhadap standar keselamatan kerja nasional maupun internasional seperti OSHA, SNI, atau API.
- f. Pemantauan berkelanjutan dan jarak jauh (*remote monitoring*), sistem berbasis IoT memungkinkan pemantauan gas 24/7 secara *online*, bahkan dari pusat kendali terpadu.
- g. Efisiensi dalam pemeliharaan dan perencanaan operasi, data historis dari sensor gas bisa digunakan untuk analisis risiko, perencanaan pemeliharaan, dan peningkatan sistem keselamatan.

- h. Integrasi dengan sistem otomasi industri, sistem *monitoring* dapat terhubung ke sistem SCADA atau kontrol otomatis untuk menonaktifkan sistem operasi jika konsentrasi gas berbahaya terdeteksi.

14

Penggunaan sensor dan sistem *monitoring* gas adalah langkah krusial dalam penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di tangki timbun. Dengan teknologi deteksi gas modern, perusahaan dapat mencegah kecelakaan akibat kebocoran gas, kekurangan oksigen, atau risiko kebakaran. Sistem ini tidak hanya menyelamatkan nyawa pekerja, tetapi juga menjaga keberlanjutan operasional dan kepatuhan terhadap regulasi K3

6.2 Penggunaan Robotika dan *Drone* dalam Inspeksi

124

Tangki timbun merupakan fasilitas penyimpanan yang sering digunakan dalam industri minyak dan gas, petrokimia, serta sektor manufaktur. Mengingat risikonya yang tinggi, inspeksi berkala sangat penting untuk memastikan keamanan struktur dan mengidentifikasi potensi kerusakan. Teknologi robotika dan *drone* kini banyak digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan dalam proses inspeksi tangki timbun.

6.2.1 Robotika dalam Inspeksi Tangki Timbun

Penggunaan robot inspeksi menggantikan atau mengurangi kebutuhan pekerja masuk ke dalam tangki, sehingga menurunkan risiko kecelakaan akibat gas beracun, kekurangan oksigen, atau lingkungan kerja yang terbatas (Azpúrua dkk., 2021). Jenis robot yang digunakan yaitu :

- a. Robot berkaki (*legged robots*), robot ini dapat bergerak di dalam tangki meskipun permukaannya tidak rata dan dilengkapi dengan sensor untuk mendeteksi retakan atau korosi pada dinding tangki (Buchanan dkk., 2021).
- b. Robot berkaki magnetik (*magnetic crawlers*), robot yang dapat menempel pada dinding tangki dan memeriksa struktur baja dengan sensor ultrasonik atau kamera termal (Pshenin dkk., 2022). Robot ini sangat cocok untuk inspeksi korosi di bagian dalam dan luar tangki.
- c. Robot otonom bawah air (*submersible robots*), sering digunakan dalam tangki yang berisi cairan seperti minyak atau bahan kimia dan dapat mendeteksi kebocoran di dasar tangki menggunakan sensor tekanan dan sonar (Nauert & Kampmann, 2023).

6.2.2 Keuntungan Penggunaan Robot dalam Inspeksi

Dalam lingkungan kerja berisiko tinggi seperti tangki timbun, pipa industri, atau ruang terbatas, inspeksi rutin merupakan kegiatan krusial untuk menjaga keselamatan dan keandalan sistem. Namun, proses ini sering kali menempatkan pekerja dalam kondisi berbahaya seperti paparan gas beracun, suhu ekstrem, dan potensi ledakan. Di sinilah teknologi robotik berperan penting. Penggunaan robot dalam inspeksi menawarkan pendekatan modern yang lebih aman, efisien, dan presisi tinggi (Cid dkk., 2020). Dengan berbagai sensor dan sistem navigasi canggih, robot mampu menjangkau area sulit tanpa perlu mengekspos pekerja pada risiko langsung. Inovasi ini telah menjadi bagian integral dari strategi keselamatan dan manajemen

aset industri modern. Beberapa keuntungan penggunaan robot dalam hal ini adalah :

- a. Meningkatkan keamanan pekerja, karena mengurangi kebutuhan pekerja masuk ke ruang terbatas yang berisiko tinggi.
- b. Mendeteksi kerusakan dengan akurasi tinggi, karena menggunakan sensor canggih seperti ultrasonik, kamera inframerah, dan LiDAR (*Light Detection and Ranging*). Ini adalah teknologi pemetaan dan pengindraan jauh yang menggunakan sinar laser untuk mengukur jarak antara sensor dan objek di sekitarnya (Kim dkk., 2021). LIDAR bekerja dengan cara memancarkan pulsa laser ke suatu objek, lalu menghitung waktu yang dibutuhkan pantulan cahaya itu kembali ke sensor.
- c. Mengurangi *downtime*, karena inspeksi dapat dilakukan tanpa harus mengosongkan tangki atau menghentikan operasi.
- d. Hemat biaya, karena mengurangi kebutuhan alat pelindung diri (APD) khusus dan tenaga kerja manusia.

6.2.3 Penggunaan *Drone* dalam Inspeksi Tangki Timbun

Selain robotika, *drone* (UAV - *Unmanned Aerial Vehicle*) juga digunakan untuk inspeksi bagian luar tangki timbun, terutama untuk mendeteksi korosi, kebocoran, atau deformasi struktural. Dalam era digital dan otomatisasi industri, penggunaan teknologi canggih seperti *drone* menjadi solusi inovatif dalam berbagai aspek keselamatan dan pemeliharaan, termasuk pada inspeksi tangki

75 timbun. Inspeksi tradisional pada struktur tangki yang tinggi, luas, dan terkadang sulit dijangkau sering kali membutuhkan waktu lama, biaya besar, serta mengandung risiko keselamatan bagi pekerja. Drone atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) memungkinkan pelaksanaan inspeksi visual secara cepat, akurat, dan aman tanpa perlu mengirim pekerja ke area berbahaya. Penggunaan drone tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga mempermudah dokumentasi dan pemantauan secara *real-time* serta berbasis data. Oleh karena itu, integrasi drone dalam inspeksi tangki timbun menjadi bagian penting dalam modernisasi sistem Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) serta pemeliharaan preventif di lingkungan industri. Jenis drone yang digunakan antara lain :

2 a. Drone dengan kamera HD dan inframerah (Hrúz dkk., 2021)

- 103
- Digunakan untuk mengambil gambar dan video berkualitas tinggi dari dinding luar tangki.
 - Kamera inframerah mendeteksi perbedaan suhu untuk menemukan kebocoran atau area yang mengalami *overheating*.

b. Drone dengan sensor gas (Nooralishahi dkk., 2021)

- Digunakan untuk mendeteksi kebocoran gas beracun seperti metana atau hidrogen sulfida.
- Dapat mengukur kadar gas tanpa perlu pekerja masuk ke area berisiko tinggi.

c. *Drone* dengan LiDAR (*Light Detection and Ranging*) (García-Martos dkk., 2024)

- Menghasilkan pemetaan 3D tangki untuk analisis struktural yang lebih akurat.
- Memudahkan pengukuran deformasi atau pergeseran pada permukaan tangki.

Penggunaan *drone* dalam inspeksi tangki timbun telah membawa perubahan signifikan dalam sistem pemeliharaan dan pengawasan industri. Dengan kemampuan menjangkau area sulit, merekam data visual berkualitas tinggi, serta mengurangi risiko kecelakaan kerja, *drone* menjadi alat strategis dalam penerapan K3 modern. Integrasi teknologi ini mencerminkan komitmen industri terhadap efisiensi operasional dan keselamatan personel, sekaligus membuka peluang untuk pengembangan sistem inspeksi berbasis otomasi yang lebih canggih di masa depan. Manfaat penggunaan *drone* dalam inspeksi antara lain :

- a. Menjangkau area sulit, karena *drone* dapat terbang ke area yang sulit dijangkau oleh manusia atau alat lain.
- b. Menghemat waktu dan biaya, karena inspeksi lebih cepat dibandingkan metode konvensional yang memerlukan *scaffolding* atau *crane*.
- c. Meningkatkan akurasi deteksi, karena sensor canggih dapat mendeteksi korosi, kebocoran, atau anomali struktural dengan lebih detail.
- d. Minim gangguan operasional, karena tidak perlu menghentikan operasi untuk melakukan inspeksi.

Penggunaan robotika dan *drone* dalam inspeksi tangki timbun telah membawa revolusi dalam dunia industri, khususnya dalam penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Teknologi ini mengurangi risiko bagi pekerja, meningkatkan efisiensi inspeksi, dan memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan metode konvensional. Dengan terus berkembangnya teknologi AI, IoT, dan sensor canggih, inspeksi tangki timbun akan semakin otomatis, aman, dan efisien di masa depan.

6.3 Digitalisasi dan IoT dalam Manajemen Keselamatan

Dalam era industri 4.0, penerapan digitalisasi dan *Internet of Things* (IoT) telah menjadi solusi inovatif dalam meningkatkan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di lingkungan berisiko tinggi, seperti tangki timbun. Teknologi ini memungkinkan pemantauan *real-time*, analisis data otomatis, serta respons cepat terhadap situasi darurat, sehingga mengurangi risiko kecelakaan dan meningkatkan efisiensi operasional.

6.3.1 Peran Digitalisasi dalam Manajemen Keselamatan

Di era revolusi industri 4.0, digitalisasi telah menjadi katalisator perubahan dalam berbagai sektor, termasuk bidang keselamatan kerja. Dalam konteks manajemen keselamatan, pemanfaatan teknologi digital seperti *Internet of Things* (IoT), *Artificial Intelligence* (AI), *big data*, dan sistem manajemen berbasis *cloud* telah mempercepat proses identifikasi risiko, pengambilan keputusan, hingga respons terhadap insiden secara *real-time*. Digitalisasi tidak hanya meningkatkan efisiensi dan akurasi, tetapi juga memperkuat budaya keselamatan di lingkungan kerja, termasuk pada instalasi

berisiko tinggi seperti tangki timbun. Transformasi digital ini membuka peluang besar untuk menciptakan sistem keselamatan kerja yang prediktif, adaptif, dan berkelanjutan. Digitalisasi memungkinkan peralihan dari sistem manual ke sistem berbasis data dan otomatisasi, yang lebih akurat dan efisien dalam mendeteksi serta mengelola risiko. Berikut beberapa teknologi digital dalam K3

a. Sistem Manajemen Keselamatan Berbasis *Cloud* (Liu dkk., 2020)

- Memungkinkan akses informasi keselamatan dari berbagai lokasi secara *real-time*.
- Menyimpan data inspeksi, laporan insiden, serta riwayat pemeliharaan peralatan.

b. *Augmented Reality* (AR) dan *Virtual Reality* (VR) untuk Pelatihan K3 (Gong dkk., 2024)

- Simulasi lingkungan kerja berbahaya untuk melatih pekerja tanpa risiko nyata.
- Meningkatkan pemahaman pekerja terhadap prosedur keselamatan sebelum memasuki tangki timbun.

c. *Big Data Analytics* untuk Prediksi Risiko (Ajayi dkk., 2020)

- Menggunakan data historis untuk menganalisis tren kecelakaan dan potensi bahaya.
- Membantu perusahaan dalam mengambil keputusan berbasis data untuk meningkatkan keselamatan kerja.

6.3.2 IoT dalam Manajemen Keselamatan di Tangki Timbun

IoT (*Internet of Things*) adalah jaringan perangkat yang saling terhubung untuk mengumpulkan, menganalisis, dan mengirimkan data secara otomatis (Mouha, 2021). Dalam konteks K3 di tangki timbun, IoT digunakan untuk pemantauan kondisi lingkungan, peralatan, dan pekerja secara *real-time*. Komponen IoT dalam keselamatan tangki timbun :

- a. Sensor gas dan kualitas udara
 - Memantau kadar gas berbahaya seperti metana (CH₄), hidrogen sulfida (H₂S), dan karbon monoksida (CO).
 - Memberikan alarm otomatis jika kadar gas mencapai level berbahaya.
- b. *Wearable safety devices* (alat keselamatan pintar)
 - Helm atau rompi dengan sensor detak jantung dan suhu tubuh pekerja.
 - Memberikan peringatan jika pekerja mengalami kelelahan atau berada dalam kondisi lingkungan ekstrem.
- c. CCTV dan kamera *thermal* berbasis IoT
 - Menggunakan kecerdasan buatan (AI) untuk mendeteksi kebocoran, api, atau aktivitas berisiko tinggi.
 - Memberikan notifikasi langsung kepada tim K3 jika ada pelanggaran prosedur keselamatan.

d. *Drone* untuk inspeksi otomatis

- Menggunakan sensor LiDAR dan kamera inframerah untuk mendeteksi retakan atau kebocoran pada tangki.
- Mengurangi kebutuhan pekerja untuk memasuki ruang terbatas yang berisiko tinggi.

Internet of Things (IoT) telah merevolusi cara industri mengelola keselamatan, khususnya pada fasilitas berisiko tinggi seperti tangki timbun. Dengan menghubungkan sensor, perangkat monitoring, dan sistem kontrol ke dalam satu jaringan digital, IoT memungkinkan pemantauan kondisi tangki secara *real-time*—termasuk suhu, tekanan, kadar gas berbahaya, dan tingkat cairan. Data yang terkumpul dapat langsung dianalisis untuk mendeteksi potensi bahaya sebelum menjadi insiden, serta memberikan peringatan dini kepada operator. Penggunaan IoT dalam manajemen keselamatan tidak hanya meningkatkan akurasi dan kecepatan respons, tetapi juga mendukung pendekatan prediktif dan pencegahan dalam K3. Manfaat IoT dalam Manajemen Keselamatan

- a. Deteksi dini bahaya, karena sensor IoT dapat memperingatkan pekerja sebelum terjadi kecelakaan.
- b. Respons cepat terhadap insiden, karena sistem otomatis dapat mengaktifkan prosedur darurat lebih cepat dibandingkan respons manual.
- c. *Real time monitoring*, karena data keselamatan dapat diakses kapan saja melalui *dashboard* digital.

- d. Efisiensi operasional, karena mengurangi kebutuhan inspeksi manual yang memakan waktu dan meningkatkan produktivitas.

Penerapan digitalisasi dan IoT dalam manajemen keselamatan tangki timbun telah membawa perubahan besar dalam cara perusahaan memonitor, menganalisis, dan merespons risiko keselamatan. Dengan teknologi ini, perusahaan dapat mengurangi risiko kecelakaan, meningkatkan efisiensi operasional, dan memperkuat kepatuhan terhadap standar K3.

Seiring dengan perkembangan teknologi, digitalisasi dan IoT akan menjadi komponen utama dalam strategi keselamatan industri, memastikan bahwa lingkungan kerja tetap aman dan produktif.

*****TS*****

BAB 7

STUDI KASUS DAN *BEST PRACTICES*

Keselamatan kerja di tangki timbun merupakan tantangan besar yang memerlukan pendekatan sistematis, teknologi canggih, serta kepatuhan terhadap standar K3 yang ketat. Insiden seperti kebocoran gas, ledakan, serta paparan zat beracun telah terjadi di berbagai industri yang menggunakan tangki timbun, mulai dari sektor minyak dan gas hingga industri kimia. Oleh karena itu, memahami studi kasus dan praktik terbaik (*best practices*) dalam manajemen keselamatan di lingkungan ini menjadi sangat penting untuk mencegah kecelakaan kerja dan memastikan keselamatan pekerja.

Dalam bagian ini, kita akan membahas beberapa studi kasus nyata tentang kecelakaan yang terjadi di tangki timbun, menganalisis penyebab utama, serta mengevaluasi langkah-langkah perbaikan yang diterapkan. Selain itu, kita juga akan meninjau *best practices* yang telah diadopsi oleh perusahaan-perusahaan global untuk meningkatkan keselamatan kerja, seperti penerapan teknologi IoT, sistem izin masuk ruang terbatas (*Confined Space Entry Permit*), sensor gas otomatis, serta pelatihan keselamatan berbasis VR dan AR.

Dengan memahami pengalaman dari berbagai insiden dan solusi yang telah terbukti efektif, kita dapat mengambil pelajaran berharga untuk diterapkan dalam industri yang menggunakan tangki timbun. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan risiko, meningkatkan

14

kepatuhan terhadap regulasi, serta menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan produktif bagi semua pekerja.

7.1 Studi Kasus Kecelakaan di Tangki Timbun

Tangki timbun merupakan fasilitas vital dalam industri minyak, kimia, dan bahan bakar, namun sekaligus menyimpan potensi risiko tinggi jika tidak dikelola dengan standar keselamatan yang ketat. Dalam beberapa dekade terakhir, berbagai insiden kecelakaan serius telah terjadi akibat kelalaian prosedur, kegagalan peralatan, atau kurangnya sistem deteksi dini. Studi kasus atas kecelakaan-kecelakaan ini menjadi penting tidak hanya untuk memahami akar penyebabnya, tetapi juga sebagai bahan refleksi dan pembelajaran bagi para pelaku industri, tenaga kerja, maupun pemangku kebijakan. Dengan menganalisis kronologi kejadian, penyebab langsung dan tidak langsung, serta upaya perbaikannya, kita dapat menyusun strategi pencegahan yang lebih efektif guna mencegah kejadian serupa di masa depan.

Tabel 7.1 Studi kasus kecelakaan di tangki timbun

KASUS	LOKASI	TAHUN	KRONOLOGI	PENYEBAB UTAMA	DAMPAK	PELAJARAN YANG BISA DI AMBIL
Ledakan Tangki Timbun Akibat Akumulasi Gas	Sebuah kilang minyak di Amerika Serikat	2010	Sebuah tangki timbun yang digunakan untuk menyimpan bahan bakar mengalami ledakan besar akibat akumulasi gas yang mudah terbakar di dalamnya. Tim pekerja sedang melakukan perawatan rutin dengan menggunakan alat pemotong listrik di sekitar tangki.	Kurangnya ventilasi yang memadai untuk menghilangkan gas mudah terbakar dari dalam tangki. Pekerja tidak melakukan pengukuran kadar gas sebelum bekerja, sehingga tidak menyadari adanya konsentrasi gas yang mudah terbakar.	3 pekerja mengalami luka bakar serius dan 2 lainnya meninggal dunia akibat ledakan. Kerusakan besar pada fasilitas kilang dan gangguan produksi selama beberapa bulan.	Wajib melakukan pengukuran kadar gas sebelum pekerja masuk ke dalam tangki timbun. Ventilasi yang cukup harus disediakan sebelum dan selama pekerjaan berlangsung. Prosedur izin kerja panas (Hot Work Permit) harus dipatuhi sebelum menggunakan alat pemotong atau pengelasan.

KASUS	LOKASI	TAHUN	KRONOLOGI	PENYEBAB UTAMA	DAMPAK	PELAJARAN YANG BISA DI AMBIL
			Percikan api dari alat tersebut memicu ledakan karena adanya uap bahan bakar yang terakumulasi di dalam ruang terbatas tangki.	Tidak adanya izin kerja panas (<i>Hot Work Permit</i>) sebelum penggunaan alat yang dapat memicu percikan api.	Denda dan tuntutan hukum terhadap perusahaan karena pelanggaran prosedur K3.	Gunakan alat keselamatan seperti detektor gas dan pakaian pelindung untuk menghindari bahaya
Kematian Akibat Kekurangan Oksigen di Tangki Timbun	Pabrik kimia di India	2018	Seorang pekerja diminta untuk melakukan inspeksi di dalam tangki timbun yang sebelumnya digunakan untuk menyimpan bahan kimia. Tanpa	Tidak dilakukan pengukuran kadar oksigen sebelum masuk ke dalam tangki. Kurangnya sistem ventilasi yang memadai untuk memasukkan	3 pekerja meninggal dunia akibat kekurangan oksigen. Perusahaan terkena denda besar dan kehilangan	Wajib menggunakan detektor gas sebelum masuk ke dalam tangki untuk mengukur kadar oksigen. Ventilasi harus disediakan sebelum pekerja memasuki ruang terbatas.

KASUS	LOKASI	TAHUN	KRONOLOGI	PENYEBAB UTAMA	DAMPAK	PELAJARAN YANG BISA DI AMBIL
			menggunakan alat deteksi gas atau sistem ventilasi, pekerja masuk ke dalam tangki. Beberapa menit kemudian, ia kehilangan kesadaran akibat kekurangan oksigen. Melihat hal tersebut, dua rekan kerjanya mencoba menyelamatkan dengan masuk ke dalam tangki tanpa APD yang memadai.	udara segar ke dalam tangki. Kurangnya pelatihan bagi pekerja mengenai bahaya ruang terbatas (<i>confined space</i>). Tidak adanya prosedur penyelamatan yang benar, karena rekan kerja masuk tanpa APD yang sesuai.	kredibilitas dalam industri. Regulasi diperketat untuk pekerjaan di ruang terbatas di negara tersebut.	Pekerja harus menggunakan <i>Self-Contained Breathing Apparatus</i> (SCBA) jika kadar oksigen rendah. Harus ada tim penyelamat yang terlatih, dan tidak boleh ada pekerja yang masuk tanpa alat perlindungan.

KASUS	LOKASI	TAHUN	KRONOLOGI	PENYEBAB UTAMA	DAMPAK	PELAJARAN YANG BISA DI AMBIL
			Akibatnya, ketiganya tewas karena sesak napas.			
Ledakan Tangki Timbun di PLTU akibat Akumulasi Gas	Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di Indonesia	2019	Sebuah tangki timbun di area PLTU yang digunakan untuk menyimpan bahan bakar minyak (HSD) sebagai cadangan bahan bakar mengalami ledakan ketika pekerja sedang melakukan pemeriksaan rutin. Sebelum kejadian, pekerja melakukan	Tidak adanya ventilasi yang cukup untuk menghilangkan uap bahan bakar dari dalam tangki. Pekerja tidak melakukan deteksi gas sebelum bekerja, sehingga tidak menyadari adanya uap bahan bakar yang	2 pekerja mengalami luka bakar serius, sementara 1 pekerja meninggal dunia akibat terkena ledakan langsung. Kerusakan struktural pada tangki dan gangguan	Sebelum pekerjaan dilakukan, wajib ada deteksi gas untuk memastikan tidak ada akumulasi gas berbahaya di dalam tangki. Sistem ventilasi harus diterapkan sebelum masuk ke dalam tangki untuk menghindari penumpukan uap bahan bakar. Pekerjaan panas (<i>Hot Work</i>) harus memiliki izin

KASUS	LOKASI	TAHUN	KRONOLOGI	PENYEBAB UTAMA	DAMPAK	PELAJARAN YANG BISA DI AMBIL
			pengelasan pada struktur tangki tanpa izin kerja panas (<i>Hot Work Permit</i>). Percikan api dari alat las memicu ledakan karena adanya gas mudah terbakar yang terakumulasi di dalam tangki akibat kurangnya ventilasi.	mudah terbakar. Pelanggaran prosedur izin kerja panas (<i>Hot Work Permit</i>), karena pekerjaan pengelasan dilakukan tanpa pemeriksaan risiko yang memadai. Kurangnya pengawasan dari manajemen K3, sehingga pekerjaan dilakukan tanpa standar	operasional PLTU selama beberapa minggu. Investigasi dan sanksi dari regulator karena pelanggaran prosedur keselamatan kerja.	kerja resmi dan hanya boleh dilakukan setelah semua risiko dinilai. Pekerja harus menggunakan alat pelindung diri (APD) yang sesuai, termasuk detektor gas dan pakaian tahan api. Pengawasan K3 harus diperketat, terutama pada area dengan potensi ledakan tinggi seperti tangki timbun di PLTU.

KASUS	LOKASI	TAHUN	KRONOLOGI	PENYEBAB UTAMA	DAMPAK	PELAJARAN YANG BISA DI AMBIL
				keselamatan yang sesuai.		
Pekerja Meninggal akibat Kekurangan Oksigen di Tangki Timbun Batu Bara	Pabrik Semen di Indonesia	2021	Seorang pekerja di sebuah pabrik semen ditugaskan untuk melakukan pembersihan bagian dalam tangki timbun batu bara yang digunakan untuk menyimpan bahan bakar alternatif dalam proses produksi semen. Pekerja masuk ke dalam tangki tanpa	Kekurangan oksigen di dalam tangki akibat adanya gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO) dari sisa pembakaran batu bara. Tidak dilakukan pengujian atmosfer sebelum masuk sehingga pekerja tidak mengetahui kadar	1 pekerja meninggal dunia akibat asfiksia (kekurangan oksigen). 1 pekerja mengalami keracunan gas dan membutuhkan perawatan intensif. Operasional pabrik terganggu akibat	Pemeriksaan kadar oksigen dan deteksi gas harus dilakukan sebelum masuk ke ruang terbatas, seperti tangki timbun batu bara. Sistem ventilasi wajib diterapkan untuk memastikan udara di dalam tangki tetap aman bagi pekerja. Pekerja harus memiliki izin kerja resmi (<i>Confined Space Entry Permit</i>) dan menggunakan alat

KASUS	LOKASI	TAHUN	KRONOLOGI	PENYEBAB UTAMA	DAMPAK	PELAJARAN YANG BISA DI AMBIL
			menggunakan alat pelindung diri (APD) yang memadai dan tanpa izin kerja di ruang terbatas (<i>Confined Space Entry Permit</i>). Setelah beberapa menit di dalam tangki, pekerja mengalami sesak napas dan kehilangan kesadaran. Rekan kerja yang menyadari hal ini mencoba masuk	oksigen yang rendah di dalam tangki. Tidak adanya sistem ventilasi yang memadai, sehingga gas berbahaya terperangkap di dalam tangki. Kurangnya pemahaman pekerja terhadap bahaya ruang terbatas, serta tidak adanya pelatihan K3 yang memadai.	investigasi kecelakaan kerja. Perusahaan terkena sanksi dan diwajibkan memperbaiki sistem keselamatan kerja.	pelindung diri (APD) yang sesuai, seperti masker respirator dan alat pendeteksi gas. Pelatihan K3 harus diberikan kepada semua pekerja agar memahami bahaya ruang terbatas dan cara menanganinya. Harus ada tim penyelamat yang siap siaga jika terjadi keadaan darurat dalam ruang terbatas.

KASUS	LOKASI	TAHUN	KRONOLOGI	PENYEBAB UTAMA	DAMPAK	PELAJARAN YANG BISA DI AMBIL
			untuk memberikan pertolongan, tetapi juga mengalami gejala yang sama. Akhirnya, tim penyelamat datang dan mengevakuasi kedua pekerja, tetapi salah satu pekerja tidak dapat diselamatkan akibat kekurangan oksigen.	Prosedur izin kerja di ruang terbatas (<i>Confined Space Entry Permit</i>) tidak diterapkan, sehingga pekerja masuk tanpa pengamanan yang cukup.		
Kebakaran Tangki Timbun BBM di	Kilang Minyak Pertamina, Balongan –	2021	Pada 29 Maret 2021, sekitar pukul 00.45 WIB, terjadi kebakaran hebat di	Adanya kebocoran gas atau uap BBM di sekitar tangki timbun	Puluhan warga sekitar mengalami luka-luka dan	Sistem deteksi gas dan peringatan dini harus lebih canggih, dengan teknologi IoT dan sensor

KASUS	LOKASI	TAHUN	KRONOLOGI	PENYEBAB UTAMA	DAMPAK	PELAJARAN YANG BISA DI AMBIL
Kilang Pertamina	Indramayu, Jawa Barat		salah satu tangki timbun bahan bakar minyak (BBM) milik Pertamina di Kilang Balongan, Indramayu. Kebakaran diawali dengan suara ledakan keras yang terdengar hingga beberapa kilometer dari lokasi kejadian. Api dengan cepat membesar dan menjalar ke	sebelum kebakaran terjadi. Cuaca ekstrem (petir) yang diduga menjadi pemicu ledakan. Kurangnya deteksi dini terhadap adanya akumulasi uap yang mudah terbakar. Sistem pemadaman awal tidak dapat mengenalkan api dalam waktu singkat, sehingga api	harus dievakuasi dari pemukiman yang berada di radius terdampak. Kebakaran menyebabkan kerusakan parah pada beberapa tangki timbun BBM, yang berdampak pada pasokan bahan bakar nasional. Pertamina	otomatis untuk mendeteksi kebocoran sebelum mencapai tingkat berbahaya. Proteksi petir (<i>lightning protection system</i>) harus diperkuat di area tangki timbun untuk mencegah insiden akibat sambaran petir. Penerapan inspeksi berkala terhadap kondisi tangki guna memastikan tidak ada kebocoran atau akumulasi gas mudah terbakar. Sistem pemadaman

KASUS	LOKASI	TAHUN	KRONOLOGI	PENYEBAB UTAMA	DAMPAK	PELAJARAN YANG BISA DI AMBIL
			beberapa tangki lain di sekitarnya. Pertamina segera melakukan pemadaman dengan sistem proteksi kebakaran industri, termasuk penyemprotan busa (<i>foam</i>) untuk menekan api. Namun, karena besarnya intensitas kebakaran, api baru dapat dipadamkan total beberapa hari kemudian.	menyebar ke tangki lain. Kegagalan dalam manajemen risiko terhadap potensi bahaya di area tangki timbun.	mengalami kerugian miliaran rupiah akibat kerusakan infrastruktur dan gangguan operasional. Investigasi besar-besaran dilakukan oleh pemerintah dan pihak berwenang untuk mengetahui penyebab pasti kebakaran.	kebakaran harus lebih responsif, dengan teknologi otomatisasi dalam penyemprotan busa pemadam api. Manajemen risiko K3 harus ditingkatkan, termasuk pelatihan evakuasi bagi pekerja dan warga sekitar dalam situasi darurat

Studi kasus kecelakaan pada tangki timbun memberikan pelajaran penting tentang perlunya penerapan prosedur keselamatan yang ketat, perawatan sistematis, serta peningkatan teknologi deteksi dan *monitoring*. Setiap insiden tidak hanya merugikan dari segi materi, tetapi juga berdampak pada keselamatan manusia dan lingkungan. Oleh karena itu, pemahaman mendalam terhadap penyebab dan kronologi kejadian harus dijadikan dasar untuk evaluasi dan perbaikan sistem kerja, guna mencegah terulangnya insiden serupa di masa depan.

7.2 Implementasi K3 yang Berhasil di Industri

Keberhasilan implementasi Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di industri bukanlah hasil dari kebetulan, melainkan dari komitmen manajemen, keterlibatan pekerja, serta penerapan sistem yang terencana dan berkelanjutan. Dalam lingkungan kerja yang kompleks seperti industri pengolahan atau penyimpanan bahan berbahaya, seperti tangki timbun, penerapan K3 secara efektif menjadi fondasi untuk mencegah kecelakaan, menjaga produktivitas, serta memenuhi standar regulasi nasional dan internasional. Sub-bab ini akan mengulas praktik-praktik terbaik dan strategi kunci yang menjadikan implementasi K3 berhasil di berbagai sektor industri. Penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di industri sangat penting untuk melindungi pekerja, aset perusahaan, serta lingkungan sekitar dari risiko kecelakaan dan bahaya kerja. Dalam tabel diulas beberapa contoh implementasi K3 yang berhasil di berbagai industri:

Tabel 7.2 contoh implementasi K3 yang berhasil di Industri

JENIS INDUSTRI	STRATEGI IMPLEMENTASI K3	HASIL
Industri Minyak dan Gas (Migas) – Pertamina	<i>Safety Leadership Training</i> untuk meningkatkan kesadaran dan kepatuhan K3 bagi pekerja dan manajemen. Penerapan <i>Confined Space Entry Permit</i> untuk memastikan keselamatan saat bekerja di tangki timbun dan ruang terbatas lainnya. Penggunaan sensor gas dan sistem pemantauan digital untuk mendeteksi kebocoran bahan bakar dan gas berbahaya secara <i>real-time</i>. <i>Zero Tolerance Policy</i> terhadap pelanggaran aturan keselamatan.	Pengurangan angka kecelakaan kerja di kilang minyak Pertamina sebesar 40% dalam 5 tahun terakhir. Keberhasilan mendapatkan sertifikasi ISO 45001:2018 untuk Sistem Manajemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja.
Industri Konstruksi – Proyek MRT Jakarta	<i>Safety Induction</i> wajib bagi semua pekerja dan tamu proyek sebelum memasuki lokasi kerja. Penggunaan APD lengkap (helm, rompi	<i>Zero Fatal Accident</i> (Nol kecelakaan kerja fatal) selama pembangunan fase pertama MRT Jakarta.

JENIS INDUSTRI	STRATEGI IMPLEMENTASI K3	HASIL
	reflektif, sepatu <i>safety</i>, sarung tangan, dan pelindung mata). Penerapan Metode JSA (<i>Job Safety Analysis</i>) dan HIRARC (<i>Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control</i>) dalam setiap tahapan konstruksi. Sistem pengawasan menggunakan CCTV dan drone untuk memastikan kepatuhan terhadap prosedur K3.	Efisiensi waktu kerja meningkat karena minimnya gangguan akibat insiden kecelakaan.
Industri Manufaktur – PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia (TMMIN)	Penerapan sistem 5S (<i>Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke</i>) untuk menciptakan lingkungan kerja yang bersih dan aman. Penggunaan robotika dan otomatisasi untuk mengurangi risiko kecelakaan akibat pekerjaan berulang (ergonomi).	Tingkat cedera akibat pekerjaan berulang berkurang hingga 50%. Kenaikan produktivitas sebesar 20% akibat lingkungan kerja yang lebih aman dan nyaman.

JENIS INDUSTRI	STRATEGI IMPLEMENTASI K3	HASIL
	Sistem pelaporan kecelakaan berbasis digital untuk mempercepat investigasi dan tindakan korektif. Pelatihan VR dan AR <i>Safety Training</i> untuk mensimulasikan skenario bahaya dan cara mengatasinya	

Implementasi K3 yang berhasil di industri melibatkan kombinasi kesadaran pekerja, teknologi canggih, pelatihan intensif, dan kebijakan ketat. Dengan pendekatan yang tepat, perusahaan dapat menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, meningkatkan produktivitas, dan mengurangi risiko kecelakaan secara signifikan. Penerapan K3 yang efektif di lingkungan industri terbukti mampu menciptakan budaya kerja yang aman, meningkatkan kinerja operasional, dan menekan angka kecelakaan kerja. Keberhasilan tersebut hanya dapat dicapai melalui kolaborasi antara seluruh elemen organisasi, mulai dari manajemen puncak hingga pekerja di lapangan. Dengan komitmen yang kuat, pelatihan berkelanjutan, dan pemanfaatan teknologi modern, implementasi K3 bukan sekadar kewajiban hukum, tetapi menjadi investasi strategis demi keberlangsungan dan keberhasilan industri jangka panjang.

7.3 Pembelajaran dari Kecelakaan Masa Lalu

Sejarah mencatat bahwa berbagai kecelakaan di tangki timbun tidak hanya menyebabkan kerugian materi dan lingkungan, tetapi juga menelan korban jiwa. Setiap insiden yang terjadi meninggalkan pelajaran berharga tentang pentingnya keselamatan dan kepatuhan terhadap standar operasional. Dengan menelaah akar penyebab dan kronologi dari kejadian-kejadian tersebut, kita dapat menggali wawasan yang penting untuk memperbaiki sistem, memperkuat prosedur kerja, dan mencegah insiden serupa di masa depan. Pembelajaran dari kecelakaan masa lalu bukan sekadar refleksi, melainkan fondasi penting dalam membangun budaya K3 yang lebih kuat dan berkelanjutan di industri tangki timbun. Sejarah kecelakaan

di tangki timbun memberikan wawasan berharga mengenai pentingnya penerapan sistem K3 yang lebih ketat. Dari berbagai insiden yang telah terjadi, ada banyak pelajaran yang bisa dipetik untuk meningkatkan keselamatan kerja. Berikut adalah beberapa contoh kecelakaan di tangki timbun dan pembelajaran yang bisa diambil:

Tabel 7.3 Contoh kecelakaan masa lalu di tangki timbun dan pembelajaran

No.	Insiden	Kronologi Kejadian	Pembelajaran
1.	Ledakan Tangki di Kilang Minyak Buncefield, Inggris (2005)	Sebuah tangki timbun bahan bakar meledak akibat tumpahan bahan bakar yang menguap dan bercampur dengan udara, menciptakan atmosfer eksplosif. Sistem deteksi level cairan di tangki gagal berfungsi, menyebabkan pengisian bahan bakar berlebihan.	Pentingnya sistem pemantauan otomatis yang akurat untuk mencegah pengisian berlebih. Diperlukan sistem ventilasi yang baik untuk mencegah akumulasi uap bahan bakar. Pelatihan darurat bagi pekerja agar bisa segera bertindak jika ada tanda-tanda kebocoran atau kebakaran.
2.	Kecelakaan Kekurangan Oksigen di Tangki Limbah, Mumbai, India (2018)	Tiga pekerja meninggal akibat kekurangan oksigen saat melakukan inspeksi dalam tangki limbah. Mereka masuk tanpa melakukan uji kadar oksigen dan tanpa alat bantu pernapasan.	Wajib melakukan pengujian atmosfer (gas test) sebelum masuk ke ruang terbatas. Penggunaan Self-Contained Breathing Apparatus (SCBA) atau alat bantu pernapasan sangat penting saat bekerja di ruang terbatas. Penerapan Confined Space Entry Permit sebelum pekerja memasuki ruang terbatas.

No.	Insiden	Kronologi Kejadian	Pembelajaran
3.	Kebakaran di Tangki Timbun PT Pertamina, Balongan (2021)	Tangki timbun bahan bakar di kilang minyak Balongan terbakar hebat akibat dugaan sambaran petir yang memicu kebocoran gas di area tangki. Kebakaran berlangsung selama beberapa hari dan mengakibatkan evakuasi warga sekitar.	Perawatan rutin pada sistem pencegah petir untuk menghindari percikan api pada tangki bahan bakar. Peningkatan sistem deteksi gas dan kebocoran secara real-time untuk mempercepat respon darurat. Pentingnya firewall antar tangki untuk mencegah penyebaran kebakaran.

Dari berbagai kecelakaan tersebut, ada beberapa langkah krusial yang harus diterapkan untuk meningkatkan keselamatan di tangki timbun antara lain :

- Sistem deteksi dini dan pemantauan otomatis sangat penting untuk mencegah insiden.
- Pelatihan keselamatan dan prosedur masuk ruang terbatas harus menjadi standar wajib.
- Perawatan dan inspeksi rutin pada tangki serta peralatan keselamatan harus selalu dilakukan.
- Dengan belajar dari insiden masa lalu, industri dapat memperkuat sistem K3 dan mencegah kecelakaan serupa terjadi di masa depan.

7.4 Pelatihan Keselamatan Berbasis VR dan AR

Pelatihan keselamatan berbasis VR (**Virtual Reality**) dan AR (**Augmented Reality**) adalah metode inovatif dalam pendidikan dan pelatihan K3 yang memanfaatkan teknologi simulasi untuk memberikan pengalaman yang lebih mendalam dan interaktif bagi pekerja. Teknologi ini memungkinkan pekerja untuk memahami prosedur keselamatan, mengidentifikasi bahaya, dan berlatih menangani situasi darurat dalam lingkungan virtual yang realistis tanpa risiko sebenarnya.

7.4.1 *Virtual Reality* (VR) dalam Pelatihan Keselamatan

VR menciptakan lingkungan simulasi yang imersif di mana pekerja dapat mengalami skenario berbahaya secara langsung tanpa

risiko nyata. Pekerja menggunakan *headset* VR untuk memasuki dunia virtual yang menyerupai kondisi kerja sesungguhnya, seperti:

- Simulasi kerja di tangki timbun: Pekerja dapat berlatih masuk ke ruang terbatas, menggunakan APD yang tepat, serta memahami prosedur ventilasi dan deteksi gas.
- Latihan menghadapi keadaan darurat: Simulasi kebocoran gas, kebakaran, atau ledakan di tangki timbun dapat dilakukan untuk mengajarkan langkah-langkah evakuasi yang benar.
- Simulasi penggunaan alat keselamatan: Pekerja dapat belajar cara menggunakan alat pemadam kebakaran, respirator, atau sistem ventilasi dengan interaksi yang nyata dalam dunia virtual.

Keunggulan VR dalam pelatihan K3 adalah

- Menyediakan lingkungan latihan yang aman tanpa risiko nyata
- Memberikan pengalaman langsung yang meningkatkan pemahaman pekerja
- Mengurangi biaya pelatihan fisik dan penggunaan alat secara berulang
- Memungkinkan pekerja berlatih berkali-kali hingga menguasai prosedur

7.4.2 *Augmented Reality* (AR) dalam Pelatihan Keselamatan

Berbeda dengan VR yang menciptakan dunia virtual penuh, AR menambahkan elemen digital ke dunia nyata menggunakan

perangkat seperti kacamata AR atau *tablet*. Teknologi ini membantu pekerja memahami informasi keselamatan secara langsung di lapangan. Contoh penggunaan AR dalam K3:

- Panduan visual untuk inspeksi tangki timbun: Teknisi dapat melihat informasi *real-time* tentang kondisi tangki, kadar gas, dan prosedur keselamatan langsung di kacamata AR mereka.
- Pelatihan interaktif di tempat kerja: Saat pekerja melihat suatu alat atau area berisiko, AR dapat menampilkan instruksi langkah demi langkah tentang cara menggunakannya dengan aman.
- Deteksi bahaya berbasis AR: Jika ada kebocoran gas atau kondisi berbahaya, pekerja dapat langsung mendapatkan peringatan visual di perangkat AR mereka.

Keunggulan AR dalam pelatihan K3 adalah :

- Memberikan panduan keselamatan di lokasi kerja secara langsung
- Memungkinkan pekerja belajar tanpa harus meninggalkan area kerja
- Membantu dalam inspeksi dan pemantauan kondisi berbahaya

Penggunaan VR dan AR dalam pelatihan keselamatan membantu meningkatkan efektivitas pelatihan, mengurangi risiko kecelakaan, dan memastikan pekerja lebih siap dalam menghadapi situasi darurat. Di industri dengan risiko tinggi seperti tangki timbun,

teknologi ini dapat menjadi solusi terbaik untuk meningkatkan kompetensi pekerja sekaligus mengurangi potensi insiden di lapangan

*****TS*****

BAB 8

PENUTUP

8.1 Kesimpulan

Penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di tangki timbun merupakan aspek krusial dalam industri yang melibatkan penyimpanan bahan berbahaya, seperti minyak, bahan kimia, dan gas. Ruang terbatas serta potensi risiko tinggi, seperti ledakan, kebocoran gas, paparan zat beracun, dan kekurangan oksigen, menuntut sistem K3 yang ketat dan menyeluruh. Beberapa prinsip utama dalam K3 tangki timbun meliputi:

- Identifikasi dan analisis risiko, yaitu evaluasi bahaya seperti gas beracun, atmosfer mudah meledak, dan risiko terjatuh.
- Penerapan standar keamanan, yaitu kepatuhan terhadap regulasi nasional dan internasional seperti OSHA, NFPA, dan Permenaker terkait ruang terbatas.
- Penggunaan APD dan teknologi keselamatan, yaitu pemanfaatan alat pelindung diri, sistem deteksi gas, ventilasi, dan digitalisasi manajemen keselamatan.
- Pelatihan dan kesadaran pekerja, yaitu simulasi keadaan darurat, pelatihan *confined space entry*, dan pembiasaan prosedur keselamatan.
- Evaluasi dan peningkatan berkelanjutan, yaitu audit berkala, penerapan *lessons learned* dari kecelakaan sebelumnya, dan penggunaan teknologi terbaru seperti robotika dan *drone* untuk inspeksi.

15 Dengan penerapan K3 yang optimal, risiko kecelakaan dan insiden di tangki timbun dapat diminimalkan, menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, efisien, dan berkelanjutan bagi pekerja serta industri.

8.2 Rekomendasi untuk Peningkatan K3

97 Untuk meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) di tangki timbun, diperlukan pendekatan sistematis yang mencakup berbagai aspek teknis, manajerial, dan sumber daya manusia. Berikut adalah beberapa rekomendasi utama:

- 130 a. Peningkatan sistem identifikasi dan manajemen risiko, yang meliputi :
- 3 - Penerapan Metode Identifikasi Bahaya seperti JSA (*Job Safety Analysis*), HIRARC (*Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control*), dan HAZOP (*Hazard and Operability Study*).
 - Penggunaan Teknologi Pemantauan *Real-Time* untuk deteksi gas beracun dan kondisi atmosfer dalam tangki.
 - Evaluasi Rutin terhadap SOP (*Standard Operating Procedure*) untuk menyesuaikan dengan perkembangan regulasi dan teknologi.
- b. Peningkatan keamanan operasional yang meliputi :
- Penerapan *Confined Space Entry Permit* (CSEP) yang ketat sebelum masuk ke dalam tangki.

74

- Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) yang Tepat, termasuk masker respirator, alat deteksi gas pribadi, dan perlengkapan anti-statis.
- Sistem Ventilasi dan *Purging* untuk menghindari akumulasi gas berbahaya di dalam tangki.

c. Penerapan teknologi dan inovasi yang meliputi :

- Pemanfaatan Robotika dan *Drone* untuk inspeksi internal guna mengurangi risiko paparan pekerja langsung.
- Implementasi Digitalisasi dan IoT (*Internet of Things*) dalam sistem *monitoring* keselamatan kerja.
- Pelatihan Keselamatan Berbasis VR (*Virtual Reality*) dan AR (*Augmented Reality*) untuk meningkatkan kesadaran dan kesiapan pekerja dalam menghadapi keadaan darurat.

116

7

d. Peningkatan kompetensi dan kesadaran pekerja yang meliputi :

- Pelatihan rutin dan sertifikasi K3 bagi pekerja yang bekerja di ruang terbatas
- Simulasi keadaan darurat dan evakuasi untuk meningkatkan kesiapsiagaan dalam menghadapi insiden.
- Program kesadaran K3 dan budaya keselamatan untuk meningkatkan kepatuhan terhadap prosedur keselamatan.

e. Penguatan regulasi dan pengawasan yaitu :

- Kepatuhan terhadap Standar K3 Nasional dan Internasional seperti OSHA, NFPA, dan Permenaker tentang ruang terbatas.
- Audit dan Inspeksi Keselamatan Berkala guna memastikan sistem K3 berjalan secara efektif.
- Kolaborasi dengan pihak terkait, seperti pemerintah, asosiasi industri, dan tenaga ahli K3, untuk memastikan penerapan standar keselamatan terbaik.

Dengan menerapkan rekomendasi di atas, risiko kecelakaan kerja di tangki timbun dapat diminimalkan, menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, efisien, dan berkelanjutan.

8.3 Arah Pengembangan K3 di Tangki Timbun ke Depan

Seiring dengan perkembangan industri dan teknologi, keselamatan dan kesehatan kerja (K3) di tangki timbun juga perlu mengalami peningkatan yang berkelanjutan. Berikut adalah tiga arah utama pengembangan K3 di tangki timbun ke depan:

1. Digitalisasi dan automasi untuk keselamatan yang lebih baik

a. Pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) dan Big Data

- Sensor pintar untuk mendeteksi gas berbahaya secara *real-time*.
- Pemantauan suhu, tekanan, dan kondisi atmosfer dalam tangki timbun secara otomatis.

b. Robotika dan *Drone* untuk Inspeksi dan Pemeliharaan

- Inspeksi tangki menggunakan *drone* untuk mendeteksi korosi atau kebocoran tanpa mengirim pekerja ke area berbahaya.
- Robot untuk pembersihan dan perawatan internal guna mengurangi paparan risiko bagi pekerja.

c. Pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) dalam Prediksi Risiko

- Analisis data historis untuk mengidentifikasi pola kecelakaan dan memberikan peringatan dini terhadap potensi bahaya.

2. Peningkatan standarisasi dan regulasi K3 di tangki timbun

a. Penyelarasan standar K3 dengan regulasi internasional

- Mengadopsi standar OSHA, NFPA, API (American Petroleum Institute), dan ISO 45001 untuk ruang terbatas dan penyimpanan bahan kimia berbahaya.
- Meningkatkan regulasi lokal untuk menyesuaikan dengan perkembangan teknologi dan risiko baru.

b. Audit dan sertifikasi K3 yang lebih ketat

- Mewajibkan perusahaan untuk melakukan audit K3 berkala guna memastikan sistem keselamatan tetap berjalan optimal.

- Meningkatkan sertifikasi pekerja yang bekerja di tangki timbun, termasuk sertifikasi *Confined Space Entry* (CSE) dan *Gas Tester*.

c. Penerapan hukuman dan insentif

- Memberikan sanksi tegas bagi perusahaan yang lalai dalam menerapkan standar keselamatan.
- Insentif bagi perusahaan yang menerapkan inovasi K3 dengan baik.

3. Budaya keselamatan berbasis manusia (*Human-Centred Safety Culture*)

a. Peningkatan kesadaran dan partisipasi pekerja

- Mendorong budaya keselamatan dengan pelatihan rutin berbasis simulasi VR (*Virtual Reality*) dan AR (*Augmented Reality*).
- Melibatkan pekerja dalam identifikasi bahaya dan pengembangan SOP keselamatan.

b. Komunikasi keselamatan yang lebih efektif

- Memanfaatkan teknologi komunikasi seperti aplikasi *mobile* K3 untuk memberikan notifikasi bahaya secara cepat.
- Menerapkan *dashboard* digital di lokasi kerja untuk memberikan *update real-time* tentang kondisi tangki timbun.

c. Penerapan Sistem Pelaporan Insiden yang Transparan

- Mendorong pelaporan insiden dan hampir celaka (*near miss*) tanpa takut adanya hukuman (*Just Culture*).
- Menggunakan data laporan untuk menganalisis pola risiko dan mencegah kecelakaan serupa di masa depan.

Masa depan K3 di tangki timbun akan bergantung pada integrasi teknologi digital, perbaikan regulasi, dan penguatan budaya keselamatan. Dengan menerapkan digitalisasi dan AI, meningkatkan standarisasi dan audit, serta membangun kesadaran pekerja terhadap K3, industri dapat menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, efisien, dan berkelanjutan. Keselamatan bukan hanya kewajiban, tetapi investasi untuk masa depan.

*****TS*****

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, A. Z., & Mahbubah, N. A. (2021). Pemetaan Risiko Pekerja Konstruksi Berbasis Metode Job Safety Analysis di PT BBB. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(3), 2111–2119. <https://doi.org/10.32672/jse.v6i3.3124>
- Afifuddin, M. (2019). *Melaksanakan Prosedur Kesehatan dan Keselamatan Kerja*. CV. Sarnu Untung.
- Ajayi, A., Oyedele, L., Akinade, O., Bilal, M., Owolabi, H., Akanbi, L., & Delgado, J. M. D. (2020). Optimised Big Data analytics for health and safety hazards prediction in power infrastructure operations. *Safety Science*, 125, 104656. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104656>
- Akano, O. A., Hanson, E., Nwakile, C., & Esiri, A. E. (2024). Improving Worker Safety in Confined Space Entry and Hot Work Operations: Best Practices for High-Risk Industries. *Global Journal of Advanced Research and Reviews*, 2(2), 31–39. <https://doi.org/10.58175/gjarr.2024.2.2.0056>
- Al-Okby, M. F. R., Neubert, S., Roddelkopf, T., & Thurow, K. (2021). Mobile Detection and Alarming Systems for Hazardous Gases and Volatile Chemicals in Laboratories and Industrial Locations. *Sensors*, 21(23), 8128. <https://doi.org/10.3390/s21238128>
- American Petroleum Institute. (2000). *American Petroleum Institute Standards : Overfill Protection for Storage Tanks in Petroleum Facilities (Standard No. RP 2350)* (Nomor 5th ed.).
- American Petroleum Institute. (2013). *American Petroleum Institute Standards : Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure (Standard No. 620)* (Nomor 12th ed.).

- American Petroleum Institute. (2014a). *American Petroleum Institute Standards : Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction (Standard No. 653)* (Nomor 5th ed.).
- American Petroleum Institute. (2014b). *American Petroleum Institute Standards : Venting Atmospheric and Low-pressure Storage Tanks (Standard No. 2000)* (Nomor 7th ed.).
- American Petroleum Institute. (2021). *American Petroleum Institute Standards : Welded Tanks for Oil Storage (Standard No. 650)* (Nomor 13th ed.).
- Assiddiqi, Y., & Suharyadi, H. (2024). Evaluasi Sisa Umur Dan Analisis Kinerja Operasional pada Tangki T-125 Dikilang PPSDM Migas Cepu. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral*, 4(1), 366–374. <https://doi.org/10.53026/prosidingsntem.v4i1.153>
- Azpúrua, H., Rezende, A., Potje, G., Júnior, G. P. da C., Fernandes, R., Miranda, V., Filho, L. W. de R., Domingues, J., Rocha, F., de Sousa, F. L. M., de Barros, L. G. D., Nascimento, E. R., Macharet, D. G., Pessin, G., & Freitas, G. M. (2021). Towards Semi-autonomous Robotic Inspection and Mapping in Confined Spaces with the EspeleoRobô. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 101(4), 69. <https://doi.org/10.1007/s10846-021-01321-5>
- Badan Standar Nasional. (2002). *SNI 13-3501-2002 tentang Tangki Baja Las untuk Penimbun Minyak*.
- Buchanan, R., Wellhausen, L., Bjelonic, M., Bandyopadhyay, T., Kottege, N., & Hutter, M. (2021). Perceptive Whole-Body Planning for Multilegged Robots in Confined Spaces. *Journal of Field Robotics*, 38(1), 68–84. <https://doi.org/10.1002/rob.21974>
- Cid, A., Nazario, M., Sathler, M., Martins, F., Domingues, J., Delunardo, M., Alves, P., Teotonio, R., Barros, L. G., Rezende, A., Miranda, V., Freitas, G., Pessin, G., & Azpurua, H. (2020). A Simulated Environment for the

- Development and Validation of an Inspection Robot for Confined Spaces. *2020 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2020 Brazilian Symposium on Robotics (SBR) and 2020 Workshop on Robotics in Education (WRE)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/LARS/SBR/WRE51543.2020.9307007>
- Estri Kartika, Endang Purnawati Rahayu, Kamali Zaman, Herniwanti, & Nopriadi. (2022). Analisis Manajemen Risiko dengan Metode AS/NZS 4360:2004 pada Tangki Timbun Minyak di Riau. *Afiasi : Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 7(1), 218–226. <https://doi.org/10.31943/afiasi.v7i1.193>
- García-Martos, S., García-Trenza, P., Saura-Campos, A., Guerrero-González, A., & Hidalgo-Castelo, F. (2024). UAS Photogrammetry and TLS Technology: A Novel Approach to Predictive Maintenance in Industrial Tank Systems. *Drones*, 8(6), 215. <https://doi.org/10.3390/drones8060215>
- Gong, P., Lu, Y., Lovreglio, R., Lv, X., & Chi, Z. (2024). Applications and Effectiveness of Augmented Reality in Safety Training: A Systematic Literature Review and Meta-Analysis. *Safety Science*, 178, 106624. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106624>
- Gumelar, F., Sutanto, H., Sunusi, Muh. S., & Adiputra, I. K. H. P. (2021). Optimalisasi Kompetensi Awak Kapal dalam Penerapan Keselamatan Kerja di Kapal Latih Frans Kaisiepo. *JPB : Jurnal Patria Bahari*, 1(2), 10–28. <https://doi.org/10.54017/jpb.v1i2.24>
- Hasan, N. R., & Indriyati, R. (2020). Optimalisasi Penerapan Prosedur Keselamatan Kerja di PT. Pertamina (Persero) Ru-VI Balongan. *Majalah Ilmiah Gema Maritim*, 22(1), 49–59. <https://doi.org/10.37612/gema-maritim.v22i1.51>
- Haslindah, A., Andrie, Aryani, S., & Nur Hidayat, F. (2020). Penerapan Metode HAZOP Untuk Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pada Bagian

- Produksi Air Minum dalam Kemasan Cup Pada PT. Tirta Sukses Perkasa (CLUB). *Journal Industrial Engineering and Management (JUST-ME)*, 1(01), 20–24. <https://doi.org/10.47398/justme.v1i01.5>
- Hrúz, M., Bugaj, M., Novák, A., Kandra, B., & Badánik, B. (2021). The Use of UAV with Infrared Camera and RFID for Airframe Condition Monitoring. *Applied Sciences*, 11(9), 3737. <https://doi.org/10.3390/app11093737>
- International Organization for Standardization. (2015a). International Organization for Standardization Standards : Environmental Management Systems — Requirements with Guidance for Use (Standard No. 14001). Dalam *ISO* (Nomor 3rd ed.). <https://www.iso.org/standard/60857.html>
- International Organization for Standardization. (2015b). International Organization for Standardization Standards : Quality Management Systems — Requirements (Standard No. 9001). Dalam *ISO* (Nomor 5th ed.). <https://www.iso.org/standard/60857.html>
- International Organization for Standardization. (2018a). International Organization for Standardization Standards : Occupational Health and Safety Management Systems — Requirements with Guidance For Use (Standard No. 45001). Dalam *ISO*. <https://www.iso.org/standard/63787.html>
- International Organization for Standardization. (2018b). Security and Resilience - Emergency Management - Guidelines for Incident Management (ISO Standard No. 22320:2018). Dalam *ISO* (Nomor 2nd ed.). <https://www.iso.org/standard/67851.html>
- Kementerian Ketenagakerjaan RI. (2018). *Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 5 Tahun 2018 Tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja*.

- Kim, I., Martins, R. J., Jang, J., Badloe, T., Khadir, S., Jung, H.-Y., Kim, H., Kim, J., Genevet, P., & Rho, J. (2021). Nanophotonics for Light Detection and Ranging Technology. *Nature Nanotechnology*, 16(5), 508–524. <https://doi.org/10.1038/s41565-021-00895-3>
- Lestari, J. N., & Basuki, M. (2023). Penilaian Risiko K3 Pekerjaan Enclosed Space Entry Pada Kapal Km. Sabuk Nusantara 40 Menggunakan Metode Job Safety Analysis Dan Bow Tie Risk Assesment. *Ocean Engineering : Jurnal Ilmu Teknik dan Teknologi Maritim*, 2(1), 60–75. <https://doi.org/10.58192/ocean.v2i1.1166>
- Liang, J.-G., Jiang, Y., Wu, J.-K., Wang, C., von Gratowski, S., Gu, X., & Pan, L. (2023). Multiplex-gas detection based on non-dispersive infrared technique: A review. *Sensors and Actuators A: Physical*, 356, 114318. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2023.114318>
- Liu, Z., Xie, K., Li, L., & Chen, Y. (2020). A Paradigm of Safety Management in Industry 4.0. *Systems Research and Behavioral Science*, 37(4), 632–645. <https://doi.org/10.1002/sres.2706>
- Madsen, A. M., Raulf, M., Duquenne, P., Graff, P., Cyprowski, M., Beswick, A., Laitinen, S., Rasmussen, P. U., Hinker, M., Kolk, A., Górný, R. L., Oppliger, A., & Crook, B. (2021). Review of Biological Risks Associated with The Collection of Municipal Wastes. *ScienceDirect*, 791, 148287. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148287>
- Mardlotillah, N. I. (2020). Manajemen Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja Area Confined Space. *HIGEIA (Journal of Public Health Research and Development)*, 4(1), 315–327. <https://doi.org/https://doi.org/10.15294/higeia.v4iSpecial1.40911>
- Martirosyan, A. V., & Ilyushin, Y. V. (2022). The Development of the Toxic and Flammable Gases Concentration Monitoring System for Coalmines. *Energies*, 15(23), 8917. <https://doi.org/10.3390/en15238917>

- Mouha, R. A. (2021). Internet of Things (IoT). *Journal of Data Analysis and Information Processing*, 09(02), 77–101. <https://doi.org/10.4236/jdaip.2021.92006>
- Muhammad, A. N., & Novianto, H. (2025). Analisis Ketebalan Shell untuk Menentukan Laju Korosi dan Sisa Umur Tangki T-126 PPSPDM Migas Cepu. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral*, 4(1), 1178–1187. <https://doi.org/10.53026/prosidingsntem.v4i1.223>
- Mukhopadhyay, S. C., Tyagi, S. K. S., Suryadevara, N. K., Piuri, V., Scotti, F., & Zeadally, S. (2021). Artificial Intelligence-Based Sensors for Next Generation IoT Applications: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 21(22), 24920–24932. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3055618>
- National Fire Protection Association. (2023). *National Fire Protection Association Standards : National Electrical Code (NEC) (Standard No. 70) (Nomor 2023 ed.)*.
- National Fire Protection Association. (2024a). *National Fire Protection Association Standards : Flammable and Combustible Liquids Code (Standard No. 30) (Nomor 2024 ed.)*.
- National Fire Protection Association. (2024b). *National Fire Protection Association Standards : Recommended Practice on Static Electricity (Standard No. 77) (Nomor 2024 ed.)*.
- National Fire Protection Association. (2024c). *National Fire Protection Association Standards : Standard for Low-, Medium, and High-Expansion Foam (Standard No. 11) (Nomor 2024 ed.)*.
- National Fire Protection Association (NFPA). (2019a). *Standard for the Safeguarding of Tanks and Containers for Entry, Cleaning, or Repair (NFPA Standard No. 326) (2020 ed.)*. National Fire Protection Association.

- National Fire Protection Association (NFPA). (2019b). *Standard on Continuity, Emergency, and Crisis Management (NFPA Standard No. 1600)* (2019 ed.). National Fire Protection Association.
- National Fire Protection Association (NFPA). (2020). *Standard on Facility Fire Brigades (NFPA Standard No. 600)* (2020 ed.). National Fire Protection Association.
- Nauert, F., & Kampmann, P. (2023). Inspection and Maintenance of Industrial Infrastructure with Autonomous Underwater Robots. *Frontiers in Robotics and AI*, 10. <https://doi.org/10.3389/frobt.2023.1240276>
- Nooralishahi, P., Ibarra-Castanedo, C., Deane, S., López, F., Pant, S., Genest, M., Avdelidis, N. P., & Maldague, X. P. V. (2021). Drone-Based Non-Destructive Inspection of Industrial Sites: A Review and Case Studies. *Drones*, 5(4), 106. <https://doi.org/10.3390/drones5040106>
- Occupational Safety and Health Administration. (1972). *Occupational Safety and Health Standards: Flammable Liquids (Standard No. 1910.106)*. <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.106>
- Occupational Safety and Health Administration. (1992). *Occupational Safety and Health Standards: Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals (Standard No. 1910.119)*. <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.119>
- Occupational Safety and Health Administration. (1993). *Occupational Safety and Health Standards: Permit-Required Confined Spaces (Standard No. 1910.146)*. <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.146>
- Peraturan Pemerintah RI. (1970). *Undang-undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1970 Tentang Keselamatan Kerja*.

Peraturan Pemerintah RI. (1985). *Peraturan Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia No : PER.05/MEN/1985 Tentang Pesawat Angkat dan Angkut.*

Peraturan Pemerintah RI. (1987). *Peraturan Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia Nomor : PER.04/MEN/1987 Tentang Panitia Pembina Keselamatan dan Kesehatan Kerja Serta Tata Cara Penunjukan Ahli Keselamatan Kerja.*

Peraturan Pemerintah RI. (1996). *Peraturan Menteri Tenaga Kerja Nomor : PER. 05/MEN/1996 Tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja.*

Peraturan Pemerintah RI. (2003). *Undang-undang (UU) Nomor 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan.*

Peraturan Pemerintah RI. (2012). *Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja.*

Peraturan Pemerintah RI. (2019). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.74/Menlhk/Setjen/Kum.1/10/2019 tentang Program Kedaruratan Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun dan/atau Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.*

Pshenin, V., Liagova, A., Razin, A., Skorobogatov, A., & Komarovskiy, M. (2022). Robot Crawler for Surveying Pipelines and Metal Structures of Complex Spatial Configuration. *Infrastructures*, 7(6), 75. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7060075>

Ramezanifar, E., Gholamizadeh, K., Mohammadfam, I., & Mirzaei Aliabadi, M. (2023). Risk Assessment of Methanol Storage Tank Fire Accident Using Hybrid FTA-SPA. *PLOS ONE*, 18(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282657>

Rini, & Batu, F. L. (2024). Perancangan dan Simulasi Sistem Ventilasi Mekanis untuk Meningkatkan Kualitas Udara di Terowongan Jalan

- Tol. *All Fields of Science Journal Liaison Academia and Sosiety*, 4(1), 1–6. <https://doi.org/10.58939/afosj-las.v4i1.711>
- SafetySign. (2023, Desember 22). *7 Poin Penting Tentang Izin Kerja (Work Permit) yang Harus Diketahui Pekerja dan Supervisor*. SafetySign.co.id. <https://www.safetysign.co.id/news/7-Poin-Penting-Tentang-Izin-Kerja-Work-Permit-yang-Harus-Diketahui-Pekerja-dan-Supervisor>
- Saxena, P., & Shukla, P. (2023). A Review on Recent Developments and Advances in Environmental Gas Sensors to Monitor Toxic Gas Pollutants. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 42(5). <https://doi.org/10.1002/ep.14126>
- Septiningtias, A. S., Rakhmadi, T., & Subekti, A. T. (2023). Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko (IBPR) di Ruang Terbatas dengan Pedekatan Literature Study. *Bhamada Occupational Health and Safety Environment Journal*, 1(2), 16–27. <https://doi.org/10.36308/bohsej.v1i2.596>
- Silalahi, K., & Tarigan, N. (2024). Optimalisasi Pengecekan dan Perbaikan dengan Penentuan Ukuran Utama Penutup Bawah pada Tangki Timbun di PT. KPBN Belawan. *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 3(1), 57–65. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i1.99>
- Simarmata, U. C. (2024). Evaluasi Laju Korosi dan Sisa Umur Tangki T-116 Di PPSPDM Migas Cepu. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral*, 4(1), 624–631. <https://doi.org/10.53026/prosidingsntem.v4i1.226>
- Sulardi, & El-Ridho, N. K. (2019). Hazard Identification and Prevention Methods on Work in Confined Spaces. *IDENTIFIKASI: Jurnal Ilmiah Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Lindungan Lingkungan*, 5(2), 142–151. <https://doi.org/10.36277/identifikasi.v5i2.97>

- Susilo, T., & David, F. (2023). Sistem Pemantauan Gas Berbahaya pada Peternakan Ayam Berbasis Internet of Things. *IT-Explore: Jurnal Penerapan Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 2(3), 247–257. <https://doi.org/10.24246/itexplore.v2i3.2023.pp247-257>
- Trismawati, Nanlohy, H. Y., Tjahjono, T., Utomo, D. H. M., & Dewanti, A. R. (2025). *Teknik Analisa K3* (A. Zaeni, Ed.). CV. Zenius Publisher.
- Ulimaz, A. (2022). Analisis Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Stasiun Loading Ramp dengan Metode HIRARC di PT. XYZ. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(3), 268–279. <https://doi.org/10.55123/insologi.v1i3.573>
- Valencia, V., Purnama, L. P., Tjong, C., & Liman, J. (2022). Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Berbasis Internet of Things Dengan Katup Regulator Otomatis. *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 21(2), 225–242. <https://doi.org/10.31358/techne.v21i2.322>
- Wijayanto, R., Susila, H., & Handoyo, S. (2024). Evaluasi Kualitas Udara pada Pekerjaan Terowongan Pengambilan (Studi Kasus K3 Proyek Bendungan Jlantah Karanganyar). *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 29(1), 24–32. <https://doi.org/10.36728/jtsa.v29i1.2879>